**UNIVERSIDADE TECNOLÓGICA FEDERAL DO PARANÁ**

**GABRIELE NORONHA MAIA**
**LUIGI GILBERTO PRAZERES BARBOSA**
**LUIZ FELIPE KAMINSKI DA SILVA**

# AVALIAÇÃO DA BIODEGRADAÇÃO DOS CORANTES TÊXTEIS LARANJA REAFIX, CASTANHO SOLIMAX, VIOLETA SOLIMAX E UM EFLUENTE REAL, PELO FUNGO *PHANEROCHAETE CHRYSOSPORIUM*

**PONTA GROSSA**
**2023**

**GABRIELE NORONHA MAIA**
**LUIGI GILBERTO PRAZERES BARBOSA**
**LUIZ FELIPE KAMINSKI DA SILVA**

# AVALIAÇÃO DA BIODEGRADAÇÃO DOS CORANTES TÊXTEIS LARANJA REAFIX, CASTANHO SOLIMAX, VIOLETA SOLIMAX E UM EFLUENTE REAL, PELO FUNGO *PHANEROCHAETE CHRYSOSPORIUM*

## Evaluation of biodegradation of textile dyes Orange Reafix, Brow Solimax, Violet Solimax and a real effluent, by the fungus *Phanerochaete chrysosporium*

Trabalho de conclusão de curso de graduação apresentado como requisito para obtenção do título de Bacharel em Engenharia de Bioprocessos e Biotecnologia da Universidade Tecnológica Federal do Paraná (UTFPR).
Orientador(a): Safi Amaro Monteiro.
Coorientador(a): Juliana Martins Teixeira de Abreu Pietrobelli.

**PONTA GROSSA**
**2023**

4.0 Internacional

Esta licença permite remixe, adaptação e criação a partir do trabalho, para fins não comerciais, desde que sejam atribuídos créditos ao(s) autor(es). Conteúdos elaborados por terceiros, citados e referenciados nesta obra não são cobertos pela licença.

**GABRIELE NORONHA MAIA**
**LUIGI GILBERTO PRAZERES BARBOSA**
**LUIZ FELIPE KAMINSKI DA SILVA**

# AVALIAÇÃO DA BIODEGRADAÇÃO DOS CORANTES TÊXTEIS LARANJA REAFIX, CASTANHO SOLIMAX, VIOLETA SOLIMAX E UM EFLUENTE REAL, PELO FUNGO *PHANEROCHAETE CHRYSOSPORIUM*

Trabalho de Conclusão de Curso de Graduação apresentado como requisito para obtenção do título de Bacharel em Engenharia de Bioprocessos e Biotecnologia da Universidade Tecnológica Federal do Paraná (UTFPR).

Data de aprovação: 20/junho/2023

_____
Safi Amaro Monteiro
Doutorado
Universidade Tecnológica Federal do Paraná

_____
Aline de Cassia Campos Pena
Doutorado
Universidade Tecnológica Federal do Paraná

_____
Luis Alberto Chavez Ayala
Mestrado
Universidade Tecnológica Federal do Paraná

**PONTA GROSSA**

**2023**

Dedicamos este trabalho de conclusão de curso aos nossos familiares que estiveram presente durante toda nossa jornada de graduação, aos nossos colegas que proporcionaram momentos únicos de esforço, perseverança, mas também muita alegria e descontração. Aos nossos professores que dedicaram seu tempo a nos levar conhecimento, sabedoria e compartilhar muitas experiências conosco, e à instituição UTFPR pela oportunidade única de uma formação tão enriquecedora e completa.

## AGRADECIMENTOS

Gostaríamos de agradecer a todas as pessoas que contribuíram para a realização deste trabalho de conclusão de curso. Sem o apoio, incentivo e orientação de cada um de vocês, este projeto não teria sido possível.

Prof. Dra. Safi Amaro Monteiro: Agradecemos por sua orientação, paciência e conhecimento ao longo de todo o processo. Suas sugestões valiosas e instruções foram fundamentais para o desenvolvimento deste trabalho. Somos imensamente gratos pela sua dedicação e compromisso em nos ajudar a alcançar o melhor resultado possível.

Famílias e amigos: Agradecemos aos nossos pais, irmãos, e outros familiares e amigos que nos encorajaram e apoiaram neste trabalho, sempre depositando uma confiança sem igual em nossa capacidade, sem esse apoio seria muito difícil passar por esse desafio.

Gostaríamos de prestar nossos sinceros agradecimentos a Ciro Maia, pai de nossa colega Gabriele Noronha Maia, que a acompanhou e orientou durante todo este percurso acadêmico, mesmo que não esteja mais conosco. Sua presença foi fundamental nesse processo e será sempre lembrada com gratidão.

A Deus por ter nos dado forças para superar as dificuldades, permitindo que tudo isso acontecesse, nesses anos como universitários e em todos os momentos.

Aos demais colegas e mestres do Curso de Eng. De Biotecnologia e Bioprocessos, muito obrigado pela cooperação e apoio.

## RESUMO

As indústrias têxteis utilizam corantes para tingimento de fibras que possuem características importantes para a fixação da coloração no tecido, porém estas mesmas características também demonstram riscos ambientais severos se seu descarte for feito sem um tratamento adequado. O presente estudo propõe avaliar a remoção da cor de um efluente real e três efluentes sintéticos compostos pelos corantes laranja Reafix, castanho Solimax e violeta Solimax, a partir da ação enzimática realizada pelo fungo *P. chrysosporium*. O uso desse fungo demonstrou-se propício para esse fim, mostrando uma redução significativa na concentração dos corantes no meio testado. No efluente real, apesar do crescimento prejudicado do fungo em função das características químicas do mesmo, ainda sim pode-se observar uma redução na absorbância, indicando a degradação do corante.



Palavras-chave: *Phanerochaete chrysosporium*; efluente industrial; corante.

## ABSTRACT

The textile industries use dyes for dyeing fibers that have important characteristics for fixing the color in the fabric, but these same characteristics also demonstrate severe environmental risks if their disposal is done without proper treatment. The present study proposes to evaluate the removal of color from a real effluent and three synthetic effluents composed of Reafix orange, Solimax brown and Solimax violet dyes, based on the enzymatic action performed by the fungus *P. chrysosporium*. The use of this fungus proved to be suitable for this purpose, showing a significant reduction in the concentration of dyes in the medium tested. In the real effluent, despite the impaired growth of the fungus due to its chemical characteristics, a reduction in absorbance can still be observed, indicating the degradation of the dye.



Keywords: *Phanerochaete chrysosporium*; industrial effluent; dye.

## LISTA DE ILUSTRAÇÕES

**Figura 1 – Fluxograma estratégia geral da metodologia .....23**

**Fotografia 1 - *P. chrysosporium* em 6 dias de incubação .....31**
**Fotografia 2 - Descoloração do corante Laranja Reafix em 1, 4, 8 e 14 dias de tratamento.....36**
**Fotografia 3 - Descoloração do corante Castanho Solimax em 1, 4, 8 e 14 dias de tratamento, respectivamente .....37**
**Fotografia 4 - Descoloração do corante Violeta Solimax em 1, 4, 8 e 14 dias de tratamento, respectivamente.....38**
**Fotografia 5 - Adsorção de corantes em aglomerados de micélio .....39**
**Fotografia 6 - Descoloração do efluente real em 1, 4, 8 e 14 dias de tratamento, respectivamente .....40**

**Gráfico 1 - Curva de crescimento P. chrysosporium .....30**
**Gráfico 2 - Curva de calibração e equação da reta para o corante Laranja Reafix B5R .....32**
**Gráfico 3 - Curva de calibração e equação da reta para o corante Castanho Solimax .....32**
**Gráfico 4 - Curva de calibração e equação da reta para o corante Violeta Solimax .....33**
**Gráfico 5 - Absorbância por tempo no tratamento do efluente sintético Laranja Reafix .....33**
**Gráfico 6 - Absorbância por tempo no tratamento do efluente sintético Castanho Solimax .....34**
**Gráfico 7 Absorbância por tempo no tratamento do efluente sintético Violeta Solimax .....34**
**Gráfico 8 - Concentração do corante Laranja Reafix ao longo de 360 horas ....35**
**Gráfico 9 - Concentração do corante Castanho Solimax ao longo de 360 horas .....37**
**Gráfico 10 - Concentração do corante Violeta Solimax ao longo de 360 horas 38**
**Gráfico 11 - Declínio da curva de absorbância para efluente real analisando o corante magenta quinacridona .....40**

**Quadro 1 – Estrutura de corantes.....19**

## LISTA DE TABELAS

**Tabela 1 – Dados da indústria têxtil no Brasil .....17**
**Tabela 2 – Macronutrientes adicionados para composição do caldo batata dextrose .....24**
**Tabela 3 - Macronutrientes adicionados para composição do efluente sintético .....25**
**Tabela 4 – Minerais adicionados para composição do efluente sintético.....25**
**Tabela 5 - Declínio da massa dos corantes Laranja Reafix B5R, Castanho Solimax e Violeta Solimax .....35**
**Tabela 6 - Parâmetros da caracterização do efluente .....41**

## LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

| | |
|---|---|
| BDA | Batata Dextrose Ágar |
| CMIB | Coleção Microbiológica de Interesse Biotecnológico |
| CONAMA | Conselho Nacional do Meio Ambiente |
| DQO | Demanda Química de Oxigênio |
| FISPQ | Ficha de Informações de Segurança de Produtos Químicos |
| HPA | Hidrocarbonetos Aromáticos Policíclicos |
| HPCs | Hidrocarbonetos de Petróleo |
| Nác | Normalidade da solução de ácido |
| Nm | Nanômetros |
| NTK | Nitrogênio Total Kjeldahl |
| P.A | Para Análise |
| PAH | Hidrocarbonetos Policíclicos Aromáticos |
| PCBs | Bifenilos Policlorados |
| PDB | Potato Dextrose Broth |
| PIB | Produto Interno Bruto |
| Ppm | Partes por milhão |
| Rpm | Rotações por minuto |
| SF | Sólidos Fixos |
| ST | Sólidos Totais |
| SV | Sólidos Voláteis |
| UTFPR | Universidade Tecnológica Federal do Paraná |
| UV/VIS | Ultravioleta Visível |

## LISTA DE SÍMBOLOS

| | |
|---|---|
| C | Carbono |
| $CaCl_2.2H_2O$ | Cloreto de Cálcio |
| $CH_3$ | Metil |
| $CH_4$ | Metano |
| $CO_2$ | Dióxido de carbono |
| $FeSO_4.7H_2O$ | Sulfato ferroso |
| g | Grama |
| $g.L^{-1}$ | Grama por litro |
| g/L | Grama por litro |
| h | Horas |
| $H_2$ | Hidrogênio |
| $H_2O$ | Água |
| $H_2SO_4$ | Ácido sulfúrico |
| $K_2Cr_2O_7$ | Dicromato de potássio |
| $K_2PO_4$ | Fosfato de potássio |
| $kg.m^{-3}$ | Quilograma por metro cúbico |
| L | Litro |
| LiP | Lignina peroxidase |
| $mg.L^{-1}$ | Miligrama por litro |
| mg/L | Miligrama por litro |
| $MgSO_4.7H_2O$ | Sulfato de Magnésio |
| mL | Mililitros |
| MnP | Peroxidase manganês - dependente |
| $MnSO_4$ | Sulfato de manganês |
| N | Nitrogênio |
| NaCl | Cloreto de sódio |
| NaOH | Hidróxido de sódio |
| $NH_4Cl$ | Cloreto de amônio |
| nm | Nanômetro |
| NO | Monóxido de nitrogênio |
| $NO_2$ | Dióxido de nitrogênio |
| $O_2$ | Oxigênio |
| $^oC$ | Grau Celsius |
| OH | Hidroxila |
| P | Peso |
| pH | Potencial Hidrogeniônico |
| R | Radical |
| $SO_3$ | Óxido sulfúrico / Trióxido de enxofre |
| V | Volume |
| V.am | Volume da amostra |
| $ZnSO_4.7H_2O$ | Sulfato de zinco |

**SUMÁRIO**


**1 INTRODUÇÃO ..... 13**
**2 OBJETIVOS ..... 15**
**2.1 Objetivo geral ..... 15**
**2.2 Objetivos específicos ..... 15**
**3 REVISÃO DE LITERATURA ..... 16**
**3.1 A indústria têxtil e seus efluentes ..... 16**
**3.2 Corantes têxteis ..... 18**
3.2.1 Estrutura de um corante reativo ..... 19
**3.3 Estrutura de um corante direto ..... 20**
**3.4 Biorremediação ..... 21**
3.4.1 Biodegradação e fungo *P. chrysosporium* ..... 21
**4 MATERIAIS E MÉTODOS ..... 23**
**4.1 Estratégia geral ..... 23**
**4.2 Condições de cepa e cultura ..... 23**
4.2.1 Manutenção e cultura ..... 23
4.2.2 Efluentes ..... 24
4.2.3 Efluente real ..... 24
4.2.4 Corantes ..... 24
**4.3 Curva de crescimento ..... 25**
**4.4 Preparo dos efluentes sintéticos e real ..... 25**
**4.5 Capacidade de Descoloração ..... 26**
**4.6 Testes com o efluente ..... 26**
4.6.1 Teste de descoloração dos efluentes sintéticos e real ..... 26
4.6.2 Curva de calibração ..... 26
**4.7 Testes com o efluente real ..... 27**
4.7.1 Sólidos totais, fixos e voláteis ..... 27
4.7.2 Determinação do pH ..... 28
4.7.3 Determinação da Demanda Química de Oxigênio ..... 28
4.7.4 Determinação de Nitrogênio total do efluente ..... 28
**5 RESULTADOS E DISCUSSÕES ..... 30**
**5.1 Curva de crescimento do fungo *P. chrysosporium* ..... 30**
**5.2 Testes de descoloração ..... 31**
5.2.1 Laranja Reafix B5R ..... 33

5.2.2 Corante Castanho Solimax.....33
5.2.3 Corante Violeta Solimax.....34
**5.3 Efluente real.....39**
**5.4 Caracterização do efluente real.....41**
**6 CONCLUSÃO.....43**
**REFERÊNCIAS.....44**
**ANEXO A - Lei n. 9.610, de 19 de fevereiro de 1998.....48**

# 1 INTRODUÇÃO

As atividades industriais desencadeiam uma série de consequências negativas para o meio ambiente que afetam diretamente os ecossistemas, abrangendo desde mudanças climáticas até a extinção de espécies.

A indústria têxtil assume destaque quando se diz respeito a contaminação da água, pois geralmente descartam seus resíduos através de efluentes sem tratamento prévio. Esses resíduos se compõem de diversos tipos de agentes químicos, muitas vezes tóxicos, como é o caso dos corantes sintéticos utilizados na fase de tingimento de tecidos (ARSLAN-ALATON *et al*., 2008). Como esses corantes são projetados para ter uma boa estabilidade frente a coloração do tecido, muitos deles resistem até aos processos naturais que os degradam, como a ação da luz, contato com oxidantes e umidade. O acúmulo de corantes sintéticos em rios e lagos pode alterar sua coloração natural, isso pode influenciar na quantidade de luz que o ecossistema recebe, afetando processos naturais como a fotossíntese e a demanda química de oxigênio, além de muitos deles serem considerados tóxicos e carcinogênicos (HORVAT *et al*., 2012).

O uso sustentável de recursos pela indústria e a responsabilidade ambiental são questões que infelizmente ainda se encontram em desenvolvimento e muitas vezes são negligenciadas pelas fábricas. Uma alternativa que vem ganhando créditos é a biorremediação desses poluentes, onde microrganismos com capacidade de digerir essas substâncias através de processos enzimáticos são induzidos ao ambiente contaminado, visando diminuir a concentração do composto alvo e assim reduzir também os efeitos negativos que seriam causados pelo mesmo. (SARATALE *et al*., 2011)

Os fungos da podridão branca têm um papel importante na biodegradação de substâncias, pois são espécies de microrganismos considerados bons lignolíticos. A lignina se assemelha com a estrutura de alguns corantes, esses fungos são capazes de degradá-los pelo fato de serem bons produtores de enzimas extracelulares modificadoras de lignina de baixa especificidade (SARATALE *et al*., 2011).

Diante do atual cenário, a indústria têxtil apresenta uma alta produtividade no país, sendo assim marcada pelo alto consumo de água. Seu efluente constitui-se pela alta presença de corantes sintéticos, além da alta complexidade de compostos químicos. A grande preocupação a ser destacada está nos impactos ambientais

causados pelo descarte inadequado sem um tratamento prévio, podendo causar a proliferação descontrolada de organismos autótrofos nos corpos aquáticos, fenômeno que resulta no desequilíbrio do ecossistema. Em humanos, a cadeia alimentar pode ser afetada pela bioacumulação de compostos tóxicos, propiciando o aparecimento de doenças consideradas graves, como o câncer. Vale destacar que os corantes têxteis são de difícil degradação natural devido a suas estruturas complexas e estáveis. (HORVAT *et al*., 2012)

O CONAMA é um órgão responsável por regulamentar ações de preservação do meio ambiente, seguindo um desenvolvimento sustentável. Segundo a resolução N° 237, de 1997 a indústria têxtil está sujeita ao licenciamento ambiental, ou seja, sua atividade é potencialmente geradora de poluição.

Existem diversos tratamentos para efluentes têxteis como físico, químicos e biológicos. No presente trabalho, destaca-se o tratamento por fungos, os quais sintetizam e secretam enzimas lignolíticas que naturalmente servem para a degradação da lignina presente na madeira. Este mesmo mecanismo é capaz de degradar também compostos poluentes como bifenilos policlorados (PCBs), hidrocarbonetos policíclicos aromáticos (PAH), pesticidas, polímeros sintéticos e corantes sintéticos.

Diversos estudos destacam o fungo da podridão branca *P. chrysosporium* por sua produção de enzimas extracelulares lignolíticas e sua ótima capacidade de biodegradação, uma propriedade promissora no ramo biotecnológico. (RICACZESKI *et al*, 2019).

Neste trabalho foi selecionado um fungo com potencial degradativo para corantes reagentes e diretos que terá essa capacidade testada para três corantes diferentes.

# 2 OBJETIVOS

## 2.1 Objetivo geral

Avaliar a capacidade do fungo *P. chrysosporium* em degradar os corantes sintéticos laranja Reafix, castanho Solimax e o violeta Solimax e um efluente real da indústria têxtil.

## 2.2 Objetivos específicos

- Analisar o tempo que o fungo leva para degradar o corante;
- Quantificar o corante degradado pelo fungo;
- Comparar a degradação entre os distintos corantes;
- Determinar as características físico químicas do efluente real.

# 3 REVISÃO DE LITERATURA

## 3.1 A indústria têxtil e seus efluentes

A indústria têxtil está presente no mundo todo, atendendo a demanda de vestuário, utilitários, acessórios, decoração, proteção, entre outros. A partir da presença de enorme demanda, a sociedade edificou parques industriais voltados à produção têxtil. Estas infra estruturas possuem redes que se desenrolam em vários setores, como beneficiamento de fibras naturais, fiação de fibras naturais, artificiais e sintéticas, tecelagem e malharia (BRASIL *et al*. 2015).

No Brasil, a indústria têxtil está em constante evolução tecnológica. A indústria foi fortemente afetada pela abertura do comércio global em 1990, levando assim a um processo de adaptação forçado com o intuito de melhorar a tecnologia interna, a fim de se competir com a externa. No Brasil vemos polos de indústria têxtil e cultura algodoeira em várias regiões, podendo citar como exemplos a Bahia, São Paulo, Minas Gerais, Porto Alegre, entre outros.

As indústrias de manipulação de tecidos têxteis, assim como quaisquer outras unidades industriais, geram resíduos que na maioria das vezes são descartados sem tratamento prévio no meio ambiente. Isso acontece porque as indústrias veem o tratamento de resíduos como um investimento sem retorno e por isso, mesmo existindo legislação para o descarte dessa classe de químicos, seu processamento é negligenciado (BELTRAME, 2000).

O Brasil é o quinto maior produtor têxtil do mundo e esse setor equivale a 3,5% do PIB (Produto Interno Bruto) (ABIT, 2017). Nestes processos utilizam-se grandes volumes de água e o efluente gerado por essas indústrias causa impactos ao meio ambiente. Para diminuir e tentar afetar o mínimo possível o meio ambiente, as empresas deveriam criar programas que visam economizar, tratar e reutilizar a água nos processos industriais (BEZERRA, 2015).

A água residual de corantes e pigmentos geralmente são caracterizadas pela cor e alto conteúdo orgânico e quando rejeitados na natureza atraem diversas consequências negativas. Para cada 1 tonelada de produto têxtil, são necessárias aproximadamente 270 toneladas de água (BELTRAME, 2000). Estima-se a produção anual de 700 mil toneladas de corantes e pigmentos comerciais no mundo, sendo 10.000 tipos diferentes, onde até 15% deles serão liberados em efluentes durante o tingimento (PAPIC, 2004).

A natureza química dos corantes e aditivos químicos diversos como umectantes, antiespumantes, reguladores de pH e dispersantes utilizados durante o processo de tingimento, dificultam o processamento e a remoção com um único procedimento. No geral, a composição de um efluente têxtil é bem complexa, contendo matéria orgânica como carboidratos e lipídeos, corantes, sais e metais tóxicos. Existem diversos métodos de tratamento para a remoção de corantes e resíduos industriais, como exemplos podemos citar a biossorção, processos oxidativos, bioacumulação e a biodegradação (GUARANTINE, 2000).

A tabela 1 apresenta os dados mais recentes da indústria têxtil no Brasil, obtidos em 2021, fornecendo informações cruciais para compreender a dimensão e o impacto desse setor na economia do país. A produção de confecções alcançou a marca de 8,1 bilhões de peças, enquanto o volume da produção têxtil atingiu 2,16 milhões de toneladas. Destaca-se que o setor emprega cerca de 1,34 milhões de trabalhadores em unidades produtivas, com 22,5 mil unidades formais no país. As exportações, excluindo a fibra de algodão, somaram R$1,14 bilhão em faturamento, evidenciando a relevância do mercado externo. Esses números reafirmam a importância estratégica da indústria têxtil e de confecção na economia brasileira.

**Tabela 1 – Dados da indústria têxtil no Brasil**

| Dados | Valores obtidos em 2021 |
|---|---|
| Produção de confecções | 8,1 bilhões de peças |
| Volume da produção têxtil | 2,16 milhões de toneladas |
| Trabalhadores | 1,34 milhões de empregados formais |
| Unidades produtivas no país | 22,5 mil unidades formais |
| Exportações (sem fibra de algodão) | R$1,14 bilhão |
| Faturamento da cadeia têxtil e de confecção | R$190 bilhões |

**Fonte: Abit - Associação Brasileira da Indústria Têxtil e de Confecção (2021)**

A biossorção é um método que visa a remoção de corante em solução aquosa, utilizando a biomassa de meios biológicos, como algas, fungos, bactérias e leveduras. Nele atuarão forças físico-químicas, essas mesmas promovem a ligação da molécula na biomassa. Em processos oxidativos há um alto potencial de degradação das moléculas, esse método se baseia na produção do radical hidroxila, responsável pela mineralização de moléculas orgânicas, obtendo como produto $CO_2$, $H_2O$ (aeróbios) ou $CO_2$ e $CH_4$ (anaeróbios). Já na bioacumulação os compostos químicos são absorvidos pelas células dos microrganismos (MENDES *et al*., 2015).

## 3.2 Corantes têxteis

A produção total de corantes no mundo é estimada em 700 mil ton./ano e pelo menos 10-15% destes entram no meio ambiente através dos efluentes. Efluentes contendo corantes têxteis são geralmente descartados em grande quantidade no mundo todo em corpos de águas naturais diariamente. Corantes são identificados como os compostos mais problemáticos nos efluentes têxteis devido a sua alta solubilidade na água e baixa degradabilidade (BURKINSHAW; SALIHU, 2013).

Complicações ambientais relacionados à presença de corantes têxteis em águas residuais, são motivos de preocupação pois o efluente lançado na natureza, pode possuir características altamente tóxicas para a vida aquática naquele ecossistema, também podendo reduzir a transparência da água, o que afetará processos naturais como a fotossíntese, reduzindo a concentração de oxigênio dissolvido e desregulando a biota aquática natural causando um efeito chamado eutrofização (ARSLAN-ALATON *et al*., 2008).

A molécula do corante têxtil pode ser descrita como uma estrutura de duas partes, o auxocromo que é a estrutura responsável pela fixação do corante ao tecido e o cromóforo, parte da molécula capaz de emitir cor. Vários grupos cromóforos são atualmente usados na síntese de corantes, eles representam a parte da molécula responsável pela cor. O grupo mais utilizado pertence à família de corantes azo, que se caracteriza pela presença de pelo menos uma ligação N = N com o sistema aromático da molécula. Outros grupos cromóforos mais frequentes são os grupos –C=C–, –C=N–, –C=O–, $–NO_2$ e –NO. Os auxocromos mais importantes são os grupos $–NH_2$, –NR2, –NHR, –COOH, $–SO_3H$, –OH e $–OCH_3$ (Luz, P. S, 2010).

Os principais grupos de corantes têxteis se distribuem em corantes ácidos, azóicos, diretos, dispersivos, reativos, sulfurosos, à cuba, pré-metalizados e corantes branqueadores, cada um deles sendo empregado para um tipo de material ou operação (GUARANTINE, 2000).

Os corantes reativos apresentam alta solubilidade em água e são caracterizados por uma maior estabilidade na cor do tecido tingido quando comparado a outros tipos de corantes. O principal destino de sua aplicação está no tingimento de fibras naturais de algodão, fibras artificiais de viscose, couro e papel (GUARANTINE, 2000).

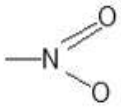
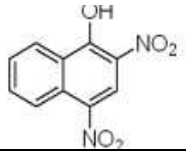
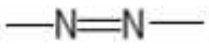
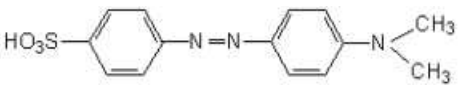
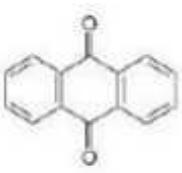
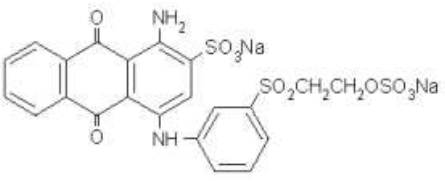
Representam compostos coloridos, sintetizados sobre a fibra no momento do tingimento. No processo de tingimento com este tipo de corante, a fibra é impregnada com um agente de acoplamento que apresenta alta afinidade por celulose. Após isso, é necessária a adição de sal de diazônio que provocará uma reação formando o corante insolúvel, esse método permite o tingimento de fibras celulósicas com alto padrão de fixação, alta resistência à luz e umidade (GUARANTINE, 2000)

Essa classe de corantes se caracteriza pela sua solubilidade em água e por utilizar interações de van der waals como meio de fixação no tecido. Geralmente corantes diretos possuem mais de um grupo cromóforo azo, podendo ser diazo, triazo e sua aplicação, assim como os reagentes se concentra em fibras naturais de algodão, fibras artificiais de viscose, couro e papel (VELOSO *et al*., 2021).

### 3.2.1 Estrutura de um corante reativo

Sua molécula contém um grupo eletrofílico (reativo) com capacidade de formar ligações covalentes com os grupos hidroxilo das fibras celulósicas, com grupos amino, hidroxilo e tióis das fibras protéicas e também com grupos amino das poliamidas tendo principalmente grupamentos azo e antraquinona em sua composição (GUARANTINE, 2000).

**Quadro 1 – Estrutura de corantes**

| Classe | Cromóforo | Estrutura Molecular |
|---|---|---|
| Nitro |  |  |
| Azo |  |  |
| Antraquinona |  |  |

**Fonte: Adaptado de Zanoni; Yamanaka (2016, p. 220)**

A classificação dos corantes, como dito anteriormente, é feita em função da sua estrutura química baseada na divisão da sua estrutura em dois grupos: cromóforo e auxocromo (ou grupo funcional). Os grupos cromóforos são responsáveis pela cor do corante que resulta da absorção de radiação visível. Estes grupos são constituídos por um sistema de ligações duplas conjugadas, e, juntamente com os grupos funcionais (auxocromos), que são substitutos doadores ou aceitadores de elétrons. (Luz, P. S, 2010).

### 3.3 Estrutura de um corante direto

Os corantes têxteis diretos apresentam uma estrutura química complexa, que geralmente contém um grupo cromóforo responsável pela cor e outros grupos auxocromos que afetam suas propriedades. Esses corantes são compostos orgânicos que contêm grupos funcionais como azo (N=N), antraquinona, ftalocianina, entre outros. A estrutura molecular dos corantes diretos é projetada de forma a permitir a solubilidade em água e a afinidade com as fibras têxteis, garantindo uma boa fixação e durabilidade da cor durante o processo de tingimento. Além disso, modificações químicas podem ser realizadas na estrutura básica dos corantes diretos para melhorar suas propriedades, como resistência ao desbotamento, solidez à luz e lavabilidade (ARAVIND *et al*., 2016).

Os corantes têxteis diretos são compostos por uma combinação de grupos funcionais que conferem propriedades específicas à molécula. Esses grupos incluem, além do grupo cromóforo, grupos auxocromos como hidroxila, amino e sulfônico, que aumentam a solubilidade do corante em água e facilitam sua fixação nas fibras têxteis. A estrutura dos corantes diretos pode variar dependendo do tipo de corante e das modificações químicas realizadas, mas geralmente apresenta uma cadeia de carbono com grupos funcionais estrategicamente posicionados para garantir a interação adequada com as fibras. Essa estrutura complexa permite que os corantes diretos alcancem uma ampla gama de cores vibrantes e duradouras nos tecidos, tornando-os uma escolha popular na indústria têxtil.

## 3.4 Biorremediação

### 3.4.1 Biodegradação e fungo *P. chrysosporium*

Em comparação com as bactérias usadas em biorremediação, o uso de fungos se mostra uma estratégia mais vantajosa, pois são organismos que resistem a diferentes condições ambientais e podem crescer em uma variedade de meios. Algumas enzimas do metabolismo desses microrganismos possuem uma função muito importante, capaz de catalisar moléculas poluentes em um ambiente contaminado. (Babu *et al*., 2019)

A maioria dos fungos da podridão branca são bons ligninolíticos, isso significa que a produção de enzimas ligninolíticas extracelulares por esses fungos é relevante, entre elas temos a lignina peroxidase, manganês peroxidase, lacases entre outras enzimas que são liberadas na degradação por oxidação da lignina presente na madeira e muitas outras matérias orgânicas. Essas enzimas também possuem afinidade com organo poluentes complexos que poluem o meio ambiente como os hidrocarbonetos de petróleo (HPCs), hidrocarbonetos aromáticos policíclicos (HPAs), hidrocarbonetos halogenados, pesticidas, clorofenóis, metais pesados e com alguns corantes sintéticos.

A biodegradação, processo de desintegração feito por microrganismos, é marcada pela transformação de moléculas químicas complexas em moléculas simples. Estes microrganismos utilizam essas moléculas na respiração celular e na manutenção do metabolismo, como principal fonte de carbono para o processo (ALMEIDA *et al*. 2016).

Os fungos se destacam como bons degradadores de substâncias orgânicas devido a presença de enzimas degradativas, as quais auxiliam na sua nutrição. De maneira geral, a utilização de fungos filamentosos vem se destacando pelo seu alto potencial degradativo e pela resistência a condições ambientais adversas (PEREIRA *et al*., 2010).

Deste modo, fungos de decomposição branca se demonstraram eficientes devido sua capacidade de produzir enzimas extracelulares oxidativas que iniciam o processo de despolimerização ligninolítica (SOUZA e ROSADO, 2009). Sendo assim, se destacam na degradação de estruturas de compostos aromáticos.

Este basidiomiceto possui ótimas propriedades ligninolíticas, rápido crescimento e fácil manuseio em cultura. É um fungo de laboratório padrão para

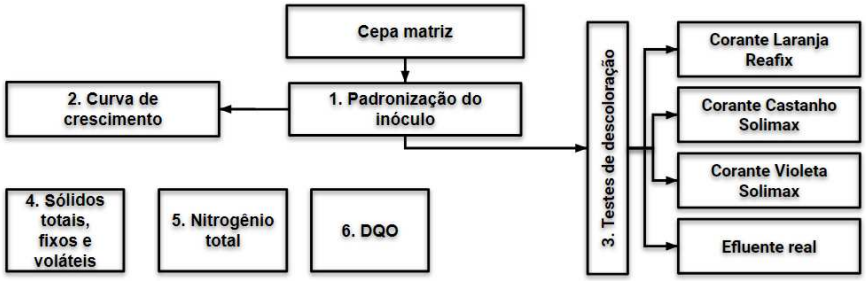
investigação da fisiologia e química da degradação da lignina. Os principais componentes do seu sistema enzimático de degradação da lignina são duas famílias de hemoperoxidases glicosiladas extracelulares conhecidas como lignina peroxidase (LiP) e peroxidase manganês - dependente (MnP) e um sistema gerador de peróxido de hidrogênio. A temperatura ótima para trabalhar com o *P. chrysosporium* é de 32°C (NUNES *et al*., 2018).

# 4 MATERIAIS E MÉTODOS

## 4.1 Estratégia geral

A estratégia se baseia na triagem inicial do fungo *P. chrysosporium* em efluente real e sintético elaborado a partir do corante laranja Reafix, castanho Solimax e violeta Solimax concedidos pela empresa AGS Química. Em seguida foi verificada a capacidade do fungo em degradar os corantes das amostras através da análise de decaimento da absorbância em espectrofotômetro.

**Figura 1 – Fluxograma estratégia geral da metodologia**




**Fonte: Autoria própria (2023)**

## 4.2 Condições de cepa e cultura

O fungo utilizado corresponde a uma cepa de *Phanerochaete chrysosporium*, concedida pela CMIB (coleção microbiológica de interesse biotecnológico da UTFPR, Ponta Grossa). A cultura estoque permaneceu resfriada a 4°C, sendo nosso inóculo matriz.

### 4.2.1 Manutenção e cultura

Para manutenção da espécie fúngica, as cepas foram cultivadas em placas de Petri, contendo aproximadamente 20 mL de meio Batata Dextrose Ágar (BDA). Para isso, o meio foi esterilizado em autoclave, 121°C por 20 minutos. Após seu resfriamento foram colocados nas placas estéreis e então inoculado com os microrganismos na câmara de fluxo laminar, em seguida levados à estufa a uma temperatura média de 32°C. Para a utilização destes em todos os ensaios, os fungos também precisaram ser cultivados em meio líquido Potato Dextrose Broth (PDB), como descrito na tabela 2, contendo 100 mL em erlenmeyers de 250 mL de capacidade.

**Tabela 2 – Macronutrientes adicionados para composição do caldo batata dextrose**

| Composto | Concentração (g) |
|---|---|
| Glicose | 10 |
| Sulfato de magnésio | 0,25 |
| Fosfato de potássio monobásico | 0,23 |
| Fosfato de potássio dibásico | 0,5 |
| Extrato de levedura | 1 |
| Peptona | 1 |

**Fonte: Autoria própria (2023)**

Frascos Erlenmeyer com meio sólido BDA inclinado permaneceram incubados por 10 dias a 32°C para que ocorresse a esporulação possibilitando a padronização do inóculo para os experimentos. Após este período, adicionou-se aos frascos 150 mL de uma solução contendo tween 80 e NaCl a 0,1 mol, para o desprendimento dos esporos dos conídios. A solução foi deixada em repouso durante 15 minutos e filtrada em funil com gaze estéril para um novo recipiente. Em seguida foi realizada contagem celular em câmara de Neubauer e diluição para equilibrar a concentração de células na amostra ‘‘inóculo’’. Após a padronização da concentração de esporos, a inoculação pode ser executada.

### 4.2.2 Efluentes

Três efluentes sintéticos e um real foram usados para avaliar a capacidade de descoloração pelo microrganismo. Esses permaneceram incubados a 32°C sob agitação de 150 rpm (Zhang, 2016). As amostras para as respectivas análises foram retiradas a cada 2 dias com duração total de 14 dias.

### 4.2.3 Efluente real

O efluente real cedido por uma empresa de especialidades químicas, possui uma composição complexa que abrange vários tipos de químicos. Segundo a empresa doadora do efluente, ele pode conter uma variedade de substâncias como solventes e resíduos de reações, cargas minerais a base de calcita, dolomita, agalmatolito e caulim, corantes e pigmentos como magenta e amarelo quinacridona, azul e verde ftalo, carbon black.

### 4.2.4 Corantes

Dois corantes diretos foram utilizados nas análises deste trabalho, o castanho Solimax, o violeta Solimax e um reativo, o laranja Reafix B5R.

### 4.3 Curva de crescimento

Para obter a curva de crescimento do fungo, foram inoculadas 1 mL do inóculo padrão ($3.10^{-4}$ g/L) em Erlenmeyers de 250 mL contendo 150 mL de batata-dextrose (PDB). Os frascos foram incubados a 32ºC durante 216 horas, sob agitação de 150 rpm. A cada 24 horas foram retiradas amostras para análise. A biomassa foi obtida por filtração e seca em estufa a 80ºC por 24 horas. Foi utilizada a média do peso seco, realizada em duplicata, para estabelecer um gráfico correspondente à curva de crescimento das culturas.

### 4.4 Preparo dos efluentes sintéticos e real

Para realizar os testes propostos, foi necessário simular efluentes à base dos corantes laranja Reafix B5R, castanho Solimax e violeta Solimax. O efluente real utilizado neste trabalho não utilizou nenhum enriquecimento nutricional.

A preparação do efluente sintético foi realizada com água destilada, acrescida dos corantes analisados a uma concentração de 1 g/L, enriquecidos com os macronutrientes (tabela 3) e 10 mL de solução de minerais (tabela 4), (Radha *et al*, 2005). Este efluente sintético com volume de 150 mL, foi então autoclavado, tendo seu pH ajustado para 4,5.

A solução de minerais atua como regulador osmótico e auxiliando como coenzimas e cofatores enzimáticos na reação de oxirredução (MAYARA *et al*. 2010).

**Tabela 3 - Macronutrientes adicionados para composição do efluente sintético**

| Composto | Concentração (g) |
|---|---|
| D - Glucose | 5,0 |
| $K_2PO_4$ | 2,0 |
| $NH_4Cl$ | 0,05 |
| $MgSO_4.7H_2O$ | 0,5 |
| $CaCl_2.2H_2O$ | 0,1 |

**Fonte: Autoria própria (2023)**

**Tabela 4 – Minerais adicionados para composição do efluente sintético**

| Composto | Concentração (g) |
|---|---|
| $MnSO_4$ | 0,5 |
| $FeSO_4.7H_2O$ | 0,1 |
| $ZnSO_4.7H_2O$ | 0,1 |

**Fonte: Autoria própria (2023)**

## 4.5 Capacidade de Descoloração

A capacidade do *P. chrysosporium* em degradar os corantes foi analisada a partir da diminuição da absorbância das amostras preparadas com concentração conhecida, utilizando o método de cálculo de concentração por análise espectrofotométrica. Para o efluente real observou-se o decaimento do pico de absorbância em 500 nm, correspondente a cor magenta.

## 4.6 Testes com o efluente

### 4.6.1 Teste de descoloração dos efluentes sintéticos e real

A capacidade de descoloração foi realizada através da análise espectrofotométrica, por varreduras de absorbâncias. Os comprimentos de onda utilizados para os corantes laranja, castanho, violeta e real correspondem respectivamente a 470 nm, 490 nm, 570 nm e 500 nm. Para realização dos testes foram utilizados 9 Erlenmeyers de 250 mL, contendo 150 mL de amostra para cada corante analisado e efluente real, totalizando 36 amostras. Cada efluente possui uma amostra de controle e uma amostra reserva para caso de eventuais contaminações. Os efluentes, logo após inoculados, passaram por análise espectrofotométrica para a determinação de sua absorbância inicial. As amostras para as respectivas análises foram retiradas a cada 2 dias com duração total de 14 dias.

A cada coleta, foi aferida a absorbância para quantificar a capacidade de descoloração pelo fungo utilizado no experimento. Durante o período de 14 dias, permaneceram em agitação (shaker modelo TE – 420), mantidas em rotação de 150 rpm à temperatura de 32°C. As medições da descoloração dos efluentes foram realizadas em espectrofotômetro UV/VIS (modelo WV-M5). Os resultados foram obtidos através do decréscimo da absorbância das amostras. (RICACZESKI *et al*, 2019).

### 4.6.2 Curva de calibração

As curvas de calibração foram obtidas a partir de uma solução de 200 ppm de corante em meio líquido e diluída para as seguintes concentrações: 25, 20, 15, 10 e 5 ppm. Foram feitas as varreduras a 470, 490 e 570 nm. As leituras desses cinco pontos para cada amostra nos forneceram as equações (gráficos 2, 3 e 4) necessárias para

calcular a concentração dos corantes pelo declínio das absorbâncias no decorrer dos 14 dias de análise (RICACZESKI *et al*, 2019).

## 4.7 Testes com o efluente real

### 4.7.1 Sólidos totais, fixos e voláteis

Os sólidos nas águas demonstram a matéria que permanece como resíduo, após passarem por processo de secagem. Sólidos totais (ST) são os resíduos que restam após evaporação. Sólidos fixos (SF) são a porção de sólidos que restam após a calcinação. Sólidos voláteis (SV) correspondem a fração de sólidos que se perdem após calcinação da amostra, resultado da subtração entre sólidos totais e fixos (RICACZESKI *et al*, 2019).

O método é dividido em três etapas: preparação da amostra, evaporação e calcinação.

- Preparação da amostra: A cápsula de porcelana é lavada com a água destilada, seca e calcinada em forno mufla a 550°C por 1 hora. Após a evaporação a cápsula é mantida em um dessecador até temperatura ambiente. Em seguida a cápsula é pesada, obtendo P1 (g).
- Evaporação: 25 mL de amostra é transferido para a cápsula e seca em estufa 105°C até obter peso constante. Após a evaporação a amostra é colocada no dessecador até temperatura ambiente. Em seguida a cápsula é pesada, obtendo P2 (g).
- Calcinação: Após a segunda pesagem, a amostra é levada para forno mufla por 15 minutos a 550°C. Após calcinação a amostra é levada para o dessecador até temperatura ambiente. Em seguida a cápsula é pesada, obtendo P3 (g).

Os resultados foram expressos a partir das equações 1, 2 e 3, respectivamente:

$$\text{Sólidos Totais} = \frac{P2 - P1}{V.am} \times 1000000 \qquad (1)$$

$$\text{Sólidos Fixos} = \frac{P3 - P1}{V \,.\, am} \times 1000000 \qquad (2)$$

$$\text{Sólidos Voláteis} = \text{Sólidos Totais} - \text{Sólidos Fixos} \qquad (3)$$

Em que:

V.am = Volume da amostra (mL);

P1 = Tara da cápsula (g);

P2 = Cápsula com amostra após secagem (g);

P3 = Cápsula com amostra após calcinação (g).

### 4.7.2 Determinação do pH

Para determinar o pH, utilizou-se um pHmetro digital Pro-01-1014.

### 4.7.3 Determinação da Demanda Química de Oxigênio

A demanda química de oxigênio baseia-se na oxidação da amostra de efluente utilizando o dicromato de potássio (K2Cr2O7) como agente oxidante. Para determinar a DQO foi utilizado o Kit Hach.

O experimento parte de uma amostra de efluente, adicionando uma solução quente de dicromato de potássio e ácido sulfúrico concentrado, contendo o catalisador sulfato de prata.

Essa análise indica a quantidade de oxigênio do dicromato de potássio que é necessária para oxidar a matéria orgânica contida no efluente, por meio de um agente químico. Em um mol de dicromato de potássio tem-se 1,5 mol de oxigênio, então teremos a concentração em $mg.L^{-1}$ de DQO. (RICACZESKI *et al*, 2019).

### 4.7.4 Determinação de Nitrogênio total do efluente

A determinação de nitrogênio pode indicar o grau de poluição causado pelo efluente, visto que essa contaminação provoca a proliferação de seres autótrofos os quais consomem o oxigênio dissolvido do meio.

O método utilizado foi o Micro-Kjeldhal, que se baseia na transformação do nitrogênio contido na amostra em sulfato de amônio, por meio de digestão com ácido sulfúrico e posterior destilação para liberar a amônia, que é fixada em solução ácida e titulada (APHA, 1999, p.370). A concentração de nitrogênio total da amostra foi calculada pela equação 4:

$$NNTK = \frac{(V1-V2)}{V.am} \times Nác \times 14000 \quad (4)$$

Onde:

NTK representa a concentração do nitrogênio total Kjeldahl, em mgN-$NH_4^+$.$L^{-1}$;

V1: Volume da solução de ácido utilizado para titular a amostra (mL);

V2: Volume da solução de ácido utilizado para titular o branco (mL);

Nác: Normalidade da solução de ácido utilizado na titulação;

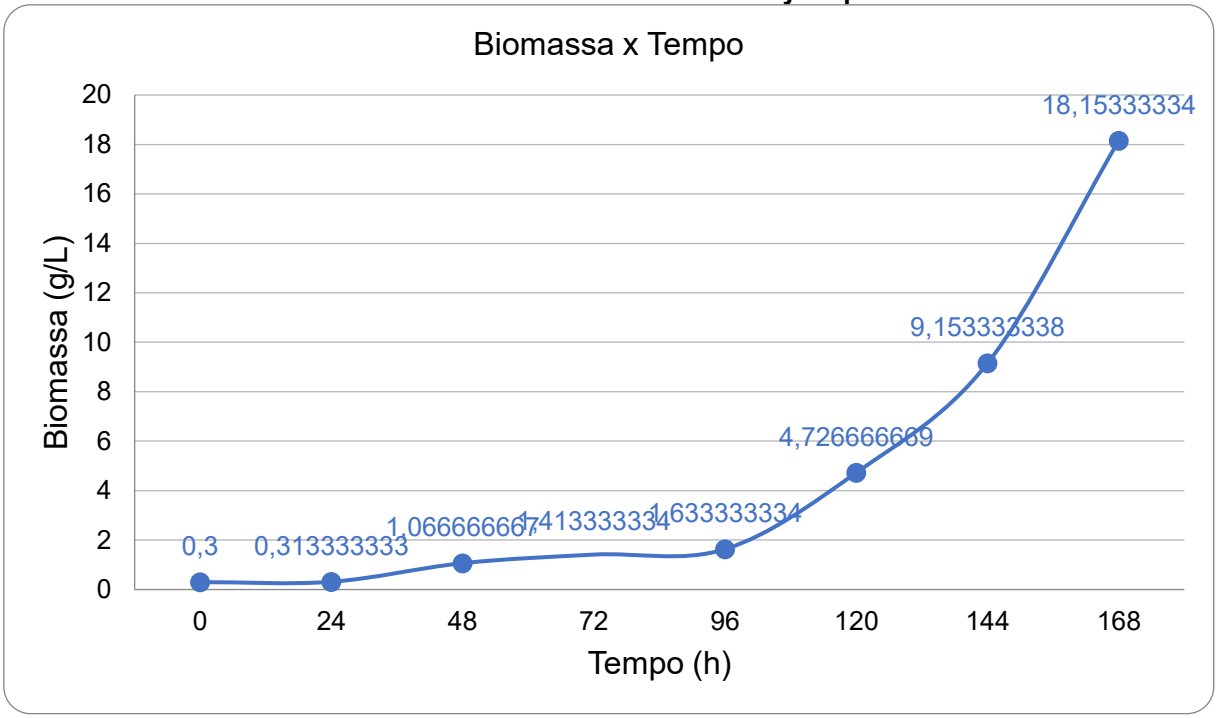
V.am: Volume da amostra (mL).

# 5 RESULTADOS E DISCUSSÕES

## 5.1 Curva de crescimento do fungo *P. chrysosporium*

Os resultados obtidos pela curva de crescimento serviram de base para entender o comportamento do fungo em estudo, possibilitando estimar o tempo necessário para realização dos testes de descoloração derivados da adição dos corantes citados e do efluente real, além de que a curva de crescimento pode nos indicar fatores como a tolerância do tempo de latência, o tempo necessário para que as células entrem na fase logarítmica, a taxa de crescimento da fase logarítmica. Esses resultados também podem ser usados para entender melhor as condições ambientais que favorecem ou inibem o crescimento de microrganismos e para desenvolver estratégias para controlar o crescimento microbiano em diferentes ambientes e aplicações. O gráfico 1 nos permite observar o comportamento de crescimento do *P. chrysosporium* em meio líquido PDB a partir da inoculação padronizada de $3.10^{-4}$ (0,0003 g/L) células de esporos a 32ºC e agitação de 150 rpm.

**Gráfico 1 - Curva de crescimento P. chrysosporium**



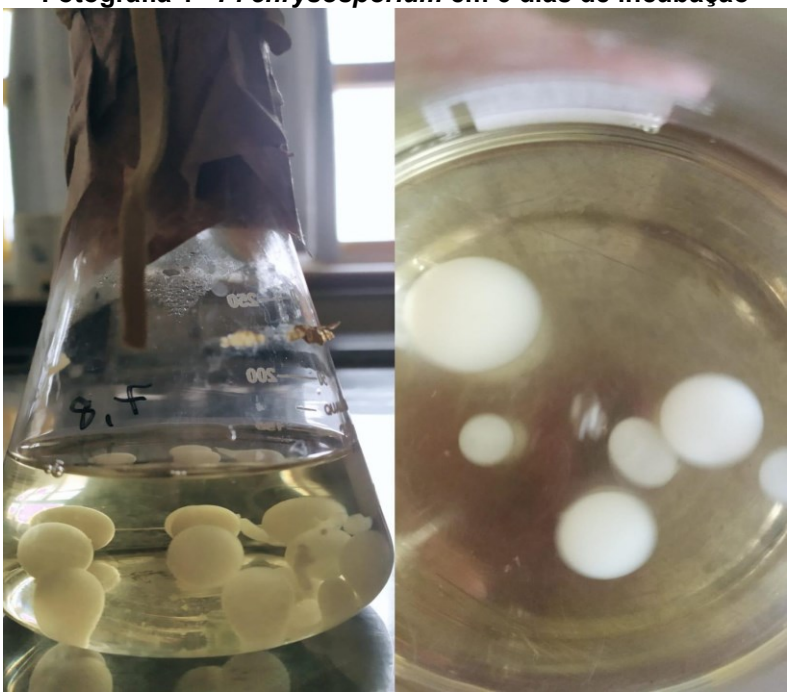

**Fonte: Autoria própria (2023)**

Pelo gráfico 1, pode-se observar que a fase lag, que se caracteriza como fase de adaptação celular, ocorre até 72 horas após o início do experimento e a partir deste ponto temos o início da fase de crescimento exponencial à medida que as condições do meio são compatíveis para o crescimento, onde se espera que a degradação do

corante acompanhe o mesmo comportamento, a quantidade de células obtidas por peso seco no último dia da fase log chega á 18,15 g/L. Depois de 192 horas de incubação, observou-se o início da fase estacionária, a qual o fungo diminuiu sua taxa de crescimento e consequentemente seu metabolismo, evidenciando os resultados dos testes de descoloração feitos posteriormente.

Notou-se a formação de aglomerados de micélio em diferentes formatos conforme o andamento do crescimento, como apresentado na fotografia 1.

**Fotografia 1 - *P. chrysosporium* em 6 dias de incubação**

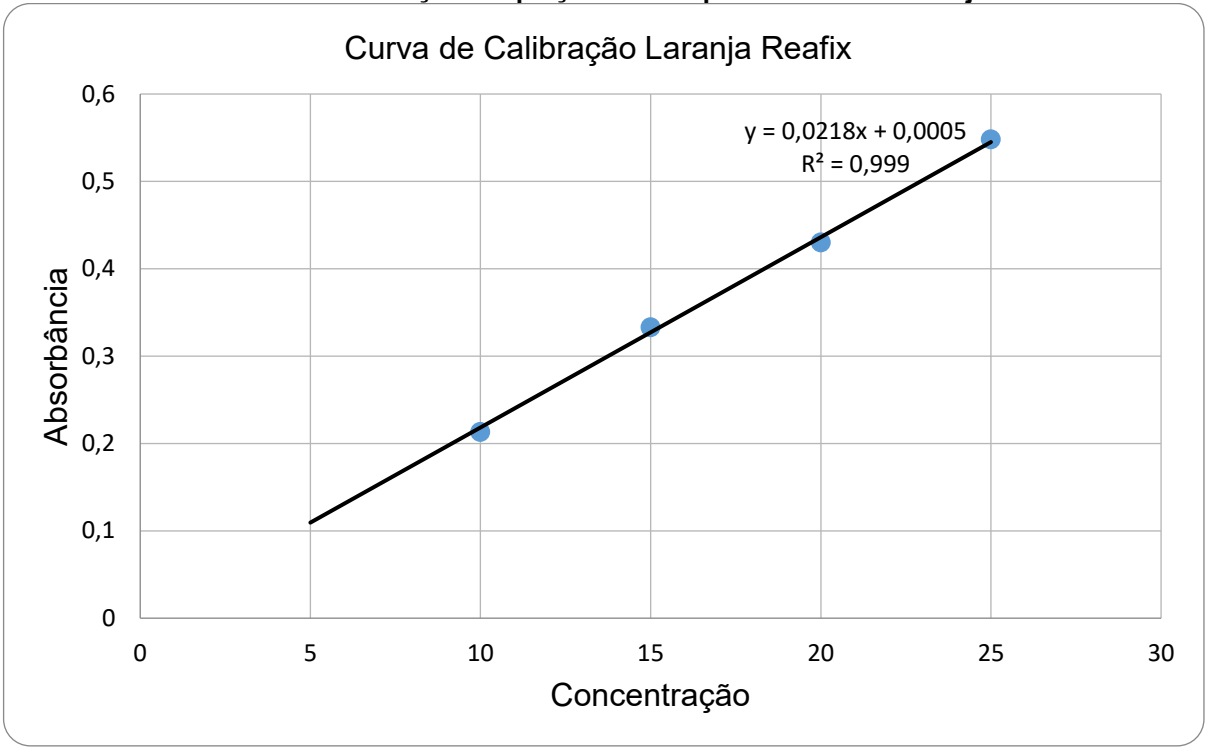


**Fonte: Autoria própria (2023)**

## 5.2 Testes de descoloração

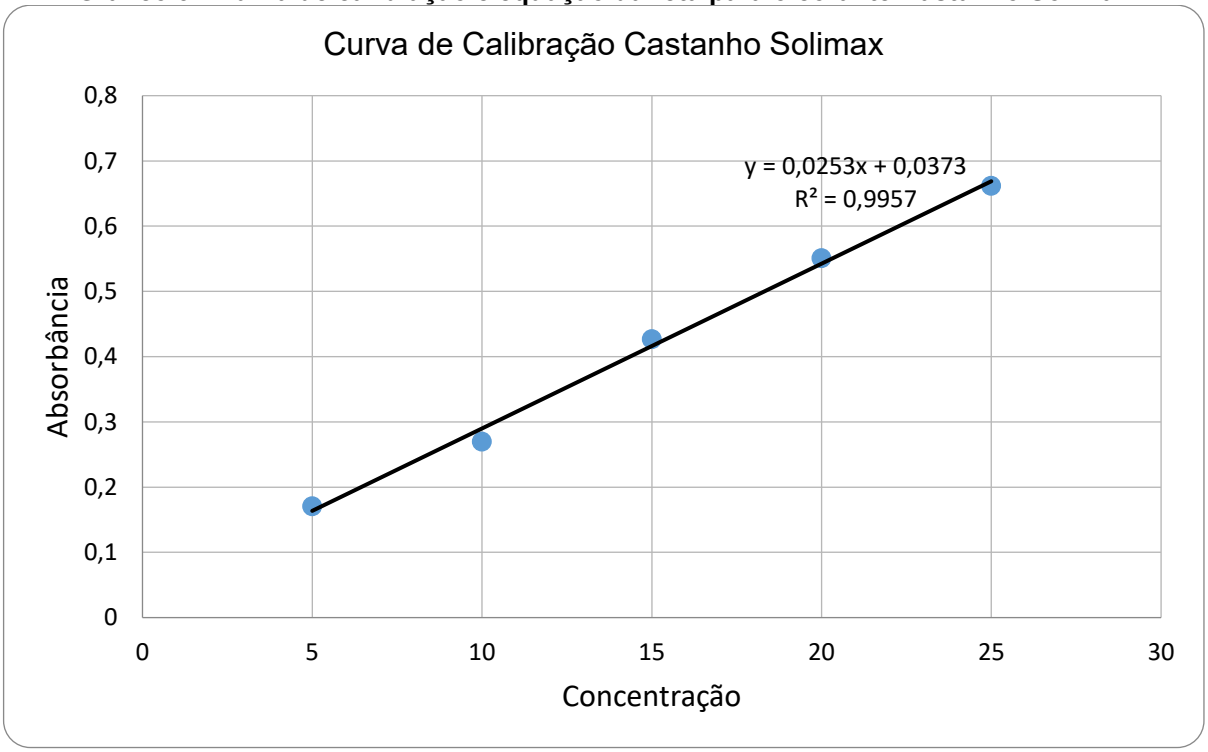
Os testes de descoloração para os corantes sintéticos em meio líquido PDB tiveram excelentes resultados. As curvas de calibração dos corantes utilizados foram feitas a partir de 25, 20, 15, 10 e 5 ppm para os corantes castanho e violeta e 50, 40, 30 20 e 10 ppm para o corante laranja reafix, resultando nos seguintes gráficos (2, 3 e 4), onde a regressão linear nos permitiu quantificar o montante de corante que foi transformado pelo processo de degradação do fungo. As amostras de controle de cada efluente sintético não sofreram alterações significativas ao fim do experimento, o que evidencia que a temperatura, agitação e outras condições de cultivo utilizadas não interferiram diretamente na quebra das moléculas de corante.

**Gráfico 2 - Curva de calibração e equação da reta para o corante Laranja Reafix B5R**



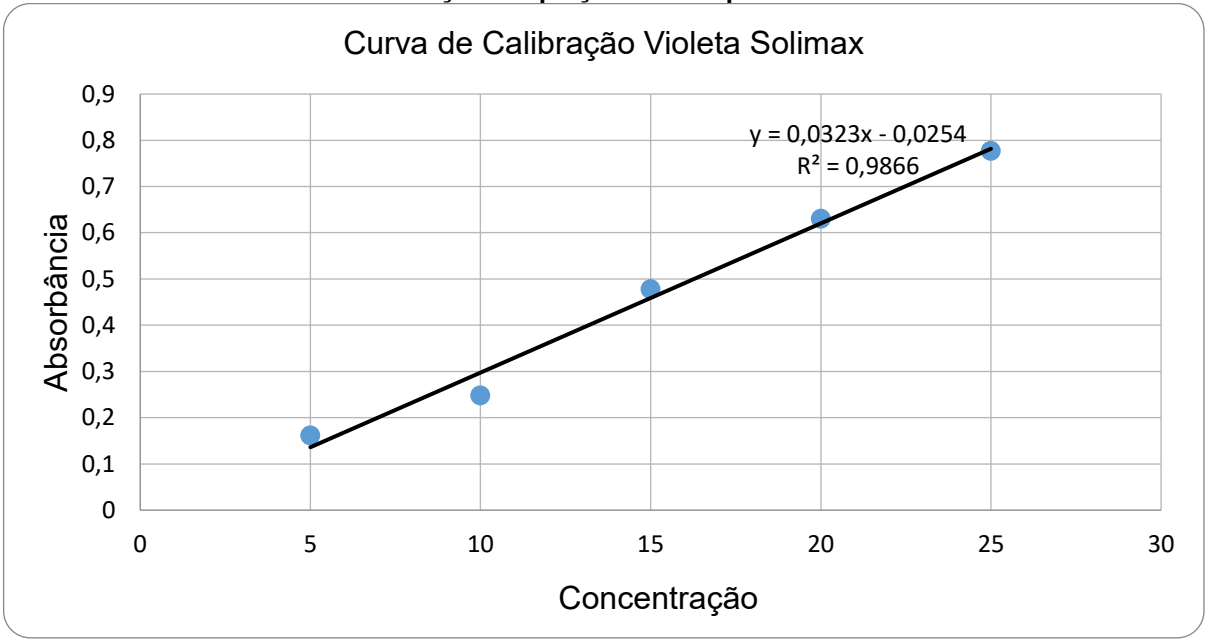

**Fonte: Autoria própria (2023)**

**Gráfico 3 - Curva de calibração e equação da reta para o corante Castanho Solimax**




**Fonte: Autoria própria (2023)**

**Gráfico 4 - Curva de calibração e equação da reta para o corante Violeta Solimax**

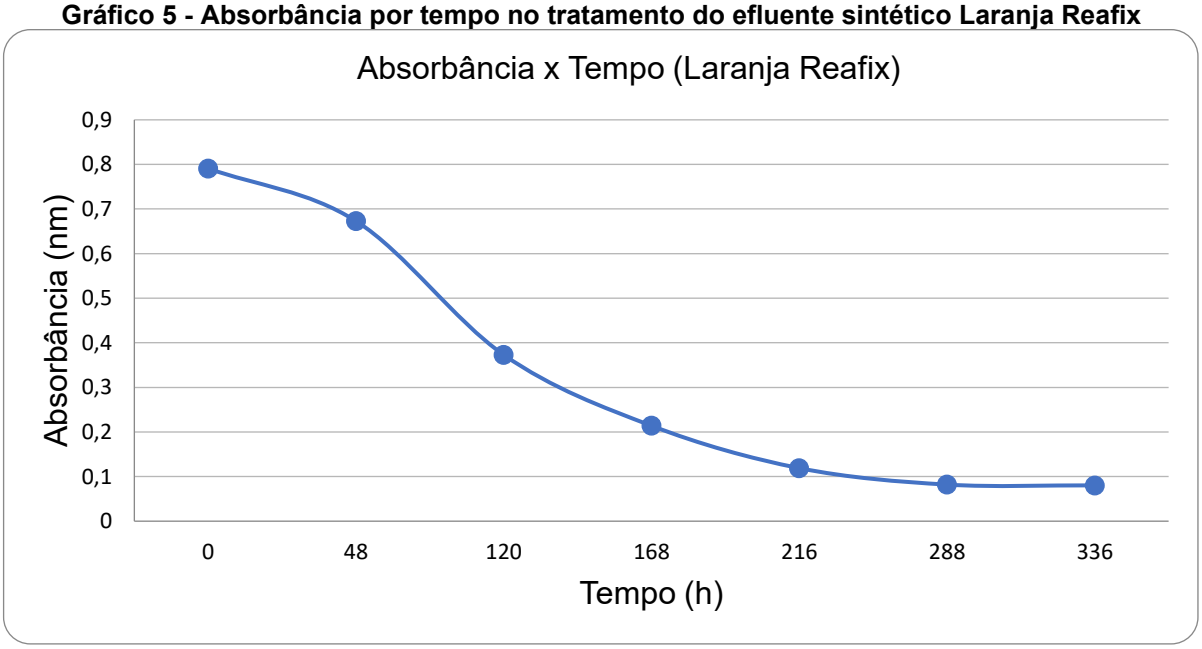



**Fonte: Autoria própria (2023)**

### 5.2.1 Laranja Reafix B5R

A seguir, no gráfico 5, apresenta-se o declínio das absorbâncias aferidas no experimento com o passar do tempo. A partir desses resultados pode-se obter o valor em massa de corante degradado pelo fungo.

**Gráfico 5 - Absorbância por tempo no tratamento do efluente sintético Laranja Reafix**



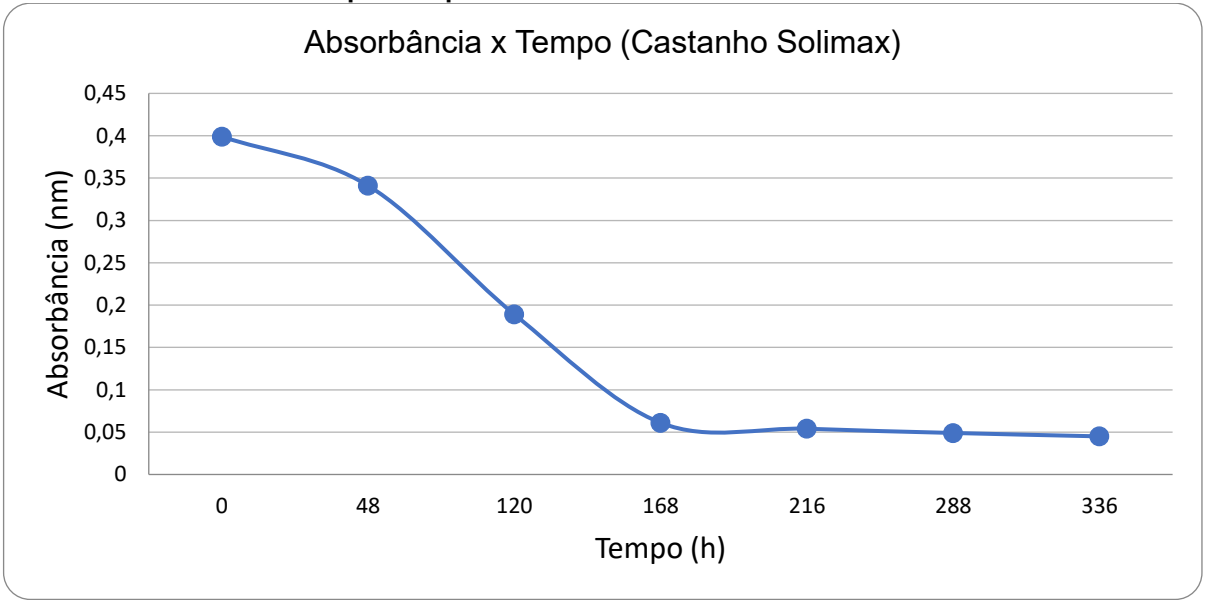

**Fonte: Autoria própria (2023)**

### 5.2.2 Corante Castanho Solimax

Os resultados de descoloração do corante castanho solimax assim como o violeta, apresentados nos gráficos 6 e 7, também foram prósperos e apresentaram

resultados ainda mais significativos por serem corantes diretos e possuírem em sua composição características orgânicas que são mais fáceis de serem degradadas comparado com os corantes reativos.

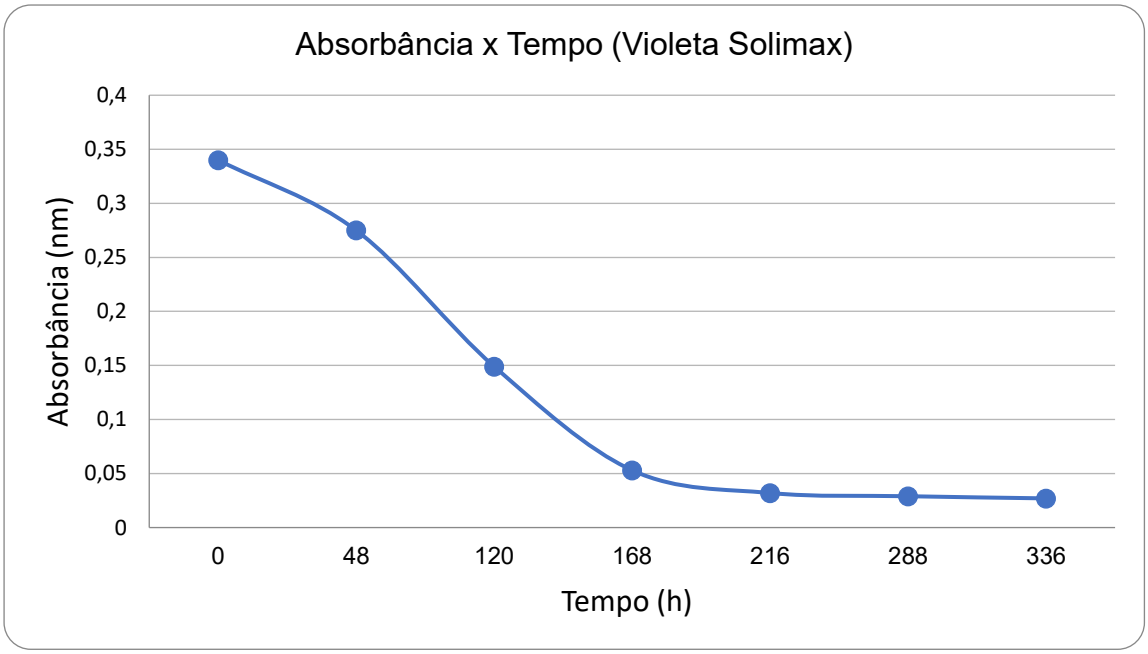
**Gráfico 6 - Absorbância por tempo no tratamento do efluente sintético Castanho Solimax**




**Fonte: Autoria própria (2023)**

### 5.2.3 Corante Violeta Solimax

**Gráfico 7 Absorbância por tempo no tratamento do efluente sintético Violeta Solimax**




**Fonte: Autoria própria (2023)**

Por meio da tabela 5, observa-se os resultados totais dos experimentos realizados. Ao longo de 360 horas nota-se o declínio das massas dos corantes sintéticos testados, mostrando o propício do fungo em degradá-los.

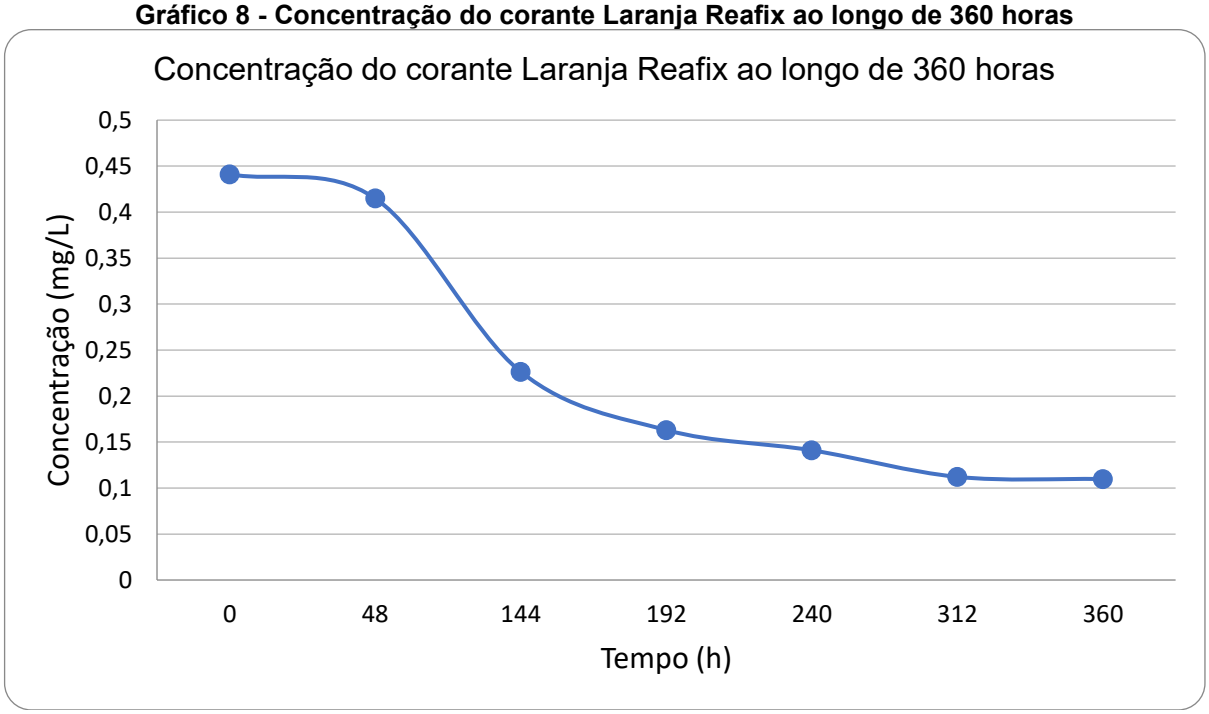
**Tabela 5 - Declínio da massa dos corantes Laranja Reafix B5R, Castanho Solimax e Violeta Solimax**

| Horas (h) | [Laranja R.] mg.L$^{-1}$ | [Castanho S.] mg.L$^{-1}$ | [Violeta S.] mg.L$^{-1}$ |
|---|---|---|---|
| 0 | 0,441055046 | 0,125177866 | 0,113498452 |
| 48 | 0,414908257 | 0,104624506 | 0,093684211 |
| 144 | 0,226376147 | 0,059960474 | 0,038266254 |
| 192 | 0,163073394 | 0,009367589 | 0,008544892 |
| 240 | 0,141055046 | 0,006600791 | 0,002043344 |
| 312 | 0,112155963 | 0,004624506 | 0,001114551 |
| 360 | 0,109816514 | 0,003043478 | 0,000495356 |

**Fonte: Autoria própria (2023)**

No gráfico a seguir (8), temos o resultado da degradação do fungo degradando o corante Laranja Reafix no período de 360 horas. Por meio dele avaliamos o gradativo declínio da concentração.

**Gráfico 8 - Concentração do corante Laranja Reafix ao longo de 360 horas**




**Fonte: Autoria própria (2023)**

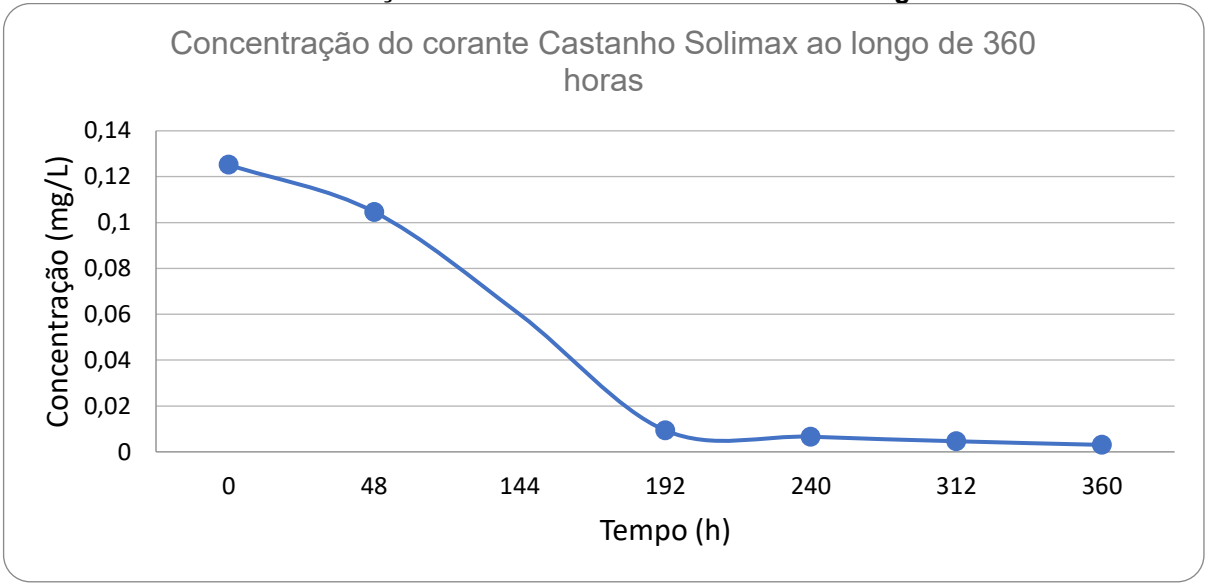
Analisando o gráfico 8 juntamente com a fotografia 2, comprova-se a formação do micélio no meio, respectivo ao seu crescimento celular. Durante o período de tratamento, nota-se sua descoloração.

**Fotografia 2 - Descoloração do corante Laranja Reafix em 1, 4, 8 e 14 dias de tratamento**

**Fonte: Autoria própria (2023)**

No gráfico 9, também se observa o resultado da degradação do fungo perante o corante Castanho Solimax no período de 360 horas. O fungo perante este corante teve resultados favorecedores. Nota-se o alto declínio apresentado no período de 50 horas até 200 horas, estabilizando-se.

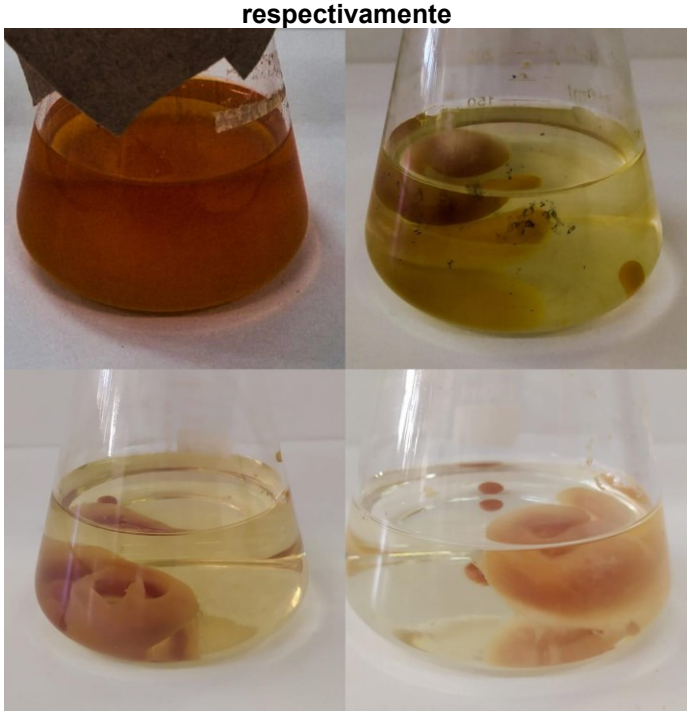
**Gráfico 9 - Concentração do corante Castanho Solimax ao longo de 360 horas**




**Fonte: Autoria própria (2023)**

Na fotografia 3, nota-se como ao longo do tratamento o fungo *P. chrysosporium* mostrou-se oportuno, degradando o corante Castanho Solimax. Ao final percebe-se o meio líquido cristalino, sem coloração, tendo este sido totalmente absorvido conforme o crescimento celular.

**Fotografia 3 - Descoloração do corante Castanho Solimax em 1, 4, 8 e 14 dias de tratamento, respectivamente**

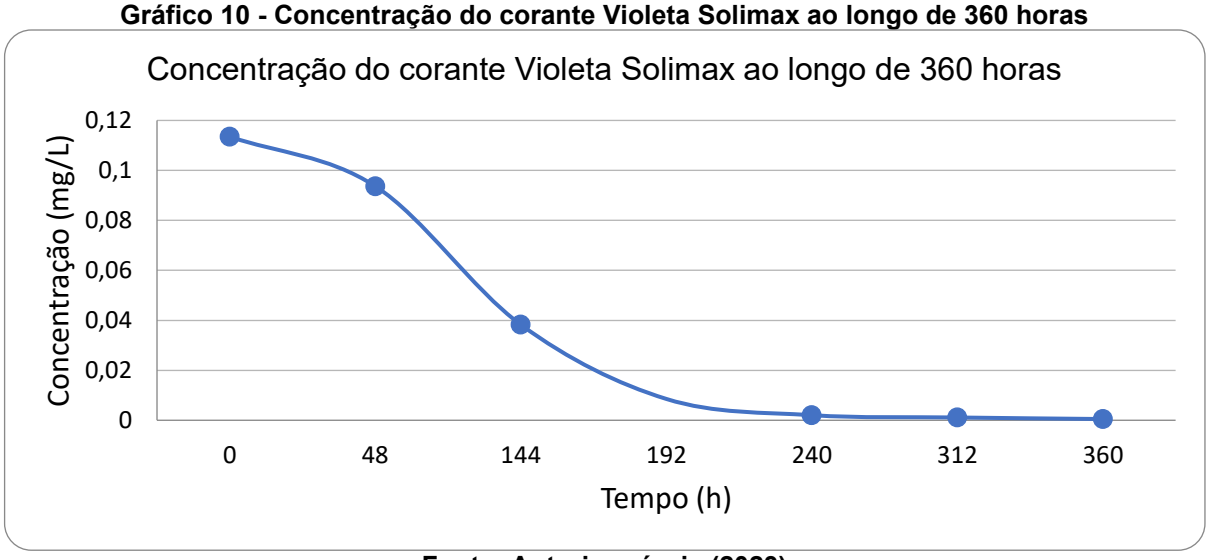


**Fonte: Autoria própria (2023)**

No corante a seguir, apresentado pelo gráfico 10, nota-se o declínio linear desde o tempo 0 ao longo de 250 horas, até chegar a sua estabilização. Seu resultado também foi muito promissor perante o fungo *P. chrysosporium*, mostrando

como chegou a completa biodegradação, dada sua concentração em zero em 300 horas.

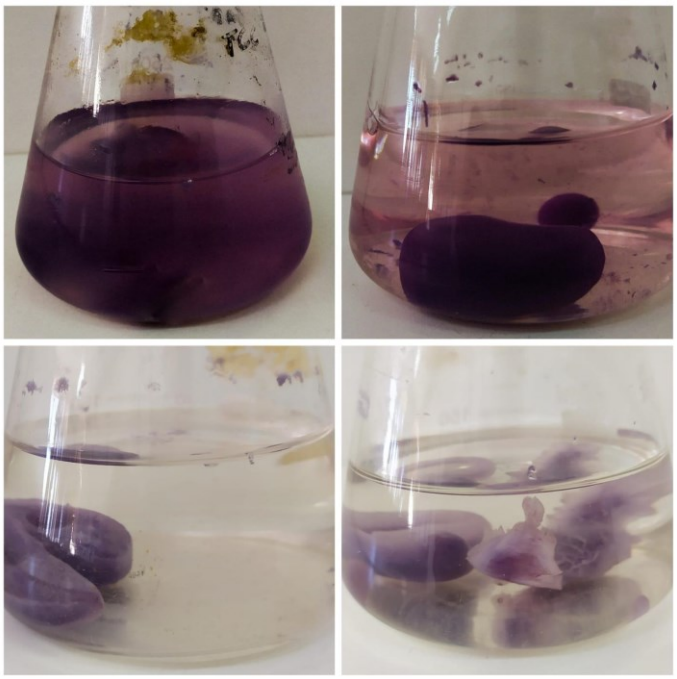
**Gráfico 10 - Concentração do corante Violeta Solimax ao longo de 360 horas**




**Fonte: Autoria própria (2023)**

Consequentemente ao resultado demonstrado pelo gráfico, observa-se na fotografia 4 seu ótimo resultado. Nas duas primeiras imagens nota-se seu leve declínio de coloração, e ao final o efluente com coloração límpida.

**Fotografia 4 - Descoloração do corante Violeta Solimax em 1, 4, 8 e 14 dias de tratamento, respectivamente**

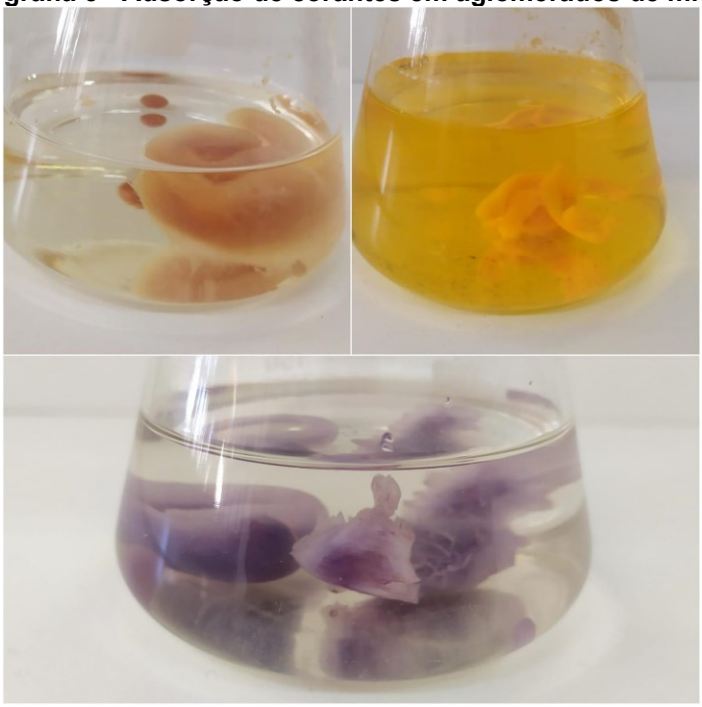


**Fonte: Autoria própria (2023)**

Observou-se a formação de aglomerados de micélio nos meios, que aumentaram de tamanho conforme o crescimento celular ocorria. Isso aconteceu

devido a agitação do meio, que não possibilitou o fungo de se prender às paredes da vidraria. Esses aglomerados que podem ser observados nas fotografias 2, 3, 4 e 5, também tiveram influência na redução do corante no meio efluente sintético, onde se comportaram adsorvendo parte do corante em sua estrutura.

**Fotografia 5 - Adsorção de corantes em aglomerados de micélio**

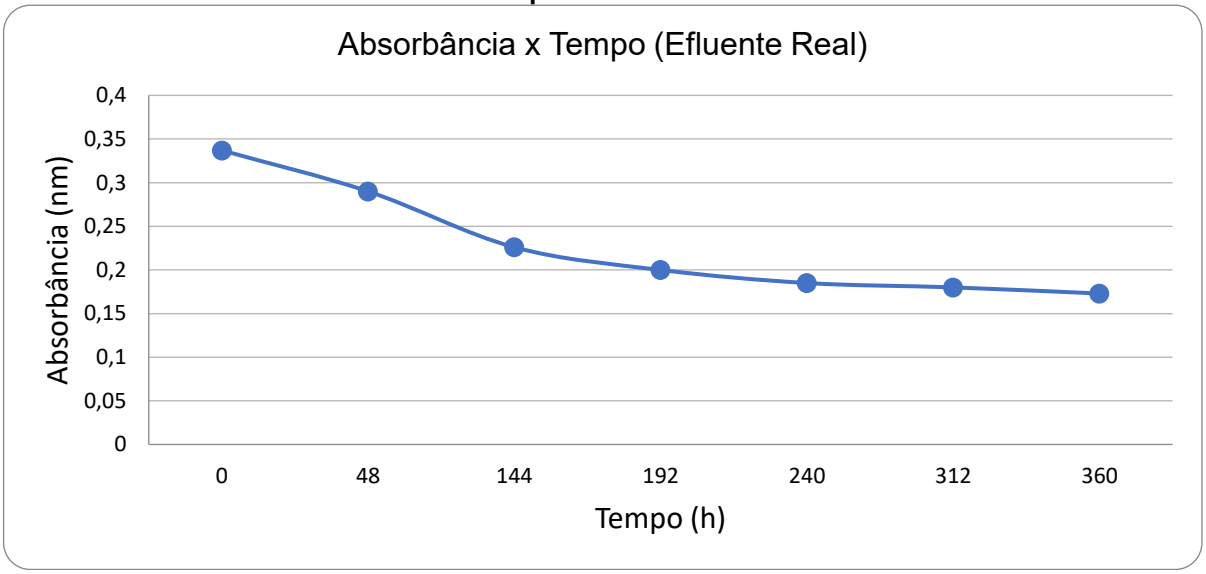


**Fonte: Autoria própria (2023)**

## 5.3 Efluente real

O alvo a ser quantificado no efluente real foi o corante magenta quinacridona presente em sua composição com faixa de varredura de 500 nm. Contudo não possuímos a concentração inicial que o corante tem no efluente real, impossibilitando a sua quantificação em mg/L. Ainda assim, o decaimento da absorbância pode nos mostrar alguma eficiência na degradação do corante presente, como apresentado no gráfico 11.

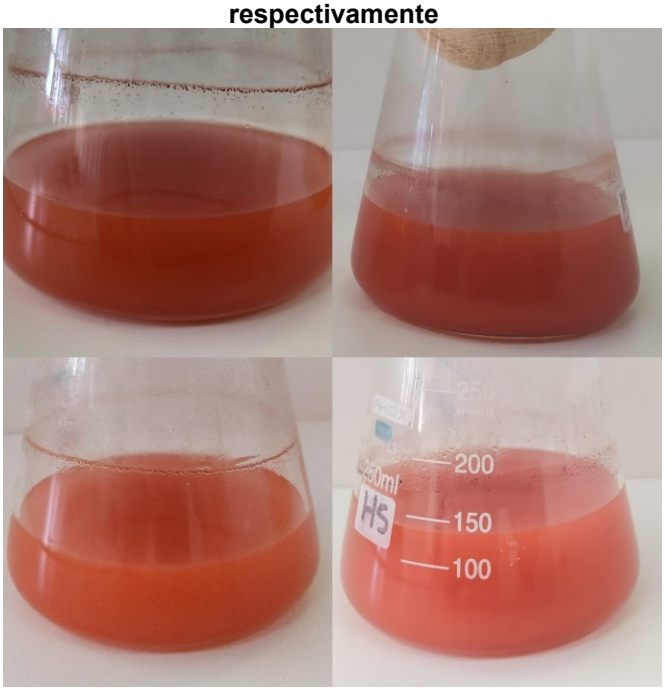
**Gráfico 11 - Declínio da curva de absorbância para efluente real analisando o corante magenta quinacridona**




**Fonte: Autoria própria (2023)**

Mesmo tendo um resultado diferente dos corantes apresentados anteriormente, nota-se na fotografia 6 a diferença de cor apresentada ao longo dos dias, mostrando que ainda perante um efluente com propriedades diferentes, o *P. chrysosporium* demonstrou-se vantajoso no tratamento do mesmo.

**Fotografia 6 - Descoloração do efluente real em 1, 4, 8 e 14 dias de tratamento, respectivamente**




**Fonte: Autoria própria (2023)**

Devido a presença de outros compostos químicos não identificados no efluente real, no qual apresentou forte odor químico, a hipótese levantada foi a de que o fungo utilizado não foi capaz de se desenvolver com sucesso. O efluente, cedido de

uma empresa, tem sua composição diversificada, no que se abrange de água de reações, cargas minerais, solventes e pigmentos de lavagem. Nota-se no gráfico de decaimento da absorbância, que houve pouco progresso na degradação do pigmento analisado, evidenciando que o *P. chrysosporium* não seguiu seu comportamento quanto sua curva de crescimento. Ainda assim, observou-se um declínio menos acentuado comparado aos testes nos efluentes sintéticos.

## 5.4 Caracterização do efluente real

Na tabela a seguir (6), apresenta-se os resultados das análises realizadas no efluente real, parâmetros essenciais na análise do mesmo, perante as diretrizes de lançamento de efluentes.

**Tabela 6 - Parâmetros da caracterização do efluente**

| Parâmetro | Resultado ($mg.L^{-1}$) |
|---|---|
| Sólidos Totais | 8434,40 |
| Sólidos Fixos | 492 |
| Sólidos Voláteis | 8429,48 |
| DQO | 31147 |
| Nitrogênio Total | 46 |

**Fonte: Autoria própria (2023)**

Com base nos resultados obtidos na análise de sólidos totais, fixos e voláteis, partindo de uma amostra de efluente real, conclui-se que a concentração de sólidos totais está muito elevada, tendo em base as diretrizes de lançamento de efluentes líquidos estabelecidas pela Conama, a qual permite uma concentração máxima de 500 $mg.L^{-1}$ (BRASIL, 2011). Pelo seguinte resultado, percebe-se uma poluição significativa na amostra de efluente, o que representa um risco para o ambiente.

Por consequência a alta proporção de sólidos voláteis em relação aos sólidos totais, como indicado pelo valor obtido da DQO (Demanda Química de Oxigênio) de 31.147 $mg.L^{-1}$ sugere uma associação a presença de matéria orgânica na amostra (BRASIL, 2005). Conclui-se que a amostra de efluente contém uma alta quantidade substancial de matéria orgânica, podendo ter origem advinda de um corante têxtil, assim como os utilizados no presente estudo.

Foi determinada uma concentração de 46 $mg.L^{-1}$ de nitrogênio total presente no efluente, indicando a necessidade de um tratamento adequado para o mesmo, visando reduzir essa carga poluente. Vale destacar que o tratamento de nitrogênio deve estar em conformidade com as regulamentações ambientais estabelecidas pelo órgão competente, no caso do Brasil, com o Conselho Nacional do Meio Ambiente

(Conama). De acordo com a Resolução CONAMA n° 357/2005, que estabelece as diretrizes e padrões para o lançamento de efluentes líquidos no meio ambiente, em águas doce, o valor de nitrogênio total (após oxidação) não deverá ultrapassar 1,27 mg/L para ambientes lênticos e 2,18 mg/L para ambientes lóticos.

Ao final do estudo, percebe-se a necessidade de tratamento adequado do efluente, com finalidade de reduzir a concentração de sólidos totais, fixos e voláteis, atendendo assim às diretrizes ambientais. Isso tudo visa minimizar os possíveis danos ao meio ambiente.

## 6 CONCLUSÃO

Em conclusão, os resultados deste estudo demonstraram de maneira promissora a eficácia do fungo *P. chrysosporium* na degradação de corantes têxteis. Ao utilizar três tipos diferentes de corantes, observou-se consistentemente uma redução significativa na concentração dos corantes e uma diminuição da eficiência dos mesmos. Até mesmo nos testes com efluente real, onde a carga química interferiu no crescimento do fungo, pode-se observar uma redução na absorbância, o que nos indica que houve a diminuição do corante analisado na faixa de onda observada. Notou-se a formação de aglomerados de micélio nos meios, que se comportaram como adsorventes dos corantes, reduzindo ainda mais a concentração dos corantes no meio sintético. Esta questão poderá ser melhor investigada em estudos posteriores de capacidade de a adsorção de químicos por fungos.

Através da análise dos dados coletados, ficou evidente que o fungo *P. chrysosporium* possui uma capacidade intrínseca de degradar uma variedade de corantes têxteis. Essa característica versátil torna-o uma opção conveniente para aplicações futuras na indústria têxtil, com potencial para mitigar os efeitos ambientais negativos associados à liberação desses corantes no meio ambiente.

Com base nos resultados eficazes deste estudo, surgem várias sugestões para trabalhos futuros nas áreas de biorremediação e tratamento de efluentes com presença de corantes. Estudos de otimização de cultivo, explorando diferentes parâmetros para determinar as condições ideais de cultivo do *P. chrysosporium,* buscando sua máxima eficiência na degradação de corantes. Investigar a aplicabilidade da degradação em escala industrial, levando em conta a viabilidade econômica e aplicando estudos de escalonamento. Buscar, também, outras aplicações, explorando ainda mais a capacidade do fungo *P. chrysosporium* na degradação de outros compostos orgânicos presentes em efluentes industriais. E por último, investigar a possibilidade de combinar o fungo com outros microrganismos, buscando potencializar a degradação de corantes e assim ampliando a eficiência do tratamento de efluentes.

# REFERÊNCIAS

ALMEIDA, É. J. R.; DILARRI, G.; CORSO, C. R. **A indústria têxtil no Brasil:** uma revisão dos seus impactos ambientais e possíveis tratamentos para os seus efluentes. 2017. Departamento de Bioquímica e Microbiologia, Universidade Estadual Paulista (UNESP), Rio Claro. Acesso em: 23/06/2022.

ARAVIND, P.; SELVARAJ, H.; FERRO, S.; SUNDARAM, M. **Integrated (electro- and bio-oxidation) approach for remediation of industrial wastewater containing azo-dyes:** Understanding the degradation mechanism and toxicity assessment. Journal of Hazardous Material, v. 318, p. 203-215, 2016.

ARSLAN-ALATON, I.; GURSOY, B. H.; SCHMIDT, J. E. **Advanced oxidation of acid and reactive dyes:** Effect of Fenton treatment on aerobic, anoxic and anaerobic processes. Dyes and Pigments, v. 78, p. 117-130, 2008. Acesso em 23/06/2022.

BABU, A. G. et al. **Bioremediation of polycyclic aromatic hydrocarbons (PAHs):** Current practices and outlook. Em: Microorganisms for Sustainability. Singapore: Springer Singapore, 2019. p. 189–216. Acesso em 23/06/2022.

BELTRAME, Leocádia Terezinha Cordeiro. **Caracterização de Efluente Têxtil e Proposta de Tratamento.** 2000. 179 f. Dissertação (Mestrado em Pesquisa e Desenvolvimento de Tecnologias Regionais) - Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal, 2000.

BRASIL. Conselho Nacional do Meio Ambiente. **Resolução CONAMA nº 430, de 13 de maio de 2011.** Dispõe sobre condições e padrões de lançamento de efluentes, complementa e altera a Resolução no 357, de 17 de março de 2005. Diário Oficial da União, Brasília, DF, 16 mai. 2011. Acesso em: 15 mai. 2023.

BRASIL. Ministério do Meio Ambiente. Conselho Nacional do Meio Ambiente. **Resolução CONAMA nº 357, de 17 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. Diário Oficial da União, Brasília, DF, 18 mar. 2005. Acesso em: 15 mai. 2023.

BURKINSHAW, S.; SALIHU, G. **The wash-off of dyeing using interstitial water Part 4:** disperse and reactive dye on polyester/cotton fabric. Dyes and Pigments, v. 99, p. 548-560, 2013. Acesso em: 25 mai. 2022.

DA SILVA, Karla Mayara Lima et al. **Degradação de corante azo em efluente sintético de indústria têxtil por aspergillus niger an 400 em reatores em batelada.** Conexões-Ciência e Tecnologia, v. 4, n. 2, p. 25-34, 2010. Acesso em: 21/6/2022.

EICHLEROVÁ, I.; HOMOLKA, L.; NERUD, F. **Synthetic dye decolorization capacity of white rot fungus Dichomitus squalens.** Bioresource Technology, v. 97, n. 16, p. 2153-2159, 2006. Acesso em: 21/6/2022.

FONTANA, K. B.; CHAVES, E. S.; SANCHEZ, J. D. S.; et al. **Textile dye removal from aqueous solutions by malt bagasse:** Isotherm, kinetic and thermodynamic studies. Ecotoxicology and Environmental Safety, v. 124, p. 329–336, 2016. Acesso em: 21/6/2022.

FUJITA, M.; JORENTE, M. J. V. **A Indústria Têxtil no Brasil: uma perspectiva histórica e cultural.** Modapalavra e-periódico, Florianópolis, v. 8, n. 15, p. 153 - 174, 2015. Acesso em: 23 jun. 2022.

GUARANTINE, C. C. I., & Zanoni, M. V. B. (2000). **Corantes têxteis.** Química Nova, 23(1), 71–78. Acesso em 23/06/2022.

HORVAT, A. J. M.; PETROVIC, M.; BABIC, S.; PAVLOVIC, D. M.; ASPERGER, D.; PELKO, S.; MANCE, A. D.; KASTELAN-MACAN, M. **Analysis, occurrence and fate anthelmintcs and their transformation products in the environment.** Trends in Analytical Chemistry, v. 31, p. 61-24, 2012. Acesso em 23/06/2022.

LEAL, Claudia. M. S. **Solubilidade de corantes azo.** Dissertação de Mestrado em Química Industrial – Universidade da Beira Interior, Covilhã. 2011. Acesso em 23/06/2022.

L'OPEZ, Sara Casado et al. **Functional diversity in Dichomitus squalens monokaryons.** IMA fungus, v. 8, n. 1, p. 17-25, 2017. Acesso em: 22 jun. 2022.

MATIAS, W. G. **Universidade federal de Santa Catarina centro tecnológico departamento de engenharia sanitária e ambiental disciplina:** ens 7006 - qualidade de água. Disponível em: https://limaens.paginas.ufsc.br/files/2019/01/S%C3%B3lidos.pdf. Acesso em: 18 jun. 2023.

MENDES, C. R.; DILARRI, G.; PELEGRINI, R. T. **Aplicação da biomassa Saccharomyces cerevisiae como agente adsorvente do corante Direct Orange 2GL e os possíveis mecanismos de interações adsorbato/adsorvente.** Matéria (Rio de Janeiro), v. 20, n. 4, p. 898-908, 2015. Acesso em: 07 abr. 2022.

MINOTTO, E.; ZIPPERER, M. **Avaliação in vitro do potencial de biodegradação de mancozeb pelo fungop. Chrysosporiumhrysosporium em substrato para biobed.** Seminário de Iniciação Científica e Seminário Integrado de Ensino, Pesquisa e Extensão, [S. l.], p. e22428, 2019. Acesso em: 23 jun. 2022.

N°, R. C.; DE MARÇO DE, D. E. 17. **Alterada pelas resoluções CONAMA n° 393/2007, n° 397/2008, n° 410/2009 e n° 430/2011.** Disponível em: https://www.icmbio.gov.br/cepsul/images/stories/legislacao/Resolucao/2005/res_conama_357_2005_classificacao_corpos_agua_rtfcda_altrd_res_393_2007_397_2008_410_2009_430_2011.pdf. Acesso em: 13 jun. 2023.

NUNES, Carlos Simões; MALMLÖF, Kjell. **Enzymatic decontamination of antimicrobials, phenols, heavy metals, pesticides, polycyclic aromatic hydrocarbons, dyes, and animal waste.** In: Enzymes in human and animal nutrition. Academic Press, 2018. p. 331-359. Acesso em: 13 nov. 2022.

NUNES, Giovanna Ribeiro. **Geração e Tratamento de Efluentes da Indústria Têxtil.** 2019. 69 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Química) – Universidade Federal de Uberlândia, Uberlândia, 2019. Acesso em: 13 nov. 2022.

PAPIC, S. **Removal of some reactive dyes from synthetic wastewater by combined Al(III) coagulation/carbon adsorption process.** Dyes and Pigments, v. 62, n. 3, p. 291–298, 2004. Acesso em: 13 nov. 2022.

PEIXOTO, F. P., Marinho, G., & Rodrigues, K. (2013). **Corantes têxteis:** uma revisão. Holos, 5, 98–106. Acesso em: 13 nov. 2022.

PEREIRA, A. R. B.; BUENO, F. L.; SANTOS, S. C.; LIMA, C. A. A.; DIAS, A. L. T. **Biodegradação de corantes e efluentes têxteis por fungos.** Holos Environment, v. 10, n. 2, p. 165, 2010. Acesso em: 21/6/2022.

PEREIRA, A. R. Brandão; DE FREITAS, D. A. F. **Uso de micro-organismos para a biorremediação de ambientes impactados.** Revista Eletrônica em Gestão, Educação e Tecnologia Ambiental, p. 995-1006, 2012. Acesso em: 13 nov. 2022.

PINTO, Waldir de Deus; PINTO, Waldir de Deus; ALMEIDA, Marília de. **Resolução CONAMA nº 237 de 19 de dezembro de 1997.** Regulamenta os aspectos de licenciamento ambiental estabelecidos na Política Nacional do Meio Ambiente. Resoluções do CONAMA 1984 a 1999. 1999. Acesso em: 13 nov. 2022.

PIVELI, R. **Curso:** qualidade das águas e poluição: aspectos físico-químicos" aula 5 características físicas das águas: cor, turbidez, sólidos, temperatura, sabor e odor. Disponível em: https://repositorio.ufersa.edu.br/bitstream/prefix/7569/1/ThaisMAR_MONO.pdf. Acesso em: 19 mai. 2022.

PIZATO, Everton et al. **Caracterização de efluente têxtil e avaliação da capacidade de remoção de cor utilizando o fungo Lasiodiplodia theobromae MMPI.** Engenharia Sanitaria e Ambiental, v. 22, p. 1027-1035, 2017. Acesso em: 19 mai. 2022.

SANTOS, G. E.; PESSOA, K. A. R. **Tratamento biológico de elfuente têxtil sintético, utilizando inóculo fúngico de Trametes versicolor**. PRPI — Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Ceará IFCE. Acesso em: 19 mai. 2022.

RICACZESKI, Cecilia Claudete et al. **Estudo da remoção da cor de um efluente industrial a partir do fungo P. chrysosporium**. Acesso em: Acesso em: 22 jun. 2022.

SARATALE, R. G.; SARATALE, G. D.; CHANG, J. S.; GOVINDWAR, S. P. **Bacterial decolorization and degradation of azo dyes: A review**. Journal of the Taiwan institute of Chemical Engineers, v. 42, p. 138-157, 2011. Acesso em: 23/06/2022.

SILVA, LUCIANA RODRIGUES. **Biossorção do corante laranja solimax tgl 182% utilizando a torta de chia.** Acesso em: 23/06/2022.

SOUZA, Aline Francisca; ROSADO, Fábio Rogério. **Utilização de Fungos Basidiomicetes em Biodegradação de Efluentes Têxteis**. Revista em agronegócio e meio ambiente, v. 2, n. 1, p. 121-139, 2009. Acesso em: 22 jun. 2022.

VELOSO, L. de A. **Dossiê técnico: corantes e pigmentos**. Serviço Brasileiro de Respostas Técnicas, 2012. Acesso em: 22 jun. 2022.

ZANONI, MARIA V. BOLDRIN; YAMANAKA, HIDEKO. **Caracterização química, toxicológica, métodos de detecção e tratamento**. 2016. Acesso em: 22 jun. 2022

ZANUTTO, Adriane; SILVA, Bruna Cassia da. **Avaliação do bagaço de malte como biossorvente do corante Amarelo Reafix B2R. 2016**. 81 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação) - Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Ponta Grossa, 2016. Acesso em: 22 jun. 2022

ZHANG, Hao et al. **Characterization of a manganese peroxidase from white-rot fungus Trametes sp. 48424 with strong ability of degrading different types of dyes and polycyclic aromatic hydrocarbons**. Journal of hazardous materials, v. 320, p. 265-277, 2016. Acesso em: 22 jun. 2022

## ANEXO A - Lei n. 9.610, de 19 de fevereiro de 1998

Presidência da República
Casa Civil
Subchefia para Assuntos Jurídicos

# LEI Nº 9.610, DE 19 DE FEVEREIRO DE 1998[1].

Altera, atualiza e consolida a legislação sobre direitos autorais e dá outras providências.

**O PRESIDENTE DA REPÚBLICA** Faço saber que o Congresso Nacional decreta e eu sanciono a seguinte Lei:

## Título I - Disposições Preliminares

Art. 1º Esta Lei regula os direitos autorais, entendendo-se sob esta denominação os direitos de autor e os que lhes são conexos.

Art. 2º Os estrangeiros domiciliados no exterior gozarão da proteção assegurada nos acordos, convenções e tratados em vigor no Brasil.

Parágrafo único. Aplica-se o disposto nesta Lei aos nacionais ou pessoas domiciliadas em país que assegure aos brasileiros ou pessoas domiciliadas no Brasil a reciprocidade na proteção aos direitos autorais ou equivalentes.

Art. 3º Os direitos autorais reputam-se, para os efeitos legais, bens móveis.

Art. 4º Interpretam-se restritivamente os negócios jurídicos sobre os direitos autorais.

Art. 5º Para os efeitos desta Lei, considera-se:

I - publicação - o oferecimento de obra literária, artística ou científica ao conhecimento do público, com o consentimento do autor, ou de qualquer outro titular de direito de autor, por qualquer forma ou processo;

II - transmissão ou emissão - a difusão de sons ou de sons e imagens, por meio de ondas radioelétricas; sinais de satélite; fio, cabo ou outro condutor; meios óticos ou qualquer outro processo eletromagnético;

III - retransmissão - a emissão simultânea da transmissão de uma empresa por outra;

IV - distribuição - a colocação à disposição do público do original ou cópia de obras literárias, artísticas ou científicas, interpretações ou execuções fixadas e fonogramas, mediante a venda, locação ou qualquer outra forma de transferência de propriedade ou posse;

V - comunicação ao público - ato mediante o qual a obra é colocada ao alcance do público, por qualquer meio ou procedimento e que não consista na distribuição de exemplares;

VI - reprodução - a cópia de um ou vários exemplares de uma obra literária, artística ou científica ou de um fonograma, de qualquer forma tangível, incluindo qualquer armazenamento permanente ou temporário por meios eletrônicos ou qualquer outro meio de fixação que venha a ser desenvolvido;

VII - contrafação - a reprodução não autorizada;

VIII - obra:

a) em co-autoria - quando é criada em comum, por dois ou mais autores;

b) anônima - quando não se indica o nome do autor, por sua vontade ou por ser desconhecido;

c) pseudônima - quando o autor se oculta sob nome suposto;

d) inédita - a que não haja sido objeto de publicação;

e) póstuma - a que se publique após a morte do autor;

f) originária - a criação primígena;

g) derivada - a que, constituindo criação intelectual nova, resulta da transformação de obra originária;

h) coletiva - a criada por iniciativa, organização e responsabilidade de uma pessoa física ou jurídica, que a publica sob seu nome ou marca e que é constituída pela participação de diferentes autores, cujas contribuições se fundem numa criação autônoma;

i) audiovisual - a que resulta da fixação de imagens com ou sem som, que tenha a finalidade de criar, por meio de sua reprodução, a impressão de movimento, independentemente dos processos de sua captação, do suporte usado inicial ou posteriormente para fixá-lo, bem como dos meios utilizados para sua veiculação;

IX - fonograma - toda fixação de sons de uma execução ou interpretação ou de outros sons, ou de uma representação de sons que não seja uma fixação incluída em uma obra audiovisual;

X - editor - a pessoa física ou jurídica à qual se atribui o direito exclusivo de reprodução da obra e o dever de divulgá-la, nos limites previstos no contrato de edição;

XI - produtor - a pessoa física ou jurídica que toma a iniciativa e tem a responsabilidade econômica da primeira fixação do fonograma ou da obra audiovisual, qualquer que seja a natureza do suporte utilizado;

XII - radiodifusão - a transmissão sem fio, inclusive por satélites, de sons ou imagens e sons ou das representações desses, para recepção ao público e a transmissão de sinais codificados, quando os meios de decodificação sejam oferecidos ao público pelo organismo de radiodifusão ou com seu consentimento;

XIII - artistas intérpretes ou executantes - todos os atores, cantores, músicos, bailarinos ou outras pessoas que representem um papel, cantem, recitem, declamem, interpretem ou executem em qualquer forma obras literárias ou artísticas ou expressões do folclore.

Art. 6º Não serão de domínio da União, dos Estados, do Distrito Federal ou dos Municípios as obras por eles simplesmente subvencionadas.

---

[1] Disponível em: http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/leis/l9610.htm.