

---

## Biodegradação e biorremediação de efluentes têxteis (corantes sintéticos)

Josiane Rodrigues Rocha da Silva, Lilian Gavazzoni, Ana Paula Ferreira, Gabriel Dorozo Bersanette, Rosane Marina Peralta

<https://doi.org/10.4322/mp.978-65-84548-03-9.c6>

### Resumo

A degradação ambiental advinda das mais diferentes fontes poluentes, tem causado grande desequilíbrio e consequências nocivas para os seres vivos. As indústrias têxteis têm apresentado grande importância econômica, porém também contribuem amplamente com a contaminação ambiental, que em sua maioria são resíduos oriundos dos corantes sintéticos. Dos corantes empregados na indústria têxtil, os azo corantes são os mais utilizados, pois apresentam resultado ideal no tingimento, baixo custo, facilidade de aplicação e a variedade de cores. Apesar das exigências da legislação atual quanto às normas para o tratamento de efluentes, ainda existe a descarga de resíduos tóxicos proveniente das indústrias têxteis, liberados diretamente no ambiente, que afetam negativamente o ecossistema aquático. Desta forma a biorremediação vem ganhando cada vez mais importância, por ser considerada alternativa ecologicamente correta na degradação de efluentes com corantes têxteis, devido aos menores custos em sua aplicação, à sua elevada eficiência e por apresentarem uma menor poluição secundária. Diversos organismos como bactérias e fungos, possuem atividades catalíticas específicas que podem ser utilizadas para recuperar ambientes contaminados, devido ao potencial enzimático sintetizado por eles, como as enzimas ligninolíticas, lacases, manganês peroxidases e lignina peroxidases. Para o futuro próximo, espera-se que o potencial biorremediador e biotecnológico possa ser aplicado em larga escala, cujo objetivo é amenizar e/ou erradicar o uso de métodos químicos, viabilizando a saúde dos seres vivos presentes em águas residuais têxteis.

**Palavras chaves:** Indústria têxtil, Xenobióticos, Microrganismos, Enzimas ligninolíticas.

### Abstract

The environmental degradation coming from the most different pollutant sources has caused great unbalance and harmful consequences for the life on earth. The textile industries have presented great economic importance, but they have also contributed widely to the environmental contamination, which is composed mainly by residues derived from synthetic dyes. Of the dyes used in the textile industry, the azo dyes are the most used, because they present ideal results in dyeing, low

cost, easyness to use and in the variety of colors. Despite the requirements of the current legislation regarding the standards for the treatment of effluents, there is still discharge of toxic waste by the textile industries. Direct release into the environment negatively affects the aquatic ecosystem. In this way bioremediation has been gaining more and more importance, as it represents an ecologically correct alternative for the degradation of the effluents from the textile industry. This occurs because of the lower costs in its application, its high efficiency and because it presents less secondary pollution. Several organisms, such as bacteria and fungi, have specific catalytic activities that can be used to recover contaminated environments. This is due to their enzymatic potential which consists in the ligninolytic enzymes laccase, manganese peroxidase and lignin peroxidase. For the near future, it is expected that bioremediation and biotechnological potential can be applied on a large scale with the aim at mitigating and/or eradicating the use of chemical methods. This would be highly beneficial to the organisms living in textile wastewater.

**Keywords:** Textile industry, Xenobiotics, Microorganisms, Lignolytic enzymes.

## 1. Introdução

A contaminação das águas pode ser considerado um dos maiores problema ambientais da atualidade, devido ao crescimento populacional e ao aumento da atividade industrial, sendo que o setor têxtil apresenta um especial destaque, devido a sua grande capacidade de poluição, gerando grandes volumes de efluentes, tendo como consequência a produção e disponibilidade de diversas substâncias potencialmente tóxicas e a geração de subprodutos nocivos ao ambiente.

Mais de 700.000 toneladas de corantes são produzidas anualmente para uso nas indústrias têxteis (BURKINSHAW; SALIHU, 2013). Durante a produção e consumo, cerca de 10% destes corantes são descartados em efluentes, causando diversos problemas ambientais (GHAZI MOKRI et al., 2015).

No Brasil, assim como na maioria dos países da América Latina, a avaliação da qualidade de um efluente baseava-se apenas em suas características físico-químicas, porém, em 2005 foi publicada a Resolução CONAMA nº 357, impõem padrões para lançamento de efluentes industriais, levando em consideração o potencial tóxico desse efluente (BRASIL, 2005). Desta forma, em 2011, foi publicada a Resolução nº 430 do CONAMA, que altera e complementa a Resolução nº 357, estabelecendo parâmetros de toxicidade e exigindo o cumprimento das exigências, pelos órgãos ambientais estaduais,

(BRASIL, 2011), contudo o Brasil é um dos poucos países que ainda não possui uma norma específica para efluentes têxteis, (ABIT, 2015).

Alguns países, já possuem regras, quanto a toxicidade de substâncias têxteis, como por exemplo, nos EUA existe a norma CPSIA (The Consumer Product Safety Improvement Act), na Europa existe REACH (Evaluation, Authorisation and Restriction of Chemical substances), e no Japão também há um controle rígido quanto a utilização de substâncias nocivas em têxteis (ABIT, 2015). Entretanto as legislações sobre a questão de lançamentos de efluentes, podem mudar, de acordo com cada País ou até mesmo de cada estado, sendo mais ou menos flexíveis, estabelecendo na maioria das vezes, limites de DQO e DBO para liberação de efluentes em corpos d'água.

Segundo a Gotex (2020), atualmente, mais que 50% de toda produção têxtil, vem da China, sendo as demais produções provenientes da Índia, EUA, Paquistão e Brasil em 5º lugar, com 2,40% da produção, em um setor que cresce continuamente, aumentando também a degradação ambiental, portanto são necessários meios de tratamento e recuperação desses efluentes, um desses meios é a biorremediação.

Desta forma o objetivo deste trabalho foi revisar aspectos relacionados à biodegradação/biorremediação de efluentes têxteis, discorrendo sobre os corantes têxteis e suas implicações no ambiente, o processo de biodegradação, microrganismos utilizados, enzimas lignolíticas e panorama mundial da utilização da biotecnologia para o processo de biorremediação.

## **2. Metodologia**

Para a seleção dos artigos, e-books, teses, dissertações, entre outros, foram realizadas pesquisas em bases de dados online, sendo elas: Google Acadêmico, ScienceDirect, Scopus, Web of Science, Scielo, periódicos da Capes. Foram utilizados descritores em português (efluentes têxteis, biorremediação, biodegradação, microrganismos biorremediadores) e em inglês (textiles efluentes, bioremediation, biodegradation, bioremediator microorganisms) preferencialmente entre os anos de 2011 a 2021.

### **3. A indústria têxtil e o meio ambiente**

#### **3.1 História da indústria Têxtil**

As primeiras fibras utilizadas pelo homem na antiguidade foram o linho e algodão, e as de origem animal a lã e a seda. Estas matérias primas eram utilizadas como proteção para o homem. Os primeiros tecidos surgiram através do manuseio das fibras com os dedos, entrelaçando os fios criando assim os primeiros cestos e os primeiros têxteis, sendo considerado uma das artes mais antigas do homem (PEZZOLO, 2019).

De acordo com Costa (2000), o primeiro documento que comprova a manufatura de tecidos no Brasil é a carta de Pero Vaz de Caminha, onde há referência a “uma mulher moça com um menino ou menina ao colo, atado com um pano não sei de quê aos peitos”. Portanto os índios já manufaturavam o algodão antes da chegada dos portugueses (STEIN 1979).

A Revolução industrial aconteceu na Inglaterra, por volta de 1760, foi um período de grandes transformações na maneira como os produtos eram feitos. Nesse momento, foi quando se iniciou o uso de máquinas para a confecção de tecidos e a área têxtil passou a ser o setor de maior lucro no país. (SILVEIRA e SANTANA, 1990).

No início do período colonial brasileiro havia uma rentável cultura algodoeira no norte e nordeste do país, e diversas manufaturas têxteis que iniciavam um processo de industrialização, porém somente no final do século XIX a indústria têxtil brasileira se desenvolveu de fato, com a suspensão das tarifas alfandegárias sobre a importação de maquinário que serviu de estímulo para a criação de tecelagem e fiação de algodão (FUJITA e JORENTE, 2015).

Assim como a manufatura de tecidos, os corantes existem desde o princípio da civilização, utilizado pelo homem há mais de 20 mil anos, sendo o negro-de-fumo o primeiro corante conhecido pela humanidade. A presença de corantes foi detectada também em mostras de tecidos proveniente de tumbas egípcias, datadas de 2500 a.c. (ZANONI; CARNEIRO, 2001).

Até meados do século XIX todos os corantes eram derivados de substâncias naturais extraídos de plantas ou animais (GUARATINI; ZANONI, 2000). O primeiro corante sintético foi descoberto inesperadamente por William H. Perkin em 1856. O corante chamado de Malva, foi obtido através da interação

da fenilamina e o dicromato de potássio, formando uma solução púrpura intensa. Essa descoberta foi o primeiro passo para a produção de corantes sintéticos em grande escala, proporcionando também uma corrida dos químicos para conseguir sintetizar e comercializar outros tipos de corantes (REZENDE et al., 2004).

### **3.2. Relação da indústria têxtil com o meio ambiente**

O setor têxtil assim como nos primórdios da industrialização, continua desempenhando um importantíssimo papel na economia, sendo responsável por grande parte dos recursos monetários do país e do mundo, porém, os resíduos das atividades industriais têxteis provocam grandes problemas ao meio ambiente, em especial aos recursos hídricos, (PEZZOLO, 2019).

Dentre esses resíduos, pode-se mencionar os efluentes descartados, que se caracterizam por apresentar elevada e variada carga de compostos químicos, destacando-se os corantes têxteis, que são os principais responsáveis pela poluição ambiental, desta atividade econômica, (GUARATINI; ZANONI, 2000).

Uma das agressões mais impactantes aos recursos hídricos é a falta de tratamentos dos efluentes têxteis, que muitas vezes são descartados nos corpos d'água sem nenhum tipo de cuidado, visto que os corantes são os resíduos predominante nesses efluentes, sendo compostos de difícil degradação e altamente tóxicos para os organismos, causando graves problemas ambientais (PIZATO et al., 2017).

A contaminação dos recursos hídricos por corantes têxteis interfere em vários processos biológicos, físicos e químicos do meio aquático, um dos problemas é a diminuição da capacidade da realização da fotossíntese, devido à presença de substâncias que dificultam a passagem da radiação solar, além das propriedades mutagênicas de diversas substâncias químicas (BRITO et al., 2018; QADRI e FAIQ, 2020).

Desta forma o impacto ambiental causado pelas indústrias têxteis tem estimulado mudanças na gestão das mesmas, onde o uso de novas ferramentas é necessário, com o intuito de minimizar estes impactos (MOURA, et al., 2015).

### 3. 4. Corantes têxteis

Os corantes são compostos orgânicos que possuem a propriedade de absorver luz no espectro visível de 400–700 nm, possuem pelo menos um cromóforo, que é responsável pela cor, possuem ainda uma estrutura com ligações duplas e simples alternadas e exibem ressonância de elétrons, que é uma força estabilizadora de compostos orgânicos (PANDE et al., 2019). Além dos cromóforos, a maioria dos corantes também contém grupos conhecidos como auxiliares de cor, cujos exemplos são os grupos: ácido carboxílico, ácido sulfônico, amino e hidroxila, (SILVA, 2012).

Os corantes orgânicos podem ser dividido em, corantes e pigmentos. Os corantes são solúveis em água ou em um solvente orgânico, enquanto os pigmentos são insolúveis nos dois tipos de meios líquidos (COLOUR INDEX 2015).

De acordo com Zanoni e Yamanaka (2016), a fixação da molécula do corante às fibras ocorre através de reações químicas, e pode envolver basicamente quatro tipo de interações: interações iônicas, interações de hidrogênio, interações covalentes e interações de Van der Waals.

- **Interações iônicas:** baseada em interação entre o centro positivo dos grupos aminos e carboxilato presentes na fibra e a carga iônica da molécula do corante.
- **Interações de hidrogênio:** ocorrem entre átomos de hidrogênio covalente, ligados a molécula do corante e pares de elétrons livre de átomos doadores em centros presentes na fibra.
- **Interações covalentes:** proveniente da ligação covalente entre a molécula do corante contendo grupo reativo (grupo eletrofílico) e resíduos nucleofílicos da fibra.
- **Interações de Van der Waals:** representam a atração entre as moléculas de compostos não polares, quando estas se aproximam suficientemente. Devido a força de atração ser proporcional à área de possível contato, as moléculas se ligam às fibras, por causa da força de atração similar.

### 3.5. Classificação dos corantes

Os corantes podem ser classificados conforme sua estrutura química ou ainda de acordo com a forma de fixação da molécula do corante à fibra têxtil (MOSCOFIAN, 2009). Segue os principais grupos de corantes, de acordo com a forma de fixação:

**Corantes Reativos** - São corantes contendo um grupo eletrofílico (reativo) capaz de formar ligação covalente com grupos hidroxila das fibras celulósicas, com grupos amino, hidroxila e tióis das fibras protéicas e também com grupos amino das poliamidas. Existem numerosos tipos de corantes reativos, porém os principais contêm a função azo e antraquinona, como grupos cromóforos, e os grupos clorotriazinila e sulfatoetilsulfonila, como grupos reativos;

**Corantes Diretos** - Este grupo de corantes caracteriza-se como compostos solúveis em água capazes de tingir fibras de celulose (algodão, viscose, etc.) através de interações de van der Waals. Esta classe de corantes é constituída principalmente por corantes contendo mais de um grupo azo (diazo, triazo, etc.) ou pré-transformados em complexos metálicos. A grande vantagem desse grupo de corante é o alto grau de fixação na fibra do tecido e consequente diminuição do conteúdo do corante nas águas de rejeito. (SILVA, 2012).

**Corantes Ácidos** - O termo corante ácido corresponde a um grande grupo de corantes aniônicos portadores de um a três grupos sulfônicos. Estes corantes caracterizam-se por substâncias com estrutura química baseada em compostos azo, antraquinona, triarilmetano, azina, xanteno, ketonimina, nitro e nitroso, que fornecem uma ampla faixa de coloração e grau de fixação;

**Corantes Azóicos** - São corantes orgânicos sintéticos, insolúveis em água, caracterizados pela presença de um ou mais grupos do tipo azo (-N=N-) associado a anéis aromáticos. Na indústria têxtil, os corantes azóicos são utilizados principalmente na coloração de fibras naturais de algodão e fibras sintéticas de poliéster, onde durante o processo de tingimento, o corante é sintetizado diretamente sobre a fibra, resultando em alta fixação e elevada resistência à degradação (SILVA, 2012).

**Corantes a Cuba** - É uma grande e importante classe de corantes baseada nos índigos, tioindigóides e antraquinóides. Eles são aplicados praticamente insolúveis em água, porém, durante o processo de tintura, eles são reduzidos

com ditionito, em solução alcalina, transformando-se em um composto solúvel (forma leuco). Posteriormente, a subsequente oxidação pelo ar, peróxido de hidrogênio, etc., regenera a forma original do corante sobre a fibra;

**Corantes de Enxofre** - É uma classe de corantes que, após a aplicação, se caracterizam por compostos macromoleculares com pontes de polissulfetos ( $-S_n-$ ), os quais são altamente insolúveis em água. Estes corantes usualmente apresentam resíduos altamente tóxicos;

**Corantes básicos (catiônicos)** – as ligações iônicas são formadas entre o cátions da molécula do corante e os sítios aniônicos da fibra, sendo fortemente ligados e não migram facilmente. Possuem cores brilhantes e boa resistência (exceto em fibras naturais) e apresentam uma cartela de cores ilimitada.

**Corantes Dispersivos** - Constituem uma classe de corantes insolúveis em água aplicados em fibras de celulose e outras fibras hidrofóbicas através de suspensão (partículas entre 1 a 4 micras). Durante o processo de tintura, o corante sofre hidrólise e a forma originalmente insolúvel é lentamente precipitada na forma dispersa (finalmente dividido) sobre o acetato de celulose;

**Corantes Pré- Metalizados** - São úteis principalmente para tintura de fibras protéicas e poliamida. Os corantes são caracterizados pela presença de um grupo hidroxila ou carboxila na posição orto em relação ao cromóforo azo, permitindo a formação de complexos com íons metálicos. A desvantagem ecológica deste tipo de corante está associada ao alto conteúdo de metal (cromo) nas águas de rejeito;

**Corantes Branqueadores** - As fibras têxteis no estado bruto, por serem compostas primariamente de materiais orgânicos, apresentam como característica uma aparência amarelada, por absorver luz, particularmente na faixa de baixo comprimento de onda.

Na Tabela 1 podemos observar os principais tipos de substratos, os métodos de aplicação, os grupos cromóforos e alguns aspectos relevantes do tingimento das principais classes de corantes.

**Tabela 1.** Classificação de corante têxtil de acordo com a aplicação.

Classe	Principais tipos de substrato	Métodos de aplicação	Cromóforos relacionados	Principais características do tingimento
Reativos	Poliamida, lã, seda e Algodão.	Os sítios reativos do corante reagem com os grupos funcionais da fibra através de ligações covalentes sob influência do calor e pH.	Azo, antraquinona, ftalocianina, formazana e oxazina	Alta solubilidade, resistência à lavagem; processos de tingimento simples e cores brilhantes
Diretos	Algodão, viscose, seda e poliamida	Tingimento por adsorção via interações de Van der Waals, em banhos neutros ou ligeiramente alcalinos	Azo, diazo, ftalocianina, oxazina, metalizados e estilbenzeno	Alta solubilidade; alto rendimento no tingimento; melhorado pelo uso de eletrólitos, e pelas duplas ligações conjugadas na estrutura do corante.
Azoicos	Algodão, viscose, acetato de celulose e poliéster	Corantes insolúveis em água formados sobre os poros da fibra entre um agente de junção solúvel com afinidade pela fibra e um sal de diazônio também solúvel	Azo	Alto padrão de fixação; alta resistência à luz e umidade
Dispersos	Poliéster, acetato de celulose, acrílico e poliamida	Tingimento sob a forma de fina dispersão aquosa, muitas vezes aplicada com alta temperatura e pressão, com auxílio de agentes dispersantes.	Azo, antraquinona, nitrito, estirilico, benzodifuranona	Proporciona custo baixo, insolúvel em água e não iônicos; possui ampla gama de tonalidades, resistência à lavagem e a luz.
Ácidos ou aniônicos	Poliamida, lã, seda, couro e acrílico modificado	A fixação do corante à fibra acontece em meio neutro ou ácido através dos sítios aniônicos do corante com os sítios catiônicos da fibra via interação iônica, interação de Van der Waals ou pontes de hidrogênio	Azo (inclusive azo metalizado), antraquinona, trifenilmetano, triarilmetano, azina, xanteno, nitrito e nitroso	Podem ser de 3 tipos: apresentam-se como corantes aniônicos portadores de 1 a 3 grupos sulfônicos e por esta razão solúveis em água e que conferem a carga negativa ao corante; extensa gama de coloração e boa fixação
À Tina	Algodão, viscose e lã	Insolúveis em água são reduzidos à forma leuco solúvel com ditionito de sódio em meio alcalino.	Antraquinona, indigoides e tioindigoides	Conhecidos como corantes Vat; boa fixação com cores sólidas, porém baixa resistência a lavagem.
À Cuba	Algodão, viscose	Devido à falta de solubilidade são reduzidos a forma leuco com ditionito de sódio em banho alcalino com outros agentes. Após interação com fibra são oxidados e quando em contato com ar fixando-se à mesma.	Estruturas macromoleculares com pontes de polissulfeto originadas após tionação de intermediários orgânicos contendo grupos nitrito e amino.	Insolúveis em água; fornecem tons preto, verde oliva, azul marinho e marrom; baixo custo; boa fixação e resistência a lavagem, porém a tintura gera resíduos tóxicos
Pré-Metalizados	Lã, couro	Possui pouca ou nenhuma afinidade com fibra, porém se fixa a ela com adição de um mordente.	Azo e antraquinona	Cores diferenciadas em função do mordente; formação de complexo metálico; rejeitos tóxicos
Branqueadores óptico	Aplicado a todas as fibras	As fibras têxteis sofrem inicialmente tratamento para descolorimento e ficam com tonalidade amarelada, necessitando de tratamento com corantes brancos que neutralizam o tom amarelo.	Estilbenzenos, coumarina, naltalamida, pirazol, moléculas com grupos carboxílicos, azometino ou etilênicos aliados a sistemas benênicos, naltalênicos, pirênicos e anéis aromáticos	Estas fibras quando expostas a radiação UV brilham no escuro; estes corantes provocam reações alérgicas e rejeitos tóxicos.
Catiônico	Lã, seda, algodão, couro e fibras acrílicas. Pouca afinidade com fibras celulósicas	fixação do corante à fibra acontece através dos sítios catiônicos do corante com os sítios aniônicos da fibra via interação iônica, interação de van der Waals ou pontes de hidrogênio.	Polimetina, di e triarilmetina, antraquinona e azo	O termo "corantes básicos" é também usado para esta classe; são corantes solúveis em água; apresentam vasta variedades de cores; apresentam brilho, pouca resistência à luz; boa resistência à umidade, bom rendimento; baixo custo

Adaptado de: Zanoni e Yamanaka (2016).

### 3.6. Efluentes da indústria têxtil e sua toxicidade

Os efluentes têxteis interferem, totalmente, na qualidade ambiental dos ecossistemas aquáticos e da água para consumo humano (ALVIM et al., 2011). Por serem altamente coloridos o seu lançamento sem tratamento adequado nos corpos d'água em maior ou menor nível de concentração fatalmente interferirá na absorção de luz e oxigênio pelas plantas e animais aquáticos (GUARATINI e ZANONI, 2000). Para o tingimento de 1 kg de algodão, a indústria têxtil utiliza entre 0,6 a 0,8 Kg de NaCl, 30 a 60 g de corante e 70 a 150 L de água, resultando em águas residuais indesejáveis, devido a possibilidade de causar sérios problemas ambientais, por estarem associadas à corantes e seus produtos de decomposição (KUMAR, RAUT e BANDYOPADHYAY, 2016).

Além disso, por terem potencial de acumulação no meio, em razão da presença de metais e a outras substâncias nocivas provenientes dos produtos químicos empregados nos seus processos, seu descarte incorreto contribui para a contaminação dos mananciais e da água que é distribuída à população (GOMES et al., 2012; GUARATINI e ZANONI, 2000). Esses efluentes, possuem contaminantes quimicamente estáveis e de difícil degradação. São constituídos por uma elevada carga orgânica, sólidos suspensos e dissolvidos, vestígios de metais pesados como cromo (Cr), arsênio (As), cobre (Cu) e zinco (Zn) e por uma forte coloração, devido à presença de corantes que não se fixam à fibra dos durante os processos de tingimento (RAJASIMMAN, BABU e RAJAMOHAN, 2017; SANTHANAM et al., 2017; KULKARNI et al., 2018).

Os rejeitos de corantes de indústrias têxteis são majormente tóxicos, estudos recentes enfatizaram o efeito cancerígeno e propriedades mutagênicas dos corantes (KARTHICK et al., 2018), eles pode causar doenças alérgicas (CALISKANER et al.; 2011), e respiratórias (LEME et. al., 2015), doenças renais, dermatite, demência, diarreia, entre outras, pode se propagar através de água contaminada (KHAN e GHOURI 2011), além da perda da biodiversidade aquática, os corantes recalcitrantes ainda podem se acumular nos tecidos adiposos de animais aquáticos, principalmente peixes, que quando consumidos por humanos, levam à bioacumulação de substâncias no organismo (PANDE et al., 2019).

Os corantes sintéticos utilizados nas indústrias representam um grupo grande e complexo de compostos orgânicos que se diferem em origem, propriedade química e/ou física e nos processos de aplicação nos setores industriais (PAZ et al., 2017). A família dos azos corantes representa 70% de todo corante sintético que é produzido mundialmente. São compostos aromáticos complexos, com estrutura molecular grande, preparados pelo acoplamento entre um composto diazônio e uma anilina, fenol ou outro composto aromático. Possuem alto grau de estabilidade química, biológica e fotocatalítica, bem como resistência à ação do tempo, exposição à luz solar, microrganismos, água e sabão. A maioria é cancerígeno e/ou mutagênico para os seres humanos, fauna e flora (ALMEIDA, 2018).

### **3.7. Remazol Brilliant Blue R (RBBR - $C_{22}H_{16}N_2Na_2O_{11}S_3$ )**

Dentre os corantes sintéticos, um dos mais importantes utilizados na indústria têxtil é o RBBR, composto derivado do antraceno e representa uma classe importante dos organopoluentes tóxicos e recalcitrantes (PALMIERI, CENNAMO e SANNIA, 2005; RAHMAT e ALI, 2016). É um corante solúvel em água, com um bom equilíbrio hidrofílico/hidrofóbico e com grupos  $\beta$ -sulfaetilsulfonil reativos.

O RBBR foi um composto bastante utilizado no setor têxtil devido a sua característica em apresentar baixa degradabilidade e fácil aplicabilidade (TORGUT et al., 2017). Esse corante pode ser aplicado em tecidos como nylon, lã e seda, fornecendo uma ampla variedade de cores e tons brilhantes aos tecidos. Além disso, pode ser utilizado no tingimento de papel e couro, na indústria de alimentos, cosméticos e plásticos (RAHMAT; ALI, 2016).

Devido à estabilidade da sua composição química, esse corante não é facilmente degradado por produtos químicos ou processos físicos convencionais, sendo caracterizado como um organopoluente potencialmente tóxico e carcinogênico (RAHMAT; ALI, 2016). Entretanto, processos de degradação biológica utilizando microrganismos como os fungos, podem contribuir para a transformação deste poluente em intermediários menos tóxicos para o ambiente (ORZECOWSKI et al., 2018).

### **3.8. Corantes azo**

São os corantes mais utilizados nas indústrias têxteis, no entanto possuem difícil degradabilidade devido à ligação  $-N=N-$ , sendo classificados de acordo com o número de grupos azo presentes, monazo, diazo, triazo e poliazo, em altas concentrações ocasiona problemas respiratórios e danos ao ambiente (GOUD et al., 2020).

O amplo uso dessas substâncias tem sido atribuído à sua estrutura molecular, visto que a presença de cadeias orgânicas aromáticas e uma variedade de outros átomos que são usados na síntese atuam como estabilizadores de dupla ligação entre nitrogênios. Essas características contribuem para a durabilidade e versatilidade da molécula, possibilitando uma pigmentação duradoura e estável, resistência ao oxigênio e variações de temperatura e pH, além de assegurar uma distribuição eletrônica que garante a absorção da luz no espectro visível, fator-chave para a manipulação de corantes (SINGH; SINGH; SINGH, 2015).

As empresas realizam sua remoção dos efluentes através de métodos físicos e químicos, que embora deem resultado também são nocivos ao ambiente e podem gerar reduções tóxicas do corante. Mesmo não sendo muito difundido nas empresas, é desejável optar pela utilização de microrganismos para biodegradação desses compostos, sendo vantajoso por não ocasionar impactos no ambiente.

## **4. Tipos de tratamento existentes para indústria têxtil**

### **4.1. Processos e consequências do tratamento do rejeito têxtil**

Os efluentes têxteis podem ser tratados por processos físicos, químicos e biológicos. Os processos físicos principais são: sedimentação, decantação, adsorção, coagulação, floculação e filtração. Entretanto esses processos podem ter algumas desvantagens, como no caso da coagulação/floculação que geram grande quantidade de lodo tóxico, (ZANONI E YAMANAKA 2016), a adsorção mais usada, por carvão ativado, apresenta alto custo, (SAGGIORO, 2014), contudo uma das principais vantagens da adsorção é a total remoção da molécula do contaminante, não deixando nenhum subproduto tóxico no efluente (DILARRI et al., 2016). A filtração através de membranas, é uma tecnologia

muito usada atualmente, serve para concentrar, purificar e aumentar a qualidade do produto final, (ZANONI E YAMANAKA 2016), porém o alto investimento, e o fato desse processo não conseguir reduzir totalmente o teor de sólidos dissolvidos, torna o reuso da água inexecutável, sendo umas das desvantagens deste tratamento.

Os processos químicos mais comuns são os processos oxidativos, usado para a descoloração, por ser muito simples a aplicação, sendo eles o peróxido de hidrogênio ( $H_2O_2$ ), hipoclorito de sódio ( $NaClO$ ) e o ozônio ( $O_3$ ). Existem ainda os processos oxidativos avançados, (POAs), são muito eficientes devido ao alto potencial oxidante dos radicais hidroxilas, ( $OH$ ), contudo ainda pode ser considerado um sistema com alto custo. (SARATALE et al., 2011).

Os efluentes têxteis podem ser tratados também pelos processos biológicos, com a aplicação de microrganismos, onde a degradação dos corantes podem ocorrer por biossorção ou degradação enzimática, ou ainda pela combinação das duas formas, (SOLÍS et al., 2012), sendo uma alternativa de grande interesse de estudo e desenvolvimento, pois é ambientalmente favorável, economicamente viável.

#### **4.2. Biorremediação/biodegradação**

Biorremediação e biodegradação promovem a detoxificação do local ou a remoção de elementos contaminantes, via microrganismos vivos presentes no ambiente, que são capazes de converter as moléculas químicas complexas em moléculas mais simples (BURATINI, 2008; JACQUES, 2010; SOARES et al., 2011). Esses microrganismos utilizam essas moléculas como fonte de carbono, a fim de obter energia necessária ao seu crescimento e manutenção do metabolismo. Através desses processos os microrganismos modificam ou decompõem determinados poluentes, transformando os contaminantes em substâncias inertes ou menos poluentes (BURATINI, 2008; JACQUES, 2010; SOARES et al., 2011). A biodegradação pode levar a mudanças relativamente pequenas na molécula original, como a substituição ou a modificação de um grupo funcional, ou a completa destruição da molécula, tendo como resultado a sua conversão final em  $CO_2$ ,  $H_2O$  e sais inorgânicos, processo conhecido como mineralização (BURATINI, 2008).

Organismos de diferentes táxons, como bactérias e fungos, possuem atividades catalíticas específicas que podem ser utilizadas para recuperar ambientes contaminados, devido ao potencial enzimático sintetizado pelos mesmos (BALDANTONI et al., 2017). Estas características funcionais são adquiridas pela comunidade microbiana, através de eventos evolutivos na presença destes compostos tóxicos, fazendo com que o uso destas células microbianas seja considerado promissor em aplicações industriais e processos de biorremediação (PEREIRA; FREITAS, 2012).

Nas últimas décadas, a utilização de microrganismos em processos de degradação de contaminantes, tem sido proposta como uma abordagem promissora para recuperar ambientes poluídos, uma vez que é ecologicamente correta, eficiente e de melhor custo-benefício (BALDANTONI et al., 2017). Assim, a biorremediação surge como uma importante ferramenta voltada à redução e combate da contaminação e poluição de ambientes, sobretudo aqueles afetados por atividades industriais e quando empregados em etapas organizadas é de grande importância para a obtenção de uma maior eficiência nos resultados gerados (LACERDA, NAVONI e AMARAL, 2019).

Esta biotecnologia vem sendo utilizada há anos em vários países e, em certos casos, apresenta menor custo e maior eficiência na remoção dos contaminantes do que as técnicas físicas e químicas, sendo atualmente utilizada em escala comercial no tratamento de diversos resíduos e na remediação de áreas degradadas (BAMFORTH; SINGLETON, 2005; SOARES et al., 2011).

A biorremediação traz várias vantagens para quem adota essa técnica por ser um processo simples, de baixo custo em relação às técnicas já utilizadas, além de poder conduzir à total mineralização, resultando na eliminação permanente dos contaminantes ao invés de apenas transferir o contaminante de um meio para outro; pode ser realizada no local, evitando custos com transportes; por ser mediada por um mecanismo biológico, evita riscos associados com resíduos sintéticos perigosos; é eficiente em meios homogêneos e de textura arenosa e pode ser associada com outros métodos de tratamento por causar poucas mudanças nas características químicas, físicas e biológicas do meio ambiente (ANDRADE et al., 2010; NASCIMENTO et al., 2016; MATHEUS e MACHADO, 2002).

Já em relação às desvantagens, pode haver a existência de compostos recalcitrantes a biodegradação; o tempo de operação pode ser mais longo, comparado aos métodos físico-químicos de tratamento; a toxicidade do poluente pode inibir a atividade microbiana e a bioconversão dos poluentes pode resultar em produtos mais tóxicos que o composto original (ANDRADE et al., 2010; NASCIMENTO et al., 2016; MATHEUS e MACHADO, 2002).

No entanto, dependendo da complexidade do objeto contaminado, o sucesso da biorremediação depende de uma equipe multidisciplinar, envolvendo a integração de diversas áreas científicas, como engenharia, microbiologia, ecologia, geologia e química, onde o poluente deve ser analisado para que seja adotada o melhor planejamento nas diferentes etapas do processo (NASCIMENTO et al., 2016).

#### **4.3. Microrganismos utilizados**

A consciência acerca dos efeitos nocivos gerados pelos efluentes têxteis resultou no desenvolvimento de estratégias para limpar o ambiente contaminado, principalmente em processos de biorremediação que utilizam microrganismos como agente degradante. Uma alternativa promissora para redução ou eliminação de substâncias tóxicas, ao passo que é um processo de baixo custo e não causa danos ao meio ambiente (KUMAR et al., 2020).

Os microrganismos e suas enzimas podem ser utilizados *in situ* e *ex situ* sem atrapalhar seu desempenho no processo, esses podem atuar em condições aeróbias, anaeróbias e anóxicas, além de utilizar os corantes como fonte de carbono e nitrogênio, para descolorir até mesmo corantes complexos como os do tipo azo (JAMEE & SIDDIQUE, 2019). A remediação mediada por microrganismos, tais como bactérias, fungos, leveduras e microalgas são modulados por dois fatores, ambientais e nutricionais, sendo eles, agitação, oxigenação, pH, temperatura, sais solúveis, suplementos de carbono e nitrogênio, concentração do corante e sua estrutura (VARJANI et al., 2020).

Ocorrendo por adsorção na biomassa, método decorrente de quando o efluente é tóxico, não degradando o corante em fragmentos ou por biossorção, o rejeito recalcitrante é modificado e pode ser totalmente decomposto durante a biodegradação (JAMEE & SIDDIQUE, 2019).

### 4.3.1. Degradação mediada por bactérias

As bactérias são capazes de degradar os corantes em compostos menos tóxicos através de enzimas oxirredutivas, que quebram as moléculas de forma simétrica ou assimétrica, por meio de desaminação, dessulfonação e hidroxilação, facilitando a decomposição do corante. Enzimas mono e dioxigenase catalisam a incorporação de oxigênio no anel aromático de compostos orgânicos, e os corantes azo, a azoredutase catalisada também por oxigênio, apresenta papel fundamental para descoloração e quebra das ligações azo (LIN et al., 2010).

A enzima azoredutase de *Chromobacterium violaceum* (MTCC nº 2656) possui atividade em corantes do tipo azo, em amaranço, laranja e vermelho de metila, catalisando a reação de oxidação-redução em seu substrato azo. Quando purificada, possui uma atividade superior ao qual é observada durante a considerável redução na absorbância de NADH, demonstrando a degradação do corante, também comprovado através da análise de toxicidade em células de fibroblastos (VERMA et al., 2019).

*Pseudomonas aeruginosa* DDMZ1-2 é capaz de aumentar a degradação do corante preto reativo refratário 5 (RB5) quando frutose é fornecida como co-substrato, devido ao aumento da secreção e atividade da azoredutase extracelular, dependente das condições de incubação, pH e temperatura, chegando a taxa de 92% de descoloração viabilizando a aplicação em corantes azo refratários (ZHANG et al., 2021).

Diversas espécies de *Bacillus* apresentam potencial biorremediador em efluentes têxteis, como por exemplo, *Bacillus subtilis* extensivamente utilizada na biodegradação do corante vermelho reativo M5B (GUNASEKAR et al., 2013), *Bacillus cohnii* isolado RSK9 na degradação do vermelho do Congo através da enzima azoredutase, lacase, lignina peroxidase e manganês peroxidase (KISHOR et al., 2021) e *Bacillus subtilis* alcalifílico na degradação de corantes como o vermelho reativo, marrom reativo e preto reativo pela atividade enzimática da azoredutase intracelular (KRITHIKA et al., 2021).

As espécies podem atuar em culturas puras, ou seja, apenas uma espécie de bactéria é capaz de remediar os corantes sintéticos presentes no meio, caso sua atuação não for eficiente da forma desejada, seu efeito pode ser sinergizado

inoculando-a com outras bactérias, pressupondo uma possível mineralização do xenobiótico (GUO et al., 2021).

#### 4.3.2. Degradação mediada por fungos

Os fungos apresentam enzimas oxidorreduções extracelulares eficientes na degradação compostos aromáticos e lignina. Fungos filamentosos coletados direto de efluentes têxteis possuem atividade enzimática de amilase, celulase, lacase e lipase, que ajudam na descoloração do corante sintético Remazol Brilliant Blue R (RBBR) tanto em meio sólido quanto em meio líquido, sendo eles *Aspergillus* spp., *Cladosporium* sp., *Penicillium* spp., *Trichoderma* spp., variando de 5-85% na descoloração em concentrações de 500 e 1000 mg/L do composto através da atividade enzimática e adsorção pelo micélio (BERNAL et al., 2021).

Fungos causadores da podridão-branca apresentam um sistema enzimático inespecífico e não estereosseletivo, como a lignina peroxidase (LiP), peroxidase de manganês (MnP) e lacase. *Pleurotus ostreatus* e *Phanerochaete crisosporium* degradam diferentes corantes, como o vermelho ácido 88, preto reativo 5, orange reativo 16 e orange II, com essas enzimas em um potencial de degradação de até 100%, no entanto sua atividade é afetada em diferentes condições externas (ELISASHVILI & KACHLISHVILI, 2009; BELUCCI et al., 2021).

*Trichoderma tomentosum* é capaz de degradar efluentes têxteis do tipo azo em condições não estéreis graças à ação de enzimas extracelulares como a peroxidase de manganês e lignina peroxidase, com degradação de até 99% dos corantes Acid Red 3, Direct Fast Scarlet 4BS e Direct Turquoise Blue 5B, seja eles de forma isolada ou em conjunto, demonstrando-se um fungo filamentoso promissor para a biorremediação de águas residuais (HE et al., 2018).

A degradação por leveduras de corantes azo formam aminas correspondentes, devido a catalisação da clivagem reductiva dos grupos por enzimas azoredutases, ocorrendo em *Candida oleophila* e *Candida zeylanoides* (JAFARI et al., 2014). *Pichia pastoris* tem capacidade de degradar os corantes Acid Green 1 e Reactive Red 11, em diferentes condições nutricionais

demonstrando eficiência na remoção de cor, capacidade de absorção de corante e bioacumulação (SARAVANAN et al., 2021).

Além disso, a bioprospecção de microrganismos isolados de diferentes lugares, em particular os endófitos são bons degradadores ou estimulantes da biorremediação de corantes têxteis para tratamento de efluentes (AFZAL et al., 2014; LIMA et al., 2007; BULLA et al., 2017). Microrganismos endofíticos são fungos e bactérias que habitam o interior das plantas, principalmente nas partes aéreas, como folhas e caules, sem causar dano ao hospedeiro (AZEVEDO et al., 2000., SANTOS et al., 2019). Podendo ter diferentes atuações, seja no controle de doenças, promoção de crescimento vegetal, produção de metabólitos secundários, ou na biorremediação de áreas poluídas, aos quais têm sido objeto de estudos biotecnológicos (IKRAM et al., 2018; LI et al., 2018).

Compostos que ainda não são degradados por microrganismos, podem apresentar avanço nos estudos biotecnológicos através da identificação de genes desejáveis ou propriedades degradativas de espécies microbianas não cultiváveis através da construção de bibliotecas metagenômicas e, transferência dos mesmos para microrganismos cultiváveis objetivando uma biorremediação aprimorada, assegurando-se de sistemas de contenção dos microrganismos modificados (PAUL et al., 2005; MISHRA et al., 2020).

#### **4.3.3. Enzimas lignolíticas**

Dentro da biorremediação de efluentes têxteis, um dos principais resultados a serem esperados é a degradação dos corantes presentes nos corpos hídricos. Para tanto deve ser necessário a utilização de ferramentas para alcançar tal feito, uma das alternativas é a aplicação de enzimas, ou dos microrganismos capazes de sua produção, para que haja a degradação de tais compostos. Dentro dos grupos de enzimas mais utilizados existem as que chamamos de ligninolíticas, que são responsáveis pela degradação de lignina. (JANUSZ et al., 2017).

As enzimas ligninolíticas, ou ligninases, são enzimas que atuam na degradação da lignina por meio de oxirredução. Entre elas, estão as lacases, e peroxidases, com destaque para manganês peroxidases, lignina peroxidases (JANUSZ et al., 2017; NASCIMENTO et al., 2016). Estas enzimas são extracelulares e apresentam baixa especificidade pelos seus substratos, o que

torna os organismos produtores destas enzimas ainda mais atraentes para o tratamento de resíduos têxteis (NASCIMENTO et al., 2016).

O potencial de aplicação das enzimas ligninolíticas, é amplo, desde setores de biorrefinaria, em processos de deslignificação de biomassa lignocelulósica e detoxificação de compostos inibitórios à sacarificação e fermentação; em biorremediação, atuando na remoção e/ou degradação de poluentes ambientais; em tecnologias de grafting enzimático de biomoléculas em biomateriais, estendendo-se à indústria de alimentos, farmacêutica e biomédica, (SCHNEIDER, 2019).

Os principais produtores de enzimas ligninolíticas são os basidiomicetos causadores de podridão branca, porém os fungos filamentosos, capazes de degradar a parede celular das plantas, também são capazes de produzi-las e têm uma grande vantagem em relação aos basidiomicetos, pois são mais fáceis de serem cultivados e de terem suas enzimas extracelulares obtidas (CORRÊA et al., 2014).

Atualmente novas classes de peroxidases foram identificadas como descolorantes de corantes (DyPs), devido a sua capacidade de oxidar uma variedade de compostos corantes, em particular, corantes de antraquinona, que são pouco oxidados por outras peroxidases (MÄKELÄ et al., 2015).

## Lacases

As Lacases (Blue multicopper oxidases, EC 1.10.3.2) são enzimas catalisadoras de oxidação monoelétrica de substratos, geralmente fenóis e também outros compostos aromáticos, a partir da redução de oxigênio molecular e produzindo um radical livre instável. As lacases são pertencentes ao grupo de proteínas glicosiladas com ação ligninolíticas, que apresentam átomos de cobre em sua estrutura na região de sítio catabólico. São consideradas uma das mais importantes enzimas no quesito de degradação de lignina. (GAVNHOLT e LARSEN, 2002; JANUSZ et al., 2017; JEON et al., 2010; ZHANG, 2012).

Descoberta em 1883 por Yoshida em uma secreção leitosa de *Toxicodendron verniciflua* (antiga *Rhus vernicifera*), a lacase foi a primeira enzima a apresentar capacidade de degradação de lignina *in vitro*, o que determinou um papel importantíssimo para os organismos que as produzem (Mogharabi e Faramarzi, 2014; Gavnholt e Larsen, 2002). As lacases são

distribuídas em diversos grupos de seres vivos, como plantas, bactérias, fungos e insetos. A primeira Lacase bacteriana a ser descoberta era de uma bactéria associada a raiz *Azopirillum lipoferum*, onde estava relacionada na formação de melanina (VISWANATH et al., 2014).

As Lacases de origem fúngica são as mais estudadas e estão diretamente ligadas à degradação da lignina, patogênese, detoxificação, no desenvolvimento e morfogênese de fungos superiores. Para as plantas são responsáveis pela polimerização da lignina e na síntese de poliflavonóides. Já para os insetos são responsáveis por esclerotizar a cutícula vegetal. Para as bactérias são responsáveis pela coloração dos esporos e proteção contra UV. (GAVNHOLT, e LARSEN, 2002; JANUSZ et al., 2017; KATO-SCWARTZ et al., 2020).

O centro ativo de uma Lacase fúngica apresenta quatro átomos de cobre (II), com três classes de espectroscópica T1, T2 e T3. O cobre T1 apresenta absorção de banda de 610 nm e é responsável pela coloração azul da enzima. Os elétrons liberados pelo substrato são passados para o centro de T1 para T2/T3 presentes no centro de ativo da Lacases, que em seguida é direcionado para o oxigênio resultando na redução em água (POLAK e JAROSZ-WILKOŁAZKA, 2012).

São conhecidas por não apresentar uma especificidade de substrato, podendo oxidar diversas frações fenólicas encontradas na lignina, aminas aromáticas, benzenotióis e hidroxilindóis usando oxigênio molecular como aceptor de elétrons, que torna sua aplicação para degradação de corantes eficiente (JANUSZ et al., 2017).

### **Manganês peroxidases**

As enzimas manganês peroxidases são enzimas dependentes de  $Mn^{2+}$  para a redução de um composto, sendo capazes de abstrair elétrons apenas de estruturas fenólicas, diferentemente das ligninas peroxidases, que possuem resíduo de triptofano em sua cadeia, nas enzimas manganês peroxidases há um sítio de ligação de manganês. Em vários fungos essas enzimas geram  $Mn^{3+}$ , um oxidante muito importante e difundido. (COHEN, 2002).

## **Lignina peroxidases**

As enzimas lignina peroxidases oxidam substratos aromáticos fenólicos e não fenólicos, pela redução de um elétron com a formação de um radical catiônico. Pontos distintos da lignina são oxidados, sendo liberados diferentes subprodutos dependendo dos pontos de oxidação e enzimas que atuam sobre a lignina, (WONG, 2009). Em todas as enzimas lignina peroxidase, há um resíduo de triptofano na cadeia proteica, o que pode ser subentendido que esse triptofano atue como elo de transferência de elétrons com substratos aromáticos que não podem ter um contato direto com o grupo heme da enzima (AGUIAR & FERRAZ, 2011).

## **5. Perspectivas futuras e considerações finais**

Diversas empresas, principalmente aquelas relacionadas com consultorias e remediação ambiental, têm despertado grande interesse pela implantação da biorremediação como opção para a reabilitação de áreas contaminadas pela sua eficiência na degradação de diferentes classes de compostos tóxicos ao ser humano. Ressalta-se que as técnicas de biorremediação não estão amplamente difundidas, embora haja um imenso campo para sua expansão, considerando as condições climáticas do Brasil e suas vantagens em comparação aos métodos convencionais de remediação (NASCIMENTO et al., 2016).

Os compostos encontrados em efluentes têxteis são responsáveis por um problema mundial emergente, uma vez que os poluentes são de degradação árdua, resistentes e acumulam-se nos ecossistemas, graças a pesquisas e desenvolvimento tornou-se possível o tratamento microbiológico para eliminação dos corantes e produtos químicos tóxicos sem causar danos ao meio ambiente. As diferentes enzimas presentes nesses microrganismos podem ser isoladas e bioprospectadas quanto seu potencial biorremediador e biotecnológico para futuras aplicações em larga escala, cujo objetivo é amenizar e/ou erradicar o uso de métodos químicos, viabilizando a saúde dos seres vivos presentes em águas residuais têxteis.

## 6. Referências

ABIT, Brasil terá primeira Norma que limita uso de químicos danosos ao ser humano. Associação Brasileira da Indústria Têxtil e de Confecções. São Paulo, 2015. Disponível em: <<https://www.abit.org.br/noticias/brasil-tera-primeira-norma-que-limita-uso-de-quimicos-danosos-ao-ser-humano>>. Acesso em: nov/2021.

AGUIAR, A.; FERRAZ, A. Mecanismos envolvidos na biodegradação de materiais lignocelulósicos e aplicações tecnológicas correlatas. **Quím. Nova**. v.34, p. 1729-1738, 2011.

ALMEIDA, E. Avaliação da remoção de cor e toxicidade de azo corantes pelo emprego de tratamentos microbiológicos, adsorptivos e processos oxidativos avançados. **Microbiologia**, 2018.

ALVIM, L. B.; KUMMROW, F.; BEIJO, L. A.; LIMA, C. A. A.; BARBOSA, S. Avaliação da Citogenotoxicidade de efluentes têxteis utilizando *Allium cepa* L. **Revista Ambiente & Água - An Interdisciplinary Journal of Applied Science**, v.6, p.255-165, 2011.

ANDRADE, J. A. V.; AUGUSTO, F.; JARDIM, I. C. S; Biorremediação de solos contaminados por petróleo e seus derivados. **Eclética Química**, v. 35, n. 3, p. 17-43. 2010.

BALDANTONI, A. D. et al. Anthracene and benzo(a)pyrene degradation in soil is favoured by compost amendment: perspectives for a bioremediation approach. **Journal of Hazardous Materials**, 2017. <http://dx.doi.org/10.1016/j.jhazmat.2017.06.043>

BAMFORTH, S.; SINGLETON, I. Bioremediation of polycyclic aromatic hydrocarbons: current knowledge and future directions. **Journal of Chemical Technology and Biotechnology**, v.80, n.7, p.723-736, 2005.

BELUCCI, M.; MARAZZI, F.; MUSATTI, A.; FORNAROLI, R.; TUROLLA, A.; VISIGALLI, S. Assessment of anammox, microalgae and white-rot fungi-based processes for the treatment of textile wastewater. **Plos One**, v. 16, n. 3, e0247452, 2021. DOI: 10.1371 / journal.pone.0247452

BERNAL, S. P. F.; LIRA, M. M. A.; JEAN-BAPTISTE, J.; GARCIA, P. E.; BATISTA, E.; OTTONI, J. R.; PASSARINI, M. R. Z. Biotechnological potential of microorganisms from textile effluent: isolation, enzymatic activity and dye discoloration. **Anais da Academia Brasileira de Ciências**, v. 93, n. 4, 2021. DOI: 10.1590/0001-3765202120191581

BRASIL. **Ministério do Meio Ambiente. Conselho Nacional do Meio Ambiente - CONAMA**. Resolução do CONAMA n. 357, de 17 de março de 2005. Disponível em: Acesso em: nov./2021.

BRASIL. **Ministério do Meio Ambiente. Conselho Nacional do Meio Ambiente - CONAMA**. Resolução do CONAMA n. 430, de 13 de maio de 2011. Disponível em: Acesso em: nov./2021.

BRITO, M. J. P.; VELOSO, C. M.; SANTOS, L. S.; BONOMO, R. C. F.; FONTAN, R. D. C. I. Adsorption of the textile dye Dianix® royal blue CC onto carbons obtained from yellow mombin fruit stones and activated with KOH and H<sub>3</sub>PO<sub>4</sub>: kinetics, adsorption equilibrium and thermodynamic studies. **Powder technology**, v. 336, p. 1-49, 2018. doi:10.1016/j.powtec.2018.08.017

BURATINI, S. V. Biodegradação. In. ZAGATTO, P.; BERTOLETTI, E. **Ecotoxicologia Aquática, Princípios e Aplicações**. 2 ed, São Carlos: RiMa, p. 89-116, 2008.

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.

CALISKANER, Z.; KARTAL, O.; BAYSAN, A.; YESILLIK, S.; DEMIREL, F.; GULEC, M.; SENER, O. A case of textile dermatitis due to disperse blue on the surgical wound. **Human and Experimental Toxicology**, v. 31, n. 1, p. 101-103, 2011. doi.org/10.1177/09603271111424300

CELINO, J. J.; QUEIROZ, A. F. S. Fonte e grau da contaminação por hidrocarbonetos policíclicos aromáticos (HPAs) de baixa massa molecular em sedimentos da baía de Todos os Santos, Bahia. **Revista Escola de Minas**, b. 59, n, 3, 2006.

COHEN, R.; PERSKY, L.; HADAR, Y. Biotechnological applications and potential of wood degrading mushrooms of the genus *Pleurotus*. **Applied Microbiology and Biotechnology**. Berlim, v.58, p. 582-594, 2002.

COLOUR INDEX. Definitions of a dye and a pigment, 2015. Disponível em: <<http://www.colour-index.com/definitions-of-a-dye-and-a-pigment>>. Acesso em: nov./ 2021.

COSTA, S.; BERMAN, D.; HABIB, R. L. 150 anos da indústria têxtil brasileira. **Senai-Cetiqt/Texto&Arte**, Rio de Janeiro, 2000.

CORRÊA, R. C. G.; RHODEN, S. A.; MOTA, T. R.; AZEVEDO, J. L.; PAMPHILE, J. A.; SOUZA, C. G. M. POLIZELI, M. L. T.; BRACHT, A.; PERALTA, R. M. Endophytic fungi: expanding the arsenal of industrial enzyme producers. **Journal of Industrial Microbiology & Biotechnology**, v. 41, n. 10, p. 1467–1478, 2014. DOI: 10.1007/s10295-014-1496-2

DELLAMATRICE, P. M.; COSTA, L. S.; MARQUES, A. S.; VIANA, M. S.; ARAÚJO, R. S. Degradação de agrotóxicos por fungos basidiomicetos em solo agrícola contendo altos níveis de três produtos diferentes. Pesticidas: **Revista de Ecotoxicologia e Meio Ambiente**, V.22, p.7-16, 2012.

DILARRI, G.; DE ALMEIDA, É. J. R.; PECORA, H. B.; CORSO, C. R. Removal of Dye Toxicity from an Aqueous Solution Using an Industrial Strain of *Saccharomyces Cerevisiae* (Meyen). **Water, Air, & Soil Pollution**, v. 227, p. 269, 2016.

ELISASHVILI, V.; KACHLISHVILI, E. Physiological regulation of laccase and manganese peroxidase production by white-rot Basidiomycetes. **Journal of Biotechnology**, v. 144, n. 1, p. 37-42, 2009. DOI: 10.1016/j.jbiotec.2009.06.020

FUJITA, R. M. L.; JORENTE, M. J. A Indústria Têxtil no Brasil: uma perspectiva histórica e cultural. **ModaPalavra e-periódico**, v. 8, n. 15, p.153-174, 2015.

GAVNHOLT, B.; LARSEN, K. Molecular biology of plant laccases in relation to lignin formation. **Physiologia Plantarum**, v. 116, n. 3, p. 273–280, 2002. doi/abs/10.1034/j.1399-3054.2002.1160301.x

GHAZI MOKRI, H. S.; MODIRSHAHLA, N.; BEHNAJADY, M. A.; VAHID, B. Adsorption of C.I. Acid Red 97 dye from aqueous solution onto walnut shell: kinetics, thermodynamics parameters, isotherms. **International Journal of Environmental Science and Technology**, v. 12, p. 1401-1408, 2015.

GOMES, L. S.; SILVA, F. A.; BARBOSA, S.; KUMMROW, F. Ecotoxicity of Sludges Generated by Textile Industries: A review. **Journal of Brazilian Society of Ecotoxicology**, v.7, p.89-96, 2012.

GOTEX. Panorama Mundial da produção têxtil. Gotex Show. São Paulo, 2017. Disponível em: <<https://gotexshow.com.br/mercado>>. Acesso em: nov./ 2021.

GOUD, B. S.; CHA, H. L.; KOYYADA, G.; KIM, J. H. Augmented biodegradation of textile azo dye effluents by plant endophytes: a sustainable, eco-friendly alternative. **Current Microbiology**, v. 77, p. 3240-3255, 2020.

GUARATINI, C. C. I.; ZANONI, M. V. B.; Corantes Têxteis. **Química nova**. São Paulo, v.23, n.1, p. 71-78, 2000.

GUNASEKAR, V.; GOWDHAMAN, D.; PONNUSAMI, V. Biodegradation of reactive red M5B dye using *Bacillus subtilis*. **International Journal of ChemTech Research**, v. 5, n. 1, p. 131–135, 2013.

GUO, G.; LIU, C.; HAO, J.; TIAN, F.; DING, K.; ZHANG, C.; YANG, F.; LIU, T.; XU, J.; GUAN, Z. Development and characterization of a halo-thermophilic bacterium consortium for decolorization of azo dye. **Chemosphere**, v. 272, 129916, 2021. DOI: 10.1016/j.chemosphere.2021.129916

HADIBARATA, T.; TACHIBANA, S.; ITOH, K. Biodegradation of chrysene, an aromatic hydrocarbon by *Polyporus* sp. S133 in liquid medium. **Journal of Hazardous Materials**, vol:164 iss:2 pg:911 -917, 2009.

HE, X-L.; SONG, C.; LI, Y-Y.; WANG, N.; XU, L.; HAN, X.; WEI, D-S. Efficient degradation of Azo dyes by a newly isolated fungus *Trichoderma tomentosum*

under non-sterile conditions. **Ecotoxicology and Environmental Safety**, v. 150, p. 232-239, 2018. DOI: 10.1016/j.ecoenv.2017.12.043

JACQUES, R.J.S.; SILVA, K.J. da; BENTO, F.M.; CAMARGO, F.A.O. Biorremediação de um solo contaminado com antraceno sob diferentes condições físicas e químicas. **Ciência Rural**, v.40, n.2, p.280-287, 2010.

JAFARI, N.; SOUDI, M. R.; KASRA-KERMANSHAHI, R. Biodegradation perspectives of azo dyes by Yeasts. **Microbiology**, v. 83, n. 5, p. 484-497, 2014. DOI: 10.1134/S0026261714050130

JAMEE, R.; SIDDIQUE, R. Biodegradation of synthetic dyes of textile effluent by microorganisms: An environmentally and economically sustainable approach. **European Journal of Microbiology & Immunology**, v. 9, n. 4, p. 114-118, 2019.

JANUSZ, G.; PAWLIK, A.; SULEJ, J.; et al. Lignin degradation: microorganisms, enzymes involved, genomes analysis and evolution. **FEMS Microbiology Reviews**, v. 41, n. 6, p. 941–962, 2017.

JEON, J.-R.; KIM, E.-J.; MURUGESAN, K.; et al. Laccase-catalysed polymeric dye synthesis from plant-derived phenols for potential application in hair dyeing: Enzymatic colourations driven by homo- or hetero-polymer synthesis. **Microbial Biotechnology**, v. 3, n. 3, p. 324–335, 2009. DOI: 10.1111/j.1751-7915.2009.00153.x

KARTHICK, K., NAMASIVAYAM, C.; PRAGASAN, L. A. Acceleration of anthraquinone-type dye removal by white-rot fungus under optimized environmental conditions. **Environmental Progress & Sustainable Energy**, v. 37, p. 719-732, 2018. <http://dx.doi.org/10.1002/ep.12745>

KATO-SCHWARTZ, C. G.; BACKES, E.; PERALTA, R. M.; et al. Aplicação de lacases em síntese orgânica para obtenção de bioativos com atividade antioxidante: uma revisão. **Ciência, Tecnologia e Inovação: Do Campo à Mesa**, p. 256–273, 2020.

KHAN, M. A.; GHOURI, A. M. Environmental pollution: Its effects on life and its remedies. **Journal of Arts, Science and Commerce**, v. 2, p. 276–285, 2011.

KISHOR, R.; PURCHASE, D.; SARATALE, G. D.; FERREIRA, L. F. R.; BILAL, M.; IQBAL, H. M. N.; BHARAGAVA, R. N. Environmental friendly degradation and detoxification of Congo red dye and textile industry wastewater by a newly isolated *Bacillus cohnii* (RKS9). **Environmental Technology & Innovation**, v. 22, 101425, 2021. DOI: 10.1016/j.eti.2021.101425

KRITHIKA, A.; GAYATHRI, K. V.; KUMAR, D. T.; DOSS, C. G. P. Mixed azo dyes degradation by an intracellular azoreductase enzyme from alkaliphilic *Bacillus subtilis*: a molecular docking study. **Archives of Microbiology**, v. 203, p. 3033-3044, 2021. DOI: 10.1007/s00203-021-02299-2

KULKARNI, A. N. et al. Decolorization and detoxification of dye mixture and textile effluent by lichen *Dermatocarpon vellereceum* in fixed bed upflow bioreactor with subsequent oxidative stress study. **Ecotoxicology and Environmental Safety**, v. 148, n. October 2017, p. 17–25, 2018.

KUMAR, A.; KUMAR, A.; SINGH, R.; SINGH, R.; PANDEY, S.; RAI, A.; SINGH, V. K.; RAHUL, B. Chapter 16- Genetically engineered bacteria for the degradation of dye and other organic compounds. **Abatement of Environmental Pollutants-Trends and Strategies**, p. 331-350, 2020.

KUMAR, S.; RAUT, S.; BANDYOPADHYAY, P. Fungal decolouration and degradation of azo dyes: A review. **Fungal Biology Reviews**, 2016. <https://doi.org/10.1016/j.fbr.2016.06.003>

LACERDA, F.; NAVONI, J. A.; AMARAL, V. S. **Biorremediação: educação em saúde e alternativas à poluição ambiental**. Editora IFRN. 2019.

LEME, D. M.; PRIMO, F. L.; GOBO, G. G.; COSTA, C. R. V.; TEDESCO, A. C.; OLIVEIRA, D. P. Genotoxicity assessment of reactive and disperse textile dyes using human dermal equivalent (3D cell culture system). **Journal of Toxicology and Environmental Health**, part A, v. 78, p. 466-480, 2015. [doi.org/10.1080/15287394.2014.999296](https://doi.org/10.1080/15287394.2014.999296)

LIN, J.; ZHANG, X.; LI, Z.; LEI, L. Biodegradation of Reactive Blue 13 in a Two-Stage anaerobic/aerobic fluidized beds system with a *Pseudomonas* sp. isolate. **Bioresource Technology**, p. 34-40, 2010.

MAGRINI, M. J. Degradação de HPAs e produção de enzimas ligninolíticas por fungos basidiomicetos derivados de esponjas marinhas. **Instituto de Biologia - Universidade Estadual de Campinas**, 2012.

MÄKELÄ, M.R.; MARINOVIĆ, M.; NOUSIAINEN, P.; LIWANAG, A.J.M.; BENOIT, I.; SIPILÄ, J.; HATAKKA, A.; DE VRIES, R.P.; HILDÉN, K.S. Aromatic Metabolism of Filamentous Fungi in Relation to the Presence of Aromatic Compounds in Plant Biomass. **Adv. Appl. Microbiol.** v.91, p 63-137, 2015.

MATHEUS, D. R.; MACHADO, K. M. G.; Biorremediação: potencial de aplicação para POPs. In: Fernicola, N. A. G; Oliveira, S. S. (Orgs.). Poluentes orgânicos Persistentes: POPs. CRA (Intertox): **Cadernos de referência ambiental**, v. 13. Salvador: CRA, 500p., 2002.

MATHIAS, H. G. **Algodão no Brasil**. Rio de Janeiro: Editora Index, 1988.

MEIRE, R. O. et al. Aspectos ecotoxicológicos de hidrocarbonetos policíclicos aromáticos. **Oecologia Brasil**, v. 11, n. 2, p. 188–201, 2007.

MOGHARABI, M.; FARAMARZI, M. A. Laccase and Laccase-Mediated Systems in the Synthesis of Organic Compounds. **Advanced Synthesis & Catalysis**, v. 356, n. 5, p. 897–927, 2014. Disponível em: [doi/abs/10.1002/adsc.201300960](https://doi.org/10.1002/adsc.201300960)

MOSCOFIAN, A. S. O. Filossilicatos de magnésio e sílicas mesoporosas organofuncionais para o uso na remoção de corantes industriais. **Tese de Doutorado. Campinas, SP. UNICAMP, 2009.**

MOURA, G. F.; BULLA, L. M. C.; POLONIO, J. C. PAMPHILE, A. J. Seleção de endofíticos com potencial biotecnológico na biorremediação de corante têxtil. **IX EPCC – Encontro Internacional de Produção Científica UniCesumar. Maringá – PR; n. 9 p. 4-8, 2015.**

NASCIMENTO, E. A.; ARAUJO, J. C. S.; MACHADO, K. M. G. Aplicação da biorremediação no estado de São Paulo. **Leopoldianum, 42, 2016.**

OLIVEIRA, C.R. **Avaliação da biodegradação de Pireno pela microbiota nativa em sedimento do Manguezal do Itacorubi**, Florianópolis, 2006. (Dissertação de Mestrado), Instituto de Química, Universidade Federal de Santa Catarina, 2006.

OLIVEIRA, L. D. Da Eco-92 à Rio +20: uma breve avaliação de duas décadas. **Boletim Capineiro de Geografia, v. 2, n. 3, p. 479 - 499, 2012.**

ORZECZOWSKI, J. et al. Avaliação do potencial de descoloração e de detoxificação de corantes têxteis por lacase de *Pleurotus sajor caju*. **Evidência, v. 18, n. 1, p. 59–80, 2018.**

OSTBERG, T. L.; JONSSON, A. P.; BYLUND, D.; LUNDSTROM, U. S. The effects of carbon sources and micronutrients in fermented whey on the biodegradation of n-hexadecane in diesel fuel contaminated soil. **International Biodeterioration & Biodegradation, n. 60, p. 334-341, 2007.**

PALMIERI, G.; CENNAMO, G.; SANNIA, G. Remazol Brilliant Blue R decolourisation by the fungus *Pleurotus ostreatus* and its oxidative enzymatic system. **Enzyme and Microbial Technology, v. 36, n. 1, p. 17–24, 2005.**

PANDE, V.; PANDEY, S. C.; JOSHI, T. SATI, D.; GANGOLA, S. KUMAR, S.; SAMANT, M. Biodegradation of toxic dyes: A comparative study of enzyme action in a microbial system. Science Direct. India: **Pankaj Bhatt. p. 255-287, 2019.** doi.org/10.1016/B978-0-12-818307-6.00014-7

PAUL, D.; PANDEY, G.; PANDEY, J.; JAIN, E. K. Accessing microbial diversity for bioremediation and environmental restoration. **Cell Press, v. 23, n. 3, p. 135-142, 2005.**

PAZ, A. et al. Biological treatment of model dyes and textile wastewaters. **Chemosphere, v. 181, p. 168–177, 2017.**

PEREIRA, A. R. B.; FREITAS, D. A. F. de. Uso De Microorganismos Para a Biorremediação De Ambientes Impactados. **Rev. Elet. em Gestão Educação e Tecnologia Ambiental, v. 6, n. 6, p. 975–1006, 2012.**

PEZZOLO, D. B. Tecidos: História, tramas, tipos e usos. 5. ed. São Paulo: **Senac São Paulo**, 2019.

PINTO, A.P; SERRANO, C; PIRES, T; MESTRINHO, E; DIAS, L; MARTINS, TEIXEIRA, D; CALDEIRA, A.T. Degradation of terbuthylazine, difenoconazole and pendimethalin pesticides by selected fungi cultures. **Science of the total environment**, vol.435-436 p.402 - 10, 2012.

PIZATO, E.; LOPES, A. C.; ROCHA, R. D. C.; BARBOSA, A. M.; CUNHA, M. A. A. Caracterização de efluente têxtil e avaliação da capacidade de remoção de cor utilizando o fungo *Lasiodiplodia theobromae* MMPI. **Engenharia Sanitária e Ambiental**, v. 22, n. 5, p. 1027-1035, 2017. DOI: 10.1590/S1413-41522017121743

POLAK, J.; JAROSZ-WILKOLAZKA, A. Fungal laccases as green catalysts for dye synthesis. **Process Biochemistry**, v. 47, n. 9, p. 1295–1307, 2012.

QADRI, R.; FAIQ, M. A. Freshwater Pollution: Effects on Aquatic Life and Human Health. Fresh Water Pollution Dynamics and Remediation. **Springer**, Singapore, p.15–26, 2020. doi.org/10.1007/978-981-13-8277-2\_2

RAHMAT, N. A.; ALI, A. A. Removal of Remazol Brilliant Blue R from Aqueous Solution by Adsorption Using Pineapple Leaf Powder and Lime Peel Powder. 2016.

RAJASIMMAN, M.; BABU, S. V.; RAJAMOHAN, N. 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**, v. 72, p. 171–181, mar. 2017. <https://doi.org/10.1016/j.jtice.2017.01.027>

REZENDE, C. M.; CORRÊA, V. F. S.; COSTA, A. V. M.; CASTRO, B. C. S. Constituintes químicos voláteis das flores e folhas do pau-brasil (*Caesalpinia echinata*, lam.) **Química Nova**, v. 27, n.3, 414-416, 2004.

SAGGIORO, E. M. Efeito do dióxido de titânio na decomposição fotocatalítica de substâncias persistentes no ambiente: corantes têxteis e interferentes endócrinos. Tese doutorado em Ciências na área de Saúde Pública e Meio Ambiente. Rio de Janeiro, RJ. **Fundação Oswaldo Cruz – FIOCRUZ**, 269p., 2014.

SANTHANAM, M. et al. Combined electrochemical, sunlight-induced oxidation and biological process for the treatment of chloride containing textile effluent. **Chemosphere**, v. 186, p. 1026–1032, 2017. <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2017.08.066>

SANTOS, V. S. **Seleção de basidiomicetos da região amazônica com potencial para degradação de benzo(a)pireno**. Dissertação (mestrado em biotecnologia e recursos naturais da Amazônia) - Universidade do Estado do Amazonas (UEA). Manaus, p. 80. 2018.

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.

SARAVANAN P.; KUMARAN, S.; BHARATHI, S.; SIVAKUMAR, P.; SIVAKUMAR, P.; PUGAZHVENDAN, S. R.; ARUNI, W.; RENGANATHAN, S. Bioremediation of synthetic textile dyes using live yeast *Pichia pastoris*. **Environmental Technology & Innovation**, v. 22, 101442, 2021. DOI: 10.1016/j.eti.2021.101442

SENAI. **Serviço Nacional de Aprendizagem Industrial. Instituto SENAI de tecnologias têxteis**. Disponível em: <<https://textil.sp.senai.br/5499/toxicidade-escondida-nos-produtos-quimicos-texteis>>. Acesso em: nov./ 2021.

SCHNEIDER, W. D. H. **Produção de enzimas ligninolíticas e proteômica de *Marasmiellus palmivorus* VE111: Aplicação do secretoma em processos de grafting enzimático e etanol de segunda geração**. Tese (Doutorado em Biotecnologia) Caxias do Sul, RS. da Universidade de federal Caxias do Sul, 2019. 259p.

SILVA, R. P. **Tratamento de corantes reativos em solução aquosa utilizando lodo de esgoto sanitário como bioissorvente em reatores contínuos**. Dissertação (Mestrado em Química) - João Pessoa, PB. Universidade Federal da Paraíba, 2012. 100p.

SINGH, R. L.; SINGH, P. K.; SINGH, R. P. Enzymatic decolorization and degradation of azo dyes—A review. **International Biodeterioration & Biodegradation**, v. 104, p. 21-31, 2015.

SILVEIRA, S. S. B.; SANTANA, F. S. P. Poluição Hídrica. In: Meio ambiente: aspectos técnicos e econômicos. Rio de Janeiro, IPEA: Brasília, **IPEA/PNUD**. 246: 57-84, 1990.

SOARES, I.A. et al. Fungos na biorremediação de áreas degradadas. **Arquivos do Instituto Biológico** [online]. 2011, v. 78, n. 2 [Acessado 7 Dezembro 2021] , pp. 341-350. Disponível em: <<https://doi.org/10.1590/1808-1657v78p3412011>>. Epub 23 Set 2020. ISSN 1808-1657. <https://doi.org/10.1590/1808-1657v78p3412011>.

SOLÍS, M., SOLÍS, A., PÉREZ, H. I., MANJARREZ, N., FLORES, M. Microbial decolouration of azo dyes: A review. **Process Biochemistry**, v. 47, n. 12, p. 1723–1748, 2012. <https://doi.org/10.1016/j.procbio.2012.08.014>

STEIN, S. J. Origens e evolução da indústria têxtil no Brasil – 1850/1950. Rio de Janeiro: **Editora Campus LTDA**, 1979.

TORGUT, G. et al. Application of response surface methodology for optimization of Remazol Brilliant Blue R removal onto a novel polymeric adsorbent. **Journal of the Taiwan Institute of Chemical Engineers**, v. 0, p. 1–9, 2017.

VARJANI, S.; RAKHOLIYA, P.; NG, H. Y.; YOU, S.; TEIXEIRA, J. A. Microbial degradation of dyes: An overview. **Bioresource Biotechnology**, v. 314, 123728, 2020. DOI: 10.1016/j.biortech.2020.123728

VERMA, K.; SAHA, G.; KUNDU, L. M.; DUBEY, V. K. Biochemical characterization of a stable azoreductase enzyme from *Chromobacterium violaceum*: Application in industrial effluent dye degradation. **International Journal of Biological Macromolecules**, v. 121, p. 1011-1018, 2019. DOI: 10.1016/j.ijbiomac.2018.10.133

VISWANATH, B.; RAJESH, B.; JANARDHAN, A.; *et al.* Fungal Laccases and Their Applications in Bioremediation. **Enzyme Research**, v. 2014, p. 1–21, 2014.

WONG, D. W. Structure and action mechanism of ligninolytic enzymes. **Applied Biochemistry and Biotechnology**, v. 157, n. 2, p. 174-209, mai. 2009.

ZANONI, M. V. B.; YAMANAKA, H. Corantes: Caracterização química, toxicologia, métodos de detecção e tratamento. São Paulo: **Cultura acadêmica**, 347p., 2016.

ZHANG, C. Laccase. **Synlett**, v. 23, n. 17, p. 2574–2575, 2012.

ZHANG, Q.; XIE, X.; XU, D.; HONG, R.; WU, J.; ZENG, X.; LIU, N.; LIU, J. Accelerated azo dye biodegradation and detoxification by *Pseudomonas aeruginosa* DDMZ1-2 via fructose co-metabolism. **Environmental Technology & Innovation**, v. 24, 101878, 2021. DOI: 10.1016/j.eti.2021.101878

## **Autores**

Josiane Rodrigues Rocha da Silva<sup>1</sup>, Lilian Gavazzoni<sup>1</sup>, Ana Paula Ferreira<sup>1</sup>, Gabriel Dorozo Bersanette<sup>1</sup>, Rosane Marina Peralta<sup>1,2</sup>.

1. Programa de Pós-graduação em Biotecnologia Ambiental, Universidade Estadual de Maringá, josianerrs@hotmail.com, lilianzzoni@gmail.com.br, apaulaf98@gmail.com, dorozogabriel@gmail.com.
2. Programa de Pós-graduação em Biotecnologia Ambiental e Programa de Pós-graduação em Bioquímica, Universidade Estadual de Maringá, rmperalta@uem.br.