

UNIVERSIDADE FEDERAL DE UBERLÂNDIA - UFU
PROGRAMA DE PÓS GRADUAÇÃO EM QUALIDADE AMBIENTAL - PPGMQ

LUDMILLA FERNANDA ARANTES MELO

**CAPACIDADE BIODISSORTIVA DE LEVEDURAS *Saccharomyces cerevisiae* EM
CONTATO COM CORANTE VIOLETA CRISTAL E VIABILIDADE DE USO NA
INDÚSTRIA TÊXTIL**

UBERLÂNDIA - MG
2021

LUDMILLA FERNANDA ARANTES MELO

**CAPACIDADE BISSORTIVA DE LEVEDURAS *Saccharomyces cerevisiae* EM
CONTATO COM CORANTE VIOLETA CRISTAL E VIABILIDADE DE USO NA
INDÚSTRIA TÊXTIL**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós Graduação em Qualidade Ambiental da Universidade Federal de Uberlândia, como parte dos requisitos necessários à obtenção do título de Mestre em Qualidade Ambiental.

Orientador: Prof. Dr. Edgar Silveira Campos

Coorientador: Dr. Eduardo Santos Almeida

UBERLÂNDIA - MG

2021

Ficha Catalográfica Online do Sistema de Bibliotecas da UFU
com dados informados pelo(a) próprio(a) autor(a).

M528 2021	<p>Melo, Ludmilla Fernanda Arantes, 1988- CAPACIDADE BIOSSORTIVA DE LEVEDURAS <i>Saccharomyces cerevisiae</i> EM CONTATO COM CORANTE VIOLETA CRISTAL E VIABILIDADE DE USO NA INDÚSTRIA TÊXTIL [recurso eletrônico] / Ludmilla Fernanda Arantes Melo. - 2021.</p> <p>Orientador: Edgar Silveira Campos. Coorientador: Eduardo Santos Almeida. Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal de Uberlândia, Pós-graduação em Qualidade Ambiental. Modo de acesso: Internet. Disponível em: http://doi.org/10.14393/ufu.di.2021.664 Inclui bibliografia.</p> <p>1. Desenvolvimento sustentável. I. Campos, Edgar Silveira, 1981-, (Orient.). II. Almeida, Eduardo Santos, 1985-, (Coorient.). III. Universidade Federal de Uberlândia. Pós-graduação em Qualidade Ambiental. IV. Título.</p> <p style="text-align: right;">CDU: 502.33</p>
--------------	---

Bibliotecários responsáveis pela estrutura de acordo com o AACR2:

Gizele Cristine Nunes do Couto - CRB6/2091



UNIVERSIDADE FEDERAL DE UBERLÂNDIA
 Coordenação do Programa de Pós-Graduação em Qualidade Ambiental
 BR 050, Km 78, Bloco 1CCG, Sala 206 - Bairro Glória, Uberlândia-MG, CEP 38400-902
 Telefone: (34) 2512-6717 - www.ppgmq.iciag.ufu.br - ppgmq@iciag.ufu.br



ATA DE DEFESA - PÓS-GRADUAÇÃO

Programa de Pós-Graduação em:	Qualidade Ambiental (PPGMQ)				
Defesa de:	Dissertação de Mestrado Acadêmico, 09/2021, PPGMQ				
Data:	02 de dezembro de 2021	Hora de início:	14:00	Hora de encerramento:	16:00
Matrícula da Discente:	11912MQA017				
Nome da Discente:	LUDMILLA FERNANDA ARANTES MELO				
Título do Trabalho:	CAPACIDADE BIOSORTIVA DE LEVEDURAS <i>Saccharomyces cerevisiae</i> EM CONTATO COM CORANTE VIOLETA CRISTAL E VIABILIDADE DE USO NA INDÚSTRIA TÊXTIL				
Área de concentração:	Meio Ambiente e Qualidade Ambiental				
Linha de pesquisa:	Processos Ambientais				
Projeto de Pesquisa de vinculação:	Sem vinculação				

Reuniu-se por meio de web conferência, a Banca Examinadora, designada pelo Colegiado do Programa de Pós-graduação em Qualidade Ambiental (PPGMQ), assim composta: Prof. Dr. Edgar Silveira Campos (orientador da candidata); Dr. Eduardo Santos Almeida (coorientador da candidata); Prof. Dr. Lucas Carvalho Basílio de Azevedo (UFU); e Prof. Dr. João Carlos de Souza (UNESP).

Iniciando os trabalhos o presidente da mesa Prof. Dr. Edgar Silveira Campos apresentou a Comissão Examinadora e a candidata, agradeceu a presença do público, e concedeu a Discente a palavra para a exposição do seu trabalho. A duração da apresentação da Discente e o tempo de arguição e resposta foram conforme as normas do Programa.

A seguir o senhor presidente concedeu a palavra, pela ordem sucessivamente, aos examinadores, que passaram a arguir a candidata. Ultimada a arguição, que se desenvolveu dentro dos termos regimentais, a Banca, em sessão secreta, atribuiu o resultado final, considerando a candidata:

Aprovada.

Esta defesa faz parte dos requisitos necessários à obtenção do título de Mestre.

O competente diploma será expedido após cumprimento dos demais requisitos, conforme as normas do Programa, a legislação pertinente e a regulamentação interna da UFU.

Nada mais havendo a tratar foram encerrados os trabalhos. Foi lavrada a presente ata que após lida e achada conforme foi assinada pela Banca Examinadora.



Documento assinado eletronicamente por **Edgar Silveira Campos, Presidente**, em 02/12/2021, às 16:46, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no art. 6º, § 1º, do [Decreto nº 8.539, de 8 de outubro de 2015](#).



Documento assinado eletronicamente por **Lucas Carvalho Basílio de Azevedo, Professor(a) do Magistério Superior**, em 02/12/2021, às 16:47, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no art. 6º, § 1º, do [Decreto nº 8.539, de 8 de outubro de 2015](#).



Documento assinado eletronicamente por **João Carlos de Souza, Usuário Externo**, em 02/12/2021, às 16:50, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no art. 6º, § 1º, do [Decreto nº 8.539, de 8 de outubro de 2015](#).



Documento assinado eletronicamente por **Eduardo Santos Almeida, Usuário Externo**, em 03/12/2021, às 07:46, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no art. 6º, § 1º, do [Decreto nº 8.539, de 8 de outubro de 2015](#).



A autenticidade deste documento pode ser conferida no site https://www.sei.ufu.br/sei/controlador_externo.php?acao=documento_conferir&id_orgao_acesso_externo=0, informando o código verificador **3176052** e o código CRC **B7302696**.

Àqueles que me ensinaram o que é amor e família:

Cornélia Arantes, Geraldo Proto e Anilson Rodrigues (in-memoriam).

À minha mãe Cristina Proto pelo apoio e ensinamentos.

Às minhas irmãs Marília e Fabíola pelo cuidado e carinho.

Meu companheiro Gabriel Jeronimo, pela paciência e
parceria.

Aos meus filhos Kaleb, Heitor e Louis por me dar força, amor e alegria. Ao João

Pedro e Francisco pelo carinho e felicidade que trouxeram.

Aos meus sobrinhos que são como filhos.

DEDICO.

“Isto sabemos: a terra não pertence ao homem; o homem pertence à terra. ”

Chefe Seattle

RESUMO

A partir da Revolução Industrial, a manufatura têxtil ganhou mais agilidade devido aos investimentos em tecnologia e aperfeiçoamento dos maquinários, tornando-se uma produção mais célere, mecanizada e com o volume final obtido em larga escala. Em decorrência do aumento das atividades industriais, há consequências ao meio ambiente, sendo muitas vezes cumulativas e preocupantes. Os recursos naturais são limitados, e o lançamento dos resíduos nos afluentes em sua maioria são tóxicos com danos irreversíveis e afetam a biodiversidade, desencadeando desequilíbrios ecológicos. Produtos remanescentes da produção das indústrias têxteis são constantemente inseridos nos efluentes, assim, há diversos estudos voltados para a redução da quantidade de corantes presentes nos corpos aquosos, visto que essas substâncias são extensivamente utilizadas. O corante Violeta Cristal apresenta várias aplicações e finalidades que ele tem na indústria têxtil. Portanto, o trabalho testou a capacidade de biossorção de leveduras *Saccharomyces cerevisiae* em contato com o corante Violeta Cristal. A levedura foi selecionada por ter baixo risco biológico aos seres humanos, baixo custo de obtenção, é de fácil manuseio e cultivo. Os parâmetros otimizados para se obter uma maior absorção, foram: pH do meio, concentração da levedura, tempo de contato e agitação. Testou-se ainda se a adições parciais da levedura seria mais eficaz do que uma única adição. Para monitorar a biossorção do corante pela levedura, foram realizadas leituras espectrofotométricas no comprimento de onda de absorbância máxima (585 nm) do corante Violeta Cristal. Dentre os pH testados, 2,5; 4,5; 6,5 e 8,5, o pH 2,5 foi o mais prejudicial na ação das leveduras e o mais eficaz para a redução da absorbância foi o 4,5. Na adição de levedura, de forma única, o melhor resultado para redução de absorbância foi com a concentração de 0,75% m/v. Os tempos estudados foram 30, 60, 90 e 120 minutos. O tempo de maior redução de absorbância foi o de 60 minutos. Os maiores tempos de agitação causaram danos à levedura. Os percentuais de remoção variaram de 71 a 96% com média de 83,5%. Em um outro estudo de concentração da levedura, adicionando-a em porções sequenciais de 0,25% m/v a cada 60 minutos até o total de 1,0% m/v, com agitação somente nos últimos 60 minutos, obteve-se 3% a mais de redução do corante em comparação a concentração de 0,75% (valor otimizado), aplicada de uma só vez. Por fim, o trabalho é uma colaboração para o melhor entendimento da ação biossortiva da levedura *Saccharomyces cerevisiae* frente ao corante Violeta Cristal.

PALAVRAS-CHAVE: Leveduras, Biorremediação, Biossorção, Meio Ambiente, Violeta Cristal.

ABSTRACT

Since the Industrial Revolution, textile manufacturing has gained more agility due to investments in technology and improvement of machinery, becoming a faster, mechanized production and with the final volume obtained on a large scale. Due to the increase in industrial activities, there are consequences to the environment, which are often cumulative and worrying. Natural resources are limited, and the release of waste into the tributaries is mostly toxic with irreversible damage and affects biodiversity, triggering ecological imbalances. Products remaining from the production of textile industries are constantly inserted into effluents, thus, there are several studies aimed at reducing the amount of dyes present in aqueous bodies, since these substances are extensively used. Violet a Cristal dye presents various applications and purposes that it has in the textile industry. Therefore, the work tested the biosorption capacity of *Saccharomyces cerevisiae* yeasts in contact with violet crystal dye. Yeast was selected because it has low biological risk to humans, low cost of obtaining, it is easy to handle and culture. The parameters optimized to obtain greater absorption were: pH of the medium, yeast concentration, contact time and agitation. It was further tested whether partial yeast additions would be more effective than a single addition. To monitor the biosorption of the dye by yeast, spectrophotometric readings were performed at the maximum absorbance wavelength (585 nm) of violet crystal dye. Among the pH tested, 2.5; 4.5; 6.5 and 8.5, pH 2.5 was the most harmful in yeast action and the most effective for reducing absorbance was 4.5. In the addition of yeast, in a unique way, the best result for absorbance reduction was with a concentration of 0.75% m/v. The studied times were 30, 60, 90 and 120 minutes. The time of greatest absorbance reduction was 60 minutes. The long hours caused yeast damage. Removal percentages ranged from 71 to 96% with an average of 83.5%. In another yeast concentration study, adding it in sequential percentages of 0.25% m/v every 60 minutes to a total of 1.0% m/v, with agitation only in the last 60 minutes, 3% more dye reduction was obtained compared to the concentration of 0.75% (optimized value), applied at once. Finally, the work is a collaboration for a better understanding of the biosorptive action of *saccharomyces cerevisiae* yeast against violet crystal dye.

KEYWORDS: Yeasts, Bioremediation, Biosorption, Environment, Crystal Violet.

LISTA DE FIGURAS

Figura 01 - Fluxograma das principais etapas da produção têxtil.

Figura 02 - Estrutura química do corante Violeta Cristal.

Figura 03 - Fluxograma dos principais tratamentos de efluente industrial.

Figura 04 - Estrutura celular da levedura *Saccharomyces cerevisiae*.

Figura 05 - Sequência do teste de adições sucessivas da levedura.

Figura 06 - Varredura espectrofotométrica do Corante Violeta Cristal.

Figura 07 - Varredura espectrofotométrica do Violeta Cristal nos diferentes pHs.

Figura 08 - Curvas calibração do Violeta Cristal nos diferentes pHs.

Figura 09 - Otimização do pH para a remoção do Violeta Cristal pela levedura.

Figura 10 - Otimização da massa da levedura adicionada ao Violeta Cristal.

Figura 11 - Otimização do tempo de contato entre levedura e o Violeta Cristal.

Figura 12 - Análise microscópica da levedura nos diferentes tempos com agitação.

Figura 13 - Adição da massa da levedura em porções, com e sem agitação.

LISTA DE TABELAS

Tabela 01 - Análise do Coeficiente de Variação para as absorvâncias obtidas em cada pH no comprimento de onda de 585 nm.

Tabela 02 - Comparativo dos pontos otimizados após tratamento biossortivo, com e sem agitação.

Tabela 03 - Análise de máxima remoção para a otimização de adição única e parcial da levedura

LISTA DE EQUAÇÕES

Equação 01 - Equação para verificação de concentração de corante remanescente e porcentagem de descoloração.

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO.....	10
2.	OBJETIVOS	13
2.1.	OBJETIVO GERAL.....	13
2.2.	OBJETIVOS ESPECÍFICOS	13
3.	REVISÃO DA LITERATURA	14
3.1.	REVOLUÇÃO TÊXTIL	14
3.2.	PROCESSO PRODUTIVO TÊXTIL.....	19
3.3.	INDÚSTRIA TÊXTIL E A PROBLEMÁTICA AMBIENTAL.....	22
3.3.1.	Corante Violeta Cristal	29
3.3.2.	Efluentes da Indústria Têxtil e os Métodos de Tratamentos.....	31
3.3.3.	<i>Saccharomyces cerevisiae</i>	37
4.	MATERIAIS E MÉTODOS.....	41
4.1.	REAGENTES E EQUIPAMENTOS	41
4.2.	SOLUÇÕES, TESTES E OTIMIZAÇÃO DOS PARÂMETROS.....	42
4.2.1.	Determinação do comprimento de onda de máximo de absorção do corante	42
4.2.2.	Teste de estabilidade do corante	43
4.2.3.	Curvas de calibração para o corante	43
4.2.4.	Otimização dos parâmetros: pH, massa de levedura, tempo de contato e agitação.	44
4.2.5.	Teste de adições sucessivas de levedura	45
5.	RESULTADOS E DISCUSSÃO	47
5.1.	VARREDURA ESPECTROFOTOMÉTRICA DO CORANTE VIOLETA CRISTAL.....	47
5.2.	OTIMIZAÇÃO DO PH	50
5.3.	MASSA DA LEVEDURA	52
5.4.	TEMPO	53
5.5.	APLICAÇÃO DOS PARÂMETROS OTIMIZADOS NO TRATAMENTO DO CORANTE.....	55
5.6.	ADIÇÕES SUCESSIVAS DE LEVEDURA.....	57

6. CONCLUSÃO	60
7. REFERÊNCIA BIBLIOGRÁFICA	62

1 INTRODUÇÃO

Para a confecção de roupas e tecidos em geral, o homem utiliza a fiação e tecelagem, considerado um dos trabalhos mais difundidos e mais antigos. O tipo de roupa e/ou tipo de tecido separam as classes sociais. Relatos apontam a introdução da tecelagem no Período Neolítico (aproximadamente do X ao III milênio a.C). Nos séculos de XIV a XVIII a produção têxtil ficou maior e crescia em grande projeção, tornando-se um dos mais importantes segmentos da Revolução Industrial (1780-1880), com grande importância econômica. No século XVII, uma sucessão de invenções deu origem ao modo de produção fabril, com uma série de melhorias no processo, revolucionando a capacidade produtiva. O aparecimento de novas máquinas e fábricas aumentou não só a produtividade, mas também o nível de renda e trouxe consequências profundas nas relações sociais do continente europeu (LIMA e NETO, 2017, p.103).

Sabe-se que as indústrias têxteis consomem uma quantidade grande de água e produtos químicos, sendo esses em sua maioria corantes sintéticos, e que ao final do processo os resíduos são lançados no ambiente, principalmente nos corpos hídricos, trazendo sérios problemas e grandes prejuízos, além de provocar problemas estéticos, a descarga de corantes em corpos aquáticos pode causar importante impacto ambiental, principalmente em função da sua interferência nos processos fotossintéticos naturais (SOUZA, ZAMORA e ZAWADSKI, 2008, p.1145). A indústria têxtil apresenta níveis elevados de consumo de água por quilo de malha processada, podendo variar dependendo do tipo de equipamento, processo ou fibra utilizada, nesse setor o consumo diário são cerca de 25m³ de água. A água é um recurso essencial para a sobrevivência e desenvolvimento de qualquer sociedade, no entanto, com a Revolução Industrial surge a problemática ambiental (SILVA, 2020, p.13).

Um grande número de substâncias químicas, naturais e sintéticas, são lançadas ao ambiente devido à atividade industrial. Isso tem atraído cada vez mais

atenção dos órgãos fiscalizadores. Nos processos têxteis, substâncias utilizadas como insumos e produtos auxiliares, são removidos dos tecidos pelas águas de lavagem. Estes efluentes contêm, em sua maioria, compostos não-biodegradáveis. Tais compostos, não são eliminados de forma completa no ambiente e, além disso, alguns têm um efeito tóxico às bactérias aplicadas no processo de tratamento biológico dos efluentes (TWARDOKUS, 2004, p. 71). Uma classe de produtos muito utilizada na área têxtil são os corantes. Estas substâncias têm um alto potencial de poluição com riscos à saúde e ao meio ambiente. São de complexidades variadas, dificultando por vezes o seu estudo e tratamento. Eles são largamente empregados em processos de tingimento de couros, papel e fibras acrílicas. O corante Violeta Cristal (ou Violeta Genciana), foco do nosso estudo, apresenta além dos usos listados anteriormente, aplicações diversas como: agente identificador de bactérias, no tratamento de queimaduras, em lesões da pele e gengivas, em cirurgia plástica, em rações para aves e carimbos em cortes de carnes, dentre outros (MORI e CASSELLA, 2009).

Dentre os métodos utilizados para o tratamento de águas residuais têxteis, o tratamento biológico vem sendo uma alternativa econômica para o uso em substituição ou juntamente com métodos físico-químicos. Dentre os processos de adsorção, a biossorção que utiliza as propriedades da superfície de organismos (vivos ou mortos), como plantas, algas, bactérias, fungos e leveduras, para remover diferentes tipos de poluentes orgânicos e inorgânicos de efluentes industriais, apresenta-se como um processo eficiente, de amplo espectro e baixo custo para a remoção de poluentes de ambientes aquáticos. O uso de fungos no tratamento de efluentes, por processos de biossorção, para a remoção de corantes tem sido promissor, pois a biomassa desses organismos apresenta uma grande área de superfície específica comparada a outros (BARBIERI, 2014, p. 10).

Os fungos são organismos Eucariontes uni ou multicelulares, representados pelos fungos filamentosos e leveduras, respectivamente. A levedura *Saccharomyces*

cerevisiae, empregada nesta pesquisa, é um dos organismos mais utilizados pela humanidade. Ela apresenta vantagens tais como, facilidade de obtenção, boa capacidade de desenvolvimento, manejo e cultivo (MENDES, DILARRI e PELEGRINI, 2015).

Assim, este trabalho se propôs a estudar a capacidade biossorbitiva da levedura *Saccharomyces cerevisiae* em contato com o corante Violeta Cristal, tendo em vista uma possível aplicação no processo e tratamento dos efluentes da indústria têxtil.

2. OBJETIVOS

2.1. OBJETIVO GERAL

O presente trabalho tem por finalidade a avaliação da capacidade bioassortiva de leveduras *Saccharomyces cerevisiae*, em contato com o Corante Violeta Cristal como uma proposta no tratamento dos efluentes da indústria têxtil.

2.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Encontrar o comprimento de absorção máxima do corante;
- Realizar teste de estabilidade do corante em diferentes pH para verificar possíveis alterações espectrais;
- Construir curvas de calibração para observar a variação de absorbância;
- Otimizar os seguintes parâmetros para melhor absorção do corante pela levedura: pH; massa da levedura; tempo de contato entre a levedura e o corante; Influência da agitação; adições sucessivas da levedura.

3. REVISÃO DA LITERATURA

3.1. REVOLUÇÃO TÊXTIL

No início da industrialização têxtil (por volta de 1760), os Estados Unidos da América e a Inglaterra estavam em uma competição pelo mercado econômico, e houve alguns acontecimentos marcantes na cronologia da produção têxtil industrial. O então Reino da Grã-Bretanha foi uma das nações pioneiras na liderança e dominação da prática de industrialização têxtil, em decorrência da Revolução Industrial ter começado na Inglaterra (PASQUINI, 2020, p.31).

Naquela época, a América do Norte acabara de conseguir a independência após uma guerra entre as Colônias Americanas e o Reino da Grã-Bretanha, as lutas pelo término do domínio colonial materializaram elementos determinantes para direcionar e dar forma à vida política futura de cada uma das novas nações (WALDMAN, 2018, p.4) e, por esse motivo, esforçaram-se para conquistar um espaço no mercado econômico, buscando formas e meios de melhorar suas produções pelas máquinas de tecelagem. No mesmo cenário, do outro lado, a Grã-Bretanha buscava manter o monopólio das máquinas de tecelagem, deixando tudo dentro do Reino e não fazendo exportação para que o restante do mundo recebesse apenas o produto final beneficiado. Em 1785 o inventor Britânico Edmund Cartwright criou o primeiro tear mecânico (MARTINS, 2000, p.171) movido a vapor que acelerou a produção, tornando-a mais resistente e com seus fios produzidos em melhor qualidade, deixando o Reino da Grã-Bretanha com um produto melhor que as demais nações (SILVA, 2020, p.35),

Na América, os imigrantes britânicos utilizaram-se das técnicas de tecelagem, pois anteriormente tiveram contato com a fiação europeia e agora poderiam usar e melhorar as técnicas criando novas formas de tecer (BENEVIDES, 2020, p.19). Tanto o governo quanto os benfeitores que se interessavam no desenvolvimento da

produção provia incentivo à capacitação e financiamento ao processo têxtil industrial, entre 1885 e 1895 foi um período de intenso investimento em manufatura têxtil (SEVERINO, 2015, p.13).

O setor têxtil foi revolucionado por dois personagens mundialmente conhecidos, Samuel Slater e Francis Cabot Lowell (BENEVIDES, 2020, p.19). Samuel é conhecido por construir inúmeras fábricas de algodão que impulsionaram a indústria têxtil norte-americana e mais tarde se aliou à Paul Moody, juntos fizeram melhorias em diversas máquinas (GABRIEL, 2020, p.16). Francis Lowell foi o responsável por revolucionar este segmento (GILJE, 2010, p.263). Slater era comerciante e percebeu o conflito industrial entre os Estados Unidos e a Inglaterra, deduziu a necessidade que os americanos tinham em elaborar seu próprio meio de produção, evitando um declínio econômico.

Os incentivos voltados à produção fabril, antes de Slater e Lowell não eram lucrativos e regulares devido ao maquinário rudimentar. Ambos abriram uma usina de produção energética em 1814 (BENEVIDES, 2020, p.20) com a contribuição dos investidores, o que permitiu a criação de um novo aparelho, se tratava de uma máquina de tear que era mais eficiente e célere do que as que existiam. Samuel Slater, de origem britânica, se assentou em Rhode Island onde organizou uma rede de indústrias algodoiras e isso alavancou o industrialismo têxtil na América do Norte, o que lhe conferiu o título de “Pai da Revolução Industrial nos Estados Unidos da América”. Slater adquiriu um profundo conhecimento da fabricação de algodão e emigrou para os Estados Unidos em 1789, atraído pelas recompensas oferecidas lá para trabalhadores qualificados na fabricação de algodão.

Quando Samuel levou seus conhecimentos para os Estados Unidos, tomou o devido cuidado, não levando consigo qualquer desenho e instruções por escrito ao embarcar em um navio porque na época a emigração de trabalhadores têxteis e a exportação de desenhos de máquinas têxteis eram proibidas pela lei britânica.

(LAZZARETTI e ROHENKOHL, 2016, p.7). Com seu conhecimento de máquinas têxteis, apoio financeiro e a ajuda de artesãos qualificados, ele construiu versões das máquinas de fiação e instaurou a primeira fábrica de algodão bem sucedida nos Estados Unidos. Posteriormente, estabeleceu uma série de outras plantas na Nova Inglaterra e fundou a cidade de Slater Ville, Rhode Island (BRITANNICA, 2021).

Os avanços e inovações na tecnologia, provenientes da Revolução Industrial foram fortes aliadas (MAGALHÃES e VENDRAMINI, 2018, p.42) que aprimorou o maquinário que já existia e fabricou novos equipamentos de uso da indústria como, por exemplo, a máquina automática de tecer (FELDMAN e JUNIOR, 2019, p. 262). A automação foi de suma importância nos meios e métodos de produção têxtil dentro da Revolução Industrial, trazendo inovação nas formas e equipamentos instrumentos de trabalho - atingindo e alavancando a economia destes países e do mundo. A eletricidade também agregou muito à indústria de produção em massa, pois acelerou a produção deixando-a em larga escala, tendo como principais facilidades a iluminação, aquecimento e força motriz (DALTRO, 2011, p.7).

A Quarta Revolução Industrial, traz tecnologia e informação para dentro da Indústria, usa a mecânica e a robótica como aliada no desenvolvimento do maquinário, insere sistemas que operam a produção geral dentro da fábrica, traz também segurança e autonomia aos trabalhos que antes exigiam um esforço oneroso de tempo e desgaste físico humano (este dispensado e substituído), sendo o produto final de mais qualidade, produzido em larga escala e em um curto prazo (MAGALHÃES e VENDRAMINI, 2018, p.40-43).

Consegue-se observar então, e entender o início, bem como o fomento do desenvolvimento da indústria têxtil de maneira superficial com seus incentivos provenientes de variados meios, sejam estes financeiros, políticos, da tecnologia da informação entre outros, todos originários de uma necessidade, que ainda persiste nos tempos atuais, de entender e melhorar a produção fabril - desde a matéria-prima

até a conclusão de seu beneficiamento, estendendo ao tratamento de seus rejeitos e estudo dos danos ao meio ambiente (GARCIA, BORRELY e ROSA, 2019).

Por se tratar de uma necessidade social, o vestuário e seus demais usos que podem ser decorativos, para higiene pessoal, uniformes e similares, a indústria têxtil se faz presente em todos os países, a fim de produzir e subsidiar as carências da sociedade e também sua suntuosidade orientada pela “indústria da moda” (FUJITA e JORENTE, 2015, p.155). Observa-se que a indústria têxtil sempre foi influenciada pelas tendências e formas de se vestir que vem da indústria da moda. A moda influencia a sociedade que gera a demanda para a produção têxtil, e essa abastece a indústria da moda com matérias-primas, e a relação inversa se dá na medida em que o setor de vestuário gera uma demanda especializada para os produtos têxteis (CARVALHO, 2010, p.6).

Não seria diferente ao Brasil, este aderiu à industrialização têxtil ainda no período colonial e na atualidade é notória a importância do setor em sua economia, no meio social, cultural e político, evidenciando os costumes das diversas regiões e suas tendências, ainda ressaltando a trajetória das diferentes épocas vivenciadas pela sociedade (KON e COAN, p.14).

Desde os primeiros anos de colonização o algodão já era conhecido e utilizado pelos povos nativos e continuou a ser cultivado pelos portugueses. Nesse momento havia uma produção têxtil doméstica, de importância e garantindo as necessidades daqueles naquela comunidade. As primeiras fábricas que surgiram no Brasil, sendo estas têxteis, foram no século XIX (PEREIRA, 1994, p.11), de maneira geral elas eram de pequeno porte e seus estabelecimentos eram passageiros. A partir dos anos 1980, essa indústria se consolidou, pois era um setor que não exigia um alto investimento de capital, o lucro era mais rápido, havia tecnologia disponível e o consumo era garantido (FILLETI e BOLDRIN, 2020, p.868).

Em 1785, 159 manufaturas têxteis foram interrompidas pelo alvará da Rainha Maria I, em que proibia o desvio de mão de obra da agricultura e da exploração

mineira, já que a riqueza da colônia vinha de produtos do solo e não de produtos artesanais ou industriais (FREITAS, 2019, p.11).

A indústria têxtil brasileira foi definitivamente implementada na segunda metade do século XIX e alternava períodos de grande crescimento com períodos de menor atividade. Na década de 1940 atingiu a maturidade e passou a ser considerado um setor dinâmico de um país subdesenvolvido, sendo que o Brasil atingiu o segundo lugar na produção mundial de têxteis durante a segunda guerra (FILLETI e BOLDRIN, 2020, p.868). Nesse período, as políticas brasileiras passaram por mudanças, e no reinado de Dom Pedro II, foi decretada a Tarifa Alves Branco (1844), que promoveu um protecionismo da indústria nacional, impondo uma tarifa de importação de 30% para a maior parte dos produtos importados e até 60% como no caso do algodão, que o Brasil já possuía e produzia em grande escala (CROCE, 2015, p.10), trazendo a insatisfação dos ingleses e ao mesmo tempo incentivo para a indústria brasileira. Naquele momento, a industrialização brasileira estava se desenvolvendo e a tarifa trouxe a continuidade da produção, gerando a instalação de muitas manufaturas e conseqüentemente mais empregos no país. Com mais produção fabril, menos importação, a troca dos produtos importados pelos nacionais foi intensificada, e o Brasil obteve uma nova posição internacional (PIMENTEL, 2014, p.38).

Na fase de implantação - 1844 a 1913, houve lentidão no processo industrial, devido a modificação da política industrial brasileira (LIMA e FILHO, 2019, p.2). Entre esses anos o cenário era guerra civil nos Estados Unidos, esforços voltados para o fim da escravidão no Brasil, guerra no Paraguai entre outras. Ainda assim, a produção caminhou e cresceu, trazendo mais empregos (FILHA e CORRÊA, 2000).

A industrialização têxtil no Brasil, é considerada de grande valor para o país e se encaixa entre as dez que mais produzem no mundo, permanece em quarto lugar quando se trata das maiores produções do gênero de vestuário, e quinto lugar em se tratando de indústrias têxteis. Em se tratando de consumidor de artigos desse segmento, o Brasil não se destaca muito, estando do vigésimo terceiro lugar no

ranking mundial, seguido pela indústria da China, que somente no ano de 2010 obteve um ganho de 240,5 bilhões de dólares, contrastando com US\$ 39,4 bilhões do segundo colocado do ranking, a Alemanha (ABIT, 2013).

Apesar da sua importância e de movimentar a economia, criando também muitos empregos, gerando renda, há a preocupação do tratamento dos resíduos criados pela indústria (MARCELINO et al. 2013, p.360). Tais processos podem ser irreversíveis no meio ambiente e trazer graves problemas aos seres humanos, como por exemplo a inserção dos corantes têxteis em corpos aquosos (PEIXOTO, MARINHO e RODRIGUES, 2013, p.98-103).

Anualmente, por meio da ABIT - Associação Brasileira da Indústria Têxtil e da Confecção, os números apontam a importância que o setor tem no Brasil, representando 16,7% dos empregos no país com 1,5 milhão de empregados diretos e 8 milhões se adicionarmos os indiretos e efeito renda (ABIT, 2020). O grande valor sócio-econômico da indústria têxtil no Brasil, está ligado à vários fatores como por exemplo o setor é o segundo maior empregador da indústria de transformação, perdendo apenas para alimentos e bebidas (juntos), também o setor é o segundo gerador de primeiro emprego no país, faturou mais de R\$185,7 bilhões em 2019, sendo a maior Cadeia têxtil completa do Ocidente em 2019 (ABIT, 2020).

3.2. PROCESSO PRODUTIVO TÊXTIL

O objetivo da produção é a transformação da matéria prima. Modificação das fibras em fios, dos fios em tecidos e dos tecidos em peças e artigos para uso domiciliar - cama, mesa, banho, cortina, tapeçaria, panos para limpeza, vestuário uniformes, roupas, ou aplicações técnicas - EPIs, airbags, cintos (REIS, 2012, p.53).

A fabricação de produtos têxteis envolve, basicamente, as etapas de produção de fibras, fiação, tecelagem, acabamento e confecção. No fluxograma (Figura 01)

destacam-se as etapas de produção da indústria têxtil e seus processos de transformação da matéria prima, desde o princípio até o final.

Figura 01 - Fluxograma das principais etapas da produção têxtil.



Fonte: do autor

As fibras têxteis podem ser divididas em naturais e químicas. As encontradas na natureza como, por exemplo o algodão, são as fibras naturais. Enquanto que aquelas obtidas por processos industriais são as químicas, sendo subdivididas em fibras artificiais - utilizam polímero natural, celulose e fibras sintéticas - utilizam polímeros sintetizados a partir de produtos petroquímicos, eteno, propeno, benzeno e para-xileno, (BARBOSA et al. 2004, p.81)

A fiação é o processo pelo qual as fibras são reunidas para criar os fios por um processo em que o algodão em pluma é penteado de maneira que as fibras naturais sejam orientadas para a mesma direção. Após isso, por meio de uma torção,

formam-se os fios contínuos, pois as fibras unem-se umas às outras por atrito (ASSAD et al. 2010, p.6). As principais tecnologias utilizadas na produção de fios são: anel, rotor e jato de ar. A fiação é responsável por parte do abastecimento de fio da malharia, inicia seu fluxo no depósito de algodão e se estende até a espulcaria (LOESCH, 1995, p.8).

A etapa de tecelagem ou malharia corresponde ao processo em que os fios são entrelaçados para formar os tecidos¹ ou malhas², respectivamente, que podem ser feitos com diversas fibras separadamente ou com a mistura de fibras. Cada tipo de tecido determina um processo orientado por suas especificidades (ASSAD et al. 2010, p.6).

É no acabamento que as operações conferem ao produto, conforto, durabilidade e suas propriedades específicas (HIRATUKA et al. 2008, p.2). O beneficiamento, que inclui acabamento e confecção, é responsável pelo tingimento, limpeza e pelo acabamento das malhas e dos tecidos (ANDRADE, 2006, p.50). Cada uma das etapas apresentadas no fluxograma (Figura 01) se divide criando sub-etapas, como a organização da rama, penteado, fio, tingimento, estamparia, acabamentos químicos e mecânicos, de acordo com a matéria prima utilizada, tecnologia empregada e finalidade do produto (GTA, 2009, p.14).

Não é essencial que as indústrias têxteis operem com todas as etapas, ao contrário o mais comum é que a manufatura tenha seu foco voltado para apenas uma ou poucas etapas para que tal segmento consiga ter variedade e versatilidade. Operando com apenas algumas etapas, a manufatura consegue investir em equipamentos diferenciados para então ofertar itens diversificados. A segmentação das etapas do processo produtivo dentro da indústria têxtil oferece diversas possibilidades de utilização e combinação de matérias-primas, resultando em uma

¹ Composto por fios têxteis entrelaçados. Sem elasticidade.

² Composto por fios tramados na vertical ou transversal. Material elástico.

gama bastante ampla de opções no processo técnico utilizado, nas formas de organização da produção e ao produto final desejado (HIRATUKA et al. 2008, p.2). O processo de produção na indústria têxtil é um processo sequencial, em que as diversas etapas se articulam de forma mecânica. Essa articulação mecânica possibilita inúmeras combinações das várias etapas do processo de produção numa mesma planta industrial ou em várias unidades fabris. A organização da indústria têxtil é extremamente complexa. Dependendo da matéria-prima utilizada, há a necessidade de processos produtivos diferentes com máquinas e equipamentos específicos (RANGEL, SILVA e COSTA, 2010, p.165).

Para cada processo básico, apresentado no fluxograma da Figura 1, há também sua segmentação como, por exemplo, a engomagem, desengomagem, cozimento, mercerização, alvejamento, tingimento, estamparia, corte, costura, acabamento desde o início até que se chegue ao final da produção (PEREIRA e GUARIEIRO, 2020). A finalização da produção só é concluída com o produto vendido ao consumidor, que paga pelo gasto da cadeia produtiva (ABREU, 1997, p.47-55).

A verificação de qualidade do artigo, especificação técnica, detecção de problemas e possíveis anomalias são realizadas durante a revista da peça (LISBOA e BARBOSA, 2018, p.21). Existe o momento de limpeza das peças, onde é realizada a higienização e limpeza de possíveis manchas e sujeiras no tecido. Há um ponto separado com água e solventes para essa parte da produção. Para a finalização as peças produzidas são dobradas, identificadas contendo especificações, marca, tamanho, embaladas e assim conclui-se o processo produtivo (FERREIRA, 2013, p.34).

3.3. INDÚSTRIA TÊXTEL E A PROBLEMÁTICA AMBIENTAL

Com o passar do tempo, com o desenvolvimento de pesquisas e estudos, o ser humano tem se conscientizado acerca dos recursos naturais e entendido que

muitos não são recursos renováveis, sendo estes finitos, limitados. Usados de forma inadequada irão chegar ao fim, trazendo uma grande modificação no ecossistema, levando organismos à extinção (TONIOLHO, ZANCAN e WÜST, 2015, p.1). Diante disso, têm-se questionado como os recursos naturais estão sendo empregados nas diversas atividades do ser humano e como tem sido as ações para garantir a proteção ambiental, e conseqüentemente a manutenção desses recursos, em questões relacionadas ao cuidado com a fauna e flora, preservação da qualidade do ar, da água e do solo (MACHADO, 2001, p.1-16).

Ainda que a industrialização impulse a economia, há conseqüências consideráveis e por vezes irreversíveis, principalmente de cunho ambiental, prejudica a flora e a fauna, traz riscos à biodiversidade e conseqüentemente à população humana (BORTOLUCCI, 2018, p.20). A industrialização teve um aumento considerável em número, área de atuação e variedade de produtos, devido ao crescimento das populações e suas necessidades de consumo. Entretanto, a disciplina e a preocupação com o meio ambiente natural não se fizeram presentes durante muitos anos, tendo como resultado problemas ambientais de grandes dimensões (LEAL, FARIAS e ARAUJO, 2008, p.2). A preocupação com poluição e degradação ambiental só começou a surgir nos anos 1970, após a ocorrência de severos problemas de saúde pública e a associação desses episódios com a atividade industrial (GANEM, 2015, p.49).

Antes de todas as etapas do processo industrial têxtil, já existe um imensurável dano ambiental com a utilização de defensivos agrícolas na prevenção e/ou remediação de doenças e pragas no cultivo das lavouras de monocultura (matéria prima) sendo o algodão a principal cultura trabalhada (FARIAS e SÁ, 2008, p.94). Além do preparo dos insumos e corantes, pigmentos e todos os produtos similares ainda há a aquisição do maquinário, que inclui os fabricantes dos equipamentos utilizados no processo de produção têxtil (TONIOLHO, ZANCAN e WÜST, 2015).

A indústria é o setor responsável por 9,1% do consumo de água no país, onde o maior consumo é dentro do setor têxtil (ANA, 2017). Esse setor chega a consumir 15% do total de água que se destina para o uso industrial mundial, consumindo até 1000 m³ de água por tonelada de tecido produzido (PECORA, 2017, p.6). Até 2025, as indústrias têxteis serão responsáveis por 24% do consumo mundial de água. Estima-se que em 2025, haverá um aumento de 50% no consumo de água nos países em desenvolvimento e de 18% nos países desenvolvidos (SILVA, J.S, 2012, p 34). Estima-se que de 10 a 15% da carga orgânica total de corantes entram no ambiente pelos efluentes industriais têxteis (BATTISTI et al. 2016, p.12).

Os corpos hídricos estão sendo contaminados diariamente pela constante emissão de matérias de uso domiciliar e industrial (PEREIRA, 2002, p.4). As autoridades têm buscado um monitoramento melhor ao meio ambiente, apoiando medidas que priorizam os recursos naturais (PADULA e SILVA, 2005, p.8). O governo tem tentado limitar o uso dos recursos hídricos às indústrias têxteis, através de novas legislações e condicionamentos da ANA - Agência Nacional das Águas e CONAMA - Conselho Nacional do Meio Ambiente, pois esses têm sido alvo do despejamento da água utilizada em seus processos, muitas vezes sem o tratamento adequado. Esses efluentes são complexos e possuem uma carga grande de corante (FREITAS, 2002, p.33) elevada carga orgânica, alto teor de sais inorgânicos (KAMIDA et al, 2005, p.629) e toneladas de metais pesados (SILVA, 2012, p 34). Isso altera todo o ecossistema aquático e, além da poluição visual os compostos possuem alta toxicidade e, quando não tratado corretamente podem gerar bioacumulação na biota aquática (MENDES, DILARRI e PELEGRINI, 2015, p.898).

Os efluentes da produção têxtil são oriundos dos processos de: engomagem; desengomagem; cozimento; mercerização; alvejamento; tingimento; estamparia e acabamento. Dentre esses processos, o acabamento e tingimento são os principais geradores dos maiores rejeitos têxteis - material derivado de sobra e resto da produção que não possui mais utilidade após a etapa que o utilizou, por serem as

etapas onde são empregados os corantes. Esses compostos quando não são fixados nas fibras aumentam a coloração e a toxicidade (PEREIRA e GUARIEIRO, 2020, p.2). A etapa de tingimento, consome de 100 até 180 litros de água por quilo, a variar do tipo de tecido que é beneficiado nessa fase (MORAES, 2013, p.13). Nos processos industriais, ocorrem muitas perdas de produtos como corantes, detergentes e engomantes, assim elevadas quantidades de efluentes carregados com diversas substâncias são gerados. Esses efluentes trazem os corantes como principais substâncias contaminantes. Cerca de 15% da produção total de corantes se perde nos processos industriais indo para os efluentes têxteis (MOREIRA, 2019, p.16).

Os corantes são compostos que têm propensão a se acumularem nas plantas e organismos aquáticos (BARROS, 2019, p.6). Possuem componentes tóxicos em suas moléculas, tais como, benzeno, tolueno, etilbenzeno, naftaleno, antraceno e xileno. Esses compostos podem se bioacumular e serem tóxicos para a maioria dos seres vivos, podendo permanecer por 50 anos no meio ambiente (MENDES, DILARRI e PELEGRINI, 2015, p.899).

Esse grave problema ambiental se relaciona principalmente com o setor de tingimento, pois as fibras têxteis requerem corantes com características próprias e bem definidas, os quais devem apresentar alta afinidade, uniformidade na coloração, resistência ao desbotamento, e ainda devem apresentar-se economicamente viáveis (QUEIROZ et al. 2019, p.6). Diversos compostos químicos coloridos têm sido sintetizados nos últimos 100 anos, dos quais cerca de 10.000 são produzidos em escala industrial e estima-se que atualmente 2.000 tipos desses corantes estão disponíveis para a indústria têxtil (GUARATINI e ZANONI, 2000, p.71).

Os corantes são os compostos mais problemáticos nos efluentes têxteis, devido à sua alta solubilidade na água e baixa degradabilidade e alto volume gerado (QUEIROZ et al. 2019, p.6). Quando se lança diretamente nos efluentes o rejeito têxtil, tendo em sua composição os corantes sintéticos, há um grave impacto ao meio ambiente, tornando-o altamente tóxico, e devido à alta carga orgânica é impedido o

processo de fotossíntese pelos organismos produtores - como as algas e fitoplâncton (SILVA, 2017). O uso de corantes naturais já vem sendo discutido e utilizado para se atingir uma produção mais limpa a fim de reduzir os impactos gerados ao meio ambiente no ciclo de vida dos produtos (NARIMATSU et al. 2020, p.12). Esses poluentes trazem aos ambientes aquáticos o rápido esgotamento do oxigênio dissolvido, que se trata da quantidade de O₂ e sua concentração num determinado fluido ou transportado por este, trazendo desequilíbrio neste ecossistema (ALMEIDA et al. 2019, p.2). A presença dos corantes nas águas impede a penetração da luz solar nas camadas mais profundas, alterando a atividade fotossintética do meio, resultando em deterioração da qualidade dessa água e diminuindo a solubilidade de oxigênio, resultando em efeitos tóxicos sobre a fauna e flora aquática (ALMEIDA et al. 2019, p.2; FILHO, 2015, p.4).

Além do mais, são produtos altamente mutagênicos e carcinogênicos (SILVA, 2017). Quando o corante é de alguma forma ingerido pelo organismo humano, há grandes riscos e prejuízos nas vias cutâneas e respiratórias. Podendo provocar irritações, alergias entre outras. Ainda há a possibilidade e preocupação com problemas na alteração do material genético (mutagênese) e formação de neoplasia (carcinogênese), levando o indivíduo à morte dependendo de sua toxicidade (GUARATINI e ZANONI, 2000, p.77).

Há ainda seus subprodutos após a degradação, que contém aminas e anéis aromáticos, tornando-o ainda mais problemático (FILHO, 2015, p.4) e os compostos intermediários, que são produzidos durante as etapas da descoloração, dentro da manufatura como, por exemplo, os compostos fenólicos e aminas aromáticas que são altamente tóxicos e pouco biodegradáveis (FORGIARINI, 2006, p.82). Os compostos intermediários dificultam em grande escala a eficiência dos tratamentos biorremediáveis. Devido à grande variação dos corantes e suas propriedades, o estudo sobre qual microorganismo remove melhor um corante específico se faz necessário (ALMEIDA et al. 2019, p.3-4).

A preservação do ambiente está se tornando uma preocupação para a sociedade. Os fabricantes têm buscado métodos e técnicas mais simples e de menor custo no tratamento das águas antes de devolvê-las ao meio ambiente, esses processos incluem os tratamentos físicos, químicos e biológicos (FREITAS, 2018, p.15). Com a preservação do ambiente, as empresas ganham, além de credibilidade diante dos consumidores, uma parcela de subprodutos gerados pela reciclagem e reaproveitamento dos resíduos obtidos na produção principal, conseqüentemente resultando em menores desperdícios, com melhores resultados (SANTOS, 1997, p.7).

Nos últimos anos, regulamentações rigorosas têm sido estabelecidas em muitos países referentes ao descarte de efluentes coloridos. A legislação governamental está se tornando cada vez mais rigorosa, especialmente nos países desenvolvidos e em desenvolvimento, no que diz respeito à remoção de cor dos efluentes industriais (BORTOLUCCI, 2018, p.20). A aplicação desta lei continuará a assegurar que indústrias têxteis tratem seus efluentes para que se ajustem aos padrões requeridos, minimizando o impacto ambiental (ANJANEYULU et al., 2005). Legislações estão sendo constantemente criadas, revisadas e impostas acerca do descarte de efluentes (MEHLER, 2013, p.9-10). Em relação às políticas ambientais nacionais aplicadas ao tratamento dos efluentes, podemos destacar:

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, a citar:

Art. 15. Aplicam-se às águas doces de classe 2 as condições e padrões da classe 1 previstos no artigo anterior, à exceção do seguinte:

I - Não será permitida a presença de corantes provenientes de fontes antrópicas que não sejam removíveis por processo de coagulação, sedimentação e filtração convencionais;

Art. 16. As águas doces de classe 3 observarão as seguintes condições e padrões:

I - Condições de qualidade de água:

e) não será permitida a presença de corantes provenientes de fontes antrópicas que não sejam removíveis por processo de coagulação, sedimentação e filtração convencionais; f) resíduos sólidos objetáveis: virtualmente ausentes;

Art. 20. As águas salinas de classe 3 observarão as seguintes condições e padrões:

IV - Corantes provenientes de fontes antrópicas: virtualmente ausentes;

Resolução CONAMA, N° 430, DE 13 DE MAIO DE 2011 como um todo, dispõe sobre as condições e padrões de lançamento de efluentes, complementa e altera a Resolução no 357, de 17 de março de 2005, do Conselho Nacional do Meio Ambiente – CONAMA

Resolução ANA, N° 219, DE 6 DE JUNHO DE 2005 de maneira geral, versa sobre as diretrizes para análise e emissão de outorga de direito de uso de recursos hídricos para fins de lançamento de efluentes.

A legislação ambiental é muito complexa, mesmo aquela somente aplicada à indústria. O tratamento dos efluentes industriais necessita ser estudado individualmente para se conhecer os padrões de lançamento dos rejeitos a serem tratados, de acordo com suas especificidades (ANDRADE, 2004, p.15). A sustentabilidade ambiental se constitui em uma meta que deve ser alcançada pelos diversos segmentos econômicos e sociedade em geral. Tal condição se apresenta como requisito para se garantir a perenidade dos componentes bióticos e abióticos (QUEIROZ et al. p.17).

Ainda há uma ausência de responsabilidade ambiental no descarte dos seus efluentes por parte da indústria têxtil (ALMEIDA et al. 2019, p.2). Um dos maiores problemas é a falta de fiscalização e monitoramento dos resíduos descartados pelas indústrias, podendo ocorrer farsas e alterações nos tratamentos dos efluentes

(BOROSKI, 2007). Com esse entendimento as políticas públicas, estudiosos e defensores do meio ambiente vêm buscando formas de diminuir os elementos tóxicos que são incorporados aos ecossistemas aquáticos (KUNZ et al. 2002, p.78).

3.3.1. Corante Violeta Cristal

Corantes são substâncias orgânicas que possuem a característica de serem coloridas e fluorescentes, podendo ser de origem natural ou sintetizadas, tendo a propriedade de alterar a cor de diversos materiais pela absorção seletiva da luz (BAZZO, 2015, p.4). Para o tingimento têxtil são utilizados vários tipos de corantes e cada um é escolhido de acordo com a natureza da fibra têxtil, suas características estruturais, classificação, propriedades de fixação do corante à fibra, custo econômico dentre outras características (ROYER, 2008, p.14).

Os corantes são facilmente detectados a olho nu, sendo visíveis mesmo em concentrações bastante baixas. Por esse motivo, qualquer quantidade utilizada pela indústria e lançada, em efluentes aquáticos, pode causar uma mudança na coloração da água, gerando um comprometimento do sistema aquoso (ROYER, 2008, p.14).

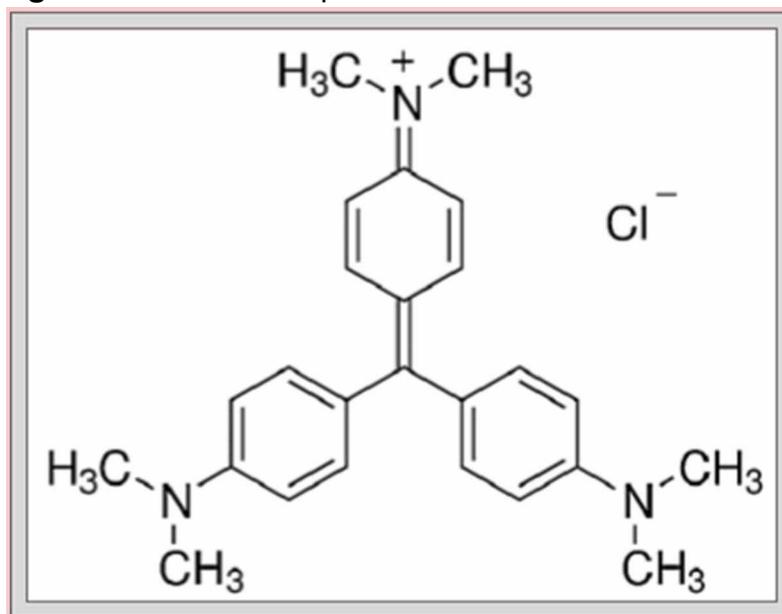
As cores dos compostos podem ser intensificadas e/ou modificadas por grupos auxocromos e, a estabilidade da molécula do corante é diretamente relacionada à força de ligação química entre os átomos dos dois grupos: os cromóforos e os auxocromos (MELO, 2014, p.15). Os cromóforos são os grupos de átomos responsáveis por conferir cor e os auxocromos são substitutos polares que constituem grupos formadores de sais que aumentam ou melhoram a cor (CUNHA, 2009, p. 21).

Basicamente existem os corantes dos grupos azóicos, antraquinonas, nitro e quinolinas. Dentre esses, os corantes azóicos são considerados como a classe química mais importante para a indústria de tingimento, com participação que varia entre 50 e 65% das formulações comerciais, sendo que, além da indústria têxtil, essa

classe de corante é bastante utilizada nas indústrias alimentícias, farmacêuticas e de cosméticos (BAZZO, 2015, p.5).

O corante Violeta Cristal, Cloreto de pararosanilina (Figura 02), também conhecido como violeta genciana, é utilizado dentro dos processos de tingimento de papel, couros, fibras, identificação de bactérias, no tratamento de queimadura e lesões da pele; sendo um corante de difícil remoção (BAZZO, 2015, p.7). É amplamente utilizado como indicador de pH, como corante roxo para têxteis tais como algodão e seda, e em tintas de impressão (BERTOLINI e FUNGARO, 2011, p.2).

Figura 02 - Estrutura química do corante Violeta Cristal.



Fonte: Guida e Falcão, 2018.

Pertence ao grupo dos triarilmetanos (BERTOLINI e FUNGARO, 2011, p.2), possui boa solubilidade em água, é catiônico (formam cátions em uma solução), com alta capacidade de conferir cor, mesmo em concentrações abaixo de 1,0 mg L⁻¹ (FILHO, 2015, p.7).

3.3.2. Efluentes da Indústria Têxtil e os Métodos de Tratamentos

Levando em consideração o crescimento populacional, a alta produção da indústria têxtil e a contaminação dos efluentes por corantes químicos, é mais que necessário a busca das melhores formas para tratar as águas residuárias e de novas tecnologias de tratamento para os poluentes dos corpos hídricos, incluindo os corantes sintéticos (NUNES, 2019, p.11).

Os efluentes provenientes de indústrias de corantes ou de processos envolvendo tingimento têxtil, quando não tratados convenientemente, antes de serem lançados em águas naturais, são capazes de atingir reservatórios e estações de tratamento de água colocando em risco todo um sistema aquático (ROYER, 2008, p.24). Assim, a remoção dos corantes que fazem parte dos efluentes industriais se faz extremamente necessária (ALMEIDA, 2018, p.16).

Corantes em tecidos são projetados para serem resistentes, por exemplo, à luz ultravioleta, e por isso constituem um grupo desafiante de compostos químicos quando se trata de processos degradativos (PEIXOTO, MARINHO & RODRIGUES 2013).

A nível industrial, não há como substituir esses compostos ou removê-los da produção já que são matéria prima essencial em vários segmentos (ALMEIDA et al. 2019, p.13). A complexidade dos corantes dificulta o tratamento desses materiais quando lançados nos efluentes. Portanto, há uma necessidade de inovação das metodologias já existentes no tratamento desses poluentes (DELLAMATRICE, 2005, p.16).

O desenvolvimento de tecnologia adequada para tratamento de efluentes tem sido objeto de grande interesse nos últimos tempos devido ao aumento da conscientização e rigidez das regras ambientais (GUARATINI e ZANONI, 2000, p.72). Os processos de tratamento a serem adotados, as suas formas construtivas e os

materiais a serem empregados são considerados a partir dos seguintes fatores: a legislação ambiental regional; o clima; a cultura local; os custos de investimento; os custos operacionais; a quantidade e a qualidade do lodo gerado na estação de tratamento de efluentes industriais; a qualidade do efluente tratado; a segurança operacional relativa aos vazamentos de produtos químicos utilizados ou dos efluentes; explosões; geração de odor; a interação com a vizinhança; confiabilidade para atendimento à legislação ambiental; possibilidade de reuso dos efluentes tratados (BORDONALLI e MENDES, 2009, p.235).

Deve ser avaliado a toxicidade dos poluentes e dos metabólitos formados na remoção da cor, levando em consideração a tecnologia empregada no tratamento, observando seus resultados e viabilidade da metodologia. É de extrema importância, encontrar meios eficazes para o tratamento dos poluentes, que sejam capazes de transformar as moléculas tóxicas e recalcitrantes³, em produtos biodegradáveis e com baixo risco toxicológico para os organismos e o meio ambiente (KAMMRADT, 2004).

Observa-se uma grande variedade de métodos para remediação como, por exemplo, os processos físicos, como por fluxo subcrítico; químicos, como ozonização e fotodegradação; e biológicos, como adsorção e biodegradação. Para a escolha do método, deve ser levado em consideração, além dos objetivos a serem alcançados, os danos que ocorrerem ao meio ambiente durante o processo (SILVA, 2013, p.7).

Apesar dos variados métodos para o tratamento dos efluentes têxteis, não existe eficácia alta, e em geral utiliza-se técnicas associadas para garantir o mínimo de eficiência, aumento assim o custo alto e o tempo, tornando o tratamento pouco viável para quem utiliza (PEREIRA e GUARIEIRO, 2020).

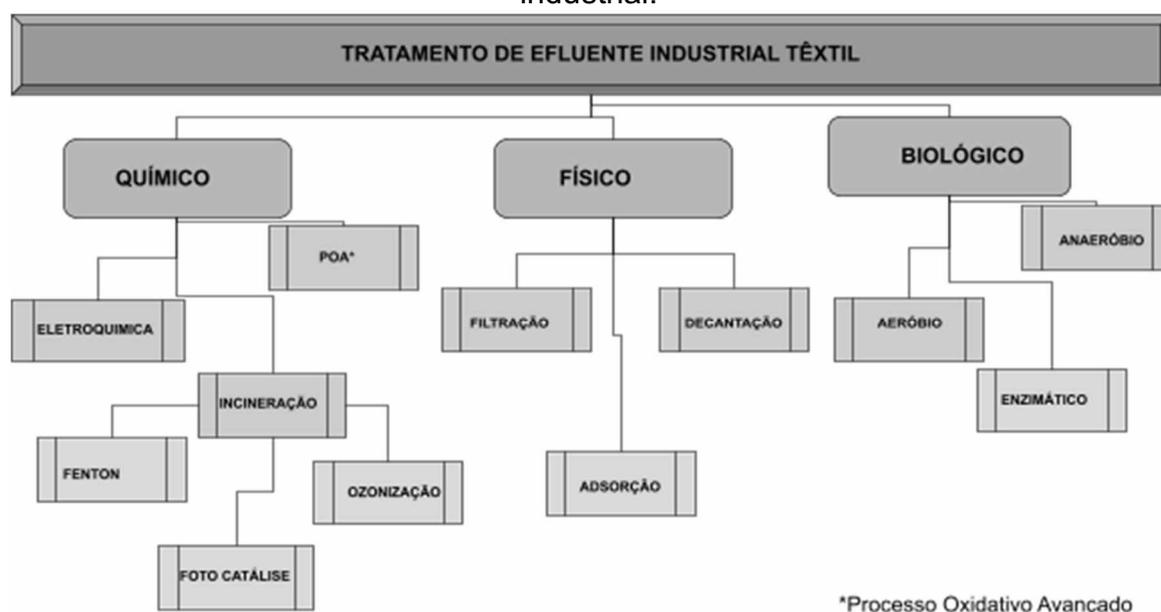
Os estudiosos e pesquisadores têm se concentrado em aumentar a eficiência das tecnologias que já são empregadas nas indústrias, deixando por vezes os métodos mais céleres e sustentáveis. Partindo desse ponto de os corantes sintéticos não poderem ser removidos de forma convencional, existe a necessidade de

³ Que permanece. Moléculas orgânicas de difícil degradação.

desenvolvimento de novas metodologias e tecnologias ecologicamente corretas, capazes de remover tais compostos, beneficiando o meio ambiente e seu ecossistema (ALMEIDA et al. 2019, p.10).

No fluxograma (Figura 03) são apresentados os tratamentos de efluente Industrial divididos em áreas.

Figura 03 - Fluxograma dos principais tratamentos de efluente industrial.



Fonte: do autor

Dentre os processos físicos mais utilizados para tratamento de corantes em efluentes têxteis, destaca-se a adsorção em carvão ativado, coagulação e flotação, sendo bem eficientes na remoção dos poluentes de matrizes complexas (NETO et al. 2011, p.1468).

A oxidação química é comumente utilizada na remoção de cor do efluente industrial, esse processo tem como base o cloro ou o ozônio, e o segundo é efetivamente mais satisfatório, pois o cloro pode produzir substâncias organocloradas

e não é eficaz na destruição de alguns tipos de corantes como os diretos⁴ conhecidos como aniônicos e os dispersos⁵ compostos orgânicos não iônicos (SILVA e ANDRADE, 2013, p.35)

A incineração do resíduo sólido é outro processo químico muito utilizado, mas tem alto custo de operação e manutenção, gerando também, alguns compostos de nível tóxico como, por exemplo, as dioxinas e furanos, que são lançados na atmosfera (NETO et al. 2011, p.1468).

Os processos biotecnológicos, chamados também de processos naturais, pois não necessitam de substâncias químicas, são cada vez mais procurados para os problemas ligados ao lançamento dos corantes em corpos hídricos. Em sua maioria utilizam como matéria-prima fungos e bactérias (SOUZA e ROSADO, 2009, p.1). O tratamento biológico além da alta eficiência têm um menor custo financeiro e gera um menor impacto ambiental (PASCHOAL e FILHO, 2005, p.766). Pesquisas científicas têm buscado encontrar os microrganismos mais eficientes e resistentes para garantir a eficiência desses tratamentos biológicos na remoção/degradação de moléculas de corantes sintéticos (PEREIRA e FREITAS, 2012, p.995). Esse processo se torna possível quando um determinado microrganismo presente no ambiente tem capacidade de converter uma molécula química complexa em uma molécula mais simples. Tais moléculas são utilizadas como fonte de carbono pelos microrganismos, lhes conferindo energia para seu crescimento e manutenção de seu metabolismo (ALMEIDA, 2013, p.33).

O método baseia-se na degradação do corante pela ação enzimática de microrganismos (PASCHOAL e FILHO, 2005, p.766). Ao utilizar bactérias no tratamento, o microrganismo envolve uma etapa enzimática onde ocorre a clivagem das ligações azo a partir de uma enzima azoredutase e um doador de elétron. Os

⁴ Esses corantes são solúveis em água, muitos têm baixa solidez à umidade.

⁵ Os corantes dispersos são praticamente insolúveis em água, porém mais substantivos para com as matérias hidrófobas

produtos resultantes, como por exemplo, algumas aminas aromáticas podem ser degradadas pelas enzimas hidroxilase e oxigenase, produzidas por essas bactérias. Contudo, muitos outros subprodutos da descoloração das soluções, tais como amino benzeno sulfônicos ou ácidos naftilaminos sulfônicos são recalcitrantes ao ataque bacteriano, uma vez que os grupos sulfonilos correspondem a um elemento estrutural xenobiótico, onde sua porção aniônica fortemente carregada impede a penetração do composto através da membrana das bactérias. Assim a aplicação de bactérias no tratamento de azo corantes torna-se um pouco restrita (ALMEIDA et al. 2019, p.9).

O número de pesquisas utilizando fungos tem crescido a cada ano, devido estes organismos serem pouco seletivos e seu sistema lignolítico⁶ é extracelular possuindo baixa especificidade ao substrato. Os fungos promovem a remoção de corantes de efluentes têxteis principalmente através de três mecanismos: biossorção, bioacumulação e biodegradação (PEIXOTO, MARINHO e RODRIGUES, 2013, p.101).

Bioacumulação é um termo geral que descreve a tomada de um contaminante químico, do ambiente, por uma ou todas as rotas possíveis (respiração, dieta, via dérmica, etc.), a partir de qualquer fonte no ambiente onde tais substâncias estão presentes. Os peixes, por exemplo, assimilam algumas substâncias químicas procedentes de sua alimentação, ou ainda através da ingestão de material particulado adsorvido nos sedimentos ou presente em suspensão nas águas. Em muitos casos, tais substâncias não são metabolizadas pelo peixe, ou seja, acabam se acumulando nos tecidos adiposos, nos quais sua concentração aumenta com o tempo. Aves predadoras que se alimentam desses peixes, por consequência, apresentaram concentrações ainda maiores destas substâncias no organismo (GHISELLI e JARDIM, 2007, p.698). Na bioacumulação, o composto se acumula em elevada concentração no organismo, é o que ocorre quando os corantes são absorvidos na parede celular de fungos e leveduras (PEIXOTO, MARINHO e RODRIGUES, 2013, p.101).

⁶ tipo de digestão fúngica, através da decomposição de materiais lenhosos úmidos.

A biodegradação é descrita como uma variedade de processos biológicos onde os microrganismos transformam os contaminantes orgânicos em produtos metabólicos inócuos ou menos tóxicos (SCHNEIDER, 2001, p.26). Na biodegradação dos corantes por ação fúngica, o organismo promove uma intensa secreção de metabólitos extracelulares, especialmente enzimas, que levam à conversão de moléculas maiores em menores, as quais podem ser transportadas da membrana plasmática fúngica e adentrar o metabolismo intracelular (CARVALHO et al. 2009, p.2193).

Biossorção é o termo utilizado para indicar um grande número de mecanismos independentes (adsorção química e ou física, interações eletrostáticas, troca iônica, complexação, quelação e microprecipitação) onde um determinado poluente interage com um adsorvente de origem biológica (DOTTO, 2012, p.19). A biossorção é um processo que utiliza biomassa de algas, fungos, leveduras, bactérias, cascas e folhas de plantas, entre outros, como biossorvente principalmente de corantes e metais em geral (PEREIRA, 2019, p.17). Existem grandes benefícios dentro do processo de biossorção como, por exemplo, o uso de material adsorvente que tem baixo custo e que são biodegradáveis. Esses materiais têm se mostrado altamente eficazes na remoção de substâncias químicas como o caso dos corantes têxteis (BARROS, CARVALHO e RIBEIRO, 2017, p.2). Há a tensão superficial que é um fenômeno de superfície, onde a influência do soluto na tensão superficial de uma solução, depende da maior ou menor concentração do soluto na superfície da solução. Quanto maior a presença do soluto na superfície da solução, menor será a tensão superficial e mais facilmente o soluto será absorvido (ANDREIS, 2011, p.3).

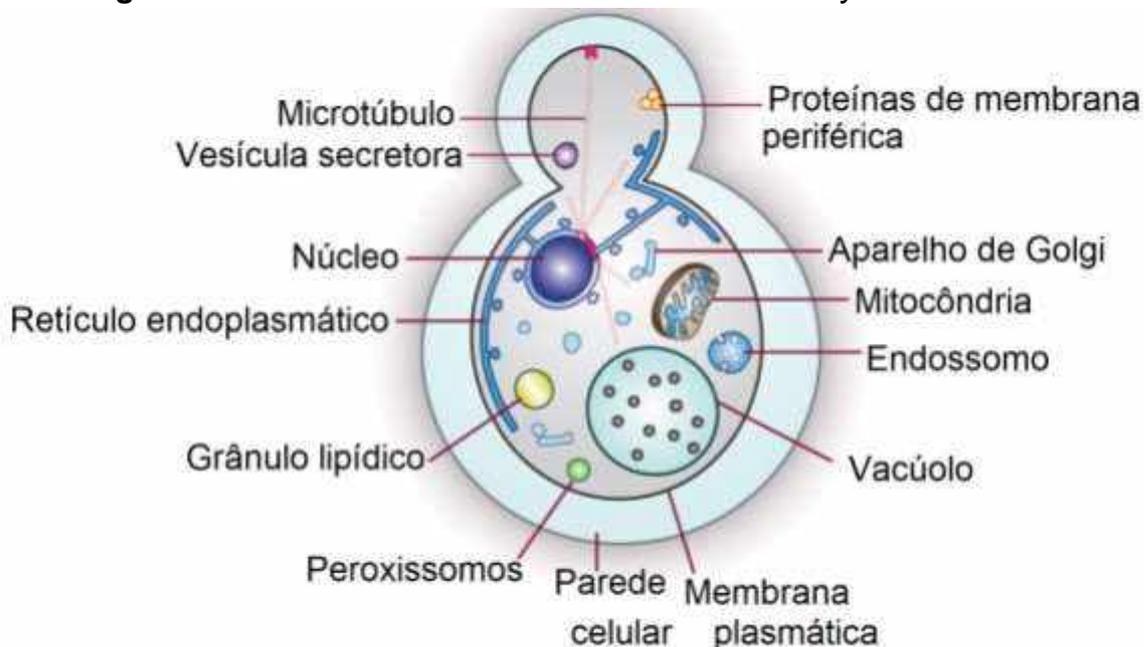
Não apenas na biossorção, mas em todos os processos de biorremediação citados anteriormente, utilizam-se organismos vivos, normalmente plantas, microorganismos como bactérias e fungos, ou suas enzimas (PEREIRA e FREITAS, 2012, p.998).

É notável o aumento da complexidade e dificuldade para o tratamento de efluentes têxteis e indústrias de um modo geral. Por tanto é necessário a busca constante de novas metodologias para tratamento destes rejeitos. Como observado, há muitas variedades dos métodos de tratamento, sendo físicos, químicos e biológicos e a escolha do melhor, ou melhores, métodos seguramente devem ser feita levando-se em conta os objetivos a serem alcançados com o tratamento (KUNZ et al. 2002, p.81).

3.3.3. *Saccharomyces cerevisiae*

A levedura *Saccharomyces cerevisiae* (Figura 04) é a espécie de organismo eucarioto mais conhecida e estudada no mundo, sendo um importante modelo de celular, alvo do primeiro programa de sequenciamento genético. Foi escolhida como organismo biosorvente, levando em consideração seu custo baixo de obtenção e fácil acesso. São amplamente utilizadas há centenas de anos na produção de alimentos e bebidas sem qualquer histórico consistente de efeitos indesejados à saúde humana, animal e ao meio ambiente. De fácil manipulação, seu preparo, dependendo do uso, pode ser em temperatura ambiente (FIORI, 2013, p.5).

Figura 04 - Estrutura celular da levedura *Saccharomyces cerevisiae*.



Fonte: RIXHON, 2021.

A levedura tem sua maior utilização na produção de álcool etílico por fermentação, do qual o Brasil produz cerca de 13 bilhões de litros por ano. Também é amplamente utilizada na panificação e por essa razão é conhecida como “fermento de pão” (FERREIRA et al. 2007, p.1188).

A biomassa da levedura *Saccharomyces cerevisiae* vem sendo muito utilizada em processos de biossorção, devido principalmente a características como fácil obtenção, manejo e cultivo, alto rendimento e baixo custo. Outro fator muito importante que faz com que seu uso seja crescente em pesquisas de biossorção, é que a mesma pode ser reaproveitada após ser esgotada pela indústria cervejeira, o que a torna uma biomassa econômica e ambientalmente sustentável (PEREIRA, 2019, p.14). A

Saccharomyces cerevisiae tem como particularidade suas paredes compostas por células glucanos (polissacarídeos), e mananos (oligosacarídeos) que são carboidratos e tem como sua principal função fornecer energia a célula, possuem de 50 a 70% proteína bruta e também algumas quantidades de quitina (Del Rio, 2004, p.8).

As leveduras necessitam de fonte de carbono que fornece energia, o meio deve também ser fonte de algumas vitaminas, nitrogênio, ferro, cobre, enxofre, fósforo, entre outros (SANTOS, 2008, p.9). A levedura *Saccharomyces cerevisiae* praticamente não é capaz de se beneficiar com as proteínas do meio e também não possui capacidade metabólica de aproveitar o nitrogênio em forma de nitrato, somente na forma amoniacal, amídica ou amínica. Os principais açúcares utilizados como fonte de carbono pela *Saccharomyces cerevisiae* são galactose, glicose e frutose (monossacarídeos), e sacarose e maltose (dissacarídeos), como fonte de nitrogênio podem ser utilizados os aminoácidos asparagina, glutamina, glutamato ou amônio (CRUZ, 2021, p.12).

As leveduras são classificadas a partir de sua morfologia e fisiologia, a utilizada neste trabalho, tem sua classificação biológica e taxonômica dentro do Domínio: Eukaryota; Reino: Fungi; Filo: Ascomycota; Classe: Saccharomycetes; Ordem: Saccharomycetes; Família: Saccharomycetaceae; Gênero: *Saccharomyces* (RODRIGUES, 2017). *Saccharomyces cerevisiae* se reproduz assexuadamente por brotamento ou gemulação, durante o processo de brotamento o núcleo se divide por constrição e parte dele, bem como outras organelas entram no broto (RODRIGUES, 2017, p.64).

A levedura é um microrganismo facultativo, ou seja, ela possui capacidade de ajustar seu metabolismo, tanto em ambientes aeróbicos como em anaerobiose (CRUZ, 2021, p.19), sendo a utilizada neste trabalho um organismo aeróbio facultativo (ORTIZ, SIMIONATTO e BARROZ, 2014, p.2). São microrganismos mesófilos, com temperatura ótima de crescimento entre 26-35°C (GÓES-FAVONI et al, 2018, p.291).

4. MATERIAIS E MÉTODOS

4.1. REAGENTES E EQUIPAMENTOS

A pesquisa foi conduzida nos Laboratórios do Instituto Federal do Triângulo Mineiro - Campus Uberlândia, utilizando os equipamentos e reagentes cedidos por este.

Utilizou-se o corante Violeta Cristal da Vetec Química Fina LTDA, ácido clorídrico P.A. da CRQ, Hidróxido de Sódio da Alphatec, todos de pureza analítica (P.A.) ou superior. A levedura *Saccharomyces cerevisiae* utilizada foi uma comercial da marca FLEISCHMANN.

Os equipamentos utilizados foram: agitador magnético IKA - RH basic 1, medidor de pH Gehaka com eletrodo universal - PG 2000, centrífuga KINDLY KC16R, mesa agitadora orbital Solab - SL 180/DT e espectrofotômetro Gehaka UV340G. As análises espectrofotométricas foram todas realizadas utilizando cubeta de vidro com caminho óptico de 10 mm. Também foi utilizado Microscópio trinocular para fotomicrografia ADP.0,5X, marca motic e câmera de vídeo digital de 3.0 MEGA PIXEL.

As análises espectrofotométricas das amostras do corante foram realizadas antes e após os tratamentos com a levedura para se verificar a concentração de corante remanescente e a porcentagem de descoloração, ou seja, remoção do corante, através da equação 01.

Equação 01 - Equação para verificação de concentração de corante remanescente e porcentagem de descoloração.

$$\% \text{ de Descoloração} = \frac{(\text{Concentração inicial} - \text{Concentração final})}{\text{Concentração inicial}} \times 100$$

Fonte: do autor.

Todas as vidrarias e materiais utilizados nas análises foram lavados previamente com água deionizada de um sistema de osmose reversa Gehaka OS10LX. Após seu uso, as vidrarias foram lavadas com Solução Sulfocrômica para remoção da cor.

4.2. SOLUÇÕES, TESTES E OTIMIZAÇÃO DOS PARÂMETROS

O estudo apresenta uma abordagem seguindo o método de tratamento biológico de efluente têxtil, testando a capacidade biossorbitiva de leveduras *S. cerevisiae*, em contato com o corante Violeta Cristal, observando as características do reagente como biossorvente, otimizando os seguintes parâmetros: pH, massa da levedura, tempo de contato entre levedura e corante e interferência da agitação, para uma proposta no tratamento dos efluentes da indústria têxtil.

A solução estoque do corante Violeta Cristal foi preparada pela solubilização de uma massa do reagente em água deionizada, utilizando o agitador magnético para certificar que todo conteúdo fosse dissolvido, a fim de se obter uma concentração de 0,05% m/v (500 mg L⁻¹). Essa solução foi então armazenada para que a partir dela fossem feitas as diluições necessárias ao experimento. Para as leituras espectrofotométricas, renovou-se diariamente a referência (branco) das soluções.

As soluções de HCl e NaOH 0,1 mg L⁻¹ foram preparadas de forma similar à do corante, sem a necessidade do uso do agitador. Tais soluções foram utilizadas para o preparo das soluções em diferentes pH (2,5; 4,5; 6,5 e 8,5) que foram utilizadas no teste de estabilidade do corante.

4.2.1. Determinação do comprimento de onda de máximo de absorção do corante

Pela varredura espectrofotométrica na região do visível na faixa espectral de 400 nm até 700 nm, foi definido o comprimento de absorção máxima ($\lambda_{\text{máx}}$) do

corante. As amostras do corante submetidas a esses testes foram preparadas na concentração de 10,0 mg L⁻¹.

4.2.2. Teste de estabilidade do corante

O teste de estabilidade foi realizado com o objetivo de verificar possíveis alterações espectrais na presença de diferentes concentrações hidrogeniônicas nas soluções do corante.

Para a realização do teste de estabilidade do corante, amostras da solução estoque foram diluídas em água deionizada, devidamente corrigidas para os valores de pH 2,5; 4,5; 6,5 e 8,5, a fim de se obter uma concentração de 5,0 mg L⁻¹. As soluções foram submetidas a análises espectrofotométricas no comprimento de onda de absorção máxima do corante 585 nm.

Realizou-se a varredura espectral, em triplicata, na região de 400 a 700 nm. Para encontrar a estabilidade do corante, após a varredura espectral dos diferentes pHs, devem apresentar-se similares e com certo grau de sobreposição. Se apresentarem irregulares e sem sobreposição, entende-se que o corante é instável e nesse caso deve-se encontrar o ponto isobéstico⁷ para a realização das análises de degradação do corante têxtil.

4.2.3. Curvas de calibração para o corante

Utilizando o comprimento de onda de 585 nm, e os pHs 2,5±0,1; 4,5±0,1; 6,5±0,1 e 8,5±0,1, determinou-se as curvas de calibração padrão para o corante Violeta Cristal. As curvas foram construídas com base no gradiente de concentração

⁷ Um ponto de isobéstico é o comprimento de onda onde a absorbância de duas ou mais espécies de compostos é a mesma. No ponto isobéstico, a probabilidade da forma básica e ácida é igual.

de corante versus a absorbância obtida em cada ponto. Preparou-se as soluções dos corantes em diferentes concentrações: 0,5; 1,0; 2,0; 3,0; 4,0; 5,0; 6,0 e 7,0 mg L⁻¹.

4.2.4. Otimização dos parâmetros: pH, massa de levedura, tempo de contato e agitação.

Realizou-se a otimização dos parâmetros: pH, massa da levedura, tempo de contato entre levedura e corante e interferência da agitação, para avaliar a melhor condição em que as leveduras pudessem absorver o corante. Todos os testes foram realizados em triplicata.

Para a otimização do melhor pH de biossorção do corante Violeta Cristal pela levedura *Saccharomyces cerevisiae*, preparou-se água deionizada em 4 pHs distintos, sendo: 2,5±0,1; 4,5±0,1; 6,5±0,1 e 8,5±0,1. Foi adicionado 50,0 mg de levedura em 10,0 mL de solução contendo corante, na concentração de 7,0 mg L⁻¹. O tempo de contato entre levedura e corante foi de 60 minutos com agitação orbital a 250 rpm. Findo os 60 minutos, realizou-se a centrifugação por 20 minutos e 3000 rpm e após esse processo realizou-se a leitura espectrofotométrica. O estudo considerou o pH 4,5 mais favorável à ação da levedura e seguiu com a otimização da massa da levedura.

Para a obtenção da quantidade em massa de *Saccharomyces cerevisiae* mais eficaz no tratamento biossortivo, utilizou-se 25,0±0,2; 50,0±0,2; 75,0±0,2; e 100,0±0,2; mg de massa para 10,0 mL de solução do corante Violeta Cristal na concentração de 7,0 mg L⁻¹, refletindo em concentrações da levedura de 0,25%, 0,5%, 0,75% e 1,0% m/v, respectivamente. A agitação, a centrifugação e a leitura no espectro foram feitas conforme citado para a otimização do pH. O estudo considerou a concentração de 0,75% m/v a mais eficaz na remoção do corante Violeta Cristal em contato com *Saccharomyces cerevisiae*.

No estudo sobre qual tempo seria melhor para o tratamento, utilizou-se de 30, 60, 90 e 120 minutos. A massa de levedura foi mantida em 0,75% m/v com a solução de corante na concentração de 7,0 mg L⁻¹ a pH 4,5. O teste foi realizado, mantendo

três tubos em agitação e três em repouso, para cada tempo. Para o estudo com agitação, ela foi mantida durante todo o tempo na velocidade de 250 rpm. Tanto para o estudo com agitação, quanto para o estudo em repouso, após os tempos citados acima, foi a centrifugação e a leitura espectrofotométrica conforme otimização do pH. Sessenta minutos foi considerado o melhor tempo para a ação das leveduras em contato com o corante.

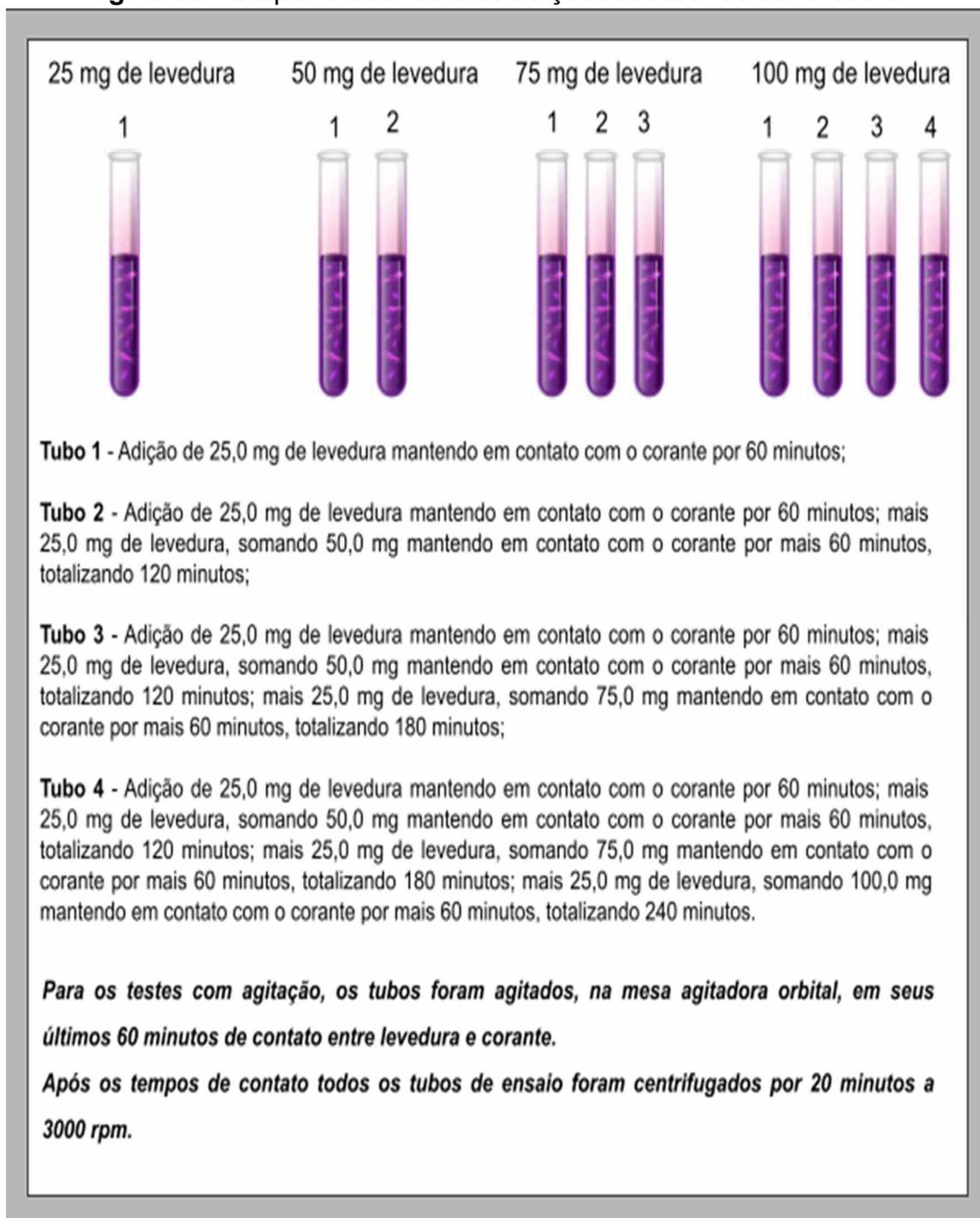
4.2.5. Teste de adições sucessivas de levedura

A pesquisa realizou o teste de adições sucessivas de massa da levedura utilizando o resultado das otimizações anteriores dos parâmetros, pH, massa e tempo de contato entre *Saccharomyces cerevisiae* e Violeta Cristal, para observar se existia diferença significativa ao adicionar a massa de levedura de uma vez, como nos testes anteriores, ou se o tratamento seria beneficiado adicionando a levedura parcialmente. Para esse teste utilizou-se o pH 4,5 com tempo de contato de 60 minutos, observando também os resultados com e sem agitação. As massas de levedura utilizadas foram nas concentrações, 25, 50, 75 e 100 mg. Os tubos de ensaio receberam 10 mL de solução, na concentração de 7,0 mg L⁻¹, do corante Violeta Cristal. As massas foram adicionadas de 25 em 25 mg com espaçamento de tempo de 60 minutos conforme demonstrado na Figura 05.

Para os testes com agitação, os tubos foram agitados, na mesa agitadora orbital, em seus últimos 60 minutos de contato entre levedura e corante. Após os tempos de contato todos os tubos de ensaio foram centrifugados por 20 minutos a 3000 rpm.

Conforme a Figura 05, o teste seguiu da seguinte forma:

Figura 05 - Sequência do teste de adições sucessivas da levedura.



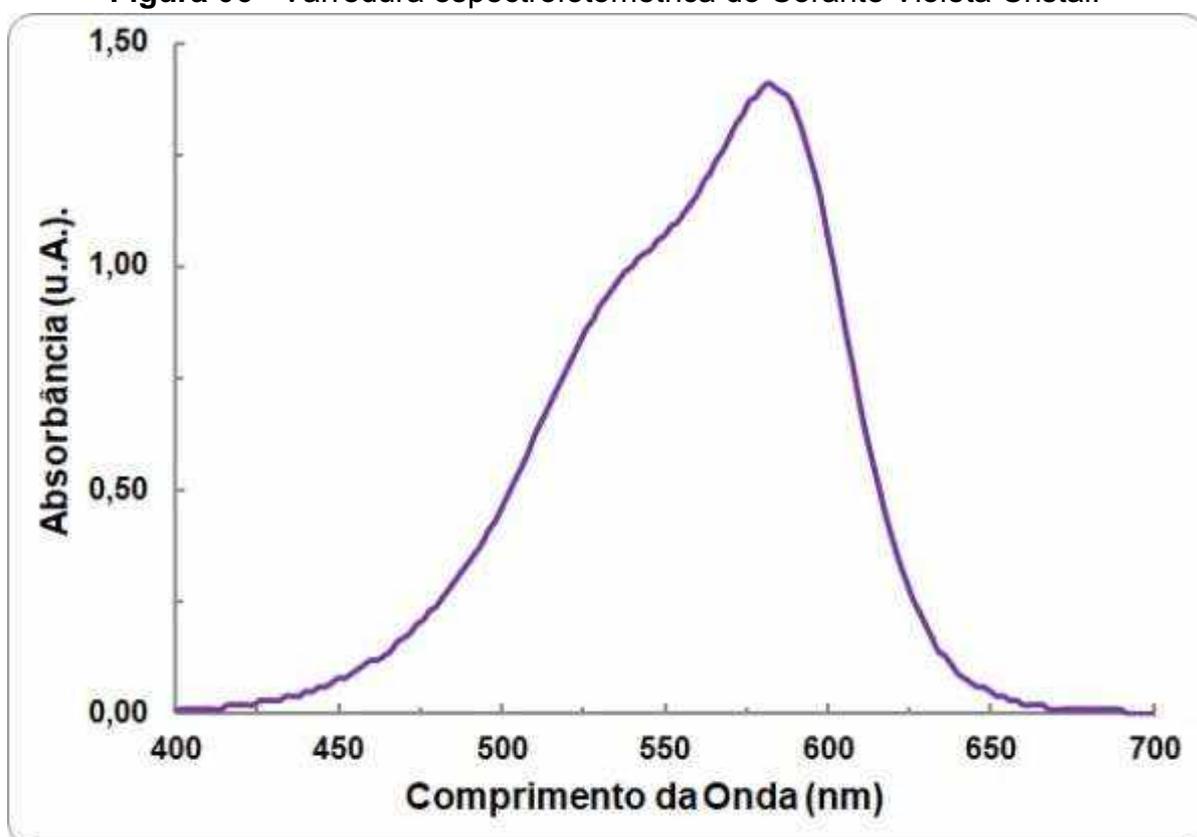
Fonte: do autor

5. RESULTADOS E DISCUSSÃO

5.1. VARREDURA ESPECTROFOTOMÉTRICA DO CORANTE VIOLETA CRISTAL

A coloração de cada corante é concebida pelos grupos cromóforos presentes em suas moléculas (PECORA, 2017, p.27). Pela varredura espectrofotométrica na região de 400 nm até 700 nm, observa-se que o ponto de máxima absorção de luz pelo corante é 585 nm (Figura 06).

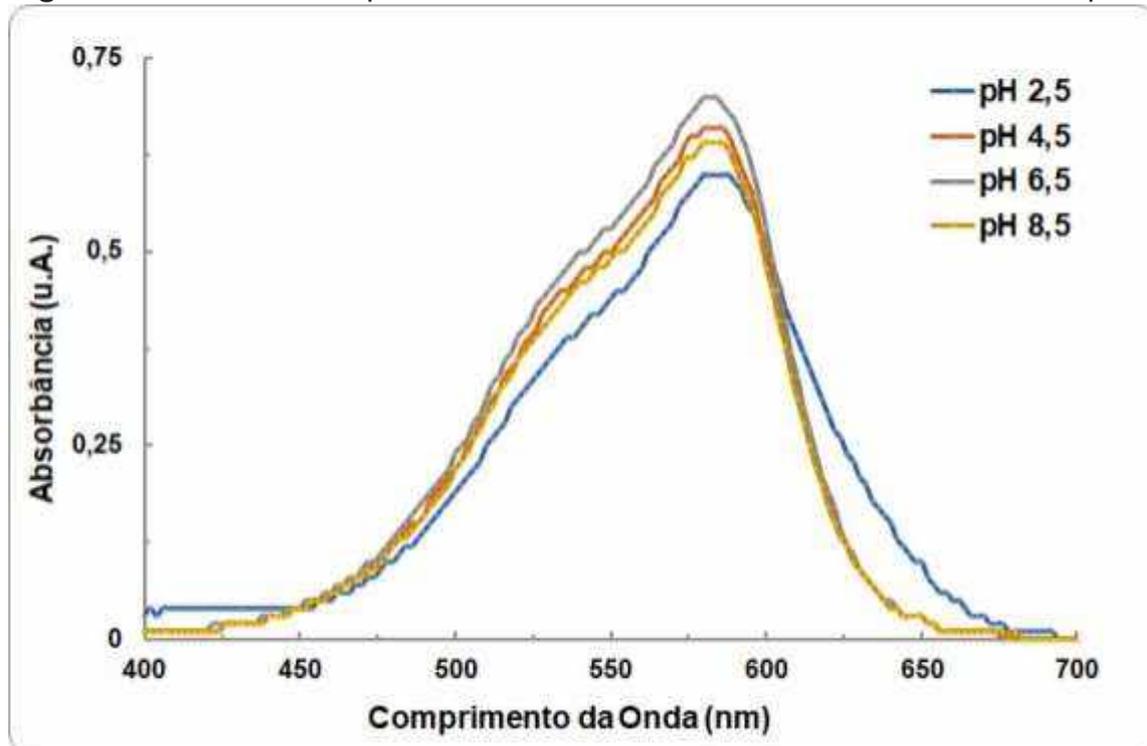
Figura 06 - Varredura espectrofotométrica do Corante Violeta Cristal.



Fonte: do autor

Observando o gráfico de estabilidade do corante Violeta Cristal Figura 07, identificou-se que as ondas não estavam sobrepostas, portanto, visualmente o corante não se apresentaria estável nos pH avaliados. Por outro lado, o comprimento de onda de 585 nm, comprimento de absorção máximo do corante, foi o mesmo em todos os pHs.

Figura 07 - Varredura espectrofotométrica do Violeta Cristal nos diferentes pHs.



Fonte: do autor

Assim, buscou-se verificar estatisticamente, por meio do cálculo do coeficiente de variação (C.V.), se os desvios entre os espectros de varredura eram mesmos significativos. Para isso, realizou-se leituras de cada pH no comprimento de onda de 585 nm, e o C.V. calculado foi de 4,57%, conforme Tabela 01, ficando abaixo de 5%

para todas as medidas e, portanto, a não sobreposição observada visualmente não era significativa.

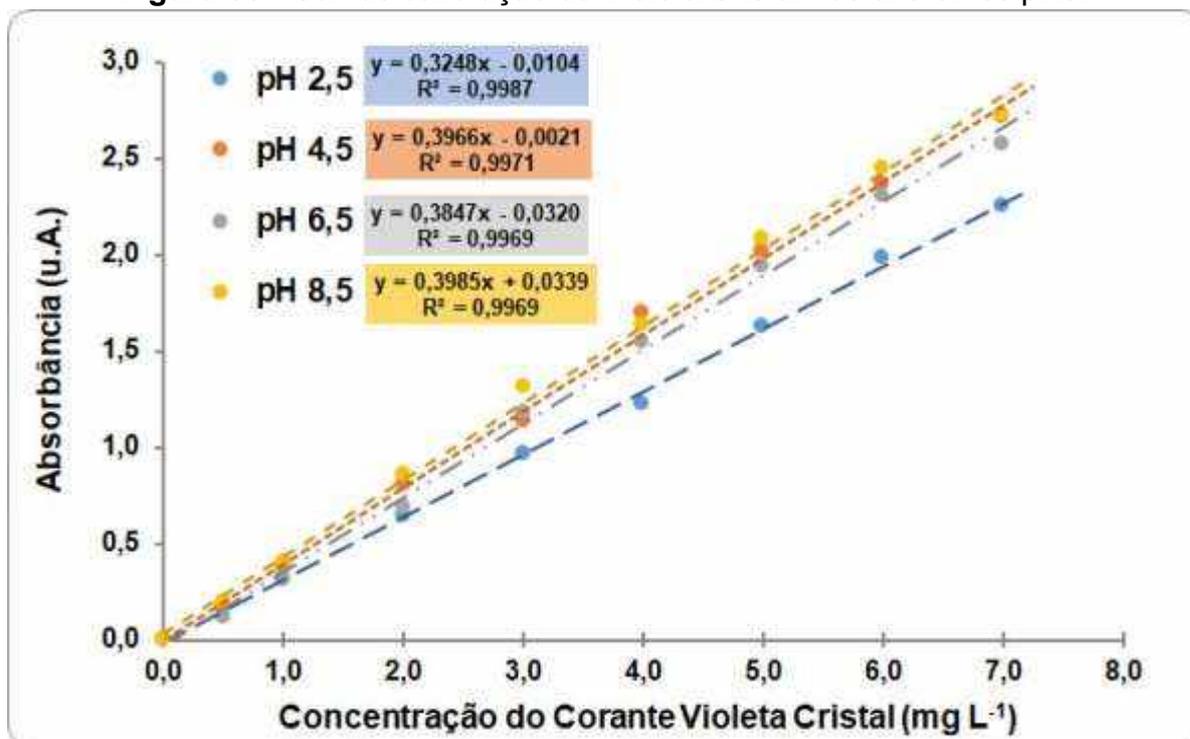
Tabela 01 - Análise do Coeficiente de Variação para as absorbâncias obtidas em cada pH no comprimento de onda de 585 nm.

pH	Média	DP*	CV#	DP Geral	CV Geral
2,5	0,8718	0,0146	1,67		
4,5	0,9488	0,0269	2,84		
				0,0427	4,57%
6,5	0,9446	0,0170	1,80		
8,5	0,9695	0,0177	1,83		

*DP: Desvio Padrão; #CV: Coeficiente de Variação

Fonte: do autor

Para prosseguirmos os estudos construiu-se curvas de calibração do corante nos diferentes pHs, 2,5; 4,5; 6,5 e 8,5, a fim de observar se haveria variações de absorbância frente a diferentes concentrações do corante. A curva de calibração permite realizar a análise quantitativa do corante, relacionando a absorbância, no comprimento de onda máximo de 585 nm, com a quantidade de corante presente em cada amostra. Foi realizado a leitura espectrofotométrica de soluções do corante nas concentrações de 1,0 a 12 mg L⁻¹, com variação de 1,0 mg L⁻¹, sendo constatado a linearidade, ou seja, seguindo a Lei de Beer-Lambert, até a concentração de 7,0 mg L⁻¹ para todos os pHs, conforme é demonstrado na Figura 08.

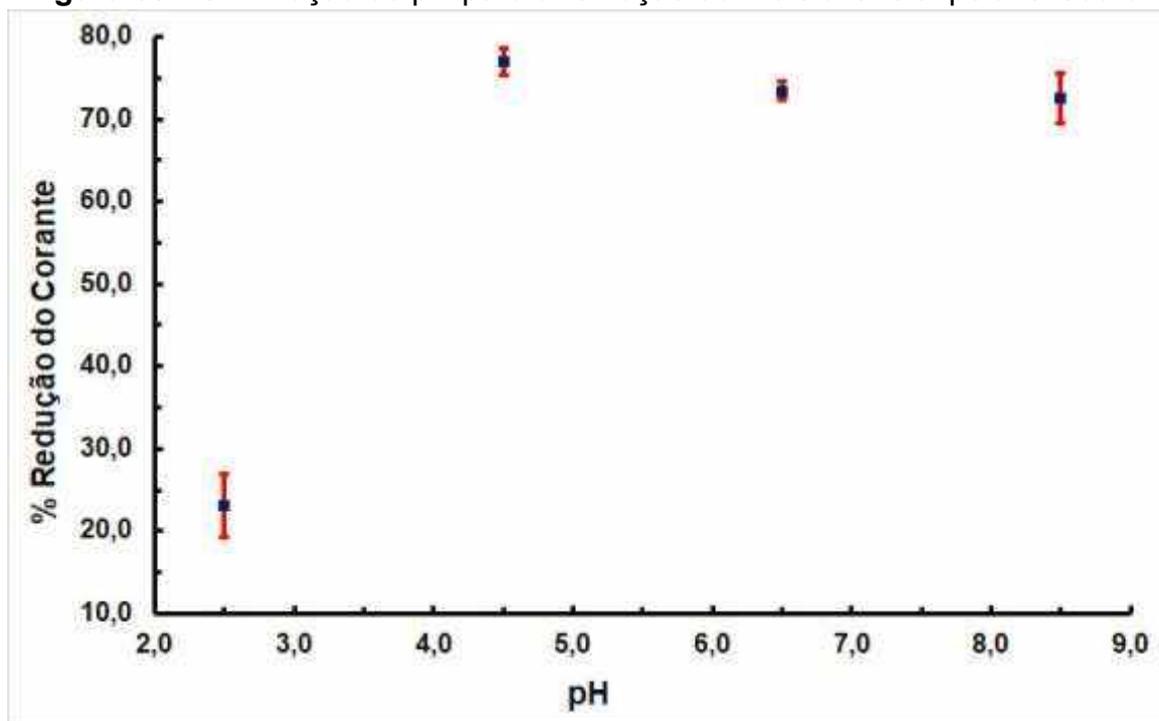
Figura 08 - Curvas calibração do Violeta Cristal nos diferentes pHs.

Fonte: do autor

5.2. OTIMIZAÇÃO DO PH

Após a constatação que o corante é estável nos pHs analisados (2,5; 4,5; 6,5 e 8,5), foi conduzida a otimização do melhor pH para absorção do corante pela levedura, utilizando os mesmos valores do teste de estabilidade. Para um volume de 10,0 mL na concentração de 7,0 mg L⁻¹ do corante usou-se 75,0 mg de levedura deixando em contato por 60 minutos com agitação.

O pH mais favorável ao tratamento biossorbitivo foi o pH 4,5 (Figura 9), apresentando a maior remoção do corante, sendo os pHs 6,5 e 8,5 com remoções muito semelhantes entre si e, ambos muito próximos do pH 4,5.

Figura 09 - Otimização do pH para a remoção do Violeta Cristal pela levedura.

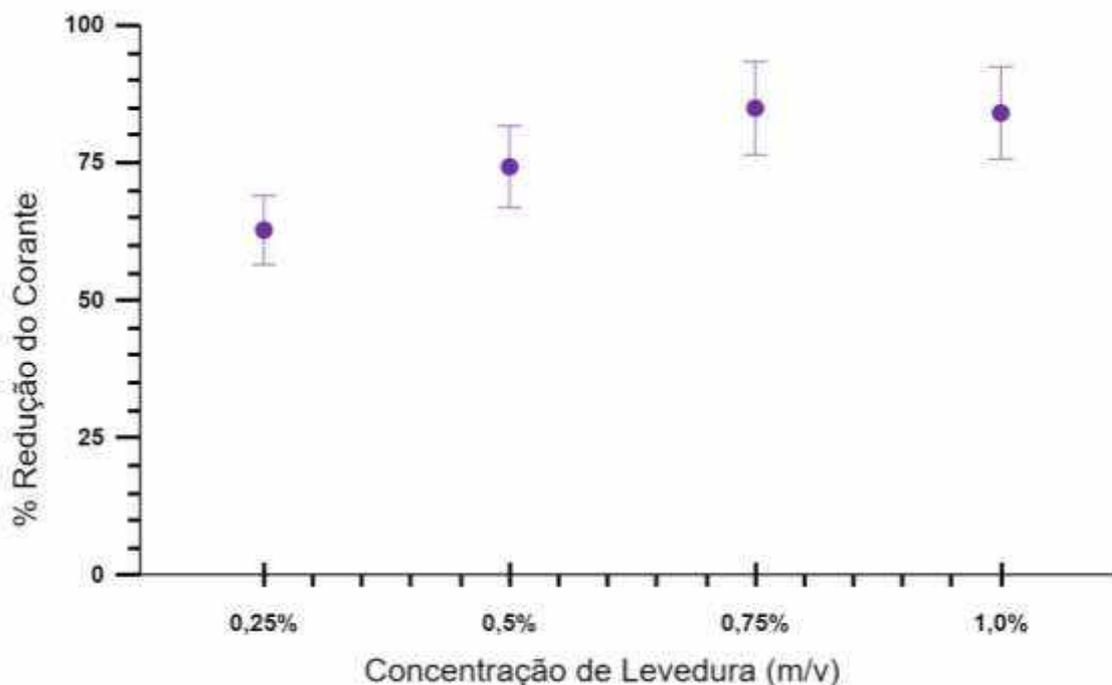
Fonte: do autor

Considerando a faixa do desvio-padrão, os pHs 4,5; 6,5 e 8,5 apresentaram o mesmo percentual de remoção. Dessa forma, selecionamos o pH 4,5 para prosseguirmos os estudos, pois ele apresentou uma leve superioridade no percentual médio de remoção, quando comparado aos mais alcalinos. Foi observado também que o pH mais ácido de 2,5, desfavorece bastante a ação biossorbitiva da levedura *Saccharomyces cerevisiae* em contato com o corante Violeta Cristal. Uma possível explicação para isso é que devido as cadeias laterais da parede celular da levedura conter ligações fosfodiéster, a carga geral do seu envelope celular acaba sendo negativa (SILVA, 2019, p.139). Em meio ácido esses sítios negativos acabam sendo protonados o que impede a interação da levedura com o corante, visto que, conforme relatado no item 3.3.1. o corante Violeta Cristal é catiônico e acaba disputando os sítios de interação com os íons hidrogeniônicos.

5.3. MASSA DA LEVEDURA

Utilizando o pH otimizado de 4,5, dispuseram as massas de levedura nas quantidades de 25, 50, 75 e 100 mg, concentrações de 0,25%, 0,5%, 0,75% e 1,0% m/v, respectivamente, para um volume de 10,0 ml do corante na concentração de 7,0 mg L⁻¹, para saber qual quantidade seria mais eficaz no tratamento do corante, os resultados estão demonstrados na Figura 10.

Figura 10 - Otimização da massa da levedura adicionada ao Violeta Cristal.



Fonte: do autor

A concentração de levedura que apresentou o maior valor médio de remoção foi a de 0,75% m/v, sendo maior que as concentrações de 0,25 e 0,5% m/v e estatisticamente semelhante, quando analisado o desvio-padrão, com a concentração de 1,0% m/v. Para os seguintes estudos consideramos a concentração de 0,75% m/v

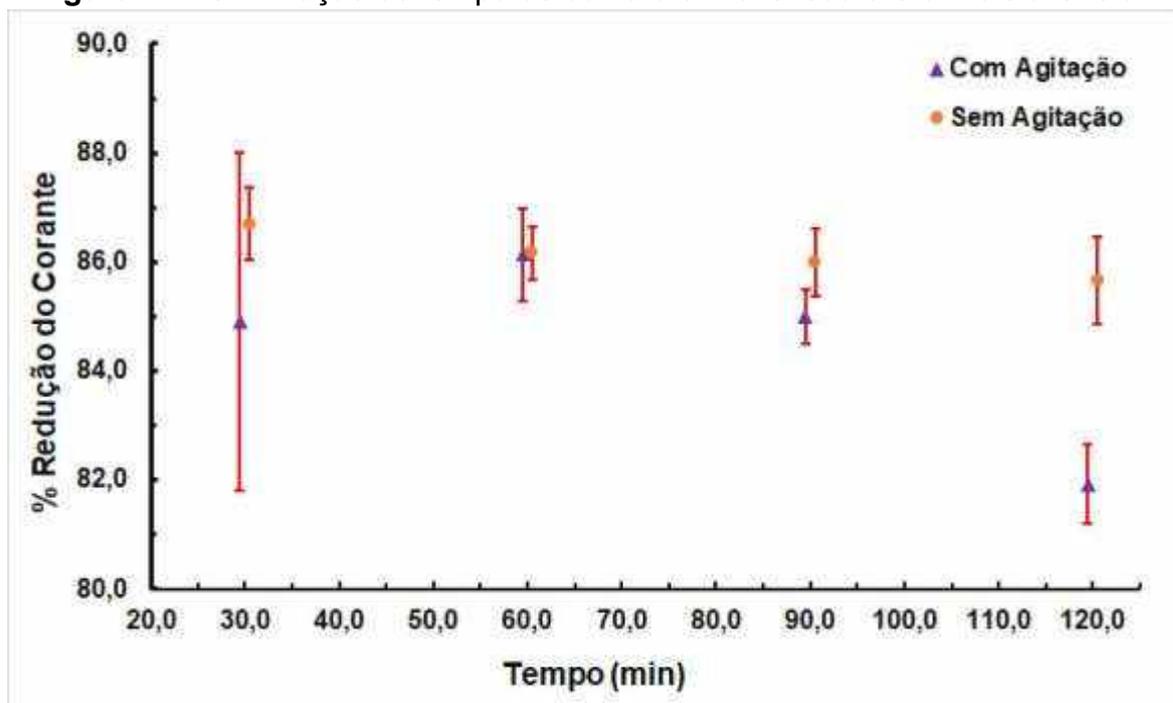
como a melhor, por apresentar uma massa menor que a concentração de 1,0% m/v, gerando assim, menor custo e com menor produção de resíduo após tratamento.

5.4. TEMPO

No estudo do tempo de contato da levedura com o corante, utilizou-se os parâmetros pH 4,5 e a concentração de 0,75% m/v, por serem os pontos de maior eficácia otimizados, até agora, no tratamento biossorbitivo. Foi realizada a otimização do tempo mantendo a levedura em contato com 10,0 mL do corante na concentração de 7,0 mg L⁻¹ durante os tempos de 30, 60, 90 e 120 minutos com e sem agitação. Observando o gráfico da Figura 11, percebe-se que há uma interferência significativa da agitação no resultado.

Quando se observa simplesmente as médias, nos tempos de 30, 60, 90 e 120 minutos a ação da levedura é mais eficaz sem agitação, e que com agitação há um aumento na remoção do corante de 30 para 60 minutos e nos tempos seguintes, 90 e 120 minutos, há um decréscimo. No tempo de 60 minutos tanto com, quanto sem agitação, as médias são estatisticamente iguais (86% de remoção), e os desvios são menores, por esse motivo, para os próximos testes, considerou-se como ótimo o tempo de 60 minutos.

Figura 11 - Otimização do tempo de contato entre levedura e o Violeta Cristal.



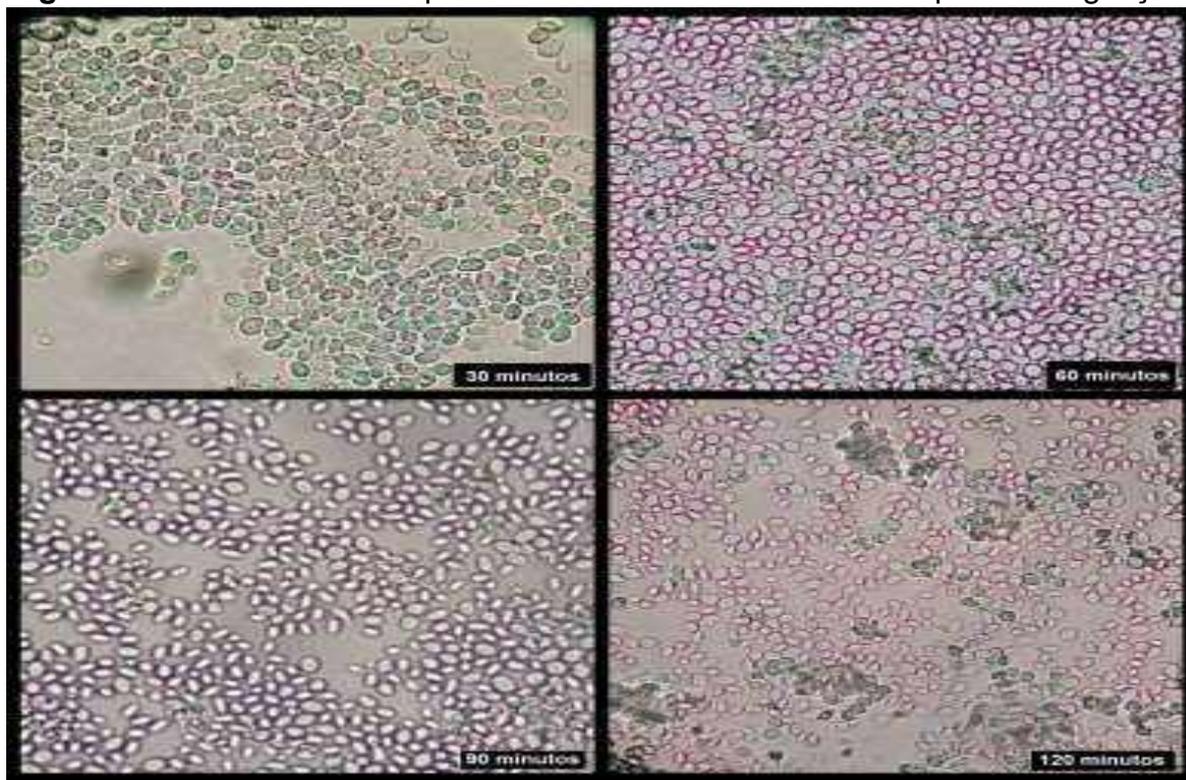
Fonte: do autor

Após os resultados apresentados na Figura 11, e a fim de averiguar porque o corante volta a aumentar de concentração na solução a partir do tempo de 90 minutos em contato com a levedura e com agitação, realizou-se uma avaliação

microscópica, conforme Figura 12.

Observou-se no tempo de 120 minutos muita lise celular a qual é caracterizada na imagem pelos borrões mostrando o rompimento das células em consequência da destruição de sua membrana. Diante desse resultado, infere-se que a agitação em tempos maiores rompe a célula da levedura, liberando novamente o corante para o meio extracelular.

Figura 12 - Análise microscópica da levedura nos diferentes tempos com agitação.



Fonte: do autor

5.5. APLICAÇÃO DOS PARÂMETROS OTIMIZADOS NO TRATAMENTO DO CORANTE

Após a otimização dos parâmetros estudados, obteve-se maior eficácia na remoção do corante Violeta Cristal pela levedura *Saccharomyces cerevisiae* no pH de 4,5, com concentração de levedura de 0,75 % m/v e tempo de contato de 60 minutos.

Foi observado também que no tempo otimizado a agitação não teve influência, ou seja, pode-se fazer o tratamento com ou sem agitação. No entanto, em um novo estudo, fazendo o tratamento de remoção com variadas concentrações do corante (1,0; 3,0; 5,0; 7,0; 9,0 e 11,0 mg L⁻¹), Tabela 2, foi verificado um resultado diferente. Esse novo experimento mostrou que, quando se usou agitação, houve aumento da

biossorção do corante pela levedura, com valor médio de todos os pontos igual a $84 \pm 4\%$. Já sem agitação, houve decréscimo da biossorção do corante pela levedura, com valor médio de todos os pontos igual a $83 \pm 10\%$. Pode ser identificado ainda que, o ponto de maior biossorção foi na concentração de $1,0 \text{ mg L}^{-1}$, alcançando 96% de remoção do corante, já o ponto de menor absorção foi na concentração de $11,0 \text{ mg L}^{-1}$ com 71% , ambos sem agitação. Para os pontos otimizados e mantidos com agitação, a concentração que alcançou sua maior remoção de corante foi a de $9,0 \text{ mg L}^{-1}$ com 87% e a menor redução na menor concentração testada, $1,0 \text{ mg L}^{-1}$, com 78% .

Tabela 02 - Comparativo dos pontos otimizados após tratamento biossortivo, com e sem agitação.

Concentração do Corante Violeta Cristal (mg L^{-1})	Sem Agitação			Com Agitação		
	%Remoção	Média	DP*	%Remoção	Média	DP*
1,0	96			78		
3,0	92			85		
5,0	88	83	10	86	84	4
7,0	76			86		
9,0	77			87		
11,0	71			81		

*DP: Desvio Padrão

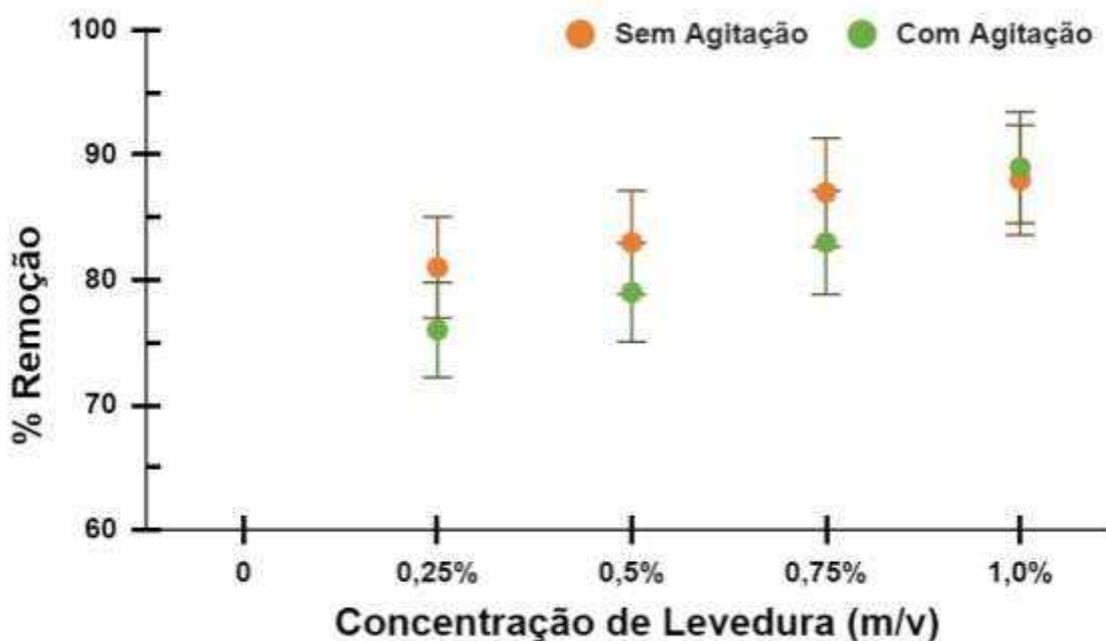
Fonte: do autor

5.6. ADIÇÕES SUCESSIVAS DE LEVEDURA

Realizou-se o teste de adição de massas da levedura *Saccharomyces cerevisiae* em porções de 25,0 em 25,0 mg (concentração de 0,25% m/v) com espaçamento de tempo de 60 minutos conforme Figura 05 (item 4.2.5). O experimento foi conduzido com e sem agitação, adicionando as massas a 10,0 mL de solução do corante Violeta Cristal na concentração de 7,0 mg L⁻¹ à pH 4,5.

Após a finalização do teste, observou-se, Figura 13, que quanto mais massa de levedura foi inserida em porções de 25,0 mg, maior a taxa de redução do corante, diferentemente do teste de adição única que teve aumento na eficiência até a concentração de 0,75% m/v e depois houve queda na redução do corante da solução.

Figura 13 - Adição da massa da levedura em porções, com e sem agitação.



Fonte: do autor

Portanto, para o teste de adições sucessivas quanto maior a quantidade de levedura adicionada, maior foi a taxa de remoção do corante. Observa-se também que nas concentrações 0,25%, 0,5% e 0,75% m/v, o tratamento sem agitação é mais eficaz quando comparado com o tratamento com agitação. Na concentração de 1,0% m/v a agitação tem um resultado levemente superior, em valor médio, mas estatisticamente igual, ao sem agitação, considerando o desvio.

Para o teste de adição sequencial de massa da levedura, o maior percentual de remoção, foi de 89%, utilizando agitação e concentração de levedura igual a 1,0% m/v, enquanto que o resultado menos eficaz foi de 76%, também utilizando agitação e 0,25% m/v de levedura. É válido lembrar que a agitação só ocorreu nos últimos 60 minutos de contato entre levedura e corante.

Os resultados que retratam as diferenças nos tipos de inserção da levedura única ou parcial, e aplicação da agitação, foram dispostas na Tabela 03. A concentração de corante foi de 7,0 mg L⁻¹, para ambos os tipos de adição.

Tabela 03 - Análise de máxima remoção para a otimização de adição única e parcial da levedura.

ADIÇÃO LEVEDURA	AGITAÇÃO	%REMOÇÃO	CONCENTRAÇÃO DE LEVEDURA (% m/v)	TEMPO DE CONTATO (min)
Única	COM	86	0,75	60
Parcial	COM*	89	1,0	240

*Agitação somente nos últimos 60 minutos

Fonte: do autor

Para o tratamento utilizando agitação, a melhor resposta foi a adição única da concentração de levedura 0,75%, mantendo os 60 minutos de contato e alcançando

86% de remoção do corante. Utilizando a concentração de 1,0% m/v de levedura, a melhor resposta foi com adição parcial da levedura, conseguindo remover 84% do corante em 240 minutos.

Para a aplicação do tratamento, a escolha da metodologia não depende apenas da porcentagem (3% de remoção à mais na adição parcial) de redução que deseja se alcançar, mas também dos outros fatores como a concentração de levedura (0,25% a mais na adição parcial) e o tempo aplicado no processo (180 minutos a mais na adição parcial).

6. CONCLUSÃO

Levando em consideração a preocupação da quantidade dos efluentes gerados pela indústria têxtil, e que são despejados nos corpos hídricos, trazendo impactos negativos ao meio ambiente, este trabalho apresenta estudos que visam contribuir com o tratamento biológico do corante Violeta Cristal utilizando a levedura *Saccharomyces cerevisiae*.

A presente pesquisa, testou o grau de remoção que a levedura consegue processar, otimizando os parâmetros de pH, massa da levedura, tempo de contato, e o efeito da agitação na eficácia do tratamento. Na concentração de 7,0 mg L⁻¹ do corante os melhores resultados de remoção foram pH 4,5, concentração de levedura de 0,75% m/v e tempo de contato entre a levedura e o corante de 60 minutos.

Em relação à agitação, recomenda-se mais estudos para entender até que ponto ela beneficia a ação das leveduras. Percebe-se que tempos maiores de agitação podem causar danos às células da levedura, diminuindo a eficiência do tratamento, mas por outro lado, o tratamento com agitação se mantém mais estável, e com menores desvios, quando comparado aos experimentos sem agitação.

Para a adição única da concentração de levedura 0,75% m/v, obteve-se o melhor resultado com 96% de remoção havendo o contato entre levedura e corante na concentração de 1,0 mg L⁻¹, mantido sem agitação por 60 minutos e pior resultado, foi de 71% de remoção, sem agitação e o corante na concentração de 11,0 mg L⁻¹.

Aplicando a adição parcial da concentração de levedura, o resultado de maior remoção do corante foi de 89% de eficácia utilizando concentração da levedura de 1,0% m/v, e o resultado mais baixo com 76% foi obtido com a concentração de 0,25% m/v de levedura, ambos com a aplicação da agitação e 7,0 mg L⁻¹ de concentração do corante.

Ao observar os melhores resultados da adição única e parcial da levedura, utilizando a mesma concentração de levedura 0,75% m/v e mesma concentração de

corante 7,0 mg L⁻¹, observamos, no processo sem agitação, um ganho de remoção de 11% e um aumento no tempo de tratamento, de 120 minutos, utilizando a adição parcial. Já com agitação, a adição única remove 86% do corante em 60 minutos e na adição parcial há 83% de remoção em 180 minutos. Uma queda de 3% mesmo com aumento do tempo.

Esse trabalho então demonstra que a eficácia do tratamento biológico do corante violeta Cristal, utilizando a levedura *Saccharomyces cerevisiae*, depende de fatores como, pH do meio, tempo de contato, agitação, quantidade e tipo de adição da levedura.

REFERÊNCIA BIBLIOGRÁFICA

- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DA INDÚSTRIA TÊXTIL E DE CONFECÇÃO – ABIT. **Dados gerais do setor referentes a 2019** (atualizados em dezembro de 2020), Disponível em: <https://www.abit.org.br/cont/perfil-do-setor#sthash.Dqb2QtO9.dpuf>. Acesso em: 06 maio.2021.
- ABREU, F.S. QFD - **Desdobramento da função qualidade - estruturando a satisfação do cliente**. São Paulo, 1997. <https://doi.org/10.1590/S0034-75901997000200005>
- AGÊNCIA NACIONAL DE VIGILÂNCIA SANITÁRIA. Disponível em: [Página inicial — Português \(Brasil\) \(www.gov.br\)](#). Acesso em: 02 março.2020.
- AGÊNCIA NACIONAL DAS ÁGUAS – ANA. Relatório IBGE/ANA: **Consumo de água no Brasil em 2017**, Disponível em: <https://ambientedomeio.com/2020/05/07/relatorio-ibge-ana-consumo-de-agua-no-brasil-em-2017/>. Acesso em: 03 maio. 2021.
- AGNOL, R. D.; **Biossorção do corante preto reativo 5 utilizando Saccharomyces cerevisiae esgotada do processo fermentativo da produção de cerveja**. Curitiba, 2014.
- ALMEIDA, A.P.; **Descoloração de corantes têxteis por phanerochaete chrysosporium por sistema submerso**. Rio de Janeiro, 2018.
- ALMEIDA, E.J.R.; et al. **A indústria têxtil no Brasil: Uma revisão dos seus impactos ambientais e possíveis tratamentos para os seus efluentes**. Rio Claro, 2019.
- ALMEIDA, E.J.R.; **Estudo da biorremediação dos azo corantes têxteis acid blue 161 e procion red mx-5b por fungos filamentosos em solução simples e solução binária associado a testes de toxicidade com lactuca sativa e artemia salina**. Rio Claro, 2013.
- ANDRADE, G.J.P.O.; **Um método de diagnóstico do potencial de aplicação da manufatura enxuta na indústria têxtil**. Florianópolis, 2006.

ANDRADE, S.; **Tratamento e controle de efluentes industriais**. 2004.

ANDREIS, F.; **Redução dos níveis de cromo em águas residuais utilizando *Saccharomyces cerevisiae* como bioadsorvente**. Porto Alegre, 2011.

ANJANEYULU, Y.; CHARY, N. S.; RAJ, D.; Samuel S.; **Decolourization of industrial effluents – available methods and emerging technologies – a review**. *Review in Environmental Science and Bio/Technology*. v 4, 2005.
<https://doi.org/10.1007/s11157-005-1246-z>

ARAÚJO, K. S.; ANTONELLI, R.; GAYDECZKA, B.; GRANATO, A. C.; MALPASS, G. R. P.; **Processos oxidativos avançados: uma revisão nos fundamentos e aplicações no tratamento de águas residuais urbanas e efluentes industriais**. *Revista Ambiente e Água*, v 11, n 2, 2016.

ASSAD, F.T.; et al. **Processamento do algodão para a produção têxtil. IV Encontro de engenharia de produção agroindustrial**. Campo Mourão, 2010.

BARBIERI, S. F.; **Biossorção de corantes através do isolado marinho *Paecilomyces* sp. Análise e caracterização de polissacarídeos envolvidos no processo**. Curitiba, 2014.

BARBOSA, M.C. et al. **Setor de fibras sintéticas e suprimento de intermediários petroquímicos**. Rio de Janeiro, 2004.

BARROS, D. C.; CARVALHO, G.; RIBEIRO, M. A.; **Processo de biossorção para remoção de metais pesados por meio de resíduos agroindustriais: uma revisão**. UFT, 2017.

BARROS, E.L.B.; **Remoção de corante de efluente têxtil sintético utilizando floculação iônica**. Natal, 2019.

BATTISTI, A.C.; et al. **Estudo da remoção de cor de um efluente têxtil real por reação de fenton**. Araquari, 2016.

BAZZO, A.; **Aplicação e caracterização do caroço de abacate (*Persea americana* mill) como adsorvente na remoção do corante violeta cristal**. Porto Alegre, 2015.

BELLATO, F.C.; et al. **Avaliação da fitotoxicidade de efluente têxtil contendo corante ci reactive blue 222 após o tratamento por pleurotus ostreatus em biorreator. XI Congresso brasileiro de engenharia química em iniciação científica.** Campinas, 2015.

BENEVIDES, M. M. P.; **Simulação do processo de produção: um estudo de caso na Indústria Têxtil.** Joinville, 2020.

BERTOLINI, T.C.R.; FUNGARO, D.A.; **Estudos de equilíbrio e modelagem cinética da adsorção do corante cristal violeta sobre zeólitas de cinzas leve e pesada de carvão.** International workshop advances in cleaner production. São Paulo, 2011.

BORDONALLI, A.C.O.; MENDES, C.G.N.; **Reúso de água em indústria de reciclagem de plástico tipo PEAD.** Eng Sanit Ambient, v 14, n 2, 2009. <https://doi.org/10.1590/S1413-41522009000200011>

BOROSKI, M.; **Estudo combinado de eletrocoagulação - flotação seguido de fotocatalise em efluentes de indústria de papel e celulose, e de indústria de fármacos e cosméticos.** Maringá, 2007.

BORTOLUCCI, P.S. **Utilização da enzima lacase produzida pelo fungo Pycnoporus sanguineus no uso da biodegradação do corante remazol brilliant blue utilizado em indústrias têxteis.** Assis, 2018.

BORTOLUZZ, B.M.A.; **Remoção dos corantes azul de metileno e cristal violeta de solução aquosa utilizando epicarpo (casca) de uva niágara rosada (vitis labrusca) como adsorvente.** 2015.

BRITANNICA.; **Os Editores da Enciclopédia. "Samuel Slater".** Enciclopédia Britannica, 17 de abril de 2021, <https://www.britannica.com/biography/Samuel-Slater>. Acesso em 26 de maio de 2021.

CALDERÓN, M. E.; ELENA, M.; BUITRÓN, G.; **Biosorption of Cd, Cr, Mn and Pb from aqueous solutions by Bacillus sp strains isolated from industrial waste activate sludge.** Revista Especializada en Ciencias Químico-Biológicas. 2016.

CASTRO, F.J.; **Avaliação ecotoxicológica dos percolados das colunas de cinza de carvão e de solos com cinza de carvão utilizando Lactuca sativa e Daphnia similis como organismos teste.** São Paulo, 2013.

CAVALCANTE, Z.V.; SILVA, M. L.S.; **A importância da Revolução Industrial no Mundo da Tecnologia.** VII EPCC Paraná, 2011.

CAVALCANTE, M.K.B.; CAVALCANTE, J.V.F.L.; MOTTA SOBRINHO, M.A.; CHAVES, A.M.C.B.; LIMA, A.B.; ANDRADE, F.M.; GUSMAO, C.A.; **Tratamento do corante da indústria têxtil drimaren vermelho CL 5BR através do processo oxidativo avançado FENTON.** São Paulo, 2018. <https://doi.org/10.5151/cobeq2018-PT.0139>

COSTA, C.R.; **A toxicidade em ambientes aquáticos: discussão e métodos de avaliação.** Química nova, v 7, 2008. <https://doi.org/10.1590/S0100-40422008000700038>

CARVALHO, P.S.; **A importância da indústria da moda para a produção têxtil.** Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro, 2010.

CARVALHO, W.; et al. **Uma visão sobre a estrutura, composição e biodegradação da madeira.** Química Nova v 32, 2009

CASTILLO, M.; BARCELÓ, D.; **Characterisation of Organic Pollutants in Textile Wastewater and Landfill Leachate by Using toxicity-based Fractionation Methods Followed by Liquid and Gas Chromatography Coupled to Mass Spectrometric Detection.** Department of Environmental Chemistry. Barcelona, 2000.

COMPANHIA AMBIENTAL DO ESTADO DE SÃO PAULO – CETESB. Disponível em https://cetesb.sp.gov.br/emergencias-quimicas/wp-content/uploads/sites/22/2013/12/emerg_dil_neut.pdf. Acesso em 07 agosto.2021.

COSTA, A.C.R.; ROCHA, E.R.P.; **Panorama da cadeia produtiva têxtil e de confecções e a questão da inovação.** BNDES Setorial, Rio de Janeiro, 2009.

CROCE, M.A.; **A economia do Brasil no século XIX.** XI Congresso Brasileiro de História Econômica, 2015.

CRUZ, H.R.; **Avaliação da relação C/N no desempenho da levedura**

Saccharomyces cerevisiae CAT-1. Piracicaba, 2021.

CUNHA, J.M.; **Tratamento de efluentes têxteis através do processo de adsorção em adsorventes de baixo custo - uma revisão.** Fortaleza, 2009.

DALTRO, J.J.M.; **Anarqueologia da eletricidade.** V Simpósio Nacional ABCiber, UDESC/UFSC, 2011.

DELLAMATRICE, P.M.; **Biodegradação e toxicidade de corantes têxteis e efluentes da Estação de Tratamento de águas residuárias de Americana, SP.** Piracicaba, 2005.

DEL RIO, D.T.; **Biossorção de cádmio por leveduras Saccharomyces cerevisiae.** 2004.

DOTTA FILHO, A.C.; **Capim-annoni (eragrostis plana nees) in natura para remoção do corante violeta de metila 10b de solução aquosa.** Alegrete, 2017.

DOTTO, G.L.; **Biossorção de corantes alimentícios utilizando nanopartículas de Spirulina platensis.** Rio Grande, 2012.

FARIAS, P.S.C.; SÁ, A.J.; **O cultivo e a produção de têxteis do algodão colorido em alguns espaços derivados do continente americano: de atividade complementar às tentativas de erradicação.** Revista de Geografia. Recife, 2008.

FCEM. **História da indústria têxtil: quais os avanços até os dias atuais? 2019.** Disponível em: [História da indústria têxtil: quais os avanços até os dias atuais? \(fcem.com.br\)](http://fciem.com.br) Acesso em: maio 2021.

FELDMAN, V.; JUNIOR, D.K.; **A revolução industrial e a produção de roupas.** Revista Agora nº 30. 2019. <https://doi.org/10.21825/agora.v13i5.9597>

FERREIRA, J.B.A.G.; **Implementação de linhas de produção com um pensamento e técnicas Lean.** 2013.

FERREIRA, J.M.; **Estudo do equilíbrio e cinética da biossorção do pH 2+ por Saccharomyces cerevisiae.** Química nova vol.30, 2007.

FILLETI, J.P.; BOLDRIN, R.; **A indústria têxtil no Brasil: um modelo econométrico analisando a hipótese de desindustrialização setorial.** *Economia e Sociedade*. Campinas, 2020. <https://doi.org/10.1590/1982-3533.2020v29n3art08>

FILHA, D.C.M.; CORRÊA, A.; **O complexo têxtil.** Brasília, 2000.

FILHO, A.T.S.; **Remoção do Violeta Cristal por adsorção utilizando carvão ativado.** 2015.

FIORI, C.S.; **Relatório de biossegurança da levedura *Saccharomyces cerevisiae* linhagem rn1016.** São Paulo, 2013.

FORGIARINI, E.; **Degradação de corantes e efluentes têxteis pela enzima horseradish peroxidase (HRP).** Florianópolis, 2006.

FORGIARINI, E.; SOUZA, A. A. U.; **Toxicity of textile dyes and their degradation by the enzyme horseradish peroxidase (HRP).** *Journal of Hazardous Materials*, 2007.

FREITAS, K.R.; **Caracterização e reuso de efluentes do processo de beneficiamento da indústria têxtil.** Florianópolis, 2002.

FREITAS, L.M.A.B.; **A política econômica externa Brasileira e a Indústria Têxtil de 2013 a 2017.** São Paulo, 2019.

FREITAS, M.P.F.; **Biossorção de corante reativo utilizando biomassa residual de origem lignocelulósica e fúngica.** Curitiba, 2018.

FUJITA, R.M.L.; **Economia solidária na indústria têxtil e de confecção: a influência dos atributos relativos ao mito fundador na moda brasileira.** São Paulo, 2017.

FUJITA, R.M.L.; JORENTE, M.J.; **A Indústria Têxtil no Brasil: uma perspectiva histórica e cultural.** *Moda Palavra e periódico* volume 8. Florianópolis SC, 2015.

GABRIEL, B.S.; **Relação entre a moda e arte no contexto do mercado contemporâneo.** Covilhã, 2020.

GANEM, R.S.; **Políticas setoriais e meio ambiente.** Brasília, 2015.

GARCIA, V.S.G.; BORRELY, S.I.; ROSA, J.M.; **Efluentes têxteis: tratamento com irradiação por feixe de elétrons para a redução de cor e toxicidade.** 2019.

GHISELLI, G.; JARDIM, W F.; **Interferentes endócrinos no ambiente.** Química Nova v 30, 2007. <https://doi.org/10.1590/S0100-40422007000300032>

GILJE, P. A.; **Expanding the industrial revolution.** Journal of Urban History. University of Oklahoma, 2010.

GIORDANO, G.; **Avaliação ambiental de um balneário e estudo de alternativa para controle da poluição utilizando o processo eletrolítico para o tratamento de esgotos.** Niterói, 1999.

GIORDANO, G.; **Análise e formulação de processos para tratamento dos chorumes gerados em aterros de resíduos sólidos urbanos.** Rio de Janeiro, 257

GÓES-FAVONI, S.P.; **Ethanol production by alcoholic fermentation and its yield-determining factors.** Revista Ibero-Americana de Ciências Ambientais, 2018.

GTA. **Guia Técnico Ambiental da Indústria Têxtil, Série P+L.** São Paulo, 2009.

GUARATINI, C.C.I.; ZANONI, M.V.B.; **Corantes Têxteis.** Química Nova, Araraquara, 2000. <https://doi.org/10.1590/S0100-40422000000100013>

GUIDA, I.I.S.; FALCÃO, S.S.; **Remoção do Corante Têxtil Violeta Cristal Utilizando Argila Maranhense de Montes Altos Como Adsorvente.** Revista Virtual de Química. São Luís, 2018.

HIRATUKA, C.; et al. **Relatório de acompanhamento setorial têxtil e confecção, volume I.** 2008.

KAMIDA, H.M.; et al, **Biodegradação de efluente têxtil por Pleurotus sajor-caju.** Química Nova vol. 28, São Paulo, 2005. <https://doi.org/10.1590/S0100-40422005000400014>

KAMMRADT, P.B.; **Remoção de cor de efluentes de tinturarias industriais através de processo de oxidação avançada.** Curitiba, 2004.

KON, A.; COAN, D.C.; **Transformações da indústria têxtil brasileira: a transição para a modernização.** Revista de Economia Mackenzie. 2005.

KUNZ, A.; et al. **Novas tendências no tratamento de efluentes têxteis.** Química Nova, 2002. <https://doi.org/10.1590/S0100-40422002000100014>

LAPA, M.P.; **Avaliação ecotoxicológica de solos impactados com borra oleosa submetidos a diferentes tratamentos de biorremediação.** Pelotas, 2014.

LAZZARETTI, F.M.M.; ROHENKOHL, J.E.; **As trajetórias nacionais de desenvolvimento no pensamento de Georg Friedrich List.** Santa Maria, 2016.

LEAL, G.C.S.G.; FARIAS, M.S.S.; ARAUJO, A.F.; **O processo de industrialização e seus impactos no meio ambiente urbano.** Qualit@s revista eletrônica, 2008.

LIMA, E.C.; NETO, C.R.O.; **Revolução Industrial; Considerações sobre o pioneirismo industrial inglês.** Revista Espaço Acadêmico. 2017.

LIMA, E.A.; FILHO, L.A.S.; **Localização espacial da indústria têxtil nas regiões Brasileiras e nos estados do nordeste.** Rio de Janeiro, 2019.

LISBOA, L.M.D.; BARBOSA, D.H.; **Pensamento enxuto: mapeamento do fluxo de valor como proposta na redução de desperdícios em uma indústria têxtil.** Paraná, 2018.

LISBOA, S.A.A.; **A organização da indústria têxtil brasileira no contexto internacional.** Rio de Janeiro, 2013.

LOESCH, C.; **Detecção e diagnóstico de irregularidades na indústria de fiação têxtil.** Florianópolis, 1995.

MACHADO, T.C.M.; **Gestão ambiental nas indústrias.** Brasília, 2001.

MARCELINO, R.B.P.; et al. **Tendências e desafios na aplicação de tecnologias avançadas para o tratamento de efluentes industriais não biodegradáveis.** Belo Horizonte, 2013.

MAGALHÃES, D.P.; FILHO, A.S.F.; **A ecotoxicologia como ferramenta no biomonitoramento de ecossistemas aquáticos.** 2008. <https://doi.org/10.4257/oeco.2008.1203.02>

MAGALHÃES, R.; VENDRAMINI, A.; **Os impactos da quarta revolução industrial.** 2018. <https://doi.org/10.12660/gvexec.v17n1.2018.74093>

MARTINS, S.P.; **Breve Histórico a Respeito do Trabalho.** São Paulo, 2000. <https://doi.org/10.11606/issn.2318-8235.v95i0p167-176>

MEHLER, J.R.; **Desafios da Indústria têxtil e as demandas de sustentabilidade.** Revista Diálogos Interdisciplinares 2013. São Paulo, 2013.

MELO, R.R.; **Biorremocão de corante direto de efluente industrial simulado utilizando levedura liofilizada.** Rio Claro, 2014.

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.** 2015. <https://doi.org/10.1590/S1517-707620150004.0095>

MORAES, M.E.; **Síntese e caracterização de líquidos iônicos próticos com base catiônica 2-hidroxi trietilamônio: solubilidade de corantes têxteis.** Maringá, 2013.

MOREIRA, S.C.; **Efeitos ecotoxicológicos dos corantes índigo sintético e natural sobre a microalga *raphidocelis subcapitata* e sobre o peixe danio rerio.** 2019.

MORI, M.; CASSELLA, R.J.; **Estudo da sorção do corante catiônico violeta cristal por espuma de poliuretano em meio aquoso contendo dodecilsulfato de sódio.** Rio de Janeiro, 2009.

NARIMATSU, B.M.G.; et al. **Corantes naturais como alternativa sustentável na indústria têxtil.** Maringá, 2020.

NASCIMENTO, J.M.; LEITE, S.G.F.; RIZZO, A.C.L.; **Estudo da remoção do íon cobre por meio de biossorção usando biomassa de levedura (*Saccharomyces cerevisiae*).** Rio de Janeiro, 2016.

NETO, S.A.; et al. **Tratamento de resíduos de corante por eletrofloculação: um experimento para cursos de graduação química.** International year of chemistry, 2011.

NUNES, G.R.; **Geração e tratamento de efluentes da indústria têxtil.** Uberlândia, 2019.

ORTIZ, S.; SIMINONATTO, E.L.; BARROS, A.A.C.; **Avaliação da capacidade fermentativa e do crescimento células da levedura *Saccharomyces cerevisiae* CCT-3174.** XX Congresso Brasileiro de Engenharia Química. Florianópolis, 2014. <https://doi.org/10.5151/chemeng-cobeq2014-1914-16901-177806>

PADULA, R.C.; SILVA, L.P.; **Gestão e licenciamento ambiental no Brasil: modelo de gestão focado na qualidade do meio ambiente.** Edição temática, 2005. <https://doi.org/10.1590/S1679-39512005000300006>

PALLU, A. P. S.; **Biossorção de cádmio por linhagens de *Aspergillus* sp.** Piracicaba. 2006.

PASCHOAL, F.M.M.; FILHO, G.T.; **Aplicação da tecnologia de eletrofloculação na recuperação do corante índigo blue a partir de efluentes industriais.** Química Nova v 28, 2005. <https://doi.org/10.1590/S0100-40422005000500006>

PASQUINI, N.C.; **As revoluções industriais: uma abordagem conceitual.** Revista Tecnológica da FATEC Americana, 2020.

PECORA, H. B.; **Estudo da interação adsorptiva entre *Saccharomyces cerevisiae*, *Moringa oleifera* e três classes de corantes têxteis.** Rio Claro, 2017.

PEIXOTO, F.; MARINHO, G.; RODRIGUES, K.; **Corantes têxteis: uma revisão. HOLOS.** 2013. <https://doi.org/10.15628/holos.2013.1239>

PEREIRA, A.R.B.; FREITAS, D.A.F.; **Uso de microorganismos para a biorremediação de ambientes impactados.** Revista Eletrônica em Gestão, Educação e Tecnologia Ambiental, 2012. <https://doi.org/10.5902/223611704818>

PEREIRA, C.R.; GUARIEIRO, L.L.N.; **Estudo de processos de reuso de efluente em uma indústria têxtil**. 2020. <https://doi.org/10.22533/at.ed.01319290717>

PEREIRA, J.A.R.; **Geração de resíduos industriais e controle ambiental**. Pará, 2002.

PEREIRA, L.C.B.; **Empresários, suas origens, e as interpretações do Brasil**. 1994.

PEREIRA, T.F.; **Biossorção de corante vermelho 40 por leveduras magnetizadas com nanopartículas de óxido de ferro**. Curitiba, 2019.

PIMENTEL, B.S.; **As relações diplomáticas entre o Brasil e a França de 1822 e 1844**. Brasília, 2014.

PRADO, M. A.; GODOY, H. T.; **Determinação de corantes artificiais por cromatografia líquida de alta eficiência (CLAE) em pó para gelatina**. Química Nova. v 27, p. 22-26, 2004. <https://doi.org/10.1590/S0100-40422004000100005>

QUEIROZ, M.T.A.; et al. **Reestruturação na forma do tratamento de efluentes têxteis: uma proposta embasada em fundamentos teóricos**. Gest. Prod. São Carlos, 2019.

QUEIROZ, M.T.A.; et al. **Gestão de resíduos na indústria têxtil e sua relação com a qualidade da água: estudo de caso**. 2016.

RANGEL, A.S.; SILVA, M.M.; COSTA, B.K.; **Competitividade da indústria têxtil brasileira**. *Revista de administração e Inovação*. São Paulo, 2010.

REIS, J.R.L.; **Anais/encarte técnico-científico do workshop sobre gestão da conservação florestal e ambiental na amazônia**. Editora Aufiero. Manaus, 2012.

REVISTA ELETRÔNICA NUTRITIME, Disponível em: [artigo um \(nutritime.com.br\)](artigo_um_(nutritime.com.br)), Acesso em agosto 2021.

RIXHON; Disponível em: [Levedo - rixhon \(google.com\)](Levedo_-_rixhon_(google.com)). Acesso em: 02 novembro.2021.

RODRIGUES, C.C.; **Análise do comportamento proliferativo de uma linhagem de *Saccharomyces cerevisiae* por citometria de fluxo.** Diamantina, 2017.

ROYER, B.; **Remoção de corantes têxteis utilizando casca de semente de *Araucaria angustifolia* como biossorvente.** Porto Alegre, 2008.

SANTOS, A.M.; **Estudo da influência da complementação de nutrientes no mosto sobre o processo de fermentação alcoólica em batelada.** Maceió, 2008.

SANTOS, S.; **Impacto ambiental causado pela indústria têxtil.** Florianópolis, 1997.

SARTORI, L.; **Biossorção de corantes alimentícios utilizando um subproduto da indústria cervejeira.** Passo Fundo, RS, 2017.

SCHNEIDER, M.R.; **Avaliação dos métodos para determinação da taxa de biodegradação de hidrocarbonetos monoaromáticos e etanol em ambientes subsuperficiais.** Florianópolis, 2001.

SEVERINO, C. M. R.; **Mestres estrangeiros, operariado nacional; resistências e derrotas no cotidiano da maior fábrica têxtil do Rio de Janeiro (1820-1920).** Brasília, 2015.

SILVA, A.B.C.; ANDRADE, R.M.F.; **Remoção de cor de uma solução com corante têxtil por adsorção e oxidação por processo fenton.** Curitiba, 2013.

SILVA, C.H.P.M.; **Microbiologia da Cerveja.** Editora Livraria da Física. São Paulo, 2019.

SILVA, D.C.V.R.; POMPÊO, M.; PAIVA, T.C.B. **A ecotoxicologia no contexto atual no Brasil.** São Paulo, 2015.

SILVA, D.F.M.; **Produção de adsorvente a partir da casca de batata para a remoção do corante direct black 22 de efluentes industriais sintéticos.** Caruaru, 2017. <https://doi.org/10.1590/s1517-707620170003.0202>

SILVA, D.N.A.; **Tridimensionalidade da superfície vestível e a impressão 3D: Processos, estratégias e experimentações.** Bauru, 2020.

SILVA, J.S.; **Estudo da utilização de polímeros naturais como auxiliares de floculação no tratamento de água para fins industriais.** Belém, 2012.

SILVA, L.R.; **Degradação de biomassa de levedura empregando processos oxidativos avançados químicos e eletroquímicos.** Diadema, 2015.

SILVA, L.R.; **Biossorção do corante laranja Solimax TGL 182% utilizando a torta de chia.** Ponta Grossa, 2020.

SILVA, P.O.; **Métodos de tratamento de efluentes da indústria têxtil.** Montes Claros, 2013.

SOUZA, A.F.; ROSADO, F.R.; **Utilização de fungos basidiomicetos em biodegradação de efluentes têxteis.** Revista em agronegócios e meio ambiente v 2, 2009.

SOUZA, K.V.; ZAMORA, P.P.; ZAWADSKI, S.F.; **Imobilização de ferro (II) em matriz de alginato e sua utilização na degradação de corantes têxteis por processos Fenton.** Química Noca, v 31, 2008. <https://doi.org/10.1590/S0100-40422008000500041>

STEIN, S.; **Origens e evolução da indústria têxtil no Brasil, 1850-1950.** Rio de Janeiro, Ed. Campus, 1979.

TONIOLLO, M.; ZANCAN, N.P.; WÜST, C.; **Indústria têxtil: sustentabilidade, impactos e minimização.** VI Congresso Brasileiro de Gestão Ambiental, 2015.

TOLEDO, R.A.S.; **Tecnologia da Reciclagem. Química Têxtil.** 2004.

TWARDOKUS, R.G.; **Reuso de água no processo de tingimento da indústria têxtil.** Florianópolis, 2004.

WALDMAN, M.; **A guerra revolucionária Americana.** Editora KOTEV, Série de Educação Popular 3, 2018.

WANG, J.; CHEN, C.; **Biosorption of heavy metals by *Saccharomyces cerevisiae*: a review.** *Biothechnology Advances*, v 24, 2006. <https://doi.org/10.1016/j.biotechadv.2006.03.001>