

**INSTITUTO FEDERAL GOIANO – CAMPUS CERES**  
**LICENCIATURA EM QUÍMICA**  
**ISABELA DOS REIS BATISTA**

**PROCESSOS OXIDATIVOS AVANÇADOS (POAs): UMA REVISÃO DA  
IMPORTÂNCIA DE FOTOCATÁLISE NA DESCOLORAÇÃO DE CORANTES  
TÊXTEIS COMO O VERDE MALAQUITA**

**CERES – GO 2022**

**ISABELA DOS REIS BATISTA**

**PROCESSOS OXIDATIVOS AVANÇADOS (POAs): UMA REVISÃO DA  
IMPORTÂNCIA DE FOTOCATÁLISE NA DESCOLORAÇÃO DE CORANTES  
TÊXTEIS COMO O VERDE MALAQUITA**

Trabalho de curso apresentado ao curso de Licenciatura em Química do Instituto Federal Goiano – Campus Ceres, como requisito parcial para a obtenção do título de Licenciada em Química, sob orientação da Prof. Dra. Marcela Dias França.

**CERES – GO**

**2022**

Sistema desenvolvido pelo ICMC/USP  
Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)  
**Sistema Integrado de Bibliotecas - Instituto Federal Goiano**

B333p Batista, Isabela dos Reis  
PROCESSOS OXIDATIVOS AVANÇADOS (POAs): UMA  
REVISÃO DA IMPORTÂNCIA DE FOTOCATÁLISE NA  
DESCOLORAÇÃO DE CORANTES TÊXTEIS COMO O VERDE  
MALAQUITA / Isabela dos Reis Batista; orientadora Marcela  
Dias França. -- Ceres, 2022.  
26 p.  
  
TCC (Graduação em Licenciatura em Química) -Instituto  
Federal Goiano, Campus Ceres, 2022.  
  
1. Fotocatálise. 2. efluentes. 3. processos  
oxidativos avançados. I. França, Marcela Dias, orient.  
II. Título.

Responsável: Johnathan Pereira Alves Diniz - Bibliotecário-Documentalista CRB-1 n°2376



SERVIÇO PÚBLICO FEDERAL  
MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO  
SECRETARIA DE EDUCAÇÃO PROFISSIONAL E TECNOLÓGICA  
INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E TECNOLOGIA GOIANO

Documentos 154/2022 - GE-CE/DE-CE/CMPCE/IFGOIANO

**TERMO DE CIÊNCIA E DE AUTORIZAÇÃO PARA DISPONIBILIZAR PRODUÇÕES TÉCNICOCIENTÍFICAS  
NO REPOSITÓRIO INSTITUCIONAL DO IF GOIANO**

Com base no disposto na Lei Federal nº 9.610/98, AUTORIZO o Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia Goiano, a disponibilizar gratuitamente o documento no Repositório Institucional do IF Goiano (RIIF Goiano), sem ressarcimento de direitos autorais, conforme permissão assinada abaixo, em formato digital para fins de leitura, download e impressão, a título de divulgação da produção técnico-científica no IF Goiano.

**Identificação da Produção Técnico-Científica**

- Tese  Artigo Científico  
 Dissertação  Capítulo de Livro  
 Monografia - Especialização  Livro  
 TCC - Graduação  Trabalho Apresentado em Evento  
 Produto Técnico e Educacional - Tipo: \_\_\_\_\_

Nome Completo do Autor: Isabela dos Reis Batista

Matrícula:2018103221550105

Título do Trabalho: PROCESSOS OXIDATIVOS AVANÇADOS (POAS): UMA REVISÃO DA  
IMPORTÂNCIA DE FOTOCATÁLISE NA DESCOLORAÇÃO DE CORANTES TÊXTEIS  
COMO O CORANTE VERDE MALAQUITA

**Restrições de Acesso ao Documento**

Documento confidencial:  Não  Sim, justifique: \_\_\_\_\_

Informe a data que poderá ser disponibilizado no RIIF Goiano: 01/07/2022

- O documento está sujeito a registro de patente?     [    ] Sim            [ X ] Não
- O documento pode vir a ser publicado como livro?     [    ] Sim            [ X ] Não

### DECLARAÇÃO DE DISTRIBUIÇÃO NÃO-EXCLUSIVA

O/A referido/a autor/a declara que:

1. o documento é seu trabalho original, detém os direitos autorais da produção técnico-científica e não infringe os direitos de qualquer outra pessoa ou entidade;
2. obteve autorização de quaisquer materiais inclusos no documento do qual não detém os direitos de autor/a, para conceder ao Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia Goiano os direitos requeridos e que este material cujos direitos autorais são de terceiros, estão claramente identificados e reconhecidos no texto ou conteúdo do documento entregue;
3. cumpriu quaisquer obrigações exigidas por contrato ou acordo, caso o documento entregue seja baseado em trabalho financiado ou apoiado por outra instituição que não o Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia Goiano.

Ceres, 30 / 06 / 2022.

\_\_\_\_\_Isabela dos Reis Batista

Ciente e de acordo:

\_\_\_\_\_Marcela Dias França

Documento assinado eletronicamente por:

- **Isabela dos Reis Batista**, 2018103221550105 - Discente, em 01/07/2022 13:17:57.
- **Marcela Dias França**, PROFESSOR ENS BASICO TECN TECNOLOGICO, em 01/07/2022 13:15:38.

Este documento foi emitido pelo SUAP em 01/07/2022. Para comprovar sua autenticidade, faça a leitura do QRCode ao lado ou acesse <https://suap.ifgoiano.edu.br/autenticar-documento/> e forneça os dados abaixo:

Código Verificador: 404339  
Código de Autenticação: 583266c704



INSTITUTO FEDERAL GOIANO  
Campus Ceres  
Rodovia GO-154, Km.03, Zona Rural, None, None, CERES / GO, CEP 76300-000  
(62) 3307-7100



SERVIÇO PÚBLICO FEDERAL  
MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO  
SECRETARIA DE EDUCAÇÃO PROFISSIONAL E TECNOLÓGICA  
INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E TECNOLOGIA GOIANO

Ata nº 99/2022 - GE-CE/DE-CE/CMPCE/IFGOIANO

### **ATA DE DEFESA DE TRABALHO DE CURSO**

Ao dia quatorze do mês de junho do ano de dois mil e vinte e dois, realizou-se a defesa de Trabalho de Curso do(a) acadêmico(a): Isabela dos Reis Batista, do Curso de Licenciatura em Química, matrícula 2018103221550105, cuja monografia intitula-se “Processos Oxidativos Avançados (POAs): Uma revisão da importância de fotocatalise na descoloração de corantes têxteis como o verde malaquita”. A defesa iniciou-se às quinze horas e vinte três minutos, finalizando-se às quinze horas e cinquenta e três minutos. A banca examinadora considerou o trabalho APROVADO com média 9, no trabalho escrito, média 10 no trabalho oral apresentando assim, média aritmética final de 9,5 **pontos**, estando Aprovado para fins de conclusão do Trabalho de Curso. Após atender às considerações da banca e respeitando o prazo disposto em calendário acadêmico, o(a) acadêmico(a) deverá fazer a entrega da versão final corrigida em formato digital (PDF) gravado em CD, acompanhado do termo de autorização para publicação eletrônica (devidamente assinado pelo autor), para posterior inserção no Sistema de Gerenciamento do Acervo e acesso ao usuário via internet os integrantes da banca examinadora assinam a presente.

Trabalho de Curso defendido e aprovado em 14 / 06 / 2022 pela banca examinadora constituída pelos membros:

---

Marcela Dias França

Presidente da banca

---

Bruna de Araújo Costa

---

Marcela Carmem de Melo Burguer

Documento assinado eletronicamente por:

- **Marcela Carmen de Melo Burger**, PROFESSOR ENS BASICO TECN TECNOLOGICO, em 22/06/2022 16:33:06.
- **Bruna de Araujo Costa**, TECNICO DE LABORATORIO AREA, em 21/06/2022 16:56:13.
- **Marcela Dias Franca**, PROFESSOR ENS BASICO TECN TECNOLOGICO, em 21/06/2022 09:33:40.

Este documento foi emitido pelo SUAP em 21/06/2022. Para comprovar sua autenticidade, faça a leitura do QRCode ao lado ou acesse <https://suap.ifgoiano.edu.br/autenticar-documento/> e forneça os dados abaixo:

Código Verificador: 400611

Código de Autenticação: c92abba82a



INSTITUTO FEDERAL GOIANO

Campus Ceres

Rodovia GO-154, Km.03, Zona Rural, None, None, CERES / GO, CEP 76300-000

(62) 3307-7100

*Dedico este trabalho primeiramente a Deus, meus pais, amigos e a minha orientadora, estes que de alguma forma contribuíram para que a realização deste trabalho fosse concluída.*

## **AGRADECIMENTOS**

*Em primeiro lugar, devo agradecer a Deus por ter permitido em meio a tantos problemas que eu permanecesse com saúde e por admitir que todos os obstáculos fossem enfrentados.*

*A minha orientadora Marcela França, pois sem ela nada deste sonho seria realizado. Levarei seus ensinamentos para a vida, pois é exemplo de mulher guerreira, paciente, imbatível em tudo o que faz, amorosa, amiga e que nos motiva a cada dia, dando força para não desistir.*

*Aos meus pais Selma e Enedino, que desde o início estiveram ao meu lado, me apoiando em cada escolha que fiz durante toda a vida, e a faculdade de Química foi uma delas.*

*Ao meu companheiro de vida Victor, pois em todo esse tempo estive ao meu lado ajudando, incentivando, adulando e me confortando em todos os momentos de tristeza e desespero para a conclusão destes longos quatro anos. Obrigada por toda a paciência e compreensão.*

*Aos amigos do coração que estiveram comigo durante toda a trajetória da faculdade, Jéssica, Gustavo, Mariane e Carlos. Sendo eles pessoas que sempre me incentivaram e estiveram ao meu lado em momentos bons ou ruins, crescendo assim juntos.*

*A Professora Dra. Marcela Carmem de Melo Burguer e a Dra. Bruna de Araújo Costa, por aceitarem participar da banca avaliadora e colaborar com ensinamentos sábios.*

*E por fim, aos professores, funcionários, colegas de classe e a todas as pessoas que de uma forma ou outra ajudaram a concluir mais uma etapa da minha vida, contribuindo para o crescimento do meu conhecimento.*

*“Na vida, não há nada a temer, mas a entender”.*

*Marie Curie*

## RESUMO

O desenvolvimento industrial e o uso excessivo de corantes pela indústria têxtil alavancaram nos últimos anos, conseqüentemente ocasionaram o aumento da contaminação dos recursos naturais. Não é de hoje que o Brasil está entre os países que mais utilizam corantes têxteis, o que gera elevada contaminação das águas, ocasionando assim, inúmeros malefícios. Para a minimização desses impactos, tem estudos que foram e que continuam sendo realizados visando a remoção desses contaminantes. A utilização de Processos Oxidativos Avançados (POAs), bem como a fotocatalise homogênea e heterogênea, tem sido uma das alternativas viáveis para este fim. Observou-se que desde sempre a busca por métodos de remoção de corantes tem sido estudada por diferentes áreas de pesquisa, para que assim as águas estejam livres de corante, bem como seja especificado para as indústrias a necessidade do tratamento correto destes resíduos contaminado.

**Palavras-chave:** Fotocatalise, efluentes, processos oxidativos avançados.

## **ABSTRACT**

The industrial development and the excessive use of dyes by the textile industry have leveraged in recent years, consequently, have led to increased contamination of natural resources. It is not new that Brazil is among the countries that most use textile dyes, which generates high water contamination, thus causing numerous harm. In order to minimize these impacts, studies have been carried out and are still being carried out aiming at the removal of these contaminants. The use of Advanced Oxidative Processes (AOPs), as well as homogeneous and heterogeneous photocatalysis, has been one of the viable alternatives for this purpose. It was observed that the search for methods of removing dyes has always been studied by different areas of research, so that the waters are free of dye, as well as the need for the correct treatment of this contaminated waste is specified for industries.

**Keywords:** Photocatalysis. effluents, advanced oxidative processes.

## SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO .....	1
2. DESENVOLVIMENTO.....	4
2.1.    Crescimento Industrial.....	4
2.2.    Poluição Industrial.....	5
2.3.    Indústria têxtil e seus impactos .....	6
2.4.    Efluentes têxteis.....	7
2.5.    Verde de Malaquita .....	8
2.6.    Técnicas de tratamento de efluentes.....	10
2.7.    Processos Oxidativos Avançados (POAs).....	12
2.8.    FOTOCATÁLISE.....	13
2.8.1. Fotocatálise homogênea .....	14
2.8.2. Fotocatálise heterogênea.....	15
2.8.3. Resultados de artigos sobre fotocatalise heterogênea .....	17
na remoção do corante verde de malaquita .....	17
3. CONCLUSÃO.....	19
4. REFERÊNCIAS.....	20

## 1. INTRODUÇÃO

Não é de hoje que se sabe que a água é essencial para a vida, bem como o fato de ser imprescindível para o cotidiano não só da vida humana e animal, mas também, para o desenvolvimento agrícola e industrial. Porém, é perceptível que nas últimas décadas, o uso desenfreado deste recurso tem prejudicado a disponibilidade de água potável para a sociedade (GRZECHULSKA et al., 2003).

Nesse contexto, Cordeiro (2014) ressalta que o desenvolvimento industrial foi um colaborar determinante para o crescimento da economia brasileira, mas que, por outro lado, tem elevado o descarte de resíduos na água. Anos atrás, Freire, et al. (2005) já haviam salientado que essa contaminação é, e continua sendo uma das maiores preocupações da sociedade. Os autores afirmam que o crescimento desenfreado das indústrias têxteis tem elevado a quantidade de efluentes liberados nos corpos d'água, ocasionando assim, aumento da poluição dos meios aquosos.

No Brasil a indústria têxtil está ocupando o quinto lugar de maior produtor mundial, e é o segundo maior gerador de empregos da indústria de transformação. Contudo, este ramo fabril possui as etapas de pintura e acabamento que geram cerca de 100 litros de efluentes a cada 1 kg de tecido (ARSLAN-ALATON et al., 2008).

Por esse motivo, o descarte incorreto desses resíduos merece destaque no campo de pesquisa química, tendo em vista que alguns desses corantes liberados possuem propriedades que apresentam rápida contaminação dos recursos hídricos, devido ao fato de serem tóxicos e apresentarem baixa biodegradabilidade (NEVES, 2011).

Nessa perspectiva, um dos maiores desafios enfrentados tem sido a remoção desses efluentes de forma não convencional, visto que na maioria dos casos, os tratamentos convencionais não conseguem retirar todas as substâncias tóxicas, o que é exigido pelos órgãos responsáveis (TEIXEIRA, 2002).

Visando a redução de possíveis impactos provocados pelos resíduos, implica-se a implantação de um tratamento prévio nos resíduos da indústria têxtil, a qual gera um elevado volume de efluente e que é capaz de contaminar

seriamente o meio ambiente (KUNZ et al., 2002), uma vez que estes, são não biodegradáveis e altamente tóxicos (SCHRANK et al., 2005). Nessa realidade, infere-se que esses problemas são, na maioria das vezes, recorrentes devido à presença de corantes, os quais são reativos e possuem alta solubilidade em água (ARAÚJO et al., 2005).

Quimicamente, pode-se expor que, o meio aquoso, o qual é contaminado por esses corantes promove a maior absorção da radiação que deveria chegar aos organismos aquáticos, o que acarreta, conseqüentemente, na diminuição da atividade fotossintética e na solubilidade dos gases, aumentando a toxicidade para a vida aquática, levando à possível extinção desses ecossistemas (ZANONI et al., 2001) e também causando interferência na captação de água para o uso da população, ocasionando falta de abastecimento urbano (CERVANTES, 2009). Vale salientar que os autores perceberam que estes compostos ficam em meio aquoso por muito tempo, o equivalente a meio século, visto que a demanda química de oxigênio (DQO) eleva-se juntamente com o pH.

No Brasil, uma das alternativas adotadas para a realização do tratamento destes efluentes, são métodos biológicos e físico-químicos, que podem ser realizados a partir do uso de lodos ativados com corantes reativos, o que muitas vezes é inviável devido ao fato desses corantes serem resistentes à degradação biológica. Algumas das técnicas utilizadas para essa finalidade, consistem em osmose reversa, adsorção, filtração e floculação (LEE et al., 2006), mas que, por sua vez, são de alto custo e conduzem à geração de resíduos sólidos, inviabilizando essa prática.

Por esses motivos, processos físico-químicos tem sido uma alternativa viável no tratamento de efluentes, sendo alguns deles denominados como Processos Oxidativos Avançados (POAs), os quais atuam diretamente nas estruturas químicas dos corantes, sendo assim mais efetivos quando comparado ao uso das práticas comumente utilizadas (MOMENTI, 2006).

Os POAs têm sido consideravelmente associados à remoção de corantes do meio aquoso. Conseqüentemente, os processos de fotocatalise que são apenas um dos métodos de POAs, atuam aumentando a velocidade de uma fotoreação química, de modo que a energia livre de Gibbs não seja alterada (BHADURI et al., 2014).

Nessa realidade, os autores explicitaram duas formas da fotocatalise, a homogênea e a heterogênea, sendo a primeira caracterizada quando o catalisador está na mesma fase que os reagentes e produtos, e a segunda aquela que ocorre quando o catalisador está em uma fase distinta quanto aos reagentes e produtos.

Por esses motivos, a aplicação da fotocatalise tem sido uma alternativa para a remoção de corantes do meio aquoso, sendo que, nos últimos anos a quantidade de corantes presentes em efluentes tem aumentado efetivamente, logo, o presente trabalho visou avaliar trabalhos os quais relatam sobre a aplicação da fotocatalise homogênea e heterogênea para a remoção do corante verde de malaquita, por exemplo, de efluentes, o qual é de caráter catiônico e é comumente utilizado na indústria de coloração de algodão, seda, lã, papel, couro, além de estar presente na aquicultura, no controle de ectoparasitas e como fungicida e até em corantes alimentícios (NEBOT et al., 2013).

## **2. DESENVOLVIMENTO**

### **2.1. Crescimento Industrial**

O crescimento e desenvolvimento industrial é uma conquista grandiosa para a humanidade, sendo símbolo de evolução, proporcionando conforto, bem-estar e gerando emprego a uma porcentagem da população. Estudar a revolução industrial se torna importante, uma vez que é um fato histórico necessário para compreender como surgiu a relação de exploração de recursos naturais e a consequente contaminação do meio ambiente.

A Revolução Industrial teve início por volta do século XVIII na Inglaterra, onde surgiram diversas invenções que desenvolveram o método de trabalho e produção fabril. Neste período foram elaborados diversos maquinários nunca vistos antes, em que a partir da sua utilização, foi proporcionado um aumento da lucratividade na produção e houve uma redução significativa em relação ao tempo gasto para todo o processo (LIMA et al., 2017).

A revolução teve fatores contribuintes para a sua iniciativa, sendo eles a mudança da população do campo para os centros urbanos necessitando assim de trabalho e o crescimento do consumo de produtos pela burguesia. Esses fatores resultaram na necessidade de aumentar a produção, procedendo no crescimento de disponibilidade de empregos e ainda a produção em massa proporciona uma obtenção de capital em menor tempo (LIMA et al., 2017).

A partir do século XX, todos os efeitos da Revolução Industrial passaram a ser distribuídos pelo mundo progressivamente, e com eles houve a possibilidade de observar mudanças em todos os quesitos, até mesmo no meio ambiente (FRANCO; DRUCK, 1998).

Mesmo sabendo que o desenvolvimento industrial simboliza avanço da sociedade, proporciona qualidade de vida, emprego e conforto não se pode ignorar que ele é responsável por diversos problemas ambientais, causando doenças, não apropriação de solos e águas para consumo e diversos outros quesitos (GONÇALVES, 2013).

Como descrito por Oliveira (2015):

Quando as primeiras indústrias surgiram, os problemas ambientais eram de pequena dimensão, pois a população era pouco concentrada e a produção era de baixa escala. As exigências

ambientais eram mínimas e o símbolo do progresso, veiculada nas propagandas de algumas indústrias, era a fumaça saindo das chaminés.

Mas com o passar dos anos, todas essas mudanças passaram a despertar preocupações sobre os impactos ambientais que foram aumentando cada vez mais.

## **2.2. Poluição Industrial**

Após o grande avanço tecnológico pelo qual o mundo passou durante a II Revolução Industrial, iniciou-se o despejo de toneladas de rejeitos resultantes de atividades agrícolas e industriais, que por sua vez, foram modificadas visando atender às novas demandas de uma população em crescimento quase exponencial (CASSAL et al, 2014).

Atualmente, um dos maiores problemas vividos pela sociedade está relacionado diretamente a poluição ambiental, pois o ser humano necessita de diversos recursos indispensáveis vindos da natureza para a sobrevivência, como por exemplo o ar limpo, a água e até mesmo terras produtivas para o plantio de seus alimentos. A poluição ambiental ocorre devido ao descarte inadequado, como os agrotóxicos, corantes, metais pesados, dentre outros, assim causando a contaminação direta e indireta de águas e solos. De acordo com o estudo feito por Neto e Ferreira (2009), tem-se a definição de poluição ambiental perante as leis expressas pela Tabela 1.

Referência	Conceito
BRASIL, LEI FEDERAL n° 6.938, de 31 de agosto de 1981, Política Nacional do Meio Ambiente. Art. 3°, III.	<p><b>Poluição</b></p> <p>A degradação da qualidade ambiental resultante de atividades que direta ou indiretamente:</p> <p>a) prejudiquem a saúde, a segurança e o bem-estar da população;</p> <p>b) criem condições adversas às atividades sociais e econômicas;</p> <p>c) afetem desfavoravelmente a biota;</p> <p>d) afetem as condições estéticas ou sanitárias do meio ambiente;</p> <p>e) lancem matérias ou energia em desacordo com os padrões ambientais estabelecidos.</p>
SÃO PAULO, LEI ESTADUAL n° 9.509, de 20 de março de 1997, Política Estadual do Meio Ambiente. Art. 3°, III.	<p><b>Poluição</b></p> <p>A degradação da qualidade ambiental resultante de atividades que direta ou indiretamente:</p> <p>a) prejudiquem a saúde, a segurança e o bem-estar da população;</p> <p>b) criem condições adversas às atividades sociais e econômicas;</p> <p>c) afetem desfavoravelmente a biota;</p> <p>d) afetem as condições estéticas ou sanitárias do meio ambiente;</p> <p>e) lancem matérias ou energia em desacordo com os padrões ambientais estabelecidos;</p> <p>f) afetem desfavoravelmente a qualidade de vida.</p>
SÃO PAULO, LEI ESTADUAL n° 997, de 31 de maio de 1976, Art. 2°.	<p><b>Poluição</b></p> <p>A presença, o lançamento ou a liberação, nas águas, no ar ou no solo, de toda e qualquer forma de matéria ou energia, com intensidade, em quantidade, de concentração ou com características em desacordo com as que forem estabelecidas em decorrência desta Lei, ou que tornem ou possam tornar as águas, o ar ou o solo:</p> <p>I – impróprios, nocivos ou ofensivos à saúde;</p> <p>II – inconvenientes ao bem estar público;</p> <p>III – danosos aos materiais, à fauna e à flora;</p> <p>IV – prejudiciais à segurança, ao uso e gozo da propriedade e às atividades normais da comunidade.</p>

**TABELA 1 – Conceito de Poluição Ambiental**

Fonte: (NETO; FERREIRA, 2009)

No Brasil, são gerados pelas indústrias cerca de 2,9 milhões de toneladas de resíduos tóxicos anualmente, e infelizmente apenas cerca de 28% desses resíduos que recebem tratamentos adequados antes de serem lançados à natureza (SPAREMBERGER, KOCH, 2005).

Além de limitar os recursos naturais, esses resíduos contaminados podem causar enfermidades como, por exemplo, câncer aos seres humanos e animais. Portanto, há uma necessidade de tratamento para todos os produtos que possam ser descartados, assim prevenindo que o meio ambiente sofra destruições mais severas e impedindo as doenças causadas por este ato.

### 2.3. Indústria têxtil e seus impactos

A indústria têxtil, em específico no Brasil, é a quinta maior produtora do mundo e é considerada a segunda maior geradora de empregos, proporcionando conforto e segurança a muitas famílias e representando assim uma grande

importância para a economia do país. Porém, seu ramo demanda muita água em seus processos de produção.

Ao falar sobre consumo de água, a indústria têxtil é consideravelmente uma das que possuem maior consumo, o que leva à geração de um grande volume de efluentes. De acordo com Silva (2015), a produção têxtil seja na produção de fibras sintéticas, lã, seda ou algodão, utilizam em todas as etapas do processo para a obtenção do produto diversos tratamentos químicos, fazendo com que eleve assim, a quantidade de corantes liberados nos afluentes.

De acordo com o site G1.com, em uma matéria de 2015, o Ministério Público Estadual (MP-GO) investiga na cidade de Jaraguá, localizada a 61 km de Ceres, onde as lavanderias do setor têxtil são suspeitas de descarte inadequado de resíduos químicos das lavagens dos tecidos, o que consequentemente resulta na poluição dos mananciais.

#### **2.4. Efluentes têxteis**

De acordo com Hassemer et al. (2015) o maior volume de efluentes gerados pelas indústrias, são aqueles oriundos dos processos de tingimento e de lavagem, nos quais os corantes que não são fixados totalmente nas fibras do tecido são despejados no meio aquoso, o qual é um ambiente muito favorável para a solubilidade dessas substâncias. Por esse motivo, o efluente que foi gerado apresenta baixa Demanda Bioquímica de Oxigênio (DBO) e consequentemente alta Demanda Química de Oxigênio (DQO), além de apresentar metais pesados, compostos cancerígenos e variação de pH e temperatura.

Logo em seguida, Resende (2016) relatou que o efluente têxtil é dificilmente degradável, apresenta pH alcalino e elevada DQO e baixa DBO, motivos os quais fizeram com que os corantes das indústrias têxteis fossem considerados os que têm maior alcançabilidade de poluição, quando comparado aos demais efluentes industriais, sendo eles óleos, metais pesados, efluentes com elevada carga orgânica e contaminantes emergentes.

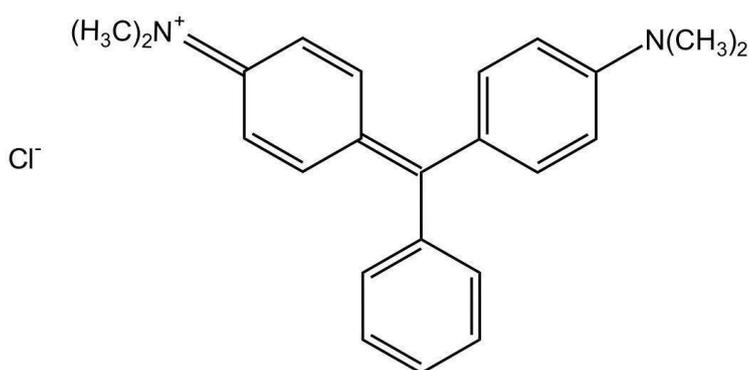
Atualmente são conhecidos mais de 10 mil corantes sintéticos, e cerca de

2 mil destes corantes são utilizados pela indústria têxtil para coloração de seus produtos. Além disso, são produzidas mais de 700.000 toneladas de corantes apenas para uso têxtil (BURKINSHAW; SALIHU, 2013).

Existem diversos tipos de corantes, e eles podem ser classificados por sua estrutura química, ou por seu método de fixação nas fibras. São eles: Corantes ácidos, azóicos, branqueadores, a cuba, diretos, dispersivos, de enxofre, pré-metalizados, reativos. Em resumo, devido às estruturas dos corantes apresentarem anéis aromáticos, grupos aminas, íons metálicos e grupos sulfônicos, eles acabam sendo de difícil degradação natural (GUARATINI, ZANONI, 2000).

### 2.5. Verde de Malaquita

O corante verde de malaquita, popularmente conhecido como Anilina verde, cuja estrutura química é apresentada na Figura 1, é utilizado em processos de pinturas de lã, seda, algodão, couro, papel e até mesmo corante alimentício. De acordo com Vasquez et al. (2016), o corante Verde de Malaquita apresenta aspecto cristalino sólido, e é muito utilizado na indústria têxtil, mas também é utilizado na aquicultura e como fungicida.



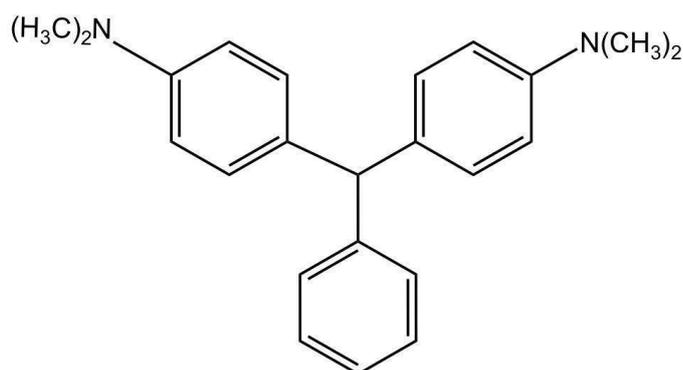
**Figura 1 – Estrutura molecular do corante Verde de Malaquita**

Fonte: Autoria própria, KingDraw.

Este corante apresenta molécula catiônica, faz parte da família dos trifenilmetanos e possui alta solubilidade em água, sendo ela de 110 g.L<sup>-1</sup> e em

etanol de 60 g.L<sup>-1</sup> e sua dose letal mediana (DL<sub>50</sub>) é de 275 mg.kg<sup>-1</sup> de acordo com a ficha de informações de segurança de produtos químicos. Ele apresenta sua absorção máxima de radiação eletromagnética em 619,9 nm (PERUZZO, 2003). Sua massa molecular é de 369,1 g.mol<sup>-1</sup> e sua constante de ionização é 6,9 pKa.

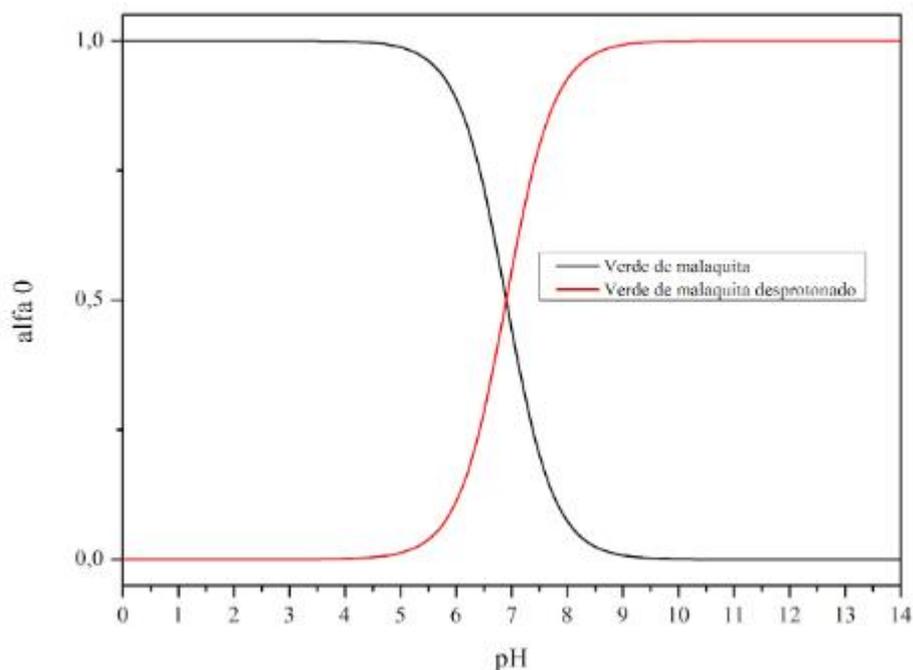
O autor, ainda relata que o Verde de Malaquita possui toxicidade que pode variar de acordo com o tempo disposto em elevadas temperaturas e concentrações. Esse corante apresenta efeitos colaterais severos, os quais podem ser tóxicos, mutagênicos, carcinogênicos e até mesmo teratogênicos. Vale ressaltar que, Peruzzo (2003) já havia observado esses efeitos na corrente sanguínea de peixes, uma vez que o verde de leucomalaquita, representado pela Figura 2 (produto da degradação do verde de malaquita no metabolismo) é acumulado no tecido adiposo, e a sua eliminação é dependente da porcentagem de gordura.



**Figura 2 – Estrutura molecular do Verde de Leucomalaquita.**

Fonte: Autoria própria, KingDraw.

Na mesma pesquisa, ele percebeu que essa elevada solubilidade do corante, não ocorre somente em meio aquoso, mas também em álcoois. O que também foi perceptível foi o fato de que, em variações de pH, a cor dele é alterada, apresentando-se verde em pH igual a 2, amarelo em pH menor que 2, azul em pH 11,6 e em meio altamente alcalino, incolor. E este fator de ser incolor pode ser explicado plena Figura 3, através do diagrama de espécies.



**Figura 3 – Diagrama de espécies do verde de malaquita.**

Fonte: Autoria própria, KingDraw.

Em meio alcalino, esse fator de o tornar incolor ocorre porque o composto encontra-se consideravelmente estabilizado, uma vez que íons hidroxila reagiram com o corante, mas mesmo sem coloração, ele ainda está presente (HASSAN et al., 2011).

Em estudos com animais foram observadas algumas enfermidades como, por exemplo em ratos foram observado infertilidade, problemas no fígado, rins, baço e coração, lesões nos olhos, pulmões e ossos. Já em coelhos houve alterações renais e em seres humanos apresentou tumores no fígado. Logo, estes são mais um dos motivos que se infere a necessidade de técnicas de remoção de corantes do meio aquoso.

## **2.6. Técnicas de tratamento de efluentes**

Para o tratamento de efluentes industriais, têm sido utilizados processos biológicos e físico-químicos. Mas especificamente para o tratamento de efluentes têxteis, são utilizados métodos físico-químicos, já que os corantes sintéticos,

devido a sua estrutura química, apresentam difícil degradação biológica (LEE et al., 2006).

Figueiredo (2016) relata que existem várias alternativas de tratamentos que têm sido utilizadas no tratamento dos efluentes têxteis, e que podem ser relacionados em duas categorias, uma em que o tratamento ocorre a partir de reações de oxidação em que os corantes sofrem uma “destruição” e a outra em que ocorre a remoção do corante.

Existem diversos métodos utilizados na remoção desses poluentes como na Tabela 2.

Tipo do processo	Tratamento
Separação de fases	<ul style="list-style-type: none"><li>• Sedimentação</li><li>• Decantação</li><li>• Filtração</li><li>• Centrifugação</li><li>• Flotação</li></ul>
Transição de fases	<ul style="list-style-type: none"><li>• Destilação</li><li>• Evaporação</li><li>• Cristalização</li></ul>
Transferência de fases	<ul style="list-style-type: none"><li>• Adsorção</li><li>• Extração por solventes</li></ul>
Separação molecular	<ul style="list-style-type: none"><li>• Ultrafiltração</li><li>• Osmose reversa</li><li>• Diálise</li></ul>

**TABELA 2 – Principais tratamentos físicos**

Fonte: Adaptado de (BRITO; SILVA, 2012).

No entanto, de forma geral esses métodos realizam apenas a transferência de fase do poluente, necessitando de um segundo tratamento, com isso, surgem estudos de tratamentos com Processos Oxidativos Avançados que são métodos de tratamento único, já fazendo a degradação e podendo ocorrer até a mineralização do contaminante (POAs) (TERAN, 2014).

## **2.7. Processos Oxidativos Avançados (POAs)**

Os Processos Oxidativos Avançados (POAs) são um conjunto de métodos utilizados na descontaminação e tratamento de efluentes industriais, e são baseados na liberação de radicais livres, em especial hidroxil ( $\bullet\text{OH}$ ), liberados pela incidência de luz ultravioleta no sistema eletroquímico (FIOREZE, et al., 2014).

De acordo com os autores Jardim et al. (2015) e Pignatello (2006), os Processos Oxidativos Avançados (POAs) são processos de degradação, os quais transformam os contaminantes em espécies mais simples como o dióxido de carbono ( $\text{CO}_2$ ), ânions inorgânicos e água, por reações que foram descritas por Perkowski et al. (2016), os quais também relataram que os POAs agem efetivamente na quebra de compostos orgânicos, independente da fase a qual ele se encontra.

Nessa mesma perspectiva, Stasinakis (2008), demonstrou que o fato principal recorrente nessa reação é a formação do radical ( $\bullet\text{OH}$ ) de caráter altamente reativo e que é eficaz quanto à remoção de corantes. A degradação dos poluentes pode acontecer em poucos minutos, pois o radical possui alto poder oxidante (SILVA, 2007).

Logo, é possível observar as designações dos tipos de POAs, as quais são utilizadas para o tratamento de efluentes têxteis, em que se dividem entre homogêneos e heterogêneos, e com irradiação e sem irradiação.

Processos	Homogêneos	Heterogêneos
Com Irradiação	<ul style="list-style-type: none"> <li>• O<sub>3</sub>/UV</li> <li>• H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>/UV</li> <li>• O<sub>3</sub>/H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>/UV</li> <li>• Foto-Fenton</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Fotocatálise Heterogênea (TiO<sub>2</sub>/O<sub>2</sub>/UV)</li> </ul>
Sem Irradiação	<ul style="list-style-type: none"> <li>• O<sub>3</sub>/HO</li> <li>• O<sub>3</sub>/H<sub>2</sub>O<sub>2</sub></li> <li>• Reativo de Fenton</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• O<sub>3</sub>/catalisador</li> </ul>

**TABELA 3 - Sistema de Processos Oxidativos Avançados**

Fonte: Adaptado de (FIOREZE et al. 2014).

## 2.8. FOTOCATÁLISE

Na década de 70 surgiram os processos fotocatalíticos por meio de estudos de células fotoeletroquímicas, tendo como objetivo produzir combustível com matérias de baixo custo. Como citado por Brito e Silva (2012) um trabalho do ano de 1972, "...Fujishima e Honda, descreveu a oxidação da água em suspensão de TiO<sub>2</sub> irradiado em uma célula fotoeletroquímica, gerando hidrogênio e oxigênio."

Sabe-se que os POAs são definidos como processos físico-químicos em que são uma ótima alternativa para a remoção de corantes provindos de efluentes de indústrias têxteis, visto que nesse processo é perceptível a ocorrência de mudança estrutural no contaminante (MOMENTI, 2016). O autor ressalta que, todos os métodos utilizados possuem como principal característica a produção do radical hidroxil, os quais sofrem reações diversas e que levam a formação de moléculas de água, dióxido de carbono e sais de origem inorgânica.

Por essas designações, a presença ou ausência de catalisadores faz como que o exista a fotocatalise homogênea e a heterogênea, os quais possuem como principal semelhança, a remoção dos corantes orgânicos, sejam eles em estado sólido, líquido e aquoso (TEIXEIRA et al. 2004).

Os autores destacam que estes processos são altamente vantajosos, visto que o corante é degradado e podendo até ser mineralizado durante o processo, fazendo com que ele se torne biodegradável, além de possuir elevada capacidade antioxidante, fazendo com que este resíduo possa ser utilizado em outros processos de tratamento.

### 2.8.1. Fotocatálise homogênea

O processo de fotocatalise homogênea ocorre através da fotólise do  $H_2O_2$  sendo ela ativada pela radiação ultravioleta (comprimento de onda menores que 280 nm). Neste processo não há o uso de catalisadores.

Em uma pesquisa realizada por Mattos et al. (2005), a utilização do peróxido de hidrogênio ( $H_2O_2$ ) se mostrou uma alternativa viável quando comparado à compostos de cloro (Tabela 4), uma vez que o  $H_2O_2$  possui elevada versatilidade, o que possibilita o percentual de remoção de corantes de efluentes, pois quando recebe irradiação ele libera o radical  $\bullet OH$  com reatividade menor apenas que o flúor.

Agente Oxidante	Potencial Oxidante (V)
Flúor, $F_2$	+3,03
$\bullet OH$	+2,80
Ozônio, $O_3$	+2,07
Peróxido de hidrogênio, $H_2O_2$	+1,70
Permanganato, $MnO_4^-$	+1,67
Hipoclorito, $ClO_4^-$	+1,43
$\bullet HO_2$	+1,42
Cloro, $Cl_2$	+1,36
Oxigênio, $O_2$	+1,23
$\bullet O_2^-$	-0,33

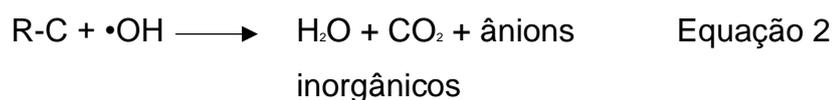
**TABELA 4 – Potencial de oxidação eletroquímica de diferentes oxidantes**

Fonte: Adaptado de Shin et al., 2008; FRANÇA, 2011.

O  $\text{H}_2\text{O}_2$  é miscível em água em qualquer proporção, não é inflável, apresenta um alto poder de reação e é um metabólito natural, o que colabora para a eficiência do tratamento, pois ao se decompor, ele se resulta em água e oxigênio molecular (TERAN, 2014).

Além dos pontos de eficiência, é perceptível, como ponto negativo, o fato do uso do  $\text{H}_2\text{O}_2$  (concentração de 90%) ser dependente das forças armadas, visto que o uso incorreto do mesmo, sendo misturado com outros produtos provocam a geração de produtos explosivos e altamente reagentes (TERAN, 2014). Apesar desses fatores, o uso correto do  $\text{H}_2\text{O}_2$  garante que a remoção de corantes do meio aquoso seja altamente eficiente.

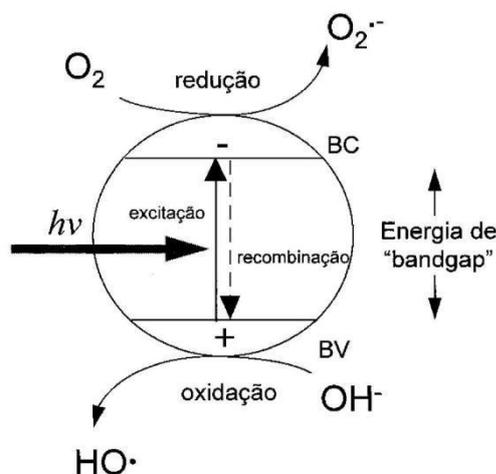
Foi estudado por Araújo et al. (2003), o processo denominado como clivagem homolítica do  $\text{H}_2\text{O}_2$  a partir de radiação UV e que mostra ser capaz de gerar dois radicais  $\bullet\text{OH}$ , como descrito na equação 1, conseqüentemente, na equação 2 é demonstrada a reação dos compostos orgânicos complexos os quais geram compostos mais simples; logo, a diminuição da eficiência de remoção dos corantes do meio aquosa é observada quando as moléculas de  $\text{H}_2\text{O}_2$  estão em excesso, pois essas moléculas capturam os radicais  $\bullet\text{OH}$  disponíveis no meio (MATTOS et al., 2005; ALBUQUERQUE et al., 2021).



### 2.8.2. Fotocatálise heterogênea

A fotocatalise heterogênea é um processo de excitação eletrônica de um óxido semicondutor como por exemplo o CdS, ZnO,  $\text{FeO}_3$  e  $\text{TiO}_2$ , podendo ocorrer essa excitação por meio de luz artificial ou solar, gerando assim o radical  $\bullet\text{OH}$ . Esses semicondutores são capazes de atuar tanto em meio de redução, quanto de oxidação (NOGUEIRA et al., 2008; M'BRA et al., 2019).

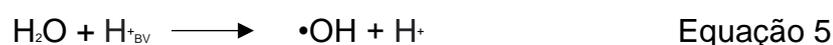
Um semicondutor é caracterizado por meio de Bandas de Valência (BV) e por Bandas de Condução (BC), e a região entre elas é chamada de “Bandgap”. A energia de “Bandgap” refere-se à excitação de um elétron da banda valência para a banda de condução gerando uma lacuna, e essa promoção ocorre por meio de absorção de fótons de energia superior ou igual a energia de “bandgap” (Figura 4). Essas lacunas possuem potenciais positivos, em torno de 2,0 a 3,5 V, o que conseqüentemente gera radicais livres  $\bullet\text{OH}$  (NOGUEIRA E JARDIM, 1997).



**Figura 4. Esquema representativo de um semicondutor.**

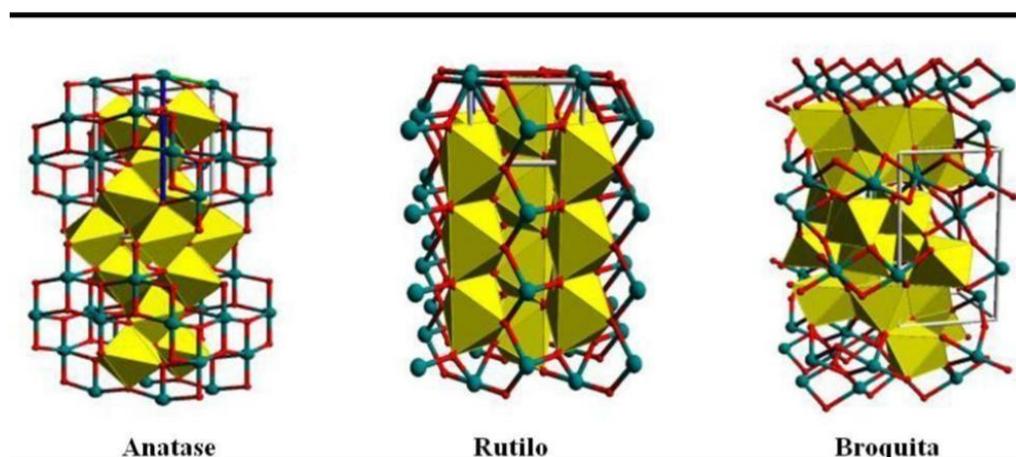
Fonte: (NOGUEIRA E JARDIM, 1997).

Por meio das equações 4, 5 e 6 é possível observar o que acontece com o  $\text{TiO}_2$  durante a sua excitação.



Em estudos na remoção de diferentes corantes de efluentes, o semicondutor  $\text{TiO}_2$  tem sido o de maior utilização, uma vez que é fotoativo em 365 nm, é atóxico, de baixo custo, apresenta bom comportamento em diferente pH e apresenta maior estabilidade em relação a luz, quando comparado aos demais. (ARCANJO et al., 2018; FERREIRA, 2005).

Sabendo-se dessas respectivas funcionalidades do  $\text{TiO}_2$ , o mesmo pode ser encontrado na natureza em três estruturas cristalinas, a anatase, o rutilo e a broquita, como são expressas pela Figura 5.



**FIGURA 5 - Estruturas polimórficas do  $\text{TiO}_2$ .**

Fonte: (FRANÇA, 2011).

A forma anatase é o polimorfo que apresenta maior fotoatividade, já o rutilo é a fase mais estável, e este fator ocorre devido a estrutura ser mais compacta (FRANÇA, 2011).

Nessa perspectiva, corantes de indústria têxtil são altamente removidos de efluentes, uma vez que a fotocatalise heterogênea possui elevada eficiência neste processo, visto que os radicais hidroxil atuam efetivamente nessa remoção, pois suas moléculas estão presentes em grande quantidade, quando comparado ao meio contaminado com o corante (SAUER, 2002).

Por esses motivos, devido ao fato de o catalisador estar presente de forma homogênea no meio aquoso, a remoção do corante torna-se mais efetiva.

### **2.8.3. Resultados de artigos sobre fotocatalise heterogênea na remoção do corante verde de malaquita**

Foi realizada uma pesquisa sobre artigos que trabalhassem com a fotocatalise heterogênea, utilizando o semicondutor  $\text{TiO}_2$  para a degradação do corante verde de malaquita. No geral, foram encontrados poucos trabalhos abordando o tema da fotocatalise para o corante. Como a apuração, a maioria

deles apresentou resultados satisfatórios para a degradação do verde de malaquita.

Em um trabalho de Ekwere et al. (2018), foi possível observar que a degradação do verde de malaquita é intensificada no meio básico, pois em um teste de 30 minutos foram comparados três pH diferentes, sendo eles 3, 7, e 10, e obtendo respectivamente os resultados de 28,27%, 18,93% e 84,3%. Isto ocorre devido a superfície do  $\text{TiO}_2$  se tornar negativamente carregada em meio básico, o que faz com que as moléculas do corante sejam adsorvidas, pois apresentam em sua estrutura grupo catiônico amino.

Já Kant e Kumar (2014) fizeram a associação do processo de fotodegradação e de adsorção com os corantes verde de malaquita e azul de metileno, obtendo como resultados 97,56% de degradação para o corante verde de malaquita.

### **3. CONCLUSÃO**

O presente trabalho avaliou os artigos cujos seus estudos discorrem sobre as indústrias têxteis, bem como a enorme quantidade de resíduos produzidos por elas, o que por muitas das vezes acaba sendo descartado em lugares inadequados, principalmente em fluviais.

Foi estudado especificamente as indústrias têxteis em sua produção e os impactos causados por corantes descartados incorretamente ao meio ambiente. Esses corantes necessitam de tratamento para que haja total degradação, e para isso foi mostrado sobre os processos oxidativos avançados, em especial as fotocátalises.

Visando a busca pela remoção destes corantes, a literatura apresentou resultados satisfatórios em relação à degradação do corante verde de malaquita. Nessa realidade, os POAs, promovem resultados eficientes, bem como alternativas variáveis e viáveis, que se adaptem de acordo com cada necessidade visada.

#### 4. REFERÊNCIAS

ALBUQUERQUE, M. V. C.; RAMOS, R. O.; CARTAXO, A. S. B.; SILVA, M. C. C. P.; RODRIGUES, R. M. M.; LEITE, V. D.; LOPES, W. S.. Degradação de Microcistina – LR no tratamento de água de abastecimento em sistema convencional seguido de fotocatalise homogênea (UV/H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>). **Revista Ibero Americana de Ciências Ambientais**, v.12, n.8, p.274-286, 2021

ARAÚJO, B. A. **Fotocatálise heterogênea TiO<sub>2</sub>/UV para o tratamento de efluentes gerados na obtenção de membranas pela técnica de inversão de fases**. 2021. 96f. Dissertação (Programa de Pós-Graduação em Ciências e Tecnologia Ambiental - PPGCTA) - Universidade Estadual da Paraíba, Campina Grande, 2021.

ARAÚJO, F. V. F.; YOKOHAMA, L.; Remoção de cor em soluções de corantes reativos por oxidação com H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>/UV. **Química Nova**, v.29, n. 1, p. 11-14, 2005.

ARCANJO, G. S; MOUNTEER, A. H; BELLATO, C. R; DA SILVA, L. M. M; DIAS, S. H. B; DA SILVA, P. R. Heterogeneous photocatalysis using TiO<sub>2</sub> modified with hydrotalcite and iron oxide under UV–visible irradiation for color and toxicity reduction in secondary textile mill effluent. **Journal of Environmental Management**. v. 211, p. 154-163, 2018.

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

BRITO, N. N.; SILVA, V. B. M. Processo oxidativo avançado e sua aplicação ambiental. **Revista Eletrônica de Engenharia Civil**. Vol. 1, N 3, p 36-47, 2012.

BHADURI, S.; MUKESH, D.; Homogeneous Catalysis; John Wiley & Sons, Inc: **Hoboken**, NJ, 2014.

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

CASSAL, M. A. R. F.; AZEVEDO, L. F.; FERREIRA, R. P.; SILVA, D. G.; SIMÃO, R. S. **Revista Eletrônica em Gestão, Educação e Tecnologia Ambiental – REGET**. 2014. V.18, n.1. Abr 2014, p.437-445.

CERVANTES, T. N. M.; ZAIA, D. A. M.; SANTANA, H. A heterogeneous photocatalysis of decolorization of synthetic dyes on Ti/TiO<sub>2</sub>. São Paulo. **Química Nova**. V.32, No. 9, 2009.

CORDEIRO, D. D. **Estudo comparativo da aplicação de nanotubos de titânio e pentóxido de nióbio na fotodegradação de corantes**. Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Goiás. Goiânia, 2014.

EKWERE, e, I. O.; HORSFALL, M.; OTAIGBE, J. O. E. Photocatalytic Degradation and Kinetics of Malachite Green Using UV-TiO<sub>2</sub> System. **The International Journal of Engineering and Science (IJES)**. V 7, p 42-51, 2018.

FRANÇA, M. D. **Degradação do Paracetamol empregando Tecnologia Oxidativa Avançada baseada em fotocatalise heterogênea usando irradiação artificial e solar**. Dissertação (Mestrado em Química) - Universidade Federal de Uberlândia. Uberlândia, 2011.

FERREIRA, I. V. L. **Fotocatálise heterogênea com TiO<sub>2</sub> aplicada ao tratamento de esgoto sanitário secundário**. Tese (Doutorado) – Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo. São Paulo, 2005.

FERREIRA, L. O. CARNEIRO, M. S. **Aplicação das técnicas de eletrofloculação e adsorção química no tratamento do corante azul de metileno**. FAPEMIG, 2005.

FIGUEIREDO, J. L.; RIBEIRO, F. R.; Catálise Heterogênea; **Catouste**, F. G., Ed.; Lisboa, 2016.

FIOREZE, M.; SANTOS, E. P.; SCMACHTENBERG, N. Processos oxidativos avançados: fundamentos e aplicação ambiental. **Revista Eletrônica em Gestão, Educação e Tecnologia Ambiental**. Santa Maria, V. 18, No. 1, p. 79-91, 2014.

FRANCO, T., DRUCK, G. Padrões de industrialização, riscos e meio ambiente. **Ciência & Saúde Coletiva**, 1998, v. 3, n. 2, p. 61-72.

FREIRE, R. S., PEREIRA, W. S. Ferro zero: Uma abordagem para o tratamento de águas contaminadas com compostos orgânicos poluentes. **Química Nova**, São Paulo, v. 23, n. 4, p. 130-136, 2005.

GONÇALVES, Jr. A. C. Descontaminação e monitoramento de águas e solos na região da Amazônia utilizando materiais adsorventes alternativos, visando à remoção de metais pesados tóxicos e pesticidas. Brasília; v. 6, p. 105-113, 2013.

GRZECHULSKA, J., MORAWSKI, A. W.; Photocatalytic labyrinth flow reactor with immobilized P25 TiO<sub>2</sub> bed for removal of phenol from water. **Appl. Catal. B: Environ.**, v. 46, p. 415-419, 2003.

GUARATINI, C. C. I.; ZANONI, M. V. B. Corantes têxteis. **Química Nova**, v. 23, n. 01, p. 71-78, 2000.

HASSAN, M. H.; FAYOUMI, L. M. A.; JAMAL M. M. **J Univ. Chem. Technol. Metallurg.** v.46, p.395–400, 2011.

HASSEMER, M. E. N., SENS, M. L. Tratamento do efluente de uma indústria têxtil. Processo físico-químico, ozônio e coagulação / floculação. **Engenharia Sanitária e Ambiental**, v. 7, n. 1, 2015.

JARDIM, W. F., TEIXEIRA, C. P. A. **Estudo comparativo de tipos diferentes de processos oxidativos avançados**. 2015. 191p. Tese de Doutorado em Engenharia Civil – Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2015.

KANT, S. KUMAR, A. Removal of malachite green and methylene blue by Fe<sub>0.01</sub>Zn<sub>0.98</sub>O/polycrylamide nanocomposite using coupled adsorption and photocatalysis. **Applied Catalysis B: Environmental**, V 147, p 340-352, 2014.

KUNZ, A., PERALTA-ZAMORA, P. Novas tendências no tratamento de efluentes têxteis. **Química Nova**, v. 25 n. 1, p.78-82, 2002.

LEE, J. H.; TANG, I. N.; WEINSTEIN-LLOYD, J. B. **Anal Chemistry**, v. 62, p.

2381, 2006.

LIMA, Eliane C.; NETO, Calisto R. O. Revolução Industrial: Considerações sobre o pioneirismo industrial inglês. **Revista Espaço Acadêmico**, Paraná, N° 194, p. 102-113, Jul. 2017.

MATTOS, I. L. de; SHIRAISHI, K. A.; BRAZ, A. D.; FERNANDES, J. R. Peróxido de hidrogênio: importância e determinação. **Química Nova**, v. 26, n. 3, p. 37380, 2005.

MOMENTI, T. J; **Processo anaeróbico com Processos Oxidativos Avançados (POA) no tratamento dos efluentes do processo industrial de branqueamento da polpa celulósica**. 2016. Tese (Doutorado em hidráulica e saneamento). Universidade de São Paulo, São Carlos, São Paulo

MP investiga lavanderias suspeitas de poluir mananciais em Jaraguá, GO. G1, 2015. Disponível em <G1 - MP investiga lavanderias suspeitas de poluir mananciais em Jaraguá, GO - notícias em Goiás (globo.com)>. Acesso em: 11 de janeiro de 2022.

M'BRA, I. C; GARCÍA-MUÑOS, P; DROGUI, P; KELLER, N. TROKOUREY, A. ROBERT, D. Heterogeneous photodegradation of Pyrimethanil and its commercial formulation with TiO<sub>2</sub> immobilized on SiC foams. **Journal of Photochemistry and Photobiology A: Chemistry**, v. 368. 2019. p. 1-6.

NEBOT, E. RUBIO, D.; CASANUEVA, J. F. Improving UV seawater disinfection with immobilized TiO<sub>2</sub>: Study of the viability of photocatalysis (UV254/TiO<sub>2</sub>) as seawater disinfection technology. **Journal of Photochemistry and Photobiology A: Chemistry**. v. 271, 2013, p. 16-23.

NEVES, A. T. **Tratamento Físico-Químico dos efluentes líquidos da produção de biodiesel metílico em regime de funcionamento contínuo e batelada**, 2011, 123 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Edificações e Ambiental). Universidade Federal de Mato Grosso, Cuiabá, 2011.

NETO, M. C.; FERREIRA, G. C. **Poluição: Incompatibilidades entre conceitos legal e técnico**. Geociências, UNESP, São Paulo. V. 28, N 2, p 165-180, 2009.

NOGUEIRA, R. F. P.; Jardim, W. F.;. A fotocatalise heterogênea e sua aplicação ambiental. **Química Nova**. 2008; 21: 69-72.

OLIVEIRA, F. P. **O meio ambiente e o setor industrial - Desafio para o Desenvolvimento Sustentável**. Curso de especialização em Administração com Ênfase em Marketing, pela UFRPE, 2015.

PERKOWSKI, J.; KOS, L. **Descolouration of Model Dyehouse Wastewater with Advanced Oxidation Processes**. FIBRES e TEXTILES, Vol. 11, n. 3, p.67-71, 2016.

PERUZZO, L. C. **Influência de agentes auxiliares na adsorção de corantes de efluentes da indústria têxtil em colunas de leito fixo**. Dissertação de Mestrado do curso de Engenharia Química da Universidade Federal de Santa Catarina – UFSC, Florianópolis, SC, 2003.

PIGNATELLO, J. J.; OLIVEROS, S. E.; MACKAY, A. Advanced oxidation processes of organic contaminant destruction based of the Fenton reaction and related chemistry. **Critical Reviews in Environmental Science and Technology**, v. 36, p. 1-84, 2006.

RESENDE, F. L.; ABRANTES, T. C.; PELLEGRINETTI, T. A. **Caracterização da qualidade da água em função de suas Demandas Química e Bioquímica de Oxigênio (DQO e DBO)**. Universidade Federal de Lavras, Departamento de Engenharia, 2016.

SAUER, T. **Tratamento de efluentes de curtumes através do processo combinado de degradação fotocatalítica seguida por adsorção em carvão ativado**. Florianópolis. Tese (Doutorado) – Universidade Federal de Santa Catarina, 2002.

SCHRANK, S. G.; JOSE, H. J.; MOREIRA, R. F. P. M.; SCHRODER, H. F. Applicability of Fenton and H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>/UV reactions in the treatment of tannery wastewaters. **Chemosphere**, v. 60, n.5, p.644-655, 2005.

SILVA, H. S. Princípios de tratamento de efluentes líquidos. Química Têxtil, São Paulo, **ABQCT**, v. 39, p. 56-65, 2015.

SILVA, L. P. **Modificação e imobilização de TiO<sub>2</sub> visando a degradação de compostos orgânicos poluentes via o processo de fotocatalise heterogênea**. 2007. 115f. Dissertação (Mestrado em Química) – Instituto de Química, USP, 2007.

SHIN, S.; YOON, H.; JANG, J. Polymer-encapsulated iron oxide nanoparticles as highly efficient Fenton catalysts. **Catalysis Communications**, v. 10, p. 178182, 2008.

SPAREMBERGER, R. F. L.; KOCH, M. Direito Ambiental e a Poluição Industrial: o Papel dos princípios para a prevenção. **Direito em Debate**. Nº 24, 2005, P. 9-32.

STASINAKIS, A. S. Use of Selected Advanced Oxidation Processes (AOPs) for Wastewater Treatment – a mini review. **Global NEST Journal**, v. 10, n. 3, p. 376385, 2008.

TEIXEIRA, C. R. A. B. **Estudo comparativo de tipos diferentes de processos oxidativos avançados**, 2002. Tese (Doutorado em Engenharia Civil). Universidade Estadual de Campinas, Campinas, São Paulo.

TERAN, F. Aplicação de fotocatalise heterogênea e homogênea para a remoção de cor em efluentes provenientes de indústria de processamento de couro. **Revista Monografias Ambientais - REMOA**. Santa Maria, V.14, No.3, p.3316-3325, 2014.

VASQUEZ, A. R. CHAVES, N. A. **Caracterização e aplicação de adsorvente para remoção de corantes de efluentes têxteis em batelada e colunas de**

**leito fixo.** Dissertação de Mestrado do curso de Engenharia Química da Universidade Federal de Santa Catarina – UFSC, Florianópolis, SC, 2016.

ZANONI, M.V.B; CARNEIRO, P.A. Prevenção e tratamento de resíduos antes da liberação no ambiente devem ser metas da indústria - o Uso descarte dos corantes têxteis, **Ciência Hoje**, v. 29, n. 174, p. 61-64, 2001.