



**UNIVERSIDADE ESTADUAL DA PARAÍBA
CENTRO DE CIÊNCIAS E TECNOLOGIA
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA SANITÁRIA E AMBIENTAL
GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA SANITÁRIA E AMBIENTAL**

MARIA EMÍLIA DE FREITAS SOUSA

**APLICAÇÃO DA FOTOCATÁLISE HETEROGÊNEA COM DIÓXIDO DE TITÂNIO
(TiO₂) NA REMOÇÃO DE COR DE EFLUENTES DA INDÚSTRIA TÊXTIL**

**Campina Grande
2021**

MARIA EMÍLIA DE FREITAS SOUSA

**APLICAÇÃO DA FOTOCATÁLISE HETEROGÊNEA COM DIÓXIDO DE TITÂNIO
(TiO₂) NA REMOÇÃO DE COR DE EFLUENTES DA INDÚSTRIA TÊXTIL**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao Curso de Engenharia Sanitária e Ambiental, da Universidade Estadual da Paraíba – UEPB, como requisito obrigatório para obtenção do título de Bacharel em Engenharia Sanitária e Ambiental.

Área de concentração: Tratamento avançado de efluentes

Orientadora: Profa. Dra. Geralda Gilvânia Cavalcante de Lima

**Campina Grande
2021**

É expressamente proibido a comercialização deste documento, tanto na forma impressa como eletrônica. Sua reprodução total ou parcial é permitida exclusivamente para fins acadêmicos e científicos, desde que na reprodução figure a identificação do autor, título, instituição e ano do trabalho.

S725a Sousa, Maria Emilia de Freitas.

Aplicação da fotocatalise heterogênea com dióxido de titânio (TiO₂) na remoção de cor de efluentes da indústria têxtil [manuscrito] / Maria Emilia de Freitas Sousa. - 2021.

25 p. : il. colorido.

Digitado.

Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Sanitária e Ambiental) - Universidade Estadual da Paraíba, Centro de Ciências e Tecnologia , 2021.

"Orientação : Profa. Dra. Geralda Gilvânia Cavalcante de Lima , Coordenação do Curso de Engenharia Sanitária e Ambiental - CCT."

1. Micropoluentes. 2. Tratamento fotocatalítico. 3. Poluente emergente. 4. Indústria têxtil. 5. Corante. I. Título

21. ed. CDD 628.3

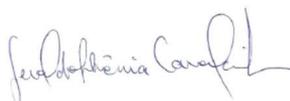
MARIA EMÍLIA DE FREITAS SOUSA

**APLICAÇÃO DA FOTOCATÁLISE HETEROGÊNEA COM DIÓXIDO DE TITÂNIO
(TiO₂) NA REMOÇÃO DE COR DE EFLUENTES DA INDÚSTRIA TÊXTIL**

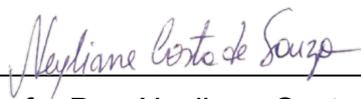
Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao Curso de Engenharia Sanitária e Ambiental, da Universidade Estadual da Paraíba – UEPB, como requisito obrigatório para obtenção do título de Bacharel em Engenharia Sanitária e Ambiental.

Aprovado em: 21/05/2021.

Nota: 9,5



Profa. Dra. Geralda Gilvânia Cavalcante De Lima (Orientadora)
Universidade Estadual da Paraíba (DESA/UEPB)



Profa. Dra. Neyliane Costa de Souza
Universidade Estadual da Paraíba (DESA/UEPB)



Profa. Dra. Márcia Ramos Luiz
Universidade Estadual da Paraíba (DESA/UEPB)

Dedico este trabalho a minha avó Lia, que muito me ensinou e encorajou a nunca desistir.

AGRADECIMENTOS

Primeiramente agradeço a Deus pela minha vida.

A minha mãe Lucinha e a minha avó Luza, meus maiores exemplos de força feminina, sempre dedicadas, peças fundamentais na minha educação e valores.

Ao meu Pai, Plínio e minha irmã Luiza, que estiveram sempre ao meu lado me apoiando sempre.

Ao meu namorado, Eduardo por estar sempre comigo e me ajudar a nunca desistir dos meus sonhos.

Aos melhores amigos que a graduação poderia ter me presenteado, Adolf, Amanda, Julianna, Jefferson e Petra, com eles foi tudo mais leve e divertido, que essa amizade nunca acabe.

Agradeço a minha orientadora Geralda Gilvânia pela paciência, ensinamentos e competências nos anos de pesquisa.

A todos os meus professores pela excelência nos ensinamentos que levarei para vida.

As professoras Márcia e Neyliane, que aceitaram o convite de participar da banca examinadora, me aconselhando e acrescentando conhecimentos até os últimos dias de graduanda.

A todos que contribuíram direta ou indiretamente.

“Que nada nos limite, que nada nos defina, que nada nos sujeite. Que a liberdade seja nossa própria substância, já que viver é ser livre. Porque alguém disse e eu concordo que o tempo cura, que a mágoa passa, que decepção não mata. E que a vida sempre, sempre continua.”

Simone de Beauvoir

RESUMO

Os Processos Oxidativos Avançados (POAs) são uma tecnologia inovadora e com papel importante na degradação de grande classe de contaminantes, sejam eles orgânicos e inorgânicos. O principal objetivo desse trabalho foi avaliar a degradação do corante azul de metileno, presente em efluentes das indústrias têxteis e farmacêuticas, através da aplicação da fotocatalise heterogênea (UV/ TiO₂), visando a redução de cor e carga poluidora. Com o intuito de avaliar a influência dos parâmetros operacionais de pH, tempo, carga de catalisador (TiO₂) e intensidade de irradiação UV artificial na eficiência do processo fotocatalítico. Foi construído um sistema operacional utilizando irradiação UV artificial e reatores. Inicialmente foi preparado o efluente e adicionado o catalisador TiO₂ e feita a correção do pH antes de todos os experimentos. Em seguida, a câmara foi operada com radiação UV artificial, usando a intensidade de irradiação de uma ou três lâmpadas germicidas. Os experimentos com pH ácido e concentração 2 µM de azul de metileno, e comparativo das intensidades de irradiação UV artificial, o experimento com maior intensidade ocorreu maior degradação do poluente. Nos experimentos com maior intensidade de radiação e concentração de 6 µM de azul de metileno, o ensaio com pH ácido apontou maior degradação. Nos ensaios com concentração 2µM de azul de metileno e pH 10,0, com uma e três lâmpadas germicidas. O experimento com maior intensidade de irradiação UV artificial teve melhor degradação do contaminante azul de metileno. O experimento com pH 10,0, maior concentração de azul de metileno e menor intensidade de irradiação UV, ocorreu baixa degradação. Os resultados foram eficientes na degradação do azul de metileno, mesmo em concentrações muito baixas, o que dificultou a leitura dos resultados. Considerando todos os resultados obtidos concluiu-se que os melhores experimentos ocorreram em menor concentração do poluente, acreditando que a baixa concentração do mesmo tenha influência na degradação, devido à ocorrência de um maior contato pela radiação UV.

Palavras-Chave: Micropoluentes. Tratamento fotocatalítico. POA. Poluentes Emergentes

ABSTRACT

Advanced Oxidative Processes (POAs) are an innovative technology and have an important role in the degradation of a large class of contaminants, whether organic or inorganic. The main objective of this work was to evaluate the degradation of the methylene blue dye, present in effluents from the textile and pharmaceutical industries, through the application of heterogeneous photocatalysis (UV / TiO₂), aiming at the reduction of color and polluting load. In order to evaluate the influence of the operational parameters of pH, time, catalyst load (TiO₂) and intensity of artificial UV irradiation on the efficiency of the photocatalytic process. An operating system was built using artificial UV irradiation and reactors. Initially, the effluent was prepared and the TiO₂ catalyst was added and the pH correction was carried out before all experiments. Then, the chamber was operated with artificial UV radiation, using the irradiation intensity of one or three germicidal lamps. The experiments with acid pH and concentration 2 μM of methylene blue, and comparing the intensities of artificial UV irradiation, the experiment with greater intensity occurred greater degradation of the pollutant. In experiments with higher radiation intensity and a concentration of 6 μM methylene blue, the acid pH test showed greater degradation. In tests with 2 μM methylene blue concentration and pH 10.0, with one and three germicidal lamps. The experiment with the highest intensity of artificial UV irradiation had better degradation of the methylene blue contaminant. The experiment with pH 10.0, higher concentration of methylene blue and lower intensity of UV irradiation, occurred with low degradation. The results were efficient in the degradation of methylene blue, even at very low concentrations, which made it difficult to read the results. Considering all the results obtained, it was concluded that the best experiments occurred in a lower concentration of the pollutant, believing that its low concentration has an influence on the degradation, due to the occurrence of greater contact by UV radiation.

Keywords: Micropollutants. Photocatalytic treatment. POA. Emerging Pollutants.

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	9
2	FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA	10
2.1	Corantes e efluentes	10
2.2	Processos Oxidativos Avançados (POAs)	11
2.2.1	<i>Fotocatálise heterogênea</i>	13
3	METODOLOGIA	14
3.1	Planejamento fatorial	15
3.2	Preparação do efluente	15
3.3	Sistema Experimental	15
3.3.1	<i>Procedimento Fotocatalítico</i>	16
4	RESULTADOS E DISCUSSÃO	17
4.1	Varredura do comprimento de onda	17
4.2	Curva de calibração	17
4.3	Análise dos experimentos	18
5	CONSIDERAÇÕES FINAIS	21
	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	23

1 INTRODUÇÃO

A crescente degradação do meio ambiente trouxe a necessidade de mudanças que objetivam a diminuição dos impactos e a remoção de poluentes que são dispostos de forma irregular na natureza. O descarte inadequado de efluentes industriais em corpos hídricos é um tema habitual, que causa preocupações, e é um desafio para a comunidade científica, pela larga classe de resíduos dispostos.

Os resíduos em todos os setores são bastante diversificados na sua composição química, sejam compostos inorgânicos e orgânicos, que contém poluentes tóxicos e resistentes (recalcitrantes) (FLORÊNCIO; MALPASS, 2014).

As indústrias têxteis são consideradas de grande importância na economia brasileira e estão em constante desenvolvimento, mas, infelizmente, têm sido apontadas como grandes poluidoras de todos os setores da indústria química, devido aos seus dejetos contaminados que são lançados nos mananciais de forma inadequada (SADAF et al., 2015).

Conforme os mesmos autores, os processos de tingimento de tecidos utilizados na indústria têxtil consomem abundantemente água, corantes e produtos químicos, resultando em efluentes altamente coloridos, com excesso de DQO, compostos orgânicos, inorgânicos e tóxicos. Muitas vezes, esse corante é descartado sem tratamento, sendo a inviabilidade econômica dos métodos de prevenção o motivo desse descarte.

Entre os processos de descontaminação ambiental que estão sendo desenvolvidos, os chamados Processos Oxidativos Avançados (POA) vêm ganhando destaque. São baseados na formação de radicais hidroxila ($\cdot\text{OH}$), agente altamente oxidante. Devido a sua alta reatividade, esses radicais podem reagir com uma grande variedade de classes de compostos promovendo sua total mineralização para compostos inócuos, como CO_2 e água (ALMEIDA, 2013).

Segundo os mesmos autores, os POAs dividem-se em sistemas homogêneos e heterogêneos, onde os radicais hidroxila são gerados com ou sem irradiação ultravioleta (UV). Entre eles, pode-se citar os processos que envolvem a utilização de ozônio, peróxido de hidrogênio, decomposição catalítica de peróxido de hidrogênio em meio ácido (reação de Fenton ou foto-Fenton) e semicondutores como dióxido de titânio na fotocatalise heterogênea.

O principal objetivo deste trabalho foi avaliar a degradação do corante azul de metileno presente em efluentes das indústrias têxteis e farmacêuticas, através da fotocatalise heterogênea (UV/TiO₂), visando a redução de cor e carga poluidora. E assim avaliar a influência dos parâmetros operacionais de pH, tempo, carga de catalisador (TiO₂) e intensidade de irradiação UV artificial na eficiência do processo fotocatalítico.

Por meio da análise dos resultados o trabalho traz possibilidades para o tratamento de efluentes das indústrias têxteis, apresentando uma metodologia acessível para a comunidade acadêmica.

2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

2.1 Corantes e efluentes

É preciso estabelecer limites no lançamento de carga poluidoras nos corpos hídricos, visto que a preocupação com a poluição ambiental é crescente e necessária para existir uma relação harmônica entre os seres vivos e o meio ambiente.

A indústria têxtil utiliza matérias-primas como algodão, lã e fibras sintéticas para produzir tecidos, tais etapas exigem um grande volume de água, cerca de 1,6 milhões de litros para fabricar 8000 kg de tecido com dimensões médias. Também são utilizados muito produtos químicos em grandes quantidades, o que faz com que esta indústria figure como a maior poluidora de água potável (HOLKAR et al., 2016; KANT, 2012; VERMA; DASH; BHUNIA, 2012).

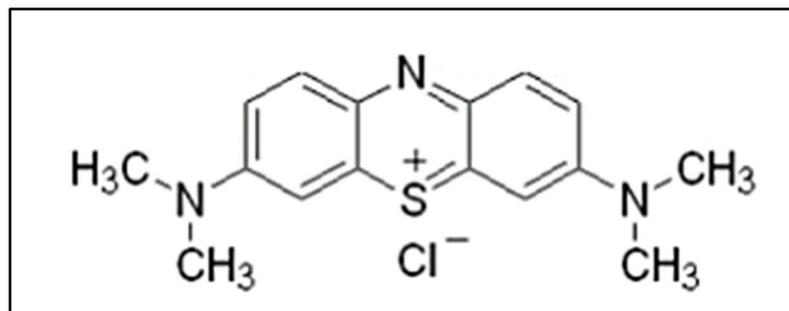
Pelo menos cerca de 15 a 20% dos corantes empregados no tingimento são removidos na lavagem posterior. Esses corantes são poluentes que adentram as águas superficiais, já que a indústria costumeiramente descarta seus efluentes nos mesmos corpos hídricos em que possuem outorga (KAUR; SHARMA, 2015).

Deseja-se que o corante permaneça fixo ao tecido durante toda sua vida útil. Para tal, a estrutura química complexa deve ser quimicamente estável sob exposição a luz solar e também na presença de água e sabão, resistindo então à limpeza (REAL, 2019).

A maioria dos corantes tem origem sintética e estrutura aromática complexa. Eles podem ser classificados através da sua estrutura química (antraquinona, azo, etc.), através da forma como é fixado à fibra têxtil (corantes reativos, diretos, azoicos, ácidos, a cuba, de enxofre, dispersos, dispersivos e pré-metalizados) ou como aniônicos, catiônicos e não-iônicos (SILVA, 2005).

O azul de metileno, um corante catiônico muito empregado na indústria têxtil no tingimento de tecidos de algodões e lãs, porém quando não tratado de forma adequada o lançamento não controlado em rios e lagos afeta não só a transparência das águas, mas também limita a passagem de radiação solar diminuindo a atividade fotossintética natural provocando alterações na biota aquática e originando toxicidade aguda e crônica desses ecossistemas (OLIVEIRA, 2013).

Figura 1. Estrutura molecular do azul de metileno.



Fonte: DUTRA, 2013.

O Azul de Metileno é um composto aromático heterocíclico, sólido, solúvel em água, produzindo solução azul, inodoro, com fórmula molecular: $C_{16}H_{18}ClN_3S$ e massa molar $319,85 \text{ g.mol}^{-1}$. É um corante catiônico e possui uma variedade de aplicações, sendo utilizado no tingimento de algodão, lã, papel, tinturas temporárias para cabelos, entre outros. Uma das aplicações desse corante se dar no processo de produção dos materiais presentes nas indústrias têxteis promovendo a coloração deles (OLIVEIRA, 2013).

2.2 Processos Oxidativos Avançados (POAs)

É observada uma grande necessidade de desenvolver procedimentos que apresentem maior eficiência no tratamento de efluentes. Dentre as novas tecnologias, se destacam os Processos Oxidativos Avançados (POA's), os quais se baseiam na

utilização de espécies altamente oxidantes para promover uma degradação mais efetiva do poluente a ser tratado (BRITO; SILVA, 2012).

Os POA's podem ser utilizados em conjunto com tratamentos biológicos, a fim de aumentar a biodegradabilidade de compostos recalcitrantes, diminuindo assim o tempo requerido para o tratamento via processos biológicos tradicionais (FIOREZE; SANTOS; SCHMACHTENBERG, 2014).

Estes, baseiam-se na geração de radicais hidroxila ($\cdot\text{OH}$), que por sua vez caracterizam-se por substâncias altamente oxidantes capazes de transformar a maioria dos contaminantes orgânicos em dióxido de carbono, água e ânions inorgânicos. O radical hidroxila pode ser obtido a partir do uso de ozônio (O_3), do peróxido de hidrogênio (H_2O_2), semicondutores, como dióxido de titânio (TiO_2) e óxido de zinco (ZnO), entre outros (TEIXEIRA; JARDIM, 2004).

A inespecificidade dos POA's viabiliza a sua utilização para a degradação de substratos de qualquer natureza química, sendo destaque a degradação de contaminantes refratários e tóxicos, cujo tratamento biológico pode ser viabilizado através da oxidação avançada parcial (REIS, 2018).

O radical hidroxil ($\cdot\text{OH}$) reage rápida e indiscriminadamente com muitos compostos orgânicos de diferentes formas, como por adição à dupla ligação ou por abstração do átomo de hidrogênio em moléculas orgânicas alifáticas (SOUZA, 2010). O resultado dessas reações é a formação de radicais orgânicos que reagem com oxigênio, dando assim, início a uma série de reações de degradação, que podem resultar em espécies inócuas, como CO_2 e H_2O (FIOREZE; SANTOS; SCHMACHTENBERG, 2014).

Dezotti (2008) citou diversas vantagens que os POAs apresentam, como: forte poder oxidante; mineralização total dos poluentes e oxidação total de espécies inorgânicas; versatilidade e eficiência; decomposição dos reagentes utilizados como oxidantes em produtos de menor impacto ao meio ambiente e condições operacionais de temperatura e pressão ambiente.

Apesar de alguns estudos mostrarem que o consumo energético pode ser reduzido, estes processos têm como desvantagem a limitação econômica que está relacionada ao alto custo da fonte de radiação UV quando comparado, por exemplo, com o custo de implementação do sistema eletroquímico, implicando em consumo de

energia elétrica e custo de manutenção, e ao alto custo do agente oxidante (Dezotti, 2008).

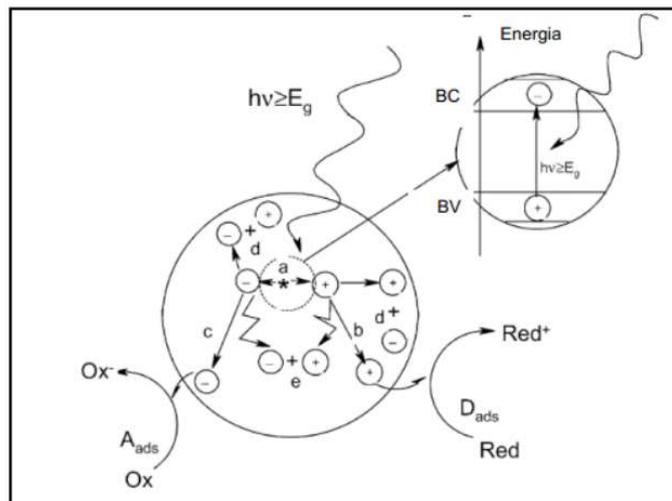
2.2.1 Fotocatálise heterogênea

A Fotocatálise Heterogênea consiste em um processo em que uma espécie semicondutora é irradiada para a promoção de um elétron da banda de valência (BV) para a banda de condução (BC) (TIBURTIUS; PERALTA-ZAMORA, 2004). Com o elétron promovido para a BC e com a lacuna (h^+) gerada na BV, são criados sítios redutores e oxidantes, que são capazes de catalisar reações químicas, de acordo com a Equação (1) (Figura 2) (SILVA, 2007).

Os potenciais adquiridos são suficientes para gerar radicais $\cdot\text{OH}$ a partir de moléculas de água absorvidas na superfície do semicondutor, de acordo com a Equação (2) (BRITO; SILVA, 2012).



Figura 2. Principais processos ocorridos na partícula do semicondutor quando fotoexcitado.



Fonte: SILVA, 2007.

A eficiência do processo de Fotocatálise Heterogênea depende da competição entre o processo em que o elétron é retirado da superfície do semicondutor pelo

oxigênio, evitando o processo de recombinação do par elétron-lacuna (FIOREZE; SANTOS; SCHMACHTENBERG, 2014).

Catálise química corresponde ao uso de substâncias que alteram a taxa de uma reação, empregados geralmente com o interesse de torna-la mais rápida. Essas substâncias são conhecidas como catalisadores e quando eles estão em uma fase diferente dos reagentes tem-se a catálise heterogênea. É muito comum a utilização de catalisadores sólidos, enquanto os reagentes se encontram na fase líquida ou gasosa. Um catalisador atua diminuindo a energia de ativação da reação através de mecanismos diversos. O catalisador pode ser considerado produto e reagente de uma reação, pois ele forma intermediários, mas se regenera ao final do processo (FECHETE; WANG; VÉDRINE; 2011).

O dióxido de titânio (TiO_2) é o catalisador mais comumente utilizado na fotocatalise heterogênea por reunir as seguintes características: não tóxico, baixo custo, insolubilidade em água, foto-estabilidade, estabilidade química em uma ampla faixa de pH e possibilidade de ativação pela luz solar, o que reduz os custos do processo (FERREIRA, DANIEL, 2004).

A maioria dos estudos utilizando TiO_2 como foto catalisador são realizados com ele em suspensão e sob mistura completa, o que confere vantagens como maior área superficial disponível para reação e minimização de resistências de transferência de massa. Por outro lado, a principal desvantagem deste método relaciona-se à perda contínua do foto catalisador e a elevação dos custos operacionais, dada a dificuldade de recuperação do TiO_2 da água tratada, uma vez que, sua forma comercial assemelha-se a um talco fino de baixa velocidade de sedimentação (STROYUK, 2015).

3 METODOLOGIA

A pesquisa foi realizada no Laboratório de Pesquisa em Ciências Ambientais (LAPECA), do Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental localizado no Centro de Ciências e Tecnologia da Universidade Estadual da Paraíba, *Campus I*, Campina Grande – PB.

3.1 Planejamento fatorial

No planejamento fatorial foram previstas interações entre as variáveis de interesse, que possuem maior grau de importância. Sendo três fatores, consequentemente 2^3 , resultando em total de 8 ensaios, no tempo de execução de 4 horas cada. O planejamento foi baseado nos três fatores dispostos na Tabela 1.

Tabela 1 - Resultados do planejamento fatorial.

Fatores	(+)	(-)
1: Concentração (μM)	6,0	2,0
2: pH	10,0	4,0
3: Intensidade de radiação ($\text{mW}\cdot\text{cm}^{-2}$)	4,22	1,77

Fonte: elaborada pela autora, 2021.

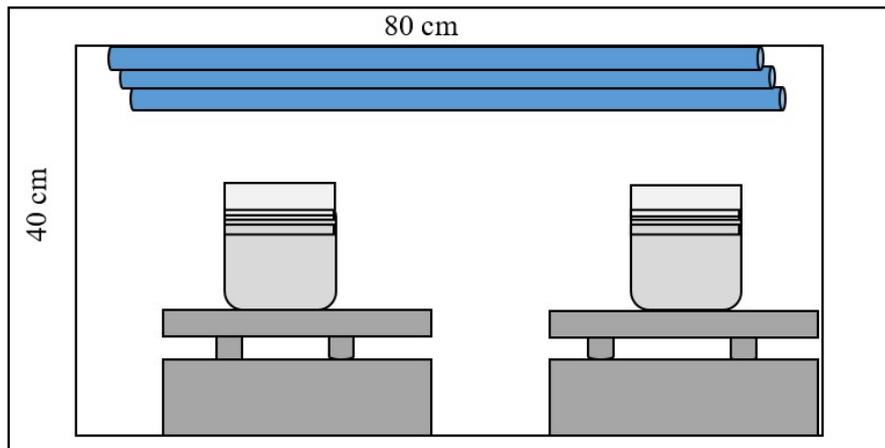
3.2 Preparação do efluente

O corante utilizado no estudo foi o azul de metileno, $\text{C}_{16}\text{H}_{18}\text{N}_3\text{S}$ e massa molar: 319,85 g/mol. Inicialmente foi preparado uma solução estoque de concentração 10^{-3}M . E a partir desta foram preparadas as demais soluções para o estudo.

3.3 Sistema Experimental

Para degradação do corante azul de metileno foi elaborado um sistema experimental que consistiu de uma câmara fotocatalítica retangular que operou com radiação UV artificial, usando uma ou três lâmpadas germicidas de 15 W, com uma distância de 15 cm do agitador magnético. O esquema do sistema é apresentado na Figura 3.

Figura 3 - Representação do sistema experimental.



Fonte: elaborada pela autora, 2021.

Os reatores, modelo tanque, composto por béqueres, contendo o volume definido de 1000 mL de efluente ($10^{-3}M$), foi adicionado o catalisador (TiO_2) ao efluente. A carga definida do catalisador dióxido de titânio (TiO_2) (1,0 g/L), uma barra magnética lisa e um agitador magnético, foram submetidos a agitação constante para garantir a homogeneização da amostra durante a exposição à radiação UV, por um período de 4h, sendo retiradas amostras a cada 30 minutos.

O pH do efluente foi analisado antes de todos os experimentos e quando necessário foi adicionado ácido clorídrico (HCl) ou hidróxido de sódio (NaOH) para ajuste do pH. O efluente passou por agitação em um período de 30 minutos na câmara fotocatalítica sem o acionamento das lâmpadas, para garantir o equilíbrio das partículas.

3.3.1 Procedimento Fotocatalítico

A amostras retiradas em cada experimento foram submetidas a centrifugação por um período de 30 minutos a uma rotação de 3500 RPM para separar catalisador e amostra.

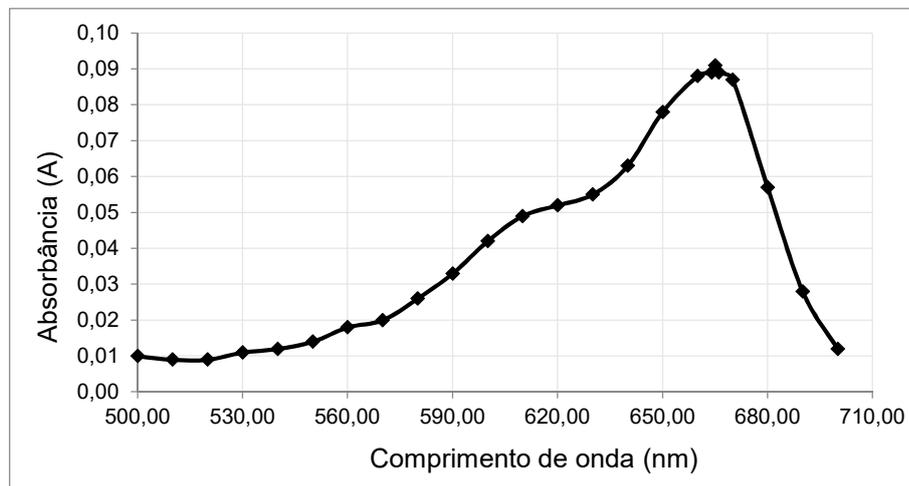
As amostras foram analisadas por espectrofotometria de absorção molecular UV-VIS. As leituras foram feitas no espectrofotômetro, em um comprimento de onda 665 nm, para determinar a concentração do corante.

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1 Varredura do comprimento de onda

Foi feita a varredura do comprimento de onda (Figura 4) para determinar o comprimento de onda ideal. A solução de azul de metileno foi submetida a várias leituras de absorbância em espectrofotômetro ao longo de uma faixa de comprimento de onda eletromagnética, e assim, avaliar a sua capacidade de absorção de luz, no final do experimento, o pico de 665 nm.

Figura 4 – Varredura do comprimento de onda.



Fonte: elaborada pela autora, 2021.

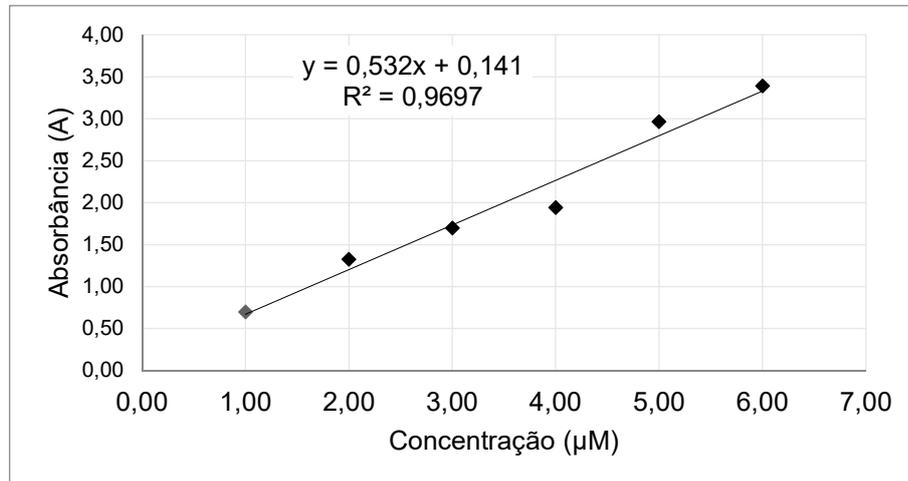
O azul de metileno é um corante catiônico, com carga positiva descentralizada, e existe na forma de monômero em soluções aquosas de concentração inferior a $1 \times 10^{-5} \text{ mol.L}^{-1}$. Nessa concentração o espectro no visível apresenta uma banda em 664 nm associada ao monômero (MBH^+), e um "ombro" em 610 nm (PINHEIRO, 2018).

4.2 Curva de calibração

Foi construída a curva de calibração (Figura 5) que estabeleceu a exatidão do sistema de medição, conforme a relação linear entre a absorbância e a escala de

concentrações do azul de metileno, indo de 1 μM até 6 μM . Obtendo a equação do gráfico pelo método linear de regressão.

Figura 5 - Curva de calibração.



Fonte: elaborada pela autora, 2021.

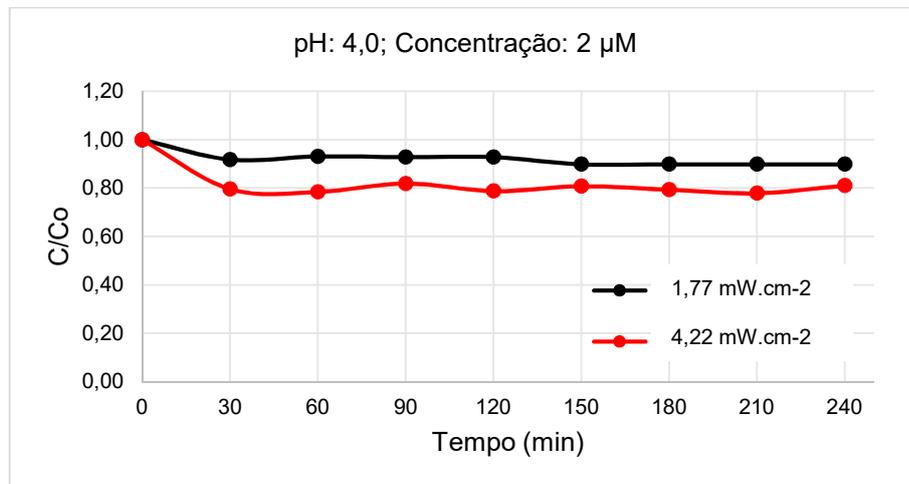
Onde o coeficiente de absorvidade molar (ϵ) foi de $0,532 \text{ L}\cdot\text{mg}^{-1}\cdot\text{cm}^{-1}$ e com coeficiente de determinação para a reta da curva de calibração é de R^2 igual a 0,9697.

4.3 Análise dos experimentos

Segundo Teixeira e Jardim (2004), para cada sistema de POA existem condições ótimas de operação que devem ser estudadas e definidas previamente. As principais variáveis na condução dos POAs são a dosagem de reagentes, o pH do meio e a temperatura. O tempo de reação, a velocidade de agitação e o comprimento de onda, quando o sistema utiliza radiação também são fatores importantes.

Para os experimentos com pH ácido e concentração 2 μM de azul de metileno, foi notado que com maior intensidade de radiação UV artificial ocorreu maior degradação do poluente, apresentado na Figura 6, visto que a intensidade de irradiação interferiu na degradação.

Figura 6 - Ensaios com pH 4,0 e concentração 2 μ M de azul de metileno, com uma e três lâmpadas germicidas.

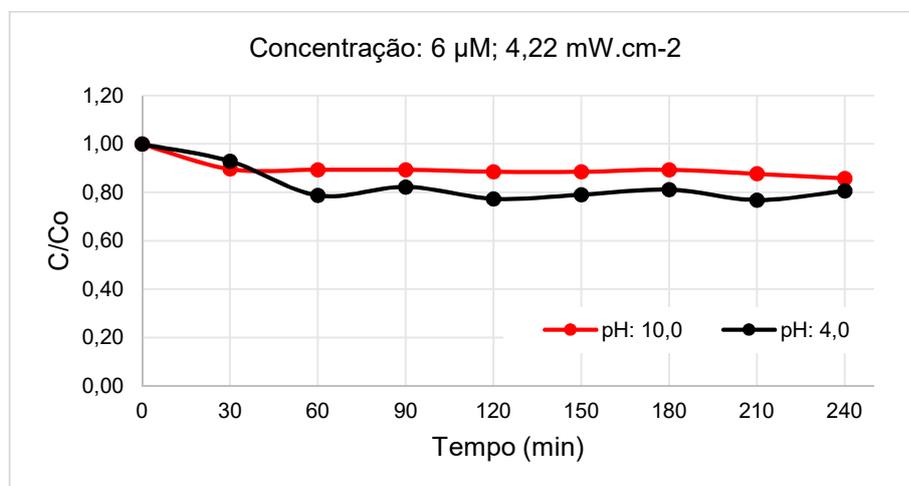


Fonte: elaborada pela autora, 2021.

Concentrações mais altas exigem maior potência da lâmpada UV e maior dosagem de catalisador e/ou um tempo de retenção maior. Assim, dependendo da complexidade do composto orgânico, a concentração inicial vai afetar a eficiência do tratamento (LOCH, 2013).

Nos experimentos com maior intensidade de radiação e concentração de 6 μ M azul de metileno, o ensaio com pH ácido apontou maior degradação, no final os resultados se aproximaram, demonstra a Figura 7.

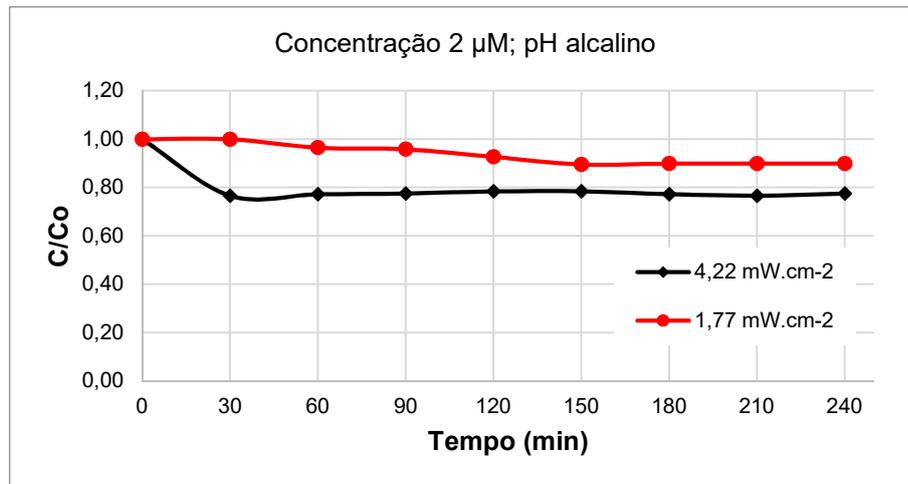
Figura 7 - Ensaios com concentração 6 μ M de azul de metileno e três lâmpadas germicidas, pH 4,0 e 10,0.



Fonte: elaborada pela autora, 2021.

Ambos experimentos apresentados na Figura 8, apresentaram baixa degradação se comparados a experimentos com pH ácido, sendo o experimento com maior intensidade de irradiação UV artificial o que teve melhor degradação do contaminante azul de metileno.

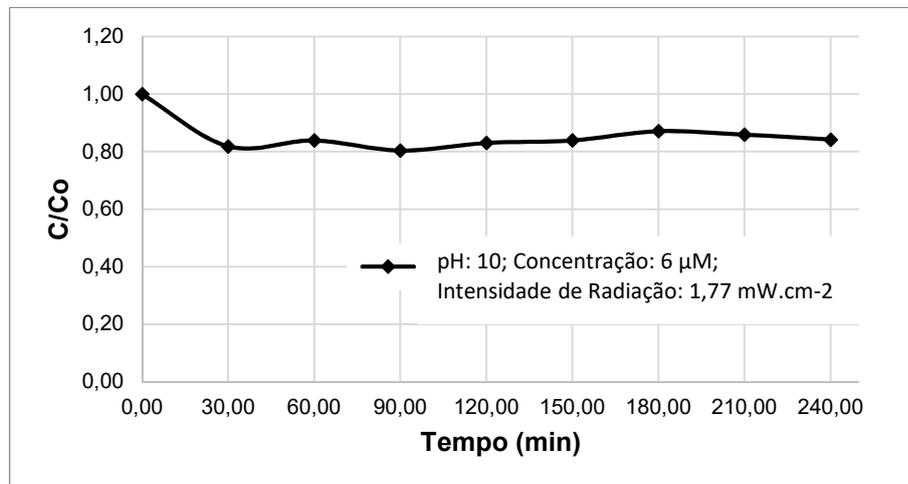
Figura 8 - Ensaios com concentração 2 μ M de azul de metileno e pH 10,0, com uma e três lâmpadas germicidas.



Fonte: elaborada pela autora, 2021.

Para o experimento com pH 10,0, maior concentração de azul de metileno e menor intensidade de irradiação UV, ocorreu baixa degradação, observando um aumento das partículas em suspensão e, conseqüentemente, a diminuição da intensidade de radiação UV, na Figura 9.

Figura 9 – Ensaio com pH 10,0, concentração 6 μ M de azul de metileno e com uma lâmpada germicida.



Fonte: elaborada pela autora, 2021.

A dependência de pH é um dos parâmetros mais relevantes no processo fotocatalítico, porque as propriedades da superfície do catalisador e a estrutura do substrato podem ser afetadas e alterar a eficiência da fotocatalise (CLAUSEN; TAKASHIMA, 2007).

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

A curva de varredura foi condizente com os valores apresentados na teoria. A fotocatalise heterogênea mediada por TiO₂ foi influenciada pelas concentrações do corante e o pH e se mostrou eficiente na degradação do azul de metileno, mesmo em concentrações muito baixas, o que dificultou a leitura dos resultados, mas comprovado o potencial de oxidação dos radicais hidroxila (\cdot OH).

Considerando todos os resultados obtidos, concluiu-se que os melhores resultados ocorreram em menor concentração do poluente, comprovando que a baixa concentração dele tenha influência na degradação, devido à ocorrência de um maior contato pela radiação UV artificial.

As concentrações de azul de metileno para os ensaios com pH ácido e um número maior de lâmpadas, apresentaram maior efetividade na degradação do composto avaliado. Apresentando uma potencialidade no tratamento de efluentes com corantes têxteis, ainda sendo possível a utilização da radiação UV natural para redução dos custos do sistema operacional, visto que a cor presente no efluente pode

absorver a radiação UV, reduzindo a quantidade disponível para reações de oxidação. E podendo também apresentar maior taxa de remoção dos contaminantes com um maior tempo de retenção, o tempo de contato entre o efluente, a radiação e o oxidante.

É importante que seja feita uma conscientização ambiental da população e que as legislações impostas sejam eficientes. Assim, torna-se essencial o desenvolvimento de tecnologias eficientes e de custo acessível para o tratamento das diversas classes de efluentes.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ALMEIDA, A. D. S. de. **Avaliação da associação de processos oxidativos avançados e adsorção em carvão ativado na remoção de corante reativo em meio aquoso**. 2013. 92 f. Dissertação - Mestrado em Recursos Hídricos e Saneamento, Universidade Federal de Alagoas, Maceió, 2013.
- BRITO, N. N. De.; SILVA, V. B. M. **Processos Oxidativos Avançados e sua aplicação ambiental**. Revista Eletrônica de Engenharia Civil, n.3, v.1, p.36-47, 2012.
- CLAUSEN, D. N.; TAKASHIMA, K.. **Efeitos dos parâmetros operacionais na fotodegradação do azo corante direct red 23 na interface dióxido de titânio/água**. Química Nova, [S.L.], v. 30, n. 8, p. 1896-1899, 2007.
- DEZOTTI, M. (Coord.). **Processos e técnicas para o controle ambiental de efluentes líquidos**. Rio de Janeiro: E-papers, 2008.
- DUTRA, D.A.M. **Avaliação do fotossensibilizador azul de metileno em diferentes formulações para uso em terapia fotodinâmica**, 2013.
- FECHETE, I.; WANG, Y.; VÉDRINE, J. C. **The past, present and future of heterogeneous catalysis**. Catalysis Today, v. 189, n. 1, p.2-27, jul. 2012.
- FERREIRA, I. V. L.; DANIEL, L. A. **Fotocatálise heterogênea com TiO₂ aplicada ao tratamento de esgoto sanitário secundário**. Engenharia Sanitária e Ambiental, [S.L.], v. 9, n. 4, p. 335-342, dez. 2004.
- FIOREZE, M.; SANTOS, E. P. dos; SCHMACHTENBERG, N. **Processos oxidativos avançados: fundamentos e aplicação ambiental**. Revista Eletrônica em Gestão, Educação e Tecnologia Ambiental: REGET, Santa Maria, v. 18, n. 1, p. 79-91, abr. 2014.
- FLORÊNCIO, T. M.; MALPASS, G. R. P. **A brief explanation about environmental licenses in Brazil**. The Nexus – American Chemical Society, 2014.
- HOLKAR, C. R.; JADHAV, A. J.; PINJARI, D. V.; MAHAMUNI, N. M.; PANDIT, A. B. **A critical review on textile wastewater treatments: Possible approaches**. Journal of Environmental Management, v. 182, p. 351–366, jul. 2016.
- KANT, R. **Textile dyeing industry an environmental hazard**. Natural Science, v. 04, n. 01, p. 22–26, jan. 2012.
- KAUR, H.; SHARMA, G. **Removal of Dyes from Textile Industry Effluent: A Review**. Journal of the Textile Association, p. 59–63, abr. 2015.
- LOCH, F. **Avaliação e otimização de um sistema para aplicação de processo oxidativo avançado UV/H₂O₂ no tratamento de efluentes visando o reuso**. Dissertação – Mestrado em Ambiente e Desenvolvimento, Programa de Pós-Graduação *Stricto Sensu*, Centro Universitário UNIVATES, Lajeado, 2013.

OLIVEIRA, S. P.; SILVA, W. L. L. D.; VIANA, R. R. **Avaliação da capacidade de adsorção do corante azul de metileno em soluções aquosas em caulinita natural e intercalada com acetato de potássio.** Cerâmica, v. 59, n. 350, p. 338-344, 2013.

PINHEIRO, R. S. **Remoção de sulfeto em biogás utilizando nano partículas de óxido de ferro.** 2018. 63 f. Dissertação – Mestrado em Engenharia de Energia na Agricultura, Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Energia na Agricultura, Universidade Estadual do Oeste do Paraná, Cascavel, 2018.

REAL, L. R. **Descoloração do azul de metileno por processo fotocatalítico utilizando o sistema NB_2O_5/UV .** 2019. 47 f. TCC (Graduação) - Curso de Engenharia Química, Departamento Acadêmico de Engenharia Química, Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Ponta Grossa, 2019.

REIS, Carlane Estéfane Aguiar Lira. **Processo De Oxidação Avançada: Reação De Fenton No Tratamento De Efluentes Industriais.** 2018. 57 f. Monografia (Especialização) - Curso de Engenharia Química, Departamento de Engenharia Química, Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, 2018.

SADAF, S., BHATTI, H. N. **Removal of COD from real textile effluents using agro-industrial wastes.** Desalination Water Treat. V.53. 2585–2592. 2015.

SANTOS, A. **Argilas montmorilonitas naturais e modificadas com surfactante aplicadas na adsorção do azul de metileno e p-nitrofenol em 60 solução aquosa.** 96f. Dissertação (Mestrado em Química) – UECO, Guarapuava, 2010.

SILVA, L. P. **Modificação e imobilização de TiO_2 visando a degradação de compostos orgânicos poluentes via o processo de fotocatalise heterogênea.** 2007. 115f. Dissertação (Mestrado em Química) – Instituto de Química, USP, 2007.

SILVA, T. da. **Influência da temperatura na adsorção do corante azul de metileno utilizando serragem de *Pinus elliottii* como um adsorvente alternativo: um modelo para o tratamento de efluentes têxteis.** 2005. 45 f. Trabalho de conclusão de curso em Química, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2005.

SOUZA, B. M. de. **Avaliação de processos oxidativos avançados acoplados com carvão ativado granulado com biofilme para reuso de efluentes de refinaria de petróleo.** 2010; 160f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Química) – COPPE, Universidade Federal do Rio de Janeiro, 2010.

STROYUK, A. L.; Theor. Exp. Chem.. 2015, 51, 183.

TEIXEIRA, C. P. de A. B.; JARDIM, W. de F. **Processos Oxidativos avançados: caderno temático: Campinas: Unicamp, Instituto de Química, 2004. 83f. Apostila, v. 3.**

TIBURTIUS, E. R. L.; PERALTA-ZAMORA, P. P. **Contaminação de águas por BTXS e processos utilizados na remediação de sítios contaminados.** Química Nova, v.27, n.3, p.441-446, 2004.

VERMA, A. K.; DASH, R. R.; BHUNIA, P. **A review on chemical coagulation/flocculation technologies for removal of colour from textile wastewaters.** Journal of Environmental Management, v. 93, n. 1, p. 154–168, sep. 2012.