



APLICAÇÃO DE FOTOCATÁLISE SOLAR UTILIZANDO UM FILME DE TiO₂ MODIFICADO EM UM REATOR TUBULAR PARA DEGRADAÇÃO DE CORANTES E FÁRMACOS

Coordenadora: Prof. Dra. Isabela Araujo Fioravante

Membros da equipe: Gustavo Garção Lana; Karla Moreira Vieira; Márcio Takeshi Sugawara ; Isabela Araujo Fioravante.

Campus: Ipatinga

Área Temática: Meio Ambiente

RESUMO

Uma nova classe de contaminantes orgânicos tem poluído as águas superficiais e subterrâneas, gerando uma preocupação com o futuro desse bem tão precioso para os seres vivos, devido a sua presença nestes corpos d'água. Dentre estes contaminantes orgânicos, destacam-se os medicamentos, como hormônios e os antimicrobianos, conhecidos também como contaminantes emergentes e acarretam efeitos negativos na saúde de organismos aquáticos e na saúde humana. Outra classe de contaminantes são os corantes e sua presença na água reduz a penetração da luz solar, prejudicando a fotossíntese das plantas aquáticas e o ciclo de vida de organismos que dependem da luz. Diante dessa problemática, torna-se necessária uma gestão eficiente do tratamento de efluentes industriais contaminado com poluentes orgânicos. A fotocatalise solar com dióxido de titânio (TiO₂) surge como alternativa limpa e de baixo custo, capaz de degradar compostos orgânicos utilizando a luz visível. Este trabalho apresenta a produção de filmes de TiO₂ através do método sol-gel, modificados por dopagem com metais de transição e aplicados em reator tubular para a degradação do corante azul de metileno. Resultados anteriores demonstraram que os filmes dopados com Fe, Ni e Ag apresentaram alta atividade fotocatalítica. Neste estudo foram incluídas novas dopagens com Zn e Nb para avaliar o efeito combinado sobre a eficiência de degradação. Os resultados indicaram que os filmes dopados com Zn e Nb aumentaram significativamente a absorção na região visível, elevando a taxa de degradação do corante e mostrando potencial para aplicação em efluentes têxteis e farmacêuticos.

PALAVRAS CHAVES: Fotocatálise, Luz solar, Degradação,



INTRODUÇÃO

Atualmente, o problema de escassez, uso inadequado e falta de tratamento de esgoto e de efluentes industriais, está se tornando uma ameaça à saúde humana. A má gestão dos recursos hídricos, associada a um aumento populacional e avanços na área têxtil, médica e farmacêutica, levaram a um crescimento na produção e uso de medicamentos e vestuário, surgindo, portanto, uma nova classe de contaminantes orgânicos, os produtos farmacêuticos e os corantes. Dentre estes contaminantes orgânicos, destacam-se os medicamentos, como hormônios e os antimicrobianos, conhecidos também como contaminantes emergentes e acarretam efeitos negativos na saúde de organismos aquáticos e na saúde humana. Já os corantes, podem atingir os corpos d'água e reduzindo a penetração da luz solar, prejudicando a fauna e flora local que dependem da luz, além disso os corantes podem conter metais pesados e possuir elevada toxicidade a saúde humana. (KUMAR, 2012) (AWFAD. M. ATEIA, 2018)

Diante dessa problemática, este projeto propôs a aplicação de um tratamento utilizando processos oxidativos avançados para desinfecção de um efluente têxtil e farmacêutico contaminados com corantes e fármacos, através de um sistema fotocatalítico. Este sistema fotocatalítico foi desenvolvido a partir da síntese de um filme de TiO_2 que foi suportado num reator utilizando a luz solar para a degradação de compostos deste efluente. (GOPINATHK.P., 2020). Além disso, diferentes metais de transição foram adicionados ao nano filme depositado de TiO_2 . O filme de TiO_2 foi depositado na superfície do reator e as condições de fotocatalise foram otimizadas em laboratório utilizando um efluente simulado. A eficiência da aplicação de TiO_2 em nano partículas na fotocatalise como um material semiconductor demonstra um grande potencial para desenvolvimento tecnológico da química verde. O TiO_2 puro tem como vantagens, alta absorção na região do ultravioleta, com grande geração de radicais livres, gerando um meio fortemente oxidante. Por outro lado, o TiO_2 puro pois baixa eficiência de degradação usando luz solar, moderado bandgap, a dopagem com metais de transição pode levar a absorção do filme para a região da luz visível podendo ser utilizado sob a luz solar (~3.2 eV). (AWFAD. M. ATEIA, 2018)

2. MATERIAIS E MÉTODOS

2.1 SÍNTESE DOS FILMES DOPADOS

Os filmes foram obtidos pelo método sol-gel, utilizando 4 mL de isopropóxido de titânio (TTIP) dissolvidos em 20 mL de isopropanol, sob agitação a 25 °C por 10 min. A esta mistura adicionou-se, gota a gota, 150 mL de água deionizada acidificada com 3 mL de HNO_3 , mantida a 60 °C.



Os dopantes metálicos (Fe, Ni, Ag, Zn e Nb) foram adicionados na proporção molar de 1 % em relação ao TiO₂, dissolvidos previamente em pequena quantidade de água antes da adição ao meio sol-gel. Após 24 h de maturação, o sol foi depositado sobre substratos de vidro por dip-coating com velocidade de 2 mm s⁻¹ e 3 repetições, seguido de calcinação a 450 °C por 4 h.

2.2 ENSAIO FOTOCATALÍTICO

Os filmes foram testados na degradação de uma solução de azul de metileno (10 mg L⁻¹), circulada continuamente por 72 h em reator tubular de vidro sob luz solar (TALWAR, 2020). As amostras coletadas no tempo inicial e final foram analisadas por espectrofotometria UV-Vis (190–700 nm) para acompanhamento da redução do pico de absorção a 665 nm, característico do corante.

2.3- AVALIAÇÃO QUALITATIVA DA EFICIÊNCIA DE DEGRADAÇÃO. ESPECTROFOTOMETRIA DE ABSORÇÃO MOLECULAR NA REGIÃO DE UV-VIS PARA MONITORAMENTO DE DEGRADAÇÃO FOTOCATALÍTICA.

A avaliação qualitativa da degradação dos fármacos foi realizada por espectrofotometria de absorção molecular na região de UV-Vis. As análises foram realizadas em equipamentos Varian (modelos U2010 e Cary 5G). As medidas de absorbância foram feitas de 190 a 700 nm, com correção da linha de base e intervalos de 0,5 nm. Foi utilizada uma cela de quartzo de caminho ótico de 1 cm.

3. RESULTADOS E DISCUSSÕES:

3.1- DIP-COATING - EQUIPAMENTOS CONSTRUÍDOS PARA DIP-COATING PARA DEPOSIÇÃO DO FILME EM TUBOS E LÂMINAS

Neste projeto foram desenvolvidos métodos de deposição por dip-coating com equipamentos simples, mas que permitiram o controle da velocidade, tempo de imersão e espessura do filme semelhante ao equipamento comercial. (Figura 1) As condições otimizadas para a deposição dos filmes dopados foram: velocidade de 2mm/segundo, tempo de imersão de 2 segundos e 3 repetições. Entre as repetições as lâminas foram secas em estufa a 40°C por 20 minutos. Desta forma foi possível obter um filme homogêneo, aderente e de espessura constante nos tubos. (BRINKER & SCHERER, 2013)

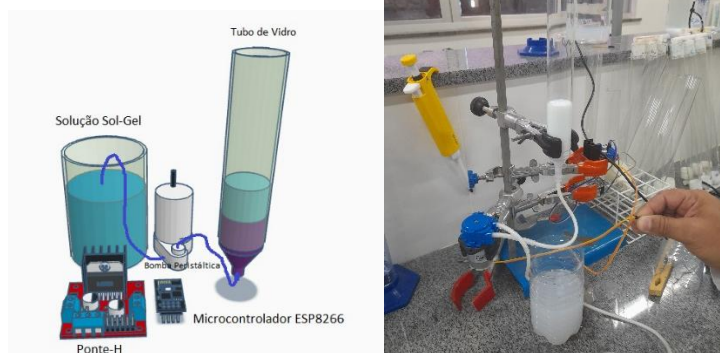
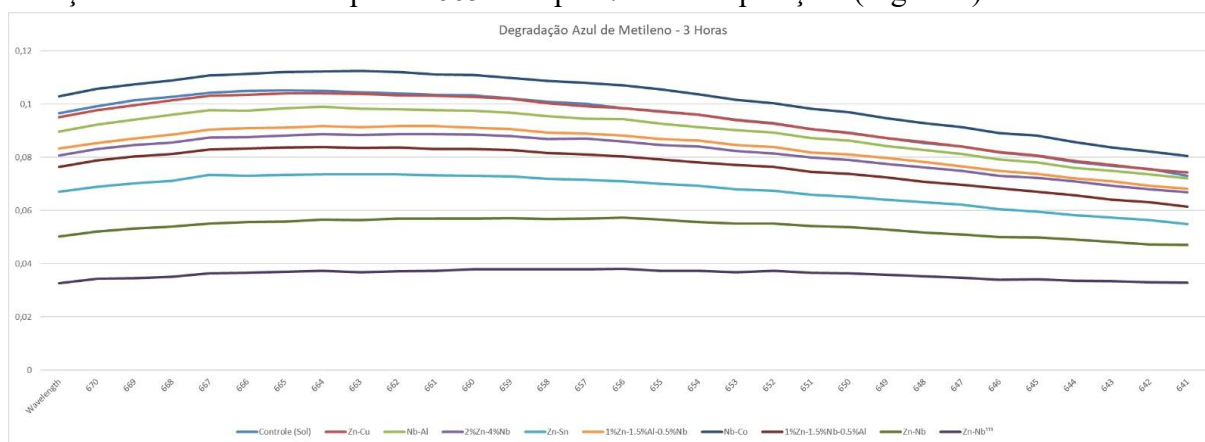


Figura 1. Equipamento de dip-coating para deposição do filme no reator tubular.

3.2 EFEITO DA DOPAGEM SOBRE A ATIVIDADE FOTOCATALÍTICA

Resultados anteriores do projeto, mostraram que os filmes dopados com Fe^{3+} , Ni^{2+} e Ag^+ apresentaram alta atividade fotocatalítica na região visível do azul de metileno. Nesta etapa, os filmes dopados com Zn^{2+} e Nb^{5+} mostraram desempenho ainda mais promissor, com maior redução da intensidade do pico a 665 nm após 72 h de exposição. (Figura 2)



A combinação destes dopantes aumentou a eficiência fotocatalítica, reduzindo a recombinação elétron-lacuna e ampliando o tempo de vida das cargas fotogeradas.

A degradação média do azul de metileno após 72 h foi superior a 85 % para os filmes Nb-Zn/TiO₂, enquanto o TiO₂ puro manteve aproximadamente 30 % de degradação sob as mesmas condições.

A literatura relata que a dopagem com metais de transição e elementos pentavalentes, como Nb, amplia a atividade do TiO₂ na luz visível, devido à criação de estados intermediários dentro do band gap. Os resultados obtidos neste trabalho confirmam essa tendência, com o sistema Nb-Zn/TiO₂ apresentando desempenho superior na degradação do azul de metileno. (GOPINATHK.P., 2020)



4. CONCLUSÕES

A dopagem do TiO₂ com **Nb** e **Zn** demonstrou ampliar significativamente sua atividade fotocatalítica sob luz visível, atingindo taxas de degradação superiores a 85 % para o azul de metileno em 72 h. O reator tubular, aliado aos filmes dopados, mostrou-se eficiente, sustentável e aplicável à degradação de efluentes têxteis e farmacêuticos.

A introdução de Nb⁵⁺ e Zn²⁺ no retículo do TiO₂ reduz o band gap e melhora o transporte de cargas fotogeradas, favorecendo a ativação solar do material. Etapas futuras incluem a aplicação em efluentes farmacêuticos reais e a caracterização por DRX e FTIR, correlacionando estrutura e desempenho fotocatalítico.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS:

AWFAD, M. ATEIA, M. F. M. S. J. C. Y. 2.-4. Photodegradation of pharmaceuticals and personal care products in water treatment using carbonaceous-TiO₂ composites: a critical review of recent literature. **Water Res**, 2018. 26-45.

BRINKER, C. J.; SCHERER, G. W. **Sol-gel science: the physics and chemistry of sol-gel**. [S.l.]: Academic press, 2013.

ETACHERI V, D. V. C. S. J. B. D. P. S. Visible-light activation of TiO₂ photocatalysts: Advances in theory and experiments.. **Journal of Photochemistry and Photobiology** , 2015. 1-29.

GOPINATHK.P., N. V. M. A. K. R. M. G. R. Present applications of titanium dioxide for the photocatalytic removal of pollutants from water: a review. **J Environ Manag**, 270, 2020. 110906.

KUMAR, P. S. . R. S. & S. K. Removal of methylene blue dye from aqueous solution by activated carbon prepared from cashew nut shell as a new low-cost adsorbent. **Korean J. Chem. Eng.**, 2012.