

Aplicação de nanoestruturas e pontos quânticos derivados de biochar em fotocatalise

Laryssa C. R. dos Santos¹, Larissa Bach Toledo², Talita Mazon²

lcsantos@cti.gov.br, larissa.toledo@cti.gov.br, talita.mazon@cti.gov.br

¹Faculdade de Tecnologia de Campinas – FATEC CAMPINAS

²Divisão de Infraestrutura para Nano e Microssistemas – DINAM
CTI/MCTI Renato Archer – Campinas/SP

Resumo. Com a expansão industrial, a geração excessiva de resíduos e poluentes trazem consigo diversos danos à saúde e ao ecossistema. Assim, a utilização de processos oxidativos avançados, surge como uma alternativa viável para a reutilização de materiais. Neste trabalho abordou-se o desenvolvimento de um sistema fotolítico, para avaliar processos degradativos utilizando biomassa modificada com três diferentes óxidos. Observou-se maior taxa de degradação para os semicondutores TiO_2 e ZnO , 96,84% e 96,77% respectivamente. Também se observou maior eficiência degradativa das amostras após um período de 30 min, principalmente quando aplicado a uma temperatura, o que indica que o aumento da temperatura favorece na eliminação do material particulado.

Abstract. With the industrial expansion, the excessive generation of waste and pollutants brings with it several damages to health and the ecosystem. Therefore, the degradation of advanced oxidative processes emerges as a viable alternative for the reuse of materials. This work developed a photolytic system, with the interest of evaluating different degradative processes through biomass modified with different oxides. The highest degradation rate was observed for TiO_2 and ZnO semiconductors, 96.84% and 96.77% respectively. A higher degradative efficiency of the samples was also observed after a period of 30 min, especially when applied temperature, which indicates that the increase in temperature favors the elimination of particulate material.

1. Introdução

Com a crescente modernização ao longo das últimas décadas, fatores como o consumo excessivo e exploração de bens naturais, tornaram-se verdadeiros desafios a sociedade, principalmente no que diz respeito ao setor industrial e sua disponibilidade energética. Portanto, a implementação e desenvolvimento de novos meios que possibilitem a reutilização e o reaproveitamento de materiais, é algo imprescindível para o sucesso produtivo, assim, incorporando o sistema e dispondo de maior eficiência em seu meio manufatureiro. Estevam, (2020) e Icavi (2022).

Uma das alternativas que visa driblar tais impactos ambientais é o reaproveitamento da biomassa através da interação entre líquido-sólido, do qual vem sendo amplamente utilizado no tratamento de resíduos industriais, donde as moléculas do adsorbato (sólido)

ligam-se covalentemente com os íons do fluido em questão e ocupam os sítios ativos presentes na superfície do adsorvente. Ogeda (2010), Lago (2017) & Dário (2021). Considerada com um precursor de fotocatalisadores heterogêneos, a biomassa em conjunto com adição de compósitos oxidativos, auxilia na eliminação de poluentes orgânicos, além de promover a mineralização de agentes recalcitrantes. Mourão (2009). Em vista disto, sua inserção nos Processos Oxidativos Avançados (POA's), em especial a Fotocatálise heterogênea, contribui na reutilização e otimização dos materiais por meio da formação de radicais livres altamente reativos, como a hidroxila; da qual futuramente pode ser submetida a estudos cinéticos de adsorção, de tal modo que se avalie constantes e velocidades de adsorção, entre os diferentes materiais. Silva (2016).

Por sua vez, a formação de radicais livres ocorre a partir da excitação de elétrons, dos quais liberam energia o suficiente para saltarem da banda de valência até a banda de condução, processo este, que envolve a formação de pares de elétrons-lacunas. Silva (2016) & Teran (2014). A hidroxila em especial, além de ter o segundo maior potencial redox, também promove o aumento exponencial da velocidade de degradação de compostos orgânicos, o que implica diretamente na troca de elétrons efetuado ao longo dos processos fotodegradativos. Teran (2014). Logo, os fotoelétrons gerados ao longo dos processos fotolíticos, por serem oriundos da excitação de semicondutores como o dióxido de titânio e o óxido de zinco, tende a serem atraídos por superóxidos ou íons metálicos, que podem vir a apresentar maior grau de oxidação devido a pré-adsorção ocasionada na superfície do material; facilitando assim, no tratamento de efluentes e águas residuais. Silva (2012) & Oliveira et al. (2012).

Entretanto, é importante ressaltar que existem diversos fatores dos quais podem interferir o potencial de irradiação dos fótons durante a efetivação do processo realizado pelos átomos, com por exemplo, a alteração de temperatura, o pH, as características cristalinas do sólido ou até mesmo a presença de acumulativos de poluição. Ainda assim, o método vem sendo bastante empregado e se destaca ao proporcionar a dissociação dos poluentes e sua mineralização quase que total, o que acaba contribuindo para a instalação de sistemas mais eficientes e menos abrasivo ao meio ambiente. Ferreira (2005); Nogueira (1998).

Outro processo do qual pode vir a correr durante a ativação fotocatalítica é a fotólise, uma técnica que se baseia na decomposição e dissociação de compostos químicos através da emissão de luz ou radiação ultravioleta. Cardoso (2017) & Porto Editora (2016). Este por sua vez, pode ocorrer de modo tanto direto – onde os fótons são absorvidos e promovem a divisão entre as ligações químicas – quanto indireto – donde ocasiona na excitação de algumas moléculas e na formação de radicais livres. Lopes (2014).

Deste modo, o trabalho em questão, teve como propósito gerar um sistema fotolítico de baixo custo e de fácil reprodução, tendo como intuito, promover processos fotodegradativos através do estímulo de distintos semicondutores – TiO_2 , CuO e ZnO - mediante uma fonte de luz artificial e um agente recalcitrante, para que posteriormente, seus níveis de degradação possam ser avaliados e comparados, por meio dos espectros UV-Vis obtidos nos tempos pré-determinados.

2. Metodologia

Para a realização dos experimentos fotolítico efetuados sob as instalações do laboratório químico, pertencente ao Centro de Pesquisa Renato Archer – CTI –, os materiais foram

obtidos e caracterizados previamente a partir da disponibilidade de uma bolsista PCI, que já vinha estudando previamente o comportamento degradativo de alguns semicondutores sintetizados em conjunto com a Biomassa. Além da obtenção dos fotocatalisadores – TiO_2 , ZnO , CuO e biomassa –, também utilizou-se uma lâmpada a vapor de mercúrio (potência 9w), com bulbo de revestimento de quartzo empregada em sistema UV de aquário como principal fonte de luz; um termopar para estabilizar a temperatura do sistema; um agitador magnético e aquecedor de modelo IKA® C – MAG HS7; um béquer de capacidade de 1000 mL; uma bomba de ar para aquário; uma barra magnética para promover agitação; uma solução estoque de 200mg/L do corante azul de metileno; um envoltório de madeira para se evitar a emissão excessiva de luz e o espectrofotômetro modelo Horiba Science – (DUETTA).

2.1. Preparação da solução do corante azul de metileno

Em uma balança analítica, pesou-se 40 mg de azul de metileno comercial e solubilizou o mesmo em 200 ml de água deionizada, tendo como concentração final, uma solução de 200mg/L. Após o seu preparo, a mesma foi transpassada para um vidro âmbar e posteriormente empregada no preparo diário de uma solução de 5mg/L do corante utilizados nos ensaios da fotocatálise heterogênea.

2.2 Ensaio fotolítico do azul de metileno

A princípio foram realizados dois testes de fotólise englobando o corante azul de metileno e a incidência direta da fonte de radiação, e os ensaios foram feitos com e sem variação de temperatura, assim, um foi feito a 50°C e o outro, a temperatura ambiente.

Sendo assim, montou-se o sistema fotolítico, ilustrado na (Figura1), e em seguida, preparou-se uma solução de 5mg/L de azul de metileno a partir da solução estoque que fora descrita previamente. Logo após, a solução foi transferida para um béquer de 1000 mL, e posteriormente, acrescentou-se a bomba de ar e o termopar (somente para os testes à 50°C), programado para controlar a temperatura do sistema.



Figura 1- Sistema Fotolítico utilizado nos ensaios

Subsequentemente, ajustou-se o termopar para 50°C e ligou o agitador e o aquecedor à aproximadamente 150°C. Aguardou-se a solução atingir a temperatura desejada para que ocorresse a coleta da primeira amostra (tempo zero de ativação) e ligou-se a lâmpada.

Com o sistema em ação, cronometrou-se o tempo para que fosse realizada a retirada de mais 6 amostras, das quais posteriormente, foram submetidas a leitura de absorção no espectrofotômetro.

2.4 Teste de adsorção da biomassa e dos semicondutores

Ao todo foram realizados oito ensaios envolvendo testes de adsorção, alterando-se somente; o meio degradativo e a temperatura do sistema. Portanto, afim de se otimizar custos e obtenção de matéria-prima, fora estipulado o manuseio de apenas metade das proporções já empregadas posteriormente nos ensaios da fotólise. Cabe ressaltar que a proporção entre a quantidade de material e o volume da solução foi mantida a mesma (mg/mL que no caso foi 1:1).

Logo, somente 200 mg de biomassa e semicondutores – TiO_2 , CuO e ZnO – foram dispersos em 200 mL do corante azul de metileno, resultando na coleta de 11 amostras das quais posteriormente foram submetidas a leitura no espectrofotômetro. É importante salientar, que todas as 11 amostras foram retiradas do sistema com 5 min de antecedência e passadas posteriormente, para novos recipientes. Tal necessidade surgiu devido ao acúmulo de partículas de biomassa e de semicondutores no meio aquoso, a presença dessas partículas em suspensão pode dificultar a leitura do espectro, ocasionando desvios na linha base.

2.5 Fotocatálise heterogênea da biomassa e semicondutores - à 50°C e temperatura ambiente

Foram realizados oito experimentos envolvendo a fotocatálise heterogênea, quatro deles utilizando a biomassa e semicondutores – TiO_2 , CuO e ZnO – à 50°C e os demais, a temperatura ambiente. Deste modo, o primeiro passo fora a montagem do sistema fotolítico, onde acrescentou-se em seu meio, uma lâmpada de mercúrio como principal fonte de luz. Logo em seguida, pesou-se 400 mg do material a ser degradado sob uma balança analítica e reservou o mesmo para uso posterior.

Sequencialmente, preparou-se uma solução 5 mg/L de azul de metileno e transferiu a mesma para o sistema, juntamente com o acréscimo da válvula de bolhas, o termopar (para os ensaios com temperatura controlada) e a barra magnética. Posteriormente, adicionou-se a lâmpada ao sistema e ligou-se o agitador em conjunto com o aquecedor, dos quais foram calibrados com agitação 1 e temperatura correspondente a 150°C. Consecutivamente, aguardou-se que o sistema se estabilizasse até atingir 50°C e retirou-se uma amostra equivalente ao tempo zero de ativação. Com o sistema estabilizado, adicionou-se os 400 mg do material pesado anteriormente e fechou o sistema com um envoltório para evitar a emissão excessiva de luz. Em seguida, a lâmpada fora ligada para que se iniciasse o processo de fotocatálise, assim como a contagem do tempo para a coleta de mais 10 amostras do material a ser degradado ao decorrer de 8 horas.

2.6 Leituras da absorbância em espectrofotômetro e taxa de degradação

Embasada na Lei de Lambert-Beer, a leitura de absorbância em espectrofotômetro fora aplicada em todos os três ensaios descritos anteriormente, tendo como propósito, acompanhar o índice de degradação de cada um dos materiais utilizados, durante um período de 8h. Sendo assim, o equipamento de modelo Horiba Science – (DUETTA) –

fora calibrado para corresponder a leitura da absorbância entre as regiões de 200 nm a 1000 nm e passo de 1nm, de modo que, a leitura do branco (água deionizada) fosse realizada anteriormente a varredura de cada uma das amostras que foram transferidas para cubetas de quartzo de caminho óptico de 1cm.

Os ensaios de adsorção e degradação serão apresentados na forma de um gráfico que relaciona, no eixo “y”, a razão da concentração de azul de metileno (no tempo da alíquota) em relação à concentração inicial de azul de metileno, representada por C/C_0 ; enquanto que no eixo “x” está o tempo de coleta de cada amostra.

2.5 Curva de calibração

Para a construção da curva de calibração, realizou-se a leitura espectral de 6 amostras em triplicata de concentrações compreendidas de 1 mg/L a 6 mg/L. E, a partir dos espectros obtidos, selecionou-se o comprimento de onda de maior absorção na região do visível e montou-se a curva de calibração.

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

3.1 Curva de calibração

A curva foi construída com 6 pontos em triplicata. As concentrações utilizadas no desenvolvimento da curva analítica foram 1 mg/L, 2 mg/L, 3 mg/L, 4 mg/L, 5 mg/L e 6 mg/L. A partir dos espectros obtido, constatou-se que a absorção máxima do corante azul de metileno, na região do visível, era correspondente a 663 nm, sendo este, o parâmetro controle para a análise degradativa dos demais ensaios efetuados.

Assim, após sua varredura no espectrofotômetro, calculou-se a média das absorbâncias em 663nm das amostras em triplicata, assim como o desvio padrão, e estipulou-se a equação da reta para essa curva. Na figura 2 está apresentada a curva de calibração, resultando em uma reta correspondente a $R^2 = 0,9994$, com uma equação da reta de $y = 0,1991x - 0,0213$.

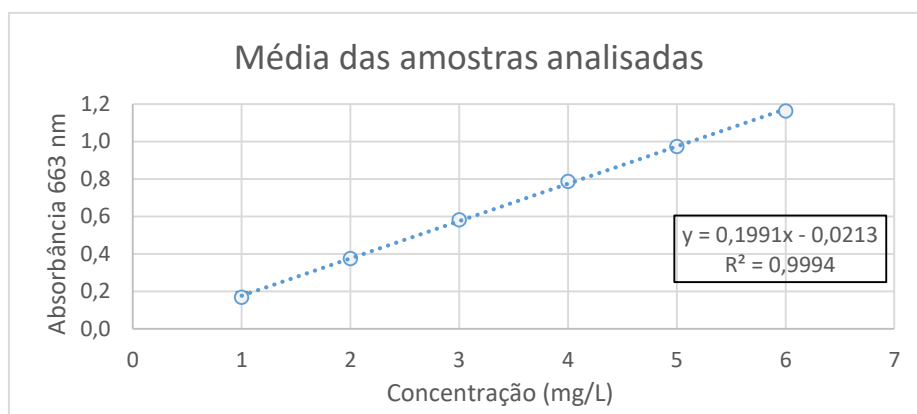


Figura 2- Curva de calibração para o azul de metileno, absorbância em 663nm.

3.2 Estudos preliminares e fatores que influenciam a taxa de degradação

Em vista da difícil degradação e alta solubilidade em água que o corante azul de metileno apresenta, a princípio, realizou-se os ensaios de fotólise mediante o seu comportamento, tendo como propósito, avaliar seus índices de resistência quanto as atividades fotolíticas. Por ser considerado um corante bacteriológico, de fórmula molecular $C_{16}H_{18}ClN_3S \cdot 3H_2O$ e composto por um aromático heterocíclico, o mesmo é bastante empregado na indústria têxtil, o que explica o porquê de sua resistência quanto a agentes desbotadores, alta afinidade e uniformidade em sua coloração.

Logo, para que ocorra a liberação da energia de ativação, é necessário a implementação de alguns fatores que possam vir a influenciar a taxa de degradação, como por exemplo, a temperatura, da qual irá favorecer o processo oxidativo através de sua influência sob o comportamento do material a ser degradado. Normalmente quando empregada, tende a esbanjaram uma queda progressiva na concentração da solução do corante, sendo este, um indicativo claro de que a alteração da temperatura está diretamente relacionada com a reação do material e seu grau de adsorção. Tal comportamento fora observado principalmente nos ensaios de fotólise, onde os testes realizados á 50°C demonstraram maior queda quanto a taxa de degradação, indicando que apesar de não conter um semicondutor em meio ao corante, somente a presença da lâmpada e calor podem vir a contribuir para o processo oxidativo (Figura 3).

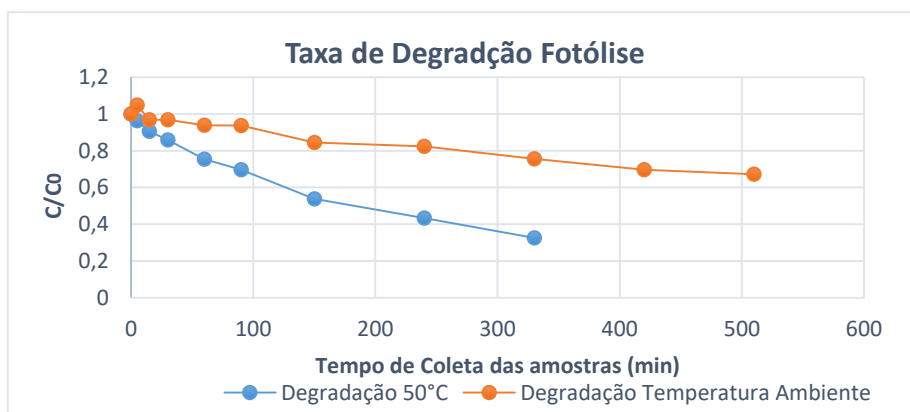


Figura 3 - Análise comparativa entre os testes de Fotólise

Segundo Brito (2010) & Giral di (2016), apesar dos semicondutores – TiO_2 , CuO e ZnO – serem materiais que apresentam *band gap* de valores aceitáveis na faixa do ultravioleta; fatores como baixos níveis de superfície de contato, pH e tempo de deposição das partículas, podem vir a dificultar a leitura realizada pelo espectrofotômetro; ocasionando em resultados conflitantes. Deste modo, a adequação do tempo de repouso das amostras coletadas, sua concentração ou até mesmo, o incremento de uma agitação ultrassônica, também podem induzir a ativação oxidativa do material. Desta forma, para a realização de todos os experimentos, trabalhou-se em específico, com a influência da temperatura, sendo está, estipulada para temperatura ambiente e à 50°C. Também fora padronizado a utilização da agitação e o borbulhamento de ar sob as soluções em cada um dos ensaios fotolíticos.

Em relação á adsorção, observou-se maior diferença mediante a mudança do óxido, destacando-se os semicondutores TiO_2 e ZnO (Figura 4). Ainda que a alteração da temperatura tenha proporcionado valores favoráveis quanto a oxidação e maior limpeza

sob o corante; as taxas de adsorção geradas pelo TiO_2 tanto a 50°C , quanto em temperatura ambiente, foram quase que as mesmas; um cenário totalmente compreensível, uma vez que o mesmo dispõe de algumas lacunas em seu sítio oxidativo, além de possuírem maior acúmulo de material particulado, resultando no aumento da concentração inicial e final. Hewer (2006).

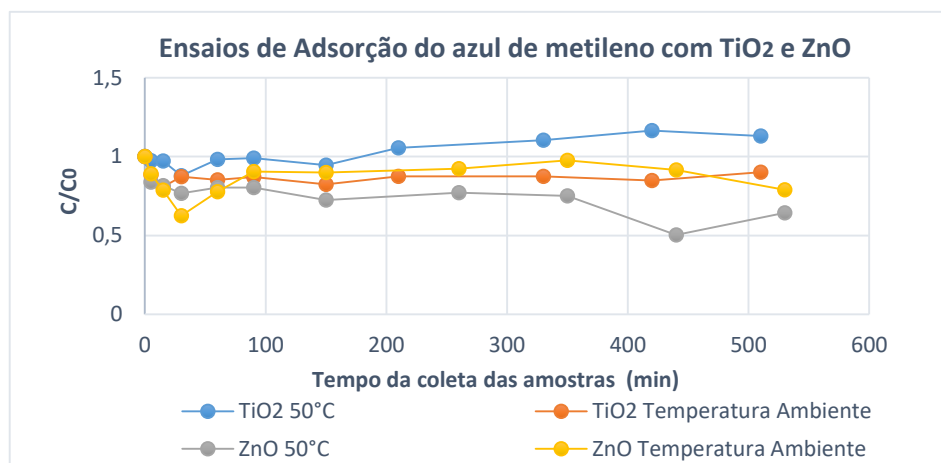


Figura 4 - Ensaio de Adsorção com o TiO_2 e ZnO a 50°C e Temperatura Ambiente

Em contrapartida, apesar do ZnO ter exibido ótima adsorção durante os primeiros 30 minutos de experimento, logo em seguida ocorreu a dessorção, entrando em um equilíbrio dinâmico. De modo geral, o ZnO apresentou maiores taxas de adsorção, quando comparado ao TiO_2 , tanto à 50°C , como em temperatura ambiente.

3.3 Índices de degradação por fotocatalise heterogênea

De acordo com a literatura, o índice de degradação está intrinsecamente relacionado com a quebra das ligações químicas existentes em um determinado material, assim como a alteração efetiva de suas propriedades. Pereira (2019). No que diz respeito a corantes e substâncias recalcitrantes, tal fenômeno se dá a partir da perda de coloração, sendo este, um indicativo visual da atividade degradativa. Lima et al., (2007).

Para os experimentos realizados com a fotocatalise tanto a temperatura ambiente quanto à 50°C , seus índices de degradação constaram particularidades bastante relevantes em sua ativação oxidativa, alterando-se a taxa degradativa dos semicondutores sob a exposição de temperatura e uma fonte de luz artificial; como é o caso do TiO_2 e do ZnO (Figura 5), dos quais apresentaram os melhores percentuais de degradação ao longo dos ensaios. Referente ao CuO e a biomassa, ambos exibiram valores insignificantes quanto a eliminação do material, o que nos leva a crer que mesmo sob a influência da temperatura e participação da luz UV, os mesmos tendem a se estabilizar devido à resistência imposta pelo corante e demais compostos particulados em seu meio.

Deste modo, pode-se observar que o TiO_2 exibiu elevados níveis de degradação e sob um curto período (30 min); enquanto que o ZnO , além de levar mais 2 horas de ensaio para atingir valores favoráveis, o mesmo sem a presença da temperatura, tende a apresentar uma degradação mais lenta (Figuras 6).

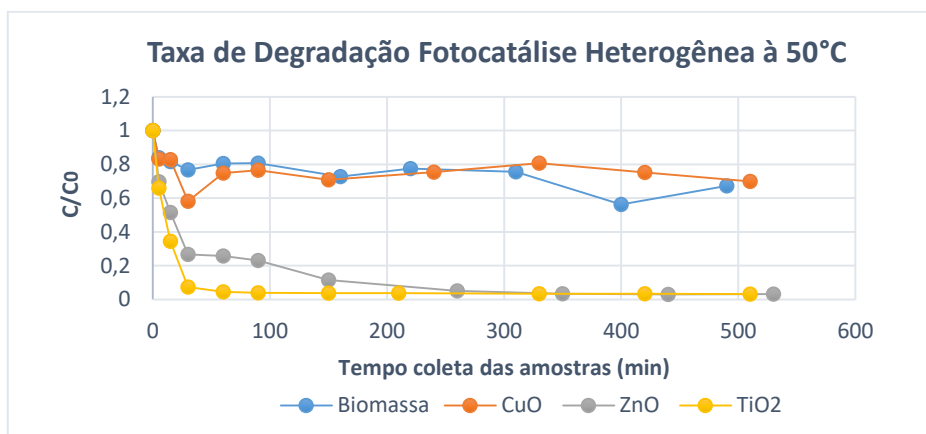


Figura 5 - Análise Comparativa dos resultados efetuados nos ensaios da Fotocatalítica Heterogênea à 50°C

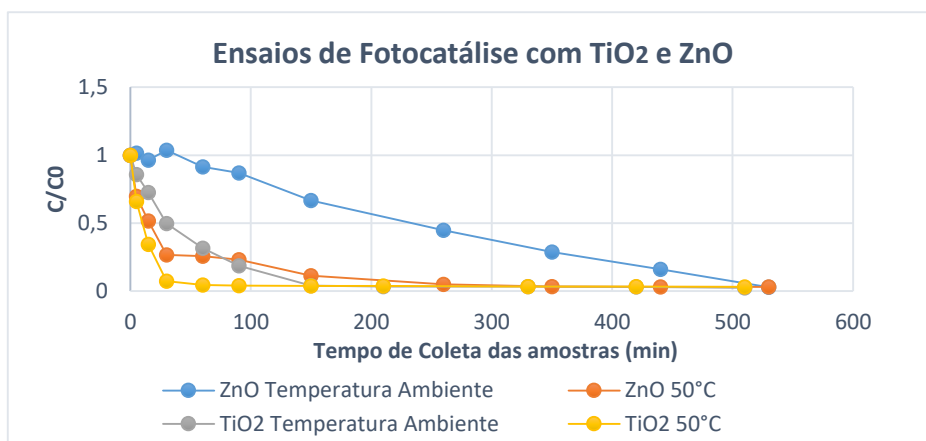


Figura 6 - Ensaio de Fotocatalítica Heterogênea com o TiO₂ e o ZnO à 50°C e Temperatura Ambiente.

4. CONCLUSÕES E CONSIDERAÇÕES FINAIS

Os resultados obtidos ao decorrer deste trabalho constataram que a utilização da fotocatalítica heterogênea pode ser uma técnica bastante viável para a degradação de substâncias recalcitrantes e na remoção de matéria orgânica, proporcionando assim, na reutilização dos materiais, através do controle dos compostos particulados em meio a solução; assunto do qual será abordado futuramente em estudos voltados para o comportamento degradativo dos semicondutores aderidos em uma superfície esponjosa.

Ainda que alguns resultados destacaram baixos índices de degradação; fatores como temperatura e uma fonte de luz artificial, mostraram-se essenciais ao longo dos ensaios, contornando tais irrelevâncias, e demonstrando elevados índices de oxidação, perda de coloração e maior límpidez das amostras analisada. Deste modo, pode-se concluir que somente a utilização dos semicondutores não apresentou efetividade quanto a remoção dos compostos orgânicos ou no descolorimento do corante.

Em vista disto, é notável que a fotocatalítica heterogênea juntamente com o emprego de semicondutores como o TiO₂, ZnO e mais uma fonte de luz, são ótimas alternativas para a incursão industrial, promovendo assim, o tratamento iminente de efluentes e evitando-se a disseminação de substâncias tóxicas.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Araújo, K. S. et al. **Processos oxidativos avançados: uma revisão de fundamentos e aplicações no tratamento de águas residuais urbanas e efluentes industriais**. Revista Ambiente & Água, v. 11, p. 387-401, 2016. Disponível:<[Microsoft Word - 13_1862_p387-401.docx \(scielo.br\)](#)>. Acesso: 20.07.2022.

Brito, S. M. (2010). **Adsorventes de baixo custo para tratamento de efluentes coloridos**. Feira de Santana. Monografia para progressão na carreira. Universidade Estadual de Feira de Santana. Acesso: 14.07.2022.

Cardoso, M. **Fotólise** – Bolg InfoEscola.com, 2017. Disponível:<Fotólise - Química - InfoEscola>. Acesso: 18.06.2022.

Dário, B. S. **Estudo de adsorção de surfactantes sobre partículas de dióxido de titânio e seu desempenho na estabilização de dispersões aquosas**. 2021. Tese de Doutorado. Universidade de São Paulo. Disponível:<<https://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/46/46136/tde-08112021-150345/publico/DissertacaoCorrigidaBrunoSoaresDario.pdf>>. Acesso: 30.11.2022.

Estevam, R. B. et al. (2020). **Preparação de quantum dots de carbono: dopagem e aplicação em dispositivos fotovoltaicos**. Disponível:<Rodrigo Bonoto Estevam.pdf (uepg.br)>. Acesso: 29.04.2022.

Ferreira, I. V. L.; Daniel, L. A. **Fotocatálise heterogênea com TiO₂ aplicada ao tratamento de esgoto sanitário secundário**. Engenharia Sanitária e Ambiental, v. 9, p. 335-342, 2004. Disponível:<<https://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/18/18138/tde-15032006-084739/publico/TESE.SHS.FERREIRA.16.12.2005.pdf>>. Acesso: 14.06.2022.

Giraldi, T. R. et al. (2016). **Utilização de partículas de ZnO: Mn para a degradação do azul de metileno por processo de fotocatalise**. *Cerâmica*, 62, 345-350. Disponível:<<https://www.scielo.br/j/ce/a/f5FpBzkK3jPbBZjsHgLvTRn/?format=pdf&lang=pt>>. Acesso: 14.07.2022.

Hawer, T. L. R. (2006). **Síntese e modificação do TiO₂ visando aumentar a eficiência do processo de fotocatalise heterogênea no tratamento de compostos fenólicos**. – Dissertação de mestrado, São Paulo, 2006. Disponível:<2 (usp.br)>. Acesso: 22.07.2022.

Icavi, (2020). **Redução de emissão de carbono nas indústrias com uso de energia renovável – Biomassa**. Disponível:<Redução de emissão de carbono nas indústrias com uso de energia renovável – Biomassa - ICAVI>. Acesso: 29.04.2022.

Lago, R. M. et al. **Uso de nanoestruturas de carbono como fotossensibilizadores em reação de polimerização**. 2017. Disponível:<BR102014032577-8A2.pdf (ufvjm.edu.br)>. Acesso: 29.04.2022.

Lima, A. et al. (2007). **Efeito do Solvente Sobre as Propriedades Espectroscópicas do Azul de Metileno**. XI Encontro latino americano de iniciação científica e VII Encontro latino americano de pós-graduação – Universidade do Vale do Paraná, 2007, São José dos Campos. Anais... São José dos Campos, São Paulo, 2007. Disponível:<Tcc_Raphael Francisco Pereira.pdf>. Acesso: 21.07.2022.

Lopes, B. C. (2014). *Efeitos da Fotólise e Fotocatálise Heterogênea Sobre a Dinâmica de Fármacos Presentes em Esgoto Sanitário Tratado Biologicamente*. 2014 (Doctoral dissertation, Dissertação (Mestrado em Engenharia Sanitária e Ambiental) - Universidade Federal de Juiz de Fora, Juiz de Fora). Disponível:<DISCUSSÃO (ufmg.br)>. Acesso: 18.06.2022.

Mourão, H. A. J. L. et al. **Nanoestruturas em fotocatalise: uma revisão sobre estratégias de síntese de fotocatalisadores em escala nanométrica**. Química Nova, v. 32, p. 2181-2190, 2009.

Disponível:<<https://www.scielo.br/j/qn/a/Vjg3Q78LzKWGtHn5RndKHSh/?format=pdf&lang=pt>>. Acesso: 20.07.2022.

Nogueira, R. F. P.; Jardim, W. F. **Heterogeneous photocatalysis and its environmental applications**, 1998. Disponível:<SciELO - Brasil - A fotocatalise heterogênea e sua aplicação ambiental A fotocatalise heterogênea e sua aplicação ambiental>. Acesso: 14.05.2022.

Ogeda, T. L.; Petri, D. F. S. (2010). **Hidrólise enzimática de biomassa**. Química nova, v. 33, p. 1549-1558, 2010. Disponível:<<https://www.scielo.br/j/qn/a/9n4nqyhZ3dVtZrpHQy5thDh/?format=pdf&lang=pt>>. Acesso: 29.04.2022.

Oliveira, D. F. M; *et al.* **Evaluating the Effectiveness of photocatalysts based on titanium dioxide in the degradation of dye Ponceau 4R**. Dyes and Pigments. V, 92, n. 1, p. 563-572, (2012). Disponível: <Avaliando a eficácia dos fotocatalysts à base de dióxido de titânio na degradação do corante Ponceau 4R - ScienceDirect>. Acesso: 26.07.2022.

Pereira, R. F. (2019). **Fotodegradação do corante azul de metileno por fotocatalise heterogênea**. Disponível:<Tcc_Raphael Francisco Pereira.pdf (ifgoiano.edu.br) >. Acesso: 21.07.2022.

Porto Editora – **fotólise na Infopédia**. Porto: Porto Editora, 2016. Disponível: < [https://www.infopedia.pt/\\$fotolise](https://www.infopedia.pt/$fotolise)>. Acesso: 18.06.2022.

Silva, J. S. **Redução fotocatalítica de hg (ii) e remoção de corantes em águas residuais**. 98f. (2012). Dissertação (Mestrado em Química) – Universidade Federal da Bahia, Salvador, 2012. Disponível:<Dissertação_Jefferson_Silva_2012_Quimica.pdf (ufba.br)>. Acesso: 26.07.2022.

Silva, E. S. S. (2016). **Utilização da fotocatalise solar heterogênea no tratamento de efluentes industriais**. Dissertação (Pós-graduação) – Universidade Federal da Paraíba, 2016. Disponível:<arquivototal.pdf (ufpb.br)>. Acesso: 26.07.2022.

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 v.14, n.3, mai-ago. 2014, p. 3316-3325 (2014). Disponível:<Vista do Aplicação de fotocatalise heterogênea e homogênea para a remoção de cor em efluentes provenientes de indústria de processamento de couro (ufsm.br) >. Acesso: 27.07.2022.