

<b>Dados do Projeto de Pesquisa</b>	
<b>Título do Projeto de Pesquisa:</b>	Estudo da degradação de corantes em águas de abastecimento e residuárias via fotocatalise solar.
<b>Grande área/área segundo o CNPq (<a href="https://goo.gl/JB3tAs">https://goo.gl/JB3tAs</a>):</b>	Ciências Exatas e da terra / Interdisciplinar
<b>Grupo de Pesquisa vinculado ao projeto:</b>	
<b>Linha de pesquisa do grupo de pesquisa vinculado ao projeto:</b>	
<b>Categoria do projeto:</b>	( ) projeto em andamento, já cadastrado na PRPI (x) projeto não iniciado, mas aprovado previamente ( ) projeto novo, ainda não avaliado
<b>Palavras-chave:</b>	Fotocatalise, POA, água

## 1. INTRODUÇÃO

Um dos bens mais preciosos da Humanidade é a água. Sua importância é tão vital nos processos metabólicos que, embora possamos passar semanas sem alimentos, poucos dias sem água já levam à morte. A água doce, própria para consumo humano, bem como para outras formas de vidas animais e vegetais, representa apenas 2,5% da água existente no planeta terra, sendo que apenas 0,3% (127 mil km<sup>3</sup>) estão facilmente disponíveis em aquíferos superficiais (REBOUÇAS, 2001). Além disso, o crescimento populacional e industrial, as mudanças nos padrões de consumo dentro do paradigma moderno de desenvolvimento e progresso, tem produzido, de um lado, o aumento da demanda a taxas de 1% ao ano, e por outro lado, reduzido a oferta devido ao intenso processo de degradação e poluição dos corpos hídricos (UN WATER, 2018)

O abastecimento industrial é uma das maiores demandas por recursos hídricos nos grandes centros, por outro lado é um dos setores que mais polui, restituindo ao ambiente a água utilizada em processos com compostos químicos tóxicos, capazes de alterar ecossistemas e impactar a saúde da população. Dentre eles, os corantes industriais são umas das classes de poluentes que mais afeta o meio ambiente, alterando, principalmente, a turbidez dos corpos hídricos, além de impactos, por vezes, imensuráveis na saúde da população abastecida pelo respectivo aquífero (ZANONI; HIDEKO, 2016, p. 107).

O processo mais utilizado para tratar efluentes industriais são os primários (filtração) e os secundários (biológicos). Porém, quando se fala de corantes, os mesmos são bastantes resistentes a este tipo de processo devido à diversidade e complexidade de suas estruturas químicas, já que os corantes em sua maioria são derivados de moléculas aromáticas, que por sua vez apresenta inibição e paralisação do metabolismo de certos microrganismos (PERALTA -ZAMORA et al., 1998; GUPTA; PAL; SAHOO, 2006).

Sendo assim, este projeto visa investigar a aplicação de um processo destrutivo, capaz de, efetivamente, diminuir a concentração do poluente a níveis que não apresentem mais ação tóxica. O processo a ser utilizado será a fotocatalise heterogênea usando-se o  $\text{TiO}_2$  como fotocatalisador. Essa tecnologia está incluída nos Processos Oxidativos Avançados (POAs), tendo eles em comum a geração *in situ* do radical hidroxila ( $\text{OH}^\bullet$ ). Esse radical é capaz de oxidar praticamente qualquer tipo de molécula orgânica, resolvendo em grande parte os problemas de baixa biodegradabilidade e toxicidade de vários compostos xenobióticos e recalcitrantes já testados.

Fujishima e Honda (1972) relataram a decomposição fotocatalítica da água em eletrodos de  $\text{TiO}_2$ . Este evento marcou o começo de uma nova era na fotocatalise heterogênea. A partir daí, químicos, físicos e engenheiros químicos têm feito grandes esforços no sentido de entender os processos fundamentais e de aumentar a eficiência fotocatalítica do  $\text{TiO}_2$ . Uma das áreas de grande interesse é a aplicação da fotocatalise nas questões ambientais. Isto é devido ao potencial dos fotocatalisadores baseados no  $\text{TiO}_2$  para a destruição total de compostos orgânicos poluentes no ar e nos rejeitos líquidos (SCHIAVELLO, 1988; OLLIS e AL-EKABI, 1993).

Os semicondutores ( $\text{TiO}_2$ ,  $\text{ZnO}$ ,  $\text{Fe}_2\text{O}_3$ ,  $\text{CdS}$ ,  $\text{ZnS}$  etc.) podem agir como fotocatalisadores para processos redox devido às suas estruturas eletrônicas, que são caracterizadas por uma banda de valência preenchida e uma banda de condução vazia (Figura 4). Quando um fóton possui uma energia há igual ou superior a energia do “gap” da banda ( $E_g$ ) do semicondutor, um elétron,  $\text{e}^-$ , é promovido da banda de valência, BV, para a banda de condução, BC, deixando uma lacuna,  $\text{h}^+$  (LINSEBIGLER et al., 1995). Os elétrons excitados da banda de condução e as lacunas da banda de valência podem se recombinar e dissipar a energia absorvida na forma de calor, podendo ficar aprisionados em estados

superficiais metaestáveis ou podem reagir com doadores de elétrons e aceptores de elétrons adsorvidos na superfície do semiconductor ou dentro da dupla camada elétrica que envolve as partículas carregadas.

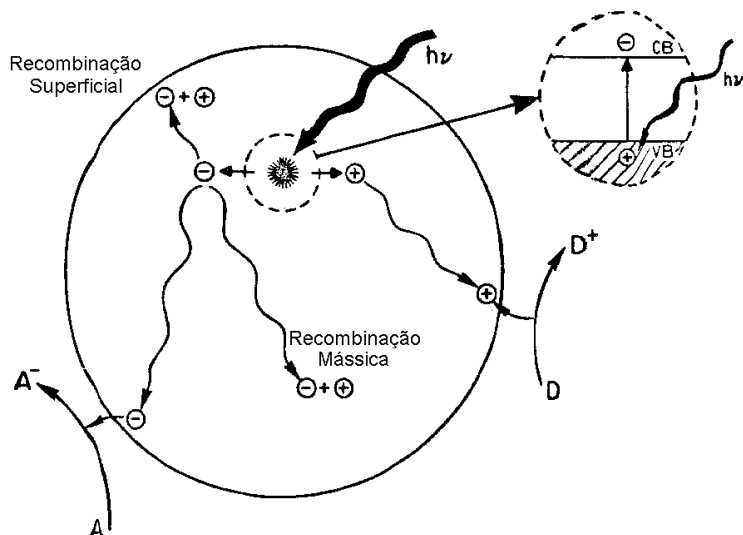


Figura 1. Etapas primárias do mecanismo fotocatalítico (LINSEBIGLER et al., 1995).

Um semiconductor para a fotocatalise deve ser (i) fotoativo, (ii) capaz de utilizar a luz visível e/ou UV próximo, (iii) biológica e quimicamente inerte, (iv) fotoestável (não estar sujeito a fotocorrosão anódica, por exemplo) e (v) de baixo custo (MILLS et al., 1993).

De todos os semicondutores testados como fotocatalisadores, o  $\text{TiO}_2$  parece ser o mais ativo. Embora o  $\text{TiO}_2$  absorva somente luz UV ( $E_g = 3,2 \text{ eV}$ ), é de baixo custo, insolúvel sob a maioria das condições, fotoestável e atóxico.

Na ausência de doadores e aceptores de elétrons (ROTHENBERGER et al., 1985), a energia armazenada é dissipada em poucos nanossegundos pela recombinação das cargas geradas. Caso contrário, a recombinação é evitada e reações redox posteriores podem ocorrer. As lacunas da banda de valência são oxidantes poderosos (+ 1,0 a + 3,5 V em relação ao eletrodo padrão de hidrogênio, EPH, dependendo do semiconductor e do pH), enquanto os elétrons da banda de condução são bons redutores (+ 0,5 a - 1,5 V em relação ao EPH) (GRÄTZEL, 1989). A maioria das reações de fotodegradação de compostos orgânicos utiliza, direta ou indiretamente, o poder oxidante das lacunas, entretanto deve-

se, também, fornecer uma espécie que possa ser reduzida pelos elétrons para que a reação possa ocorrer.

A aplicação de semicondutores iluminados para a remediação de contaminantes tem sido usada com sucesso para uma ampla variedade de compostos, tais como: alcanos, álcoois alifáticos, ácidos carboxílicos alifáticos, alquenos, fenóis, ácidos carboxílicos aromáticos, corantes, PCBs, aromáticos simples, alcanos e alquenos halogenados, agentes tensoativos e pesticidas (MORRIS, 1992), além da redução de metais pesados ( $\text{Pt}^{4+}$ ,  $\text{Au}^{+3}$ ,  $\text{Rh}^{3+}$ ,  $\text{Cr}^{6+}$ ) em solução aquosa, depositando-os na superfície do semicondutor (OLLIS et al., 1991).

Em contraste com a fotomineralização com semicondutores como um método para a purificação de água, as tecnologias destrutivas correntemente em uso na indústria de tratamento de água, tais como a cloração e a ozonização, usam oxidantes fortes perigosos e, portanto, de natureza indesejável. As tecnologias não destrutivas em uso, o arraste com ar e a adsorção em carvão ativo, também apresentam desvantagens. Por exemplo, a remoção de contaminantes voláteis por arraste converte um problema de contaminação líquida em um problema de poluição atmosférica; a adsorção em carvão ativo pode produzir um sólido perigoso que, a seu turno, tem que ser disposto.

A purificação de água pela fotocatalise ( $\text{TiO}_2/\text{UV}$ ) vem atraindo um grande interesse, não somente de pesquisadores, mas também das companhias de tratamento d'água. Isso se dá porque (i) um grande número de compostos orgânicos dissolvidos ou dispersos na água pode ser completamente mineralizado, (ii) a taxa de reação é relativamente alta, desde que grandes áreas superficiais de catalisador possam ser usadas, (iii) o  $\text{TiO}_2$  se encontra disponível a um custo relativamente baixo e pode ser reciclado em escala industrial, (iv) as lâmpadas UV que emitem na região do espectro necessária para iniciar a oxidação fotocatalítica são bem conhecidas e são produzidas numa variedade de formatos, (v) o processo de fotomineralização pode ser iniciado ou interrompido imediatamente e (vi) há uma possibilidade real de que ela possa ser facilmente incorporada aos sistemas já existentes de purificação d'água por luz UV (LEGRINI et al., 1993, MILLS et al., 1993).

Vilela et al. (2012) construiu um reator solar de placa plana (Figura 2) e realizou estudos de degradação de microcistina-LR, uma hepatotóxina produzida por cianobactérias. Neste estudo, a fotocatalise solar foi capaz de mineralizar quase que 100% da matéria orgânica e reduzir a toxicidade da cianotoxina.



Figura 2. Imagem do reator solar de placa plana. Fonte: Vilela et al., 2012.

Os primeiros testes realizados com o reator serão realizados com efluentes contendo corantes industriais. Os corantes têm um papel importante na indústria têxtil, estima-se que a produção anual supere 700 mil toneladas (KHANDEGAR et al., 2013). No Brasil, a indústria têxtil consome cerca de 20 t/ano de corantes têxtil, dos quais cerca de 15% é liberada em efluentes industriais durante o processo de tingimento. Esses corantes são sintetizados para resistir à degradação físico-química e biológica e, portanto, geralmente são recalcitrantes aos métodos convencionais de tratamento de águas residuais (Dinesh Shetty et al, 2017). Segundo a Ecological and Toxicological Association of the Dyestuffs Manufacturing Industry (ETAD) mais de 90% dos 4.000 corantes testados indicaram altos valores de toxicidade.

Os corantes também são amplamente utilizados na indústria de curtume, um importante setor da economia nacional, com cerca de 450 curtumes cadastrados e com uma característica própria de pequenas empresas, o que torna ainda mais complexo e oneroso o tratamento dos efluentes produzidos (ZANONI; HIDEKO, 2016, p. 56). No Ceará, a importância do setor é ainda maior, empregando aproximadamente 2 mil pessoas, responsável por cerca de 1,8% do PIB industrial cearense e em 2015 exportou US\$ 161.4 milhões de dólares (CNI, 2015).

e em particular no estado do Ceará.

Os corantes são classificados segundo suas estruturas e tipo de interação realizada com o substrato, sendo eles: azoicos, nitrofenílicos, nitrosofenólicos, triarilmetanos, antraquinônicos, ftalocianínicos, vinilsulfônicos, pirimidínicos e triazínicos (ZANONI; HIDEKO, 2016, p. 13).

Para tintura do couro, os mais utilizados são os corantes ácidos e os corantes reativos. O primeiro recebe o nome de ácido devido ao modo que são aplicados, em soluções ácidas. Um dos grandes problemas destes corantes está relacionado a alta perda durante o processo de lavagem usada na finalização da tintura, tornando ainda mais concentrado o efluente desta indústria (ZANONI; HIDEKO, 2016, p. 13).

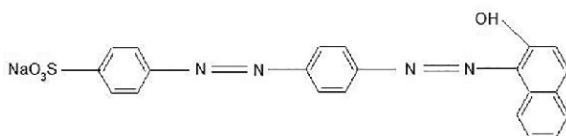


Figura 3. Corante ácido vermelho 151. (ZANONI; HIDEKO, 2016, p. 60).

Já os corantes reativos possuem como característica a formação de ligações covalentes entre o grupo de saída e os grupos -OH e -NH<sub>2</sub> dos aminoácidos presentes no couro, como ilustrado na Figura 4.

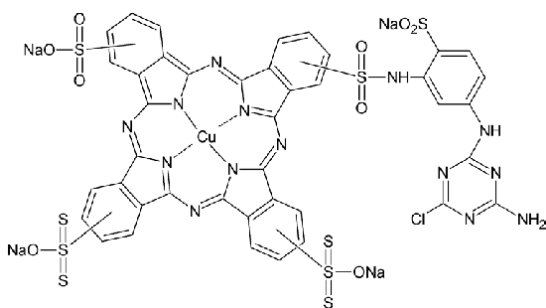


Figura 4. Reativo remazol turquoise blue 15 em interação com o couro. Fonte: (ZANONI; HIDEKO, 2016, p. 60).

## **2. OBJETIVOS**

### **2.1. Objetivo Geral**

- ✓ Estudar a degradação de corantes através da fotocatalise heterogênea solar, usando-se o  $\text{TiO}_2$  como fotocatalisador.

### **2.2 Objetivos Específicos**

- ✓ Construir um reator solar;
- ✓ Avaliar a degradação de corantes têxteis e de curtumes;
- ✓ Estudar o efeito dos parâmetros reacionais: pH, concentração inicial, tipo de fotocatalisador, vazão de reciclo, presença/ausência de substância húmicas etc;
- ✓ Otimizar o tratamento tendo em vista a remoção do contaminante via análises espectrofotométricas.
- ✓ Determinar a cinética da reação, estimando-se, numericamente, as constantes das taxas de degradação;
- ✓ Analisar a fitotoxicidade do efluente antes e após o tratamento.

## **3. METODOLOGIA**

### **3.1. Reator Fotocatalítico**

Para os estudos de degradação será utilizada a configuração mostrada na Figura 5. O primeiro protótipo desse tipo de reator foi desenvolvido na UNICAMP por Kondo (1990), estudado posteriormente por Hilgendorf et al. (1992) e examinado em detalhe por Nogueira (1995) e Nogueira e Jardim (1996). O reator consiste de uma placa de vidro recoberta com  $\text{TiO}_2$  colocada em um suporte de madeira voltado para o equador com uma inclinação variável de acordo com a latitude, buscando a máxima absorção de energia.

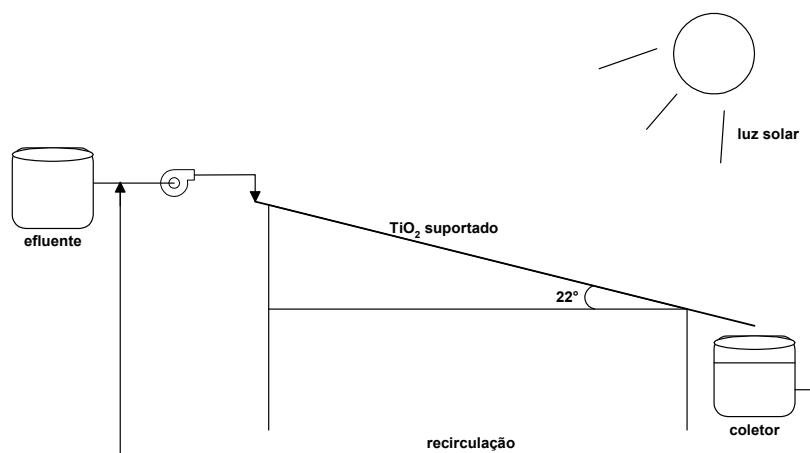


Figura 5. Esquema do reator solar de leito fixo e filme delgado (Nogueira e Jardim, 1996).

Vários parâmetros de construção/operação foram estudados, dentre eles: a inclinação da placa, a intensidade luminosa, a vazão e a geometria do reator, parâmetros estes que alteram significativamente a espessura do filme líquido, a intensidade luminosa que chega ao sistema, o tempo de retenção e a saturação do catalisador, variando, portando, sua eficiência. O reator foi operado nos modos contínuo e de recirculação.

### 3.2. Deposição do fotocatalisador

Inicialmente a placa de vidro foi devidamente limpa utilizando detergente e ácido nítrico 10%. Em seguida, foi preparada uma suspensão de  $\text{TiO}_2$  (1%) e com um borrifador foram realizadas 10 aplicações na superfície do vidro jateado. Entre cada aplicação foi realizada a secagem utilizando um secador de cabelo (VILELA et al., 2012).

### 3.3. Corantes

No Ceará, existem atividades de tingimento de couro em pelo menos 13 cidades (Barbalha, Cascavel, Juazeiro do Norte, Maranguape, Maracanaú, Pacatuba, Quixeramobim, Pentecoste, Aracati, Cariré, Fortaleza, Sobral e Guaiúba), sendo duas da Região Metropolitana do Cariri (CRAJUBAR) (NEPOMUCENO et al., 2016). Estas duas empresas do Crajubar serão visitadas e serão solicitadas amostras dos efluentes para o estudo de tratamento através do reator construído.

Os estudos de degradação também serão realizados com soluções preparadas dos principais corantes utilizados pela indústria de tingimento.

### 3.4. Estudo de degradação



Utilizando os efluentes e corantes selecionados, serão realizados experimentos de degradação durante o período de maior incidência solar (9h às 16h), retirando amostra em períodos regulares e enviados para análises. Com estes resultados serão otimizados todas as principais variáveis.

### **3.5. Análises química e fitotóxica do efluente**

A degradação do poluente será acompanhada através da análise espectrofotométricas (espectrofotômetro Shimadzu UV-1800 / Central Analítica-CCT) de amostras retiradas em períodos regulares.

Além disso, serão realizadas análises da fitotoxicidade das amostras do efluente, utilizando o organismo-teste *Lactuca sativa*. Para isso, as sementes serão esterilizadas com uma solução de hipoclorito de sódio a 0,1% (v/v), durante 20 min, seguido de três lavagens com água mineral (também utilizada como branco) por 10 min. Utilizando placas de petri, os papeis de filtro, devidamente recortados para encaixe, serão embebidos na solução teste e 10 sementes serão dispostas uniformemente sobre. Em seguida as placas serão incubadas na ausência de luz com temperatura controlada ( $24\pm1^{\circ}\text{C}$ ) por 5 dias. Após o período, o comprimento da raiz de cada semente será medido. Serão utilizadas a metodologia de Bueno e Degrevé (1980) e o princípio de Chauvenet para rejeitar os valores medidos que extrapolam a tendência dominante (GOMES, 2019).

O índice de germinação (%) será calculado pela equação abaixo, onde: GA é o número de sementes que germinaram, LA é o comprimento (cm) das raízes na amostra, GC é o número de sementes que germinaram no controle e LC é o comprimento (cm) das raízes no controle.

$$IG(\%) = \frac{(G_A \times L_A) \times 100}{G_C \times L_C}$$

## **4. PRINCIPAIS CONTRIBUIÇÕES CIENTÍFICAS, TECNOLÓGICAS OU DE INOVAÇÃO DO PROJETO**

O projeto contribuirá para iniciar uma linha de pesquisa no IFE voltada para aproveitamento da energia solar, um recurso abundante na região durante todo o ano, e

desenvolvimento de tecnologia para tratamento de água, uma demanda local e global devido ao aumento da escassez e poluição hídrica. Além de proporcionar a formação científica aos alunos de graduação.

## 5. CRONOGRAMA DE EXECUÇÃO DO PROJETO

O Quadro 1 apresenta um cronograma aproximado das etapas a serem cumpridas durante a execução do Plano de Pesquisa. Atividades como análises e outras que são realizadas durante praticamente todo o período não foram explicitadas.

**Quadro 1.** Cronograma de atividades.

ATIVIDADES	1º ANO											
	M1	M2	M3	M4	M5	M6	M7	M8	M9	M10	M11	M12
Revisão bibliográfica												
Construção do reator												
Levantamento de empresas de tinturaria no Cariri e obtenção de amostras de efluente												
Seleção de corantes e efluentes para degradação												
Estudo do efeito dos parâmetros reacionais no desempenho do processo												
Otimização do processo												
Proposição do mecanismo de degradação do corante pelo processo oxidativo												
Realizar análise de fitotoxicidade												
Redação do relatório final												
Redação de artigos e resumos para congresso												

Obs.: M1, M2, M3, ... referem-se aos 12 meses de execução do projeto, iniciando em **agosto de 2019**.

## REFERÊNCIAS

- BEKBÖLET, M.; LINDNER, M.; WEICHGREBE, D.; BAHNEMANN, D.W. Photocatalytic detoxification with the thin-film fixed-bed reactor (TFFBR): clean-up of highly polluted landfill effluents using a novel TiO<sub>2</sub>-photocatalyst. **Solar Energy**. v. 56, n. 5, p. 455–469, May 1996.
- BUENO, W. A.; DEGRÈVE, L. **Manual de Laboratório de Físico-química**. São Paulo: McGraw-Hill do Brasil, 1980. 278p.
- CNI, Centro Internacional de Negócios do Ceará. Disponível em <<https://www.cin-ce.org.br/exibir/096031/couros>>. Acesso em 26 de fev. 2019.
- DALLAGO, R. M.; SMANIOTTO, A. Resíduos sólidos de curtumes como adsorventes para a remoção de corantes em meio aquoso. **Química Nova**, v. 28, n. 3, p. 433–437, 2005.
- FUJISHIMA, A.; HONDA, K. Electrochemical Photolysis of Water at a Semiconductor Electrode. **Nature**. v. 238, n. 7, p. 37–38, Jul. 1972.
- GOMES, Luana Marques. **Estudo da Otimização do Processo Fenton para o Descoramento de Corantes Azo**. 2009. 106f. Dissertação (Mestrado em Química Analítica) – Instituto de Química de São Carlos, Universidade de São Paulo, 2009.
- GRÄTZEL, M. **Heterogeneous Photochemical Electron Transfer**. 1<sup>a</sup> ed. Boca Ranton, CRC Press, 1989.
- GUPTA, A. K.; PAL, A. SAHOO, C. Photocatalytic degradation of a mixture of Crystal Violet (Basic Violet 3) and Methyl Red dye in aqueous suspensions using Ag<sup>+</sup> doped TiO<sub>2</sub>. **Dye And Pigments**, v. 69, n. 3, p. 224–232, 2006.
- HILGENDORF, M., BOCKELMANN D., NOGUEIRA, R.F.P., WEICHGREBE, D., JARDIM, W.F., BAHNEMANN, D., GOSLICH, R. Proc. 6<sup>th</sup> Int. Symp. on Solar Thermal Concentrating Technologies. **Photocatalytic decomposition of aliphatic halogenated hydrocarbons in water: laboratory studies and solar applications**. Mojacar, Espanha, p. 1167–1181.
- KHANDEGAR, V; SAROHA, A.K. Electrocoagulation for the treatment of textile industry effluent, A review, **Journal Environment Manage**. v. 128, p. 949–963, 2013.
- KONDO, M.M., **Fotodegradação de compostos orgânicos por fotocatalise heterogênea**. Dissertação de Mestrado, Universidade de Campinas, Brasil, 1990.
- LEGRINI, O.; OLIVEROS, E.; BRAUN, A.M. Photochemical Processes for Water Treatment. **Chemical. Review**. v. 93, n. 2, p. 671–698, Mar./Apr.1993.
- LINSEBIGLER, A.L.; LU, G.; YATES, J.T.Jr. Photocatalysis on TiO<sub>2</sub> Surfaces: Principles, Mechanisms, and Selected Results. **Chem. Rev.** v. 95, n. 3, p. 735–758, May 1995.
- LINSEBIGLER, A.L.; LU, G.; YATES, J.T.Jr. Photocatalysis on TiO<sub>2</sub> Surfaces: Principles, Mechanisms, and Selected Results. **Chemical Review**. v. 95, n. 3, p. 735–758, May 1995.
- MILLS, A.; DAVIES, R.H.; WORSLEY, D. Water Purification by Semiconductor Photocatalysis. **Chem. Soc. Rev.** v. 22, n. 6, p. 417–425, Dec. 1993.

- MILLS, A.; DAVIES, R.H.; WORSLEY, D. Water Purification by Semiconductor Photocatalysis. **Chemical Society Review**. v. 22, n. 6, p. 417–425, Dec. 1993.
- MORRIS, S. **Photocatalysis for Water Purification**. Ph.D. Thesis, University of Wales, Wales, United Kingdom, 1992.
- NEPOMUCENO, N. A. S.; SOBRINHO, M. S.; PEREIRA, A. L. F. F.; SALES, J. M. S. Diagnóstico do gerenciamento dos resíduos sólidos nos curtumes do ceará. In: VII Congresso Brasileiro de Gestão Ambiental, 1995. Campina Grande. **Anais...** Instituto Brasileiro de Estudos Ambientais, 2016.
- NOGUEIRA, R.F.P. **Fotodestruição de compostos potencialmente tóxicos utilizando TiO<sub>2</sub> e luz solar**. Tese de Doutorado, Universidade de Campinas, Brasil, 1995.
- NOGUEIRA, R.F.P. **Fotodestruição de compostos potencialmente tóxicos utilizando TiO<sub>2</sub> e luz solar**. Tese de Doutorado, Universidade de Campinas, Brasil, 1995.
- NOGUEIRA, R.F.P.; JARDIM, W.F. TiO<sub>2</sub>-fixed-bed reactor for water decontamination using solar light. **Solar Energy**. v. 56, n. 5, p. 471–477, May 1996.
- NOGUEIRA, R.F.P.; JARDIM, W.F. TiO<sub>2</sub>-fixed-bed reactor for water decontamination using solar light. **Solar Energy**. v. 56, n. 5, p. 471–477, May 1996.
- OLLIS, D.F.; AL-EKABI, H. **Photocatalytic Purification and Treatment of Water and Air**. 1<sup>a</sup> ed. Amsterdã, Elsevier Science Ltd., 1993.
- OLLIS, D.F.; AL-EKABI, H. **Photocatalytic Purification and Treatment of Water and Air**. 1<sup>a</sup> ed. Amsterdã, Elsevier Science Ltd., 1993.
- OLLIS, D.F.; PELIZZETTI, E.; SERPONE, N. Destruction of Water Contaminants. **Environ. Sci. Technol.** v. 25, n. 9, p. 1523–1529, 1991.
- OLLIS, D.F.; PELIZZETTI, E.; SERPONE, N. Destruction of Water Contaminants. **Environ. Sci. Technol.** v. 25, n. 9, p. 1523–1529, 1991.
- PERALTA-ZAMORA, P.; MORAES, S. G.; PELEGRINI, R.; FREIRE, M.; REYES, H. D.; MANSILLA, H. D.; DURAN, N. Evolution of ZnO, TiO<sub>2</sub> and supported ZnO on the photoassisted remediation of black liquor, cellulose and textile effluents. *Chemosphere*. V. 36, p. 2119-2133, 1998.
- REBOUÇAS, A. C. Água e desenvolvimento rural. **Estudos Avançados**, v. 15, n. 43, 2001.
- ROTHENBERGER, G.; MOSER, J.; GRÄTZEL, M.; SERPONE, N.; SHARMA, D.K. Charge Carrier Trapping and Recombination Dynamics in Small Semiconductor Particles. **Journal American Chemical Society**. v. 107, n. 26, p. 8054–8059, Dec. 1985.
- SCHIAVELLO, M. **Photocatalysis and Environment**. 1<sup>a</sup> ed. Dordrecht, Kluwer Academic Publishers, 1988.
- SHETTY, D.; JAHOVIC, I.; RAYA, J.; RAVAUX, F.; JOUIAD, M.; OLSEND, J.; TRABOLSI, A. An ultra-absorbent alkyne-rich porous covalent polycalix[4]arene for water purification. **Journal of Materials Chemistry A**, v. 1, n. 5, p. 62-66, 2017
- UN WATER, The United Nations World Water Development Report 2018: **Nature-Based Solutions for Water**, 2018.
- VILELA, W. F. D.; MINILLO A.; ODETE, R. VIEIRA, E. M.; AZEVEDO, E. B.

Degradation of [D-Leu]-Microcystin-LR by solar heterogeneous photocatalysis (TiO<sub>2</sub>). **Solar Energy**. v. 86, n. 9, p. 2746-2752, 2012.

VILELA, W. F. D.; MINILLO, A. ; ROCHA, O. ; VIEIRA, E. M. ; AZEVEDO, E. B.. Degradation of [D-Leu]-Microcystin-LR by solar heterogeneous photocatalysis (TiO<sub>2</sub>). **Solar Energy**, v. 86, p. 2746-2752, 2012.

ZANONI, M. V. B.; HIDEKO, Y. Corantes: caracterização química, toxológica, métodos de detecção e tratamento. São Paulo: Cultura Acadêmica, 2016.