



## FOTOCATÁLISE SOLAR: APLICAÇÕES E TENDÊNCIAS ATUAIS

**Fernando F. Vieira**

**Carlos A. P. Lima**

**Geralda G. C. Lima**

Universidade Estadual da Paraíba, Departamento de Química, CCT

Caixa Postal: 781, CEP: 58.100-970, Campina Grande, PB, Brasil

fernando@les.ufpb.br

**Zaqueu E. Silva**

**Carlos A. C. Santos**

Universidade Federal da Paraíba, Laboratório de Energia Solar, CT/CPGEM - DTM

Caixa postal: 5115 CEP: 58051-970, João Pessoa, PB, Brasil

***Resumo.** A contaminação do meio ambiente (água, ar e solo) como resultado da revolução industrial promovida pela humanidade e a escassez de água potável, têm sido apontadas como os maiores desafios que a sociedade moderna tem que enfrentar. Isto justifica o interesse dos pesquisadores na busca de métodos eficientes e de baixo custo para o tratamento de águas e resíduos industriais e domésticos. Na última década tem aumentado o interesse sobre os Processos Oxidativos Avançados (POA), dentre os quais a oxidação fotocatalítica tem merecido atenção especial principalmente se for usada em combinação com a energia solar. A utilização da energia solar nos processos de descontaminação ambiental, é vista atualmente como uma tecnologia viável técnica e economicamente, além de ser ecologicamente correta. A localização geográfica do Brasil, possibilita o aproveitamento de mais de 84% da radiação incidente, com uma insolação média de 2000 h/ano. A fotocatalise solar pode ser usada no tratamento de efluentes de industrias como por exemplo: celulose, têxtil, curtume e sucro-alcooleira; na redução e remoção de metais pesados e na eliminação de bactérias presentes em águas destinadas ao consumo humano*

**Palavras-chaves:** Fotocatálise, Energia solar, Efluentes, Degradação

### 1. INTRODUÇÃO:

As crescentes exigências da sociedade moderna em termos de qualidade de vida e meio ambiente tem levado a controles mais rigorosos no descarte de efluentes como também novas normas e legislações cada vez mais rígidas tem sido adotadas afim de minimizar o impacto ambiental. Portanto, surge a necessidade de desenvolvimento de novos tipos de tratamento que realmente garantam bons resultados.

As técnicas já existentes para tratamento de efluentes minimiza o problema em grande parte, no entanto quando se trata de efluentes de difícil degradação, com substâncias tóxicas e recalcitrantes, em baixas ou altas concentrações é necessário a utilização de técnicas mais eficientes.

Dentre os processos de tratamento convencionais utilizados para destruição de componentes tóxicos cita-se a incineração e tratamento biológico, baseados na oxidação e redução dos contaminantes. Segundo Jardim & Nogueira (1998) estes processos também apresentam desvantagens como o alto custo da incineração e a possível formação de traços de dioxinas e furanos como subprodutos da oxidação incompleta.

Uma alternativa tecnológica em crescente desenvolvimento para destruição de produtos orgânicos de difícil degradação e em baixas concentrações são os Processos Oxidativos Avançados (POA). Estes processos são considerados como sendo tecnologias limpas e de refinamentos, visto que não produz subprodutos (lodo), como também não há transferência de fase dos poluentes (como adsorção em carvão ativado) e os produtos finais da reação são  $\text{CO}_2$  e  $\text{H}_2\text{O}$ . Entre os Processos Oxidativos Avançados, a fotocatalise heterogênea tem sido amplamente estudada e revisada por diversos autores nas três últimas décadas.

Tendo em vista o crescente interesse pela fotocatalise heterogênea como método de destruição de poluentes e a grande disponibilidade de energia solar no Brasil, o objetivo deste trabalho é uma revisão dos conceitos fundamentais da fotocatalise, tipos de reatores utilizados no processo, tipos de catalisadores, fonte de iluminação, como também um levantamento dos resultados obtidos nas pesquisas existentes na área de descontaminação ambiental através da oxidação fotocatalítica juntamente com uma análise das tendências atuais e futuras aplicações.

## 2. FUNDAMENTOS

### 2.1 Princípios da fotocatalise

A Oxidação Fotocatalítica é um processo onde um semicondutor absorve energia de fótons e atua como catalisador produzindo radicais reativos, principalmente radicais hidroxilas, estes podem oxidar e mineralizar compostos orgânicos. Portanto estas moléculas orgânicas são decompostas para formar gás carbônico, água e ácidos minerais. (Goswami, 1997)

Um semicondutor é caracterizado por bandas de valência e condução (Fig. 1), sendo a diferença energética entre as duas bandas é chamada de bandgap. Na fotocatalise, um semicondutor é ativado pela absorção de fótons com energia superior à energia do bandgap, resultando na promoção de um elétron ( $e^-$ ) da banda de valência (BV) para a banda de condução (BC), com a geração concomitante de uma lacuna ( $h^+$ ) na banda de valência. (Nogueira, 1995).

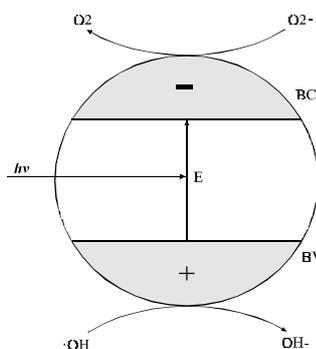


Figura 1 - Diagrama esquemático das bandas de condução e valência .

O fotocatalisador mais utilizado é o dióxido de titânio. Segundo Goswami (1997) outros semicondutores como ZnO, CdS, WO<sub>3</sub>, SnO<sub>2</sub> tem sido utilizados como alternativa para o TiO<sub>2</sub>, porém o TiO<sub>2</sub> tem se mostrado mais eficiente.

A energia necessária para ativar TiO<sub>2</sub>, é 3,2 e.V que corresponde a radiação de UV de um comprimento de onda de 388 nm ou menos. Isto torna possível usar o sol como a fonte de iluminação, pois aproximadamente 4-6% da energia solar que alcança a superfície da terra é nesse comprimentos de onda (Goswami, 1997)

## 2.2 Modelos Cinéticos

A taxa de degradação fotocatalítica, depende de inúmeros fatores, dentre os quais podemos citar: Intensidade de radiação, tipo de catalisador, concentração de oxigênio, pH, presença de íons inorgânicos, concentração de reagentes orgânicos, geometria do reator, grau de mistura.

As taxas de degradação de compostos orgânicos, usando a oxidação fotocatalítica, tem sido modelada através de uma grande variedade de modelos teóricos e empíricos, no entanto o modelo empírico de Langmuir-Hinshelwood (L-H) é o que melhor tem se ajustado aos resultados experimentais (Abdullah et al., 1990).

A expressão da taxa de degradação segundo o modelo de Langmuir-Hinshelwood (L-H) é a seguinte:

$$-\frac{dC}{dt} = \frac{K_1 K_2 C}{1 + K_2 C} \quad (1)$$

onde: K<sub>1</sub> é a constante da taxa de reação

K<sub>2</sub> é a constante de equilíbrio de adsorção

Para o caso onde a concentração do soluto (C) é muito pequena, o denominador da Eq. (1) torna-se praticamente igual a 1.0, e nestes casos o modelo L-H se reduz uma expressão de pseudo primeira ordem

$$-\frac{dC}{dt} = K_1 K_2 C = kC \quad (2)$$

A Eq. (2) tem sido aplicada de forma satisfatória a muitos processos fotocatalíticos para o tratamento de efluentes industriais, tendo em vista que o nível de concentração dos poluentes é da ordem de ppm e ppb. Para o projeto de sistemas fotocatalíticos, a constante de velocidade (k), é determinada a partir de dados experimentais.

## 2.3 Reatores Fotocatalíticos

Uma grande variedade de configurações de reatores fotoquímicos vem sendo estudados e desenvolvidos para aplicações específicas de destruição de poluentes, basicamente estes reatores estão divididos em dois tipos:

**Reatores Concentrados:** São os reatores semelhantes aos tradicionais coletores térmicos com refletor parabólico (PTR) (Fig. 2), com uma diferença, como o fluido a ser tratado precisa ser exposto a radiação UV, então o absorvedor precisa ser transparente a este tipo de radiação.

O reator de refletor parabólico (PTR) concentra a radiação ultravioleta direta. Segundo van Well et al. (1997) este tipo de reator tem sido escolhido para desintoxicação solar construído nos USA em Albuquerque pelo Sandia National Laboratories, na Califórnia, pelo Lawrence Livermore National Laboratories (NREL) e na Espanha em Almería, pela Plataforma Solar de Almería (TSA).

Uma desvantagem deste tipo de reator, é que ele não podem utilizar a luz difusa. Na fotocatalise com  $TiO_2$  como catalisador faz uso somente da porção de radiação UV, que corresponde somente a 4-6 % do espectro total. Uma vez que mais de 50% da radiação UV encontra-se na forma difusa, principalmente nas regiões com alta nebulosidade, como também em períodos nublados, então esta configuração é ideal para regiões secas, com alta insolação direta.

**Reatores não Concentrados:** São reatores que podem utilizar tanto a radiação solar direta como a difusa, o que leva a crer serem mais vantajosos que os do tipo concentrado. Outra vantagem deste tipo de reator é que eles possuem uma maior eficiência quântica, quando comparados com os concentrados.

Pesquisadores tem proposto alguns tipos destes reatores, entre eles: Wyness et al.(1994) descreveu um reator placa plana de fluxo descendente com cobertura de vidro como mostrado na figura 3. Este reator permite trabalhar na forma de catalisador disperso tanto como na forma catalisador fixo. Eles testaram este reator em experimentos de campo para dissociar 4-clorofenol (4CP) na água sob várias condições de luz solar, ou seja, dia de sol, parcialmente nublado e nublado e encontraram uma constante de velocidade de primeira ordem.

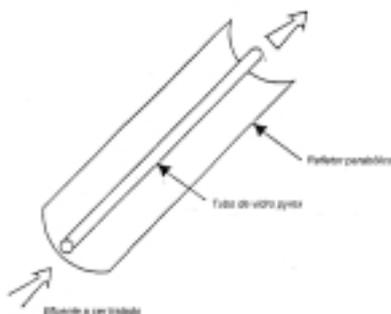


Figura 2 - Reator fotocatalítico de refletor parabólico solar (Goswami, 1995)

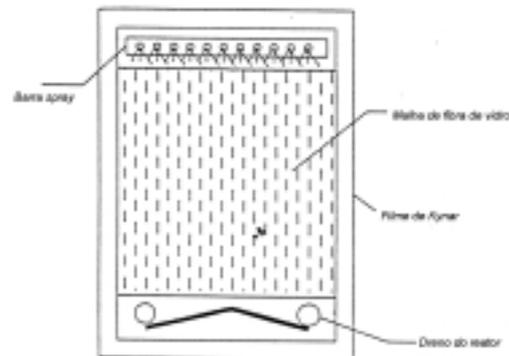


Figura 3 - Reator placa plana com fluxo descendente (Wyness et al., 1994)

Foram propostas outras versões deste tipo de reator, tais como: Goswami (1995) propôs um sistema onde a água contaminada flui através de pequenos canais entre os cabeçotes superiores e inferiores, como mostrado na figura 4; uma outra versão foi construída pela American Energy Technologies, substituindo os canais por tubos rígidos transparentes. Tal configuração foi testada na Universidade da Flórida para tratamento de água contaminada com compostos orgânicos voláteis (Oberger et al., 1993) e no campo da Tyndall Air Force Base para tratamento de águas subterrâneas contaminada com óleo, gasolina e lubrificantes (Goswami et al.(1993)) e por último Goswami (1995) substituiu os tubos rígidos por tubos flexíveis transparentes conectados entre cabeçotes da mesma forma, onde a água flui através do reator sob pressão.

Bedford et al.(1994) descreveu um reator tanque bastante simples desenvolvido na Universidade da Flórida, como mostrado na figura 5. Este tipo de reator pode ser construído no local de uso, especialmente para tratamento de efluentes industriais. Este sistema

trabalhou sob condições de sol, nublado e parcialmente nublado, encontrando também uma constante de velocidade de primeira ordem.

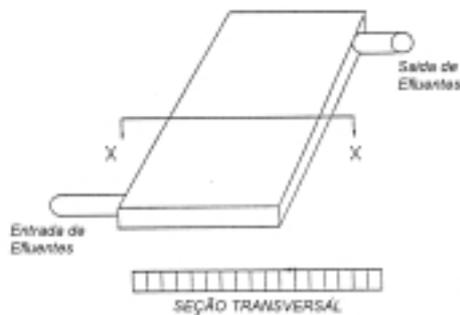


Figura 4 - Reator placa plana pressurizado (Goswami, 1995)

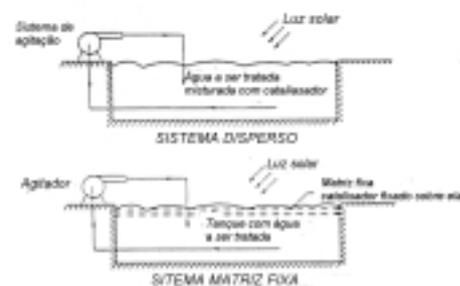


Figura 5 - Reator tanque solar (Bedford et al., 1994)

### 3. APLICAÇÕES

Uma grande variedade de compostos orgânicos e inorgânicos, em fase gasosa ou líquida, podem ser degradados através da fotocatalise heterogênea. Além disto ela pode ser utilizada na desinfecção de águas contaminadas com microorganismos patogênicos.

A fotocatalise heterogênea, pode ser utilizada no tratamento de efluentes domésticos e industriais, no entanto a maioria das pesquisas na área, tem sido direcionada no sentido de consolidar a tecnologia fotocatalítica, como uma alternativa técnica e economicamente viável para o tratamento de efluentes industriais, os quais normalmente contém substâncias tóxicas, não-biodegradáveis e em pequenas concentrações, o que muitas vezes inviabiliza o tratamento pelas técnicas convencionais.

#### 3.1 Corantes

A indústrias têxtil, de papel e celulose, e sucro-alcooleira têm sido apontadas como altamente poluidoras, devido ao fato de lançarem efluentes fortemente coloridos e de elevada carga orgânica, que exibem comportamento tóxico quando lançados no meio ambiente e seu reaproveitamento é muito restrito.

Zaidi et al. (1995) conduziram pesquisas no sentido de mostrar o potencial da fotocatalise heterogênea para o pós-tratamento de efluentes de destilarias. Os resultados obtidos usando o dióxido de titânio como catalisador e a luz solar e artificial, revelaram uma completa descoloração do efluente e uma significativa degradação dos constituintes orgânicos recalcitrantes.

A degradação de efluentes das indústrias de papel e celulose (processo Kraft) e da indústria têxtil, usando semicondutores metálicos e poliméricos iluminados com luz ultravioleta, foi estudada por Peralta et al. (1996). Os resultados obtidos mostraram que o processo é eficiente na redução da cor, tendo sido alcançada uma eficiência de 80% em 60 minutos de exposição.

Balcioglu & Arslan (1998), também submetteram efluentes de indústria têxtil e de papel e celulose, pré-tratados biologicamente, a um processo de fotocatalise heterogênea. A avaliação da performance do tratamento foi feita pelo acompanhamento da Demanda Química de Oxigênio (DQO), da Demanda Biológica de Oxigênio (DBO<sub>5</sub>) e do teor de Carbono Orgânico

Total (COT). Os resultados obtidos mostram que a oxidação fotocatalítica é muito eficiente no tratamento destes tipos de efluentes. Foram obtidos 52 e 87% de redução da DQO dos efluentes do processo Kraft e têxtil, respectivamente. No caso do efluente têxtil foi alcançado o completo descolorimento em uma hora de exposição.

### 3.2 Fenóis e Organoclorados

Muitos compostos fenólicos e organoclorados são utilizados como preservantes, herbicidas e inseticidas. Estes compostos representam um grande perigo para o meio-ambiente devido a sua elevada toxicidade e sua baixa biodegradabilidade, por isto têm se estudado exaustivamente novas técnicas para a degradação destes compostos.

A destruição do fenol em solução aquosa, foi estudada por Matthews & McEvoi (1992). Foi utilizado o dióxido de titânio suspenso em solução e imobilizado sobre areia e sílica gel, em todos os casos a solução foi iluminada com luz solar. Foram utilizados reatores do tipo tanque. As soluções continham inicialmente 10 ppm de fenol, tendo sido atingida uma concentração final de 10 ppb em menos de 80 minutos de irradiação e a total mineralização foi obtida com 110 minutos.

A destruição de herbicidas e inseticidas, foi estudada por Lu & Chen (1997), eles avaliaram a fotodegradação do herbicida (2,4 - diclorofenoxiacético) e do inseticida (Propoxur). Como medida do grau de mineralização destes compostos, foram usadas medições do teor de carbono total (TOC) e foram realizados bioensaios para avaliar o grau de toxidez das soluções tratadas. Os resultados obtidos mostraram que o inseticida foi menos degradado do que o herbicida e que em ambos os casos a taxa de degradação segue o modelo cinético de primeira ordem. Djebbar & Sehili (1998) também estudaram a taxa de degradação do 2,4 - diclorofenoxiacético. Eles observaram a formação do 2,4 - diclorofenol e da clorohidroquinona, que depois podem ser completamente mineralizados.

Em um recente trabalho, Mills & Wang (1998) estudaram a fotodegradação do 4-clorofenol usando dióxido de titânio na forma de uma matriz fixa e disperso na solução. No caso da degradação em matriz fixa, a taxa de degradação foi dependente da carga do catalisador, ao passo que na forma dispersa, a taxa de degradação depende da incidência de radiação.

### 3.3 Surfactantes

Os surfactantes têm grandes aplicações em atividades industriais e domésticas e constituem uma grande fonte de poluição, pois a sua biodegradação é muitas vezes lenta ou parcial.

A degradação de três tipos de surfactantes não iônico, catiônico e ânionico em presença de dióxido de titânio iluminado com luz artificial, foi estudada por Hidaka et al. (1992). Os resultados obtidos mostraram que os surfactantes catiônicos e aniônicos são mais facilmente degradados do que os não-íonicos. Foi observado que a mineralização dos surfactantes conduz a formação de fosfatos e amônia.

Pelizzetti et al. (1992) estudaram a degradação de surfactantes não- iônicos e iônicos em soluções aeradas, com dióxido de titânio iluminado com luz solar. Os resultados obtidos concordaram com os de Hidaka et al. (1992) e mostraram degradações acima de 95% para tempos de aproximadamente duas horas.

Obee & Satyapal (1998) estudaram a degradação do dimetil metilfosfato (DMMP) em fase gasosa em reator de única passagem com matriz fixa de dióxido de titânio, iluminado com luz artificial e solar. O monitoramento do processo de degradação mostrou a presença de dióxido

de carbono e monóxido de carbono na corrente gasosa saindo do reator e a deposição de fosfatos na superfície do catalisador. O estudo também mostrou que o catalisador pode ser recuperado através de uma simples lavagem com água e exposição à radiação UV.

### 3.4 Desinfecção de Águas

Uma das técnicas mais utilizadas na desinfecção de água é a cloração, no entanto esta pode conduzir a formação de haloalcanos, como resultado da oxidação de substâncias húmicas existentes na água.

Richardson et al. (1996) e Eggins et al. (1997) analisaram a possibilidade da utilização da oxidação fotocatalítica na remoção de substâncias húmicas em águas destinadas ao consumo humano, os resultados obtidos mostraram a completa remoção de substâncias húmicas através da exposição da água a radiação solar com dióxido de titânio durante um tempo de aproximadamente 60 minutos.

Um estudo sobre a remoção de bromatos na água destinada a consumo humano, utilizando a fotocatalise heterogênea, foi realizado por Mills et al. (1996). Foi utilizado o dióxido de titânio dopado com íons de platina, para melhorar a eficiência quântica do processo. O processo mostrou-se satisfatório na eliminação dos bromatos, no entanto a presença de outros íons como por exemplo brometos e sulfatos podem inibir a fotodegradação através da adsorção destes íons sobre o catalisador.

A destruição de bactérias patogênicas em solução aquosa quando expostas a luz solar com dióxido de titânio, foi estudada por Block et al. (1997). As bactérias mais comuns são destruídas em poucos minutos de exposição. Observou-se que o dióxido de titânio não é tóxico para as bactérias quando é mantido no escuro, no entanto quando irradiado com luz ultravioleta ele é altamente tóxico para os microrganismos. Como o dióxido de titânio não é tóxico ao ser humano indica que este processo pode ser usado na purificação de água, produtos alimentícios e farmacêuticos sem deixar resíduos tóxicos.

Cooper et al. (1997) estudaram a desinfecção e desintoxicação de água. Os experimentos foram conduzidos de forma a investigar o efeito do pH e da concentração de catalisador sobre o processo simultâneo de desinfecção e desintoxicação da água. Os resultados mostraram a completa mineralização do benzeno, tolueno e xileno utilizando uma concentração de 0,01% de dióxido de titânio em quatro horas de exposição a uma irradiação de 50 W/m<sup>2</sup>. Também foram eliminados completamente a contaminação com as seguintes bactérias *Scherichia coli*, *Pseudomonas aeruginosa* e *Serratia marcescens*

### 3.5 Redução de metais pesados

Os metais pesados têm recebido atenção especial dos pesquisadores ligados a área ambiental, tendo em vista que os mesmos são extremamente tóxicos e possuem um efeito acumulativo ao longo da cadeia alimentar.

Tanaka et al. (1986) estudaram a remoção de íons metálicos, mediante a deposição fotocatalítica sobre o dióxido de titânio. Foi obtida a remoção de chumbo, manganês, tálio e cobalto. Os resultados obtidos indicaram a viabilidade da nova tecnologia na remoção de metais pesados.

Khalil et al. (1998) desenvolveram uma nova técnica de eliminação de metais pesados, tais como o Cr (VI). A redução foi estudada em soluções aquosas, contendo um semi-condutor iluminado com lâmpadas de mercúrio. Foi analisada a redução de Cr(VI) para Cr(III) em função da concentração do metal, massa e tipo de semi-condutor (ZnO, Hombikat UV100, Degusa P25 e WO<sub>3</sub>). Os melhores resultados foram obtidos com o ZnO em soluções aeradas.

#### **4. TENDÊNCIAS DA FOTOCATALISE**

Após quase duas décadas de pesquisas, inúmeros trabalhos tem sido publicados na área da fotocatalise heterogênea, a maioria destes trabalhos mostram que uma das características primárias do método é a capacidade de tratar varias classes de compostos orgânicos, e que a mineralização completa pode ser alcançada na maior parte dos casos.

Jardim & Nogueira (1998), apontam para um grande problema na implantação de processos fotocatalíticos para tratamento de efluentes em escala industrial, uma vez que a interface com a engenharia faz-se necessário e ainda encontra-se pouco desenvolvida. Sclafani et al. (1993) já apontava para um número limitado de investigações que tratam do fenômeno de transferencia de massa que acontece dentro do reator. O desenvolvimento e a validação de modelos matemáticos que permitam simular os fotoreatores multifásicos será uma importante contribuição no projeto de novos reatores em escala industrial. (Yue, 1992)

Dentre as inúmeras publicações referente ao processo de fotocatalise apontam para uma abordagem da destruição de poluentes orgânicos industriais, deixando pouco explorado áreas também de grande interesse social, como a desinfecção de águas para consumo humano e tratamento de esgotos domésticos.

A tecnologia da fotocatalise heterogênea já esta sendo aplicada de forma comercial em diversos setores, tais como: desodorização de ambientes através da utilização de filtros impregnados com  $TiO_2$ , que sob iluminação é capaz de degradar substâncias causadoras de mal odor; tintas fotocatalíticas para revestimento anti-bactericidas e auto-limpantes de paredes de centro cirúrgicos; vidros e espelhos anti-embassantes, neste caso a água é espalhada rapidamente e uniformemente na superfície ao invés de gotículas evitando o embaçamento (Jardim & Nogueira, 1998).

As principais tendências atuais são a substituição das fontes de radiação ultravioleta artificiais pela luz solar, tendo em vista que a maior parcela dos custos do tratamento fotocatalítico é a geração de fótons com energia superior ao bandgap do semiconductor e a utilização de semicondutores que sejam ativados com luz visível. No caso do Brasil, devido a nossa posição geográfica, temos altas taxas de insolação, o que incentiva as pesquisas no sentido de se aproveitar cada vez mais o potencial da energia solar.

#### **5. CONCLUSÃO**

A descontaminação fotocatalítica solar tem se mostrado um método bastante promissor para tratamento de águas contaminadas, efluentes industriais, ar e solo. As pesquisas mostram que esta tecnologia é viável do ponto de vista técnico-econômico além de ser ecologicamente correta, podendo competir com os processos tradicionais de descontaminação ambiental.

Por outro lado é de fundamental importancia fazer a modelagem matemática e a simulação antes de se projetar qualquer sistema de desintoxificação.

#### **REFERÊNCIAS**

- Abdullah, M., Low, G. and Matthews, R. W., 1990, Effects of common inorganic anions on rates of photocatalytic oxidation of organic carbon over illuminated titanium dioxide, *Journal of Physical Chemistry*, vol 94, n. 17, pp. 6820-6825
- Balcioglu, I. A. & Arslan, I., 1998, Application of photocatalytic oxidation treatment to pretreated and raw effluents from the Kraft bleaching process and textile industry, *Environmental Pollution*, vol. 103, n. 2, pp. 261- 268

- Bedford, J., Klausner, J. F., Goswami, D. Y. and Schanze, K. S., 1994, Performance of nonconcentrating solar photocatalytic oxidation reactors, part II: shallow pond configuration, *Journal of Solar Energy Engineering*, vol. 116, pp. 8-13.
- Block, S. S., Seng, V. P. and Goswami, D. Y., 1997, Chemically enhanced sunlight for killing bacteria, *Journal of Solar Energy Engineering*, vol. 119, pp. 85-91.
- Cooper, A. T.; Goswami, D. Y. and Block, S. S., 1997, Simultaneous detoxification and disinfection of water by solar photocatalytic treatment, *Solar Engineering*, pp. 277-282.
- Djebbar, K. & Sehili, T., 1998, Kinetics of heterogeneous photocatalytic decomposition of 2,4-dichlorophenoxyacetic acid over titanium dioxide and zinc oxide in aqueous solution, *Pesticid Science*, vol. 54, n. 3, pp. 269-276.
- Eggins, B. R.; Palmer, F. L. and Byrne, J. A., (1997), Photocatalytic treatment of humic substances in drinking water, *Water Research*, vol. 31, n. 5, pp 1223-1226.
- Goswami, D. Y., 1995, Engineering of solar photocatalytic detoxification and disinfection process in: *Advances in Solar Energy*, ed. Böer, K. W., Boulder.
- Goswami, D. Y., 1997, A review of engineering developments of aqueous phase solar photocatalytic detoxification and disinfection processes, *Journal of Solar Energy Engineering*, vol. 119, pp. 101 -107.
- Goswami, D. Y., Klausner, J., Mathur, G. D., Martin, A., Schanze, K, Wyness, P., Turchi, C. and Marchand, E.; 1993a, Solar photocatalytic treatment of groundwater at Tyndall AFB, field test results, *Solar'93 Proceedings of the American Solar Energy Society Annual Conference*, pp. 235-239.
- Hidaka, H.; Zhao, J.; Nohara, K.; Kitamura, K.; Satoh, Y.; Pelizzetti, E. and Serpone, N., 1992, Photocatalysed mineralization of non-ionic, cationic and anionic surfactants at TiO<sub>2</sub>/H<sub>2</sub>O interfaces, *Proceedings of the 1st International Conference on TiO<sub>2</sub> Photocatalytic Purification and Treatment of Water and Air*, November 8-13, London, vol.. 3, pp 251-259.
- Jardim, W. F. & Nogueira, R. F. P., 1998, A fotocatalise heterogênea e sua aplicação ambiental, *Química Nova*, vol. 21, n. 1, pp. 69-72
- Khalil, L. B.; Mourad, W. E. and Rophael, M. W., 1998, Photocatalytic reduction of environmental pollutant Cr (VI) over some semiconductors under UV/visible light illumination, *Applied Catalysis B-Environmental*, vol.. 17, n. 3, pp 267-273.
- Lu, M. C.; Chen, J. N., 1997, Pretreatment of pesticide wastewater by photocatalytic oxidation, *Water Science and Technology*, vol.. 36, n. 2, pp 117-122.
- Matthews, R. W. & McEvoy, S. R., 1992, Destruction of phenol in water with sun, sand, and photocatalysis, *Solar Energy*, vol.. 49, n. 6, pp 507-513.
- Mills, A. & Wang, J. S., 1998, Photomineralisation of 4-chlorophenol sensitised by TiO<sub>2</sub> thin films, *Journal of Photochemistry and Photobiology A-Chemistry*, vol.. 118, n.1, pp 53-63.
- Mills, A.; Belghazi, A. and Rodman, D., 1996, Bromate removal from drinking water by semiconductor photocatalysis, *Water Research*, vol.. 30, n. 9, pp 1973-1978.
- Nogueira, R. F. P., 1995, Fotodestruição de compostos potencialmente tóxicos utilizando TiO<sub>2</sub> e luz solar, *Tese de Doutorado, UNICAMP, Campinas, Brasil*.
- Obee, T. N. & Satyapal, S., 1998, Photocatalytic decomposition of DMMP on titania, *Journal of Photochemistry and Photobiology A-Chemistry*, vol.118, n. 1, pp 45-51.
- Oberg, V.; Goswami, D. Y. and Svedberg, G.; 1993, On photocatalytic detoxification of water containing volatile organic compounds, *Proceedings of the ASME International Solar Engineering Conference*, pp. 147-153.
- Pelizzetti, E.; Minero, C.; Hidaka, H.; and Serpone, N., 1992, Photocatalytic processes for surfactants degradation, *Proceedings of the 1st International Conference on TiO<sub>2</sub>*

- Photocatalytic Purification and Treatment of Water and Air, November 8-13, London, vol.. 3, pp 261-273.
- Peralta, P.; de Morais, S. G.; Reyes, J. and Duran N., 1996, Heterogeneous photocatalysis treatment of Kraft and textile effluents using metallic and polymeric semiconductors (ZnO and polyaniline), Polimer Bulletin, vol.. 37, n. 4, pp 531- 537.
- Richardson, S. D.; Thruston, A. D.; Collette, T. W.; Patterson, K. S.; Lykins, B. W. and Ireland, J. C., 1996, Identification of TiO<sub>2</sub>/UV disinfection by products in drinking water, Environmental Science & Tecnology, vol.. 30, n. 11, pp 3327-3334.
- Sclafani, A., Brucato, A. and Rizzuti, L., 1992, Mass transfer limitations in a packed bed photoreactor used for phenol removal, , Proceedings of the 1st International Conference on TiO<sub>2</sub> Photocatalytic Purification and Treatment of Water and Air, November 8-13, London, vol.. 3, pp 495-510.
- Tanaka, K., Harada, K. and Murata, S., 1986, Photocatalytic deposition of metal ions onto TiO<sub>2</sub> powder, Solar Energy, vol. 36, n. 2, pp. 159-161.
- van Well, M., Dillert, R. H. G., Bahnemann, D.W., Benz, V. W. and Mueller, M. A., 1997, A Novel Nonconcentrating reactor for solar water detoxification, Journal of Solar Energy Engineering, vol. 119, pp. 114-119.
- Wyness, P., Klausner, J. F., Goswami, D. Y. and Schanze, K. S., 1994, Performance of nonconcentrating solar photocatalytic oxidation reactors, part I: flat-plate configuration, Journal of Solar Energy Engineering, vol. 116, pp. 2-7.
- Yue, P. L., 1992, Modelling, scale-up and design of multiphasic photoreactors, , Proceedings of the 1st International Conference on TiO<sub>2</sub> Photocatalytic Purification and Treatment of Water and Air, November 8-13, London, vol.. 3, pp 533-545.
- Zaidi, A. H.; Goswami, D. Y. and Wilkie, A. C., 1995, Solar photocatalytic post-treatment of anaerobically digested distillery effluent, Proceedings of Solar'95, July 15-20, Minneapolis, vol.. 1, pp 51-56.

## **SOLAR PHOTOCATALYSIS: APPLICATIONS AND CURRENT TENDENCES**

**Abstract:** *The environmental contamination as result, at the industrial revolution promoted by the humanity associated with the shortage of drinkable water, has been considered as the largest rivalry that the modern society has to face. This justifies the researchers' interest in the search of efficient methods and of low cost for the treatment both water and industrial and domestic residues. In the last decade has been increasing the interest on the Oxidative Advanced Processes (POA), among these the photocatalytic oxidation has been deserving special attention when is used in combination with the solar energy. The use of the solar energy in environmental decontamination processes is seen now as a technical and economical technology, besides being correct ecologically. The geographical location of Brazil, facilitates the use of more than 84% of the incident radiation, with a medium heatstroke of 2000 h/year. The solar photocatalysis can be used in the treatment of wastewaters of industries as for example: cellulose, textile, curtum and distillery; in the reduction and removal of heavy metals and in the elimination bacteria in waters used to the human consumption*

**Keywords:** Photocatalysis, Solar Energy, Wastewater, Degradation.