

## TRATAMENTO DE EFLUENTES TÊXTEIS COM ENERGIA SOLAR

D. C. C. Nascimento e C. Tiba  
 Departamento de Energia Nuclear da Universidade Federal de Pernambuco  
 Av. Prof. Luiz Freire, 1000 – CDU - CEP 50.740-540, Recife, PE, Brasil  
 Tel. +55 8121268252 – Fax +55 81 21268250, tiba@ufpe.br

**RESUMO:** A indústria têxtil é uma das primeiras e das mais tradicionais na história de Pernambuco. No estado, o principal pólo de fabricação de jeans localiza-se no município de Toritama que abriga 2.500 fábricas que produzem 15% do jeans fabricados no Brasil. Uma lavanderia de porte médio despeja diariamente cerca de 300m<sup>3</sup> de água residual dos processos de lavagem de jeans no Rio Capibaribe. Este trabalho mostrou que tais efluentes podem ser destruídos mediante o processo oxidativo avançado TiO<sub>2</sub>/ H<sub>2</sub> O<sub>2</sub> e luz solar. As amostras sintéticas com 50mg/l de concentração de indigo foi reduzida em 91% em 7 horas de exposição. Os experimentos realizados com recipientes de cor preta e branca apresentaram diferenças significativas na redução da absorbância. Para a amostra com efluente real exposto a irradiação solar em camadas finas (2cm) e com a associação de catalisadores TiO<sub>2</sub> e H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>, a concentração inicial sofreu uma redução de 80% .

**Palavras chaves :** energia solar, irradiação UV, efluentes têxteis

### INTRODUÇÃO

A indústria têxtil é uma das primeiras e das mais tradicionais na história da maioria dos países, inclusive no Brasil. Estas atividades industriais cresceram muito nas últimas décadas e trouxeram consigo enormes problemas ambientais associados à produção de efluentes altamente tóxicos, provenientes de seus processos produtivos (Hassener et al., 2004; Pelegrini et al., 2003; Colpine et al., 2006 and Nogueira and Jardim, 1998). O impacto ambiental ocasionado pelos processos têxtil e das lavanderias, decorre principalmente da geração de grandes quantidades de efluentes líquidos com altas cargas poluidoras, de forte coloração e presença de inúmeros compostos químicos que podem causar riscos se descartados diretamente nos cursos d'água. Tais riscos, decorrem principalmente pela inibição dos processos naturais da fotossíntese, o que diminui a quantidade de oxigênio dissolvido e modifica as propriedades físicas dos cursos d'água, causando prejuízos a médio e longo prazos a toda biota aquática (Pelegrini et al., 2003; Robinson *et al.*, 2001).

Os municípios de Caruaru, Toritama e Santa Cruz do Capibaribe formam o chamado Pólo Têxtil de Pernambuco, Fig. 1 e produzem cerca 58,7 milhões de peças de roupas por mês (IBGE, 2008). O Pólo de confecção abriga cerca de 12.000 micro e pequenas empresas e gera 75 mil postos de trabalho. O município de Toritama, é o responsável por 15% do jeans produzidos no mercado brasileiro. O beneficiamento do jeans divide-se em quatro etapas básicas: desengomagem, tingimento, lavagem e acabamento. O maior consumo de água e conseqüentemente a maior geração de efluente está nas etapas de lavagem, tingimento e acabamento. Uma lavanderia de porte médio descarta diariamente 300 mil litros de água residual dos processos de lavagem de jeans no Rio Capibaribe.

Os processos convencionais de tratamento desses efluentes tais como lodo ativado, adsorção, coagulação e filtração por membranas (Kunz et al., 2002) embora efetivos e econômicos apenas mitigam o problema, na medida em que apenas transferem e concentram o poluente da fase líquida para uma fase sólida. O objetivo de um processo oxidativo avançado é gerar um oxidante forte como o radical livre hidroxila para destruir o composto poluente. A geração do radical hidroxila é feita com a combinação dois a dois ou três a três de O<sub>3</sub>, H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>, TiO<sub>2</sub> e irradiação UV. A irradiação UV poderá ser artificial mas na região em foco é abundante e de alta intensidade como pode ser visto na Fig. 2, onde a irradiação solar diária média mensal para Pernambuco está compreendida entre 14 -22 MJ/m<sup>2</sup> (Tiba et al., 2002) o que corresponde a uma irradiação solar UV (280-400 nm) de 0.75-1.20 MJ/m<sup>2</sup> (Tiba et al., 2009)



Figura 1: Localização do Pólo Têxtil de Pernambuco

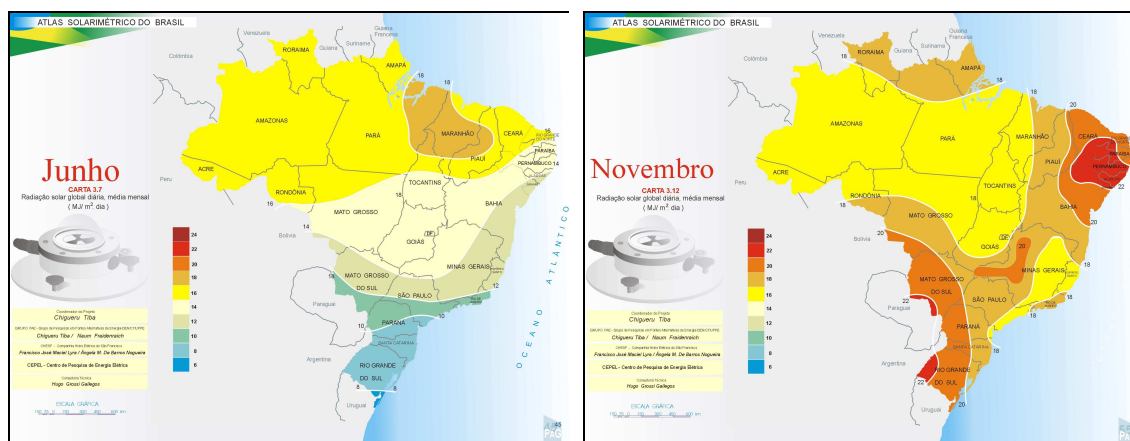


Figura 2: Irradiação solar diária, média mensal mínima e máxima

Pelo que antecede, neste trabalho foi estudado processo  $\text{H}_2\text{O}_2/\text{TiO}_2/\text{UV}$  para a destruição do corante Bezema Índigo Granulate e de efluentes reais de lavanderias de jeans, submetidos a irradiação solar natural.

## EXPERIMENTOS

### Reagentes e Instrumentos

- Bezema Índigo Granulate
- Hidróxido de sódio (Vetec);
- Hidrossulfito de sódio (Dystar);
- Dióxido de Titânio (Dupont);
- Água destilada;
- Peróxido de Hidrogênio P.A. (Synth);
- Efluentes proveniente da Lavanderia Têxtil LEN Jeans Wear Ltda, Toritama, PE.
- Instrumentação meteorológica: a irradiação solar total foi medida com piranômetro Eppley modelo PSP e a temperatura ambiente com sensor modelo HMPP45C-L100 da Vaisala.
- Caracterização do efluente - determinação da cor: leitura direta do aparelho (Aqua Tester, Orbeco Analytical Systems, USA); turbidez: turbidímetro modelo Spectroquant TR, Merck; pH: potenciômetro Quimis 400.A de bancada foi calibrado com soluções tampão de pH 4,0 a 7,0, conforme indicado pelo Standard Methods for Examination of Water and Wastewater; demanda química de oxigênio (DQO): foi realizada através do método do refluxo fechado, micro titulométrica.

### Procedimentos experimentais com amostras sintéticas

Uma solução do corante Bezema Índigo Granulate foi preparada com água destilada na concentração de  $50\text{mg}/\ell$ , hidrossulfito de sódio  $0,2\text{mg}/\ell$ , hidróxido de sódio  $0,2\text{mg}/\ell$  e pH 12. No processo fotocatalítico foi usado  $0,27\text{mg}/\ell$  de Dióxido de Titânio (anatase, Dupont). O tratamento foi realizado em recipientes de plástico nas cores branca e preta de área  $0,2\text{m}^2$  contendo respectivamente 3 litros da solução colorida, com uma altura inicial de 2cm. Cada dia de experimento consistiu na exposição, à luz solar, de um conjunto com doze amostras, divididas em recipientes de cor branca e preta, com e sem o catalisador  $\text{TiO}_2$ , formando, portanto, quatro subgrupos de três amostras idênticas. Aliquotas de 10ml foram retiradas em intervalos de tempo de 1hora para controle analítico. Ao final de cada experimento, os rejeitos produzidos foram armazenados para posterior tratamento.

### Procedimentos experimentais com amostras reais

O efluente industrial resultante da lavagem de jeans (colorido com Bezema Índigo) pela Lavanderia Têxtil LEN Jeans Wear Ltda, Toritama, PE foi tratado com uma associação de catalisadores  $\text{TiO}_2$  ( $0,66\text{mg}/\ell$ ) e  $\text{H}_2\text{O}_2$  ( $1,0 \times 10^{-2}\text{mol}/\ell$ ).

## RESULTADOS E DISCUSSÃO

### Amostras sintéticas

Um estudo preliminar foi feito para determinar a concentração mais adequada do fotocatalisador  $\text{TiO}_2$  para se obter o máximo da absorvância do efluente sintético. A 3 mostra o gráfico da variação da absorvância para amostras sintéticas com  $50\text{mg}/\ell$  do corante Bezema Índigo em função da concentração do catalisador  $\text{TiO}_2$  quando expostos a irradiação solar no dia 307 do ano de 2008 (01/11/2008). A amostra com concentração do  $\text{TiO}_2$  igual a  $0,27\text{mg}/\ell$  apresentou o melhor resultado. O

aumento adicional da concentração de  $\text{TiO}_2$  não melhora o resultado por que provoca também um aumento da turbidez na solução que por sua vez diminui a transmissibilidade da radiação solar (SEBRAE, 2002). Os pH medidos com periodicidade horária, mostraram-se constantes e iguais a 12. Observou-se que as temperaturas médias nos recipientes pretos foram de  $38^\circ\text{C}$  e de  $35^\circ\text{C}$  nos recipientes brancos.

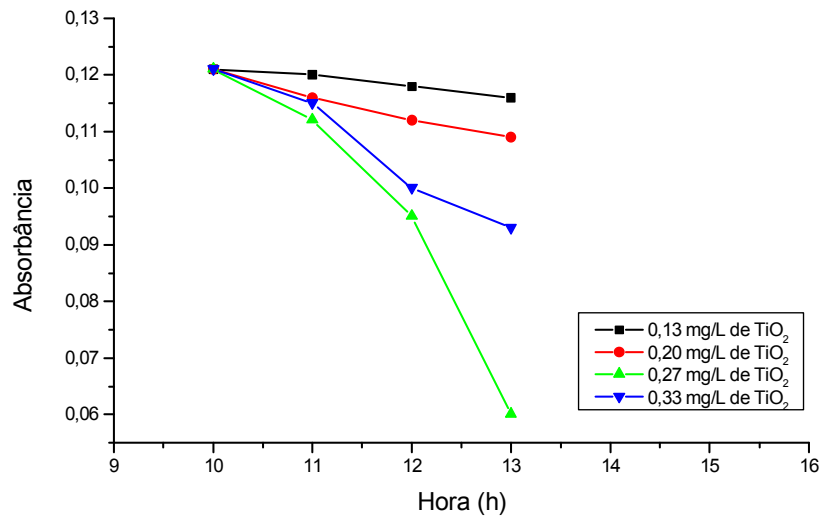


Figura 3: Variação da absorbância em função da concentração do  $\text{TiO}_2$  e exposição solar

Após o estudo inicial da concentração ótima do  $\text{TiO}_2$ , o estudo de fotodegradação foi feito para dias com diferentes irradiação solar acumulada. A Fig. 4 mostra a irradiação solar incidente nos dias 314, 315, 321 e 322. Os dias 314, 315 e 321 foram dias típicos da Região Nordeste nesta época do ano com a poucas presenças de nuvens e céu claro a maior parte do dia. O dia 322 foi nublado na parte da manhã, mas na parte da tarde o céu foi claro. A Irradiação Solar Acumulada, dos dias 314, 315, 321 e 322 foram respectivamente 23,6, 22,6, 23,2 e 21,8  $\text{MJ/m}^2$ , valores estes próximos a média esperada para essa região neste período do ano (Tiba et al., 2002). A mostra a variação da absorbância em função da quantidade de irradiação solar acumulada para o dias 314, 315 e 321 dias de céu muito claro e 322, dia de céu nublado na parte de manhã. Cada valor de absorbância mostrada no gráfico é a média sobre três medições. Os resultados apresentados na Fig. 5 mostram que as amostras com catalisador (círculo e triângulo invertido) obtiveram uma degradação mais intensa que as amostras sem catalisador (quadrado e triângulo). Da mesma, as amostras dos recipientes brancos (quadrado e círculo) degradaram com maior intensidade que as amostras dos recipientes pretos (triângulo e triângulo invertido).

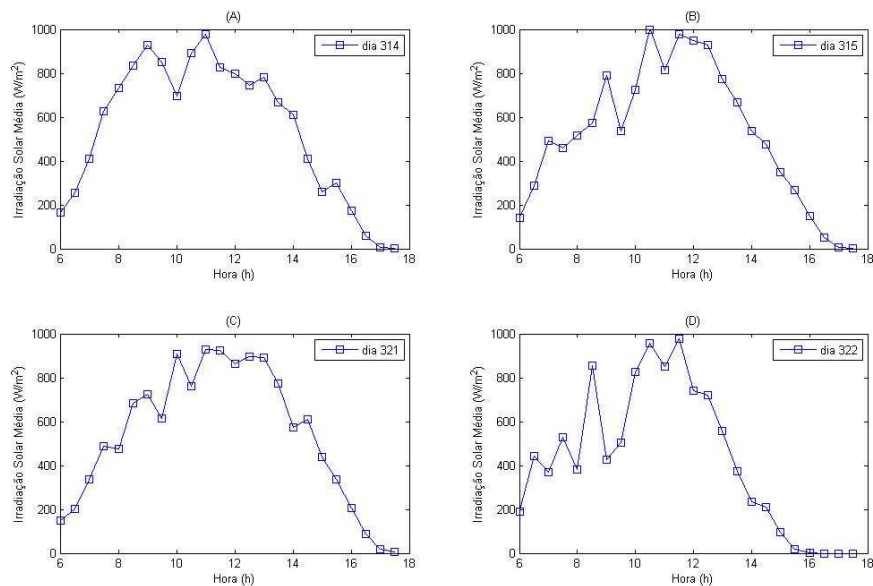
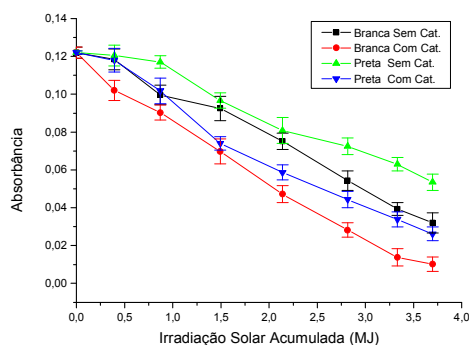
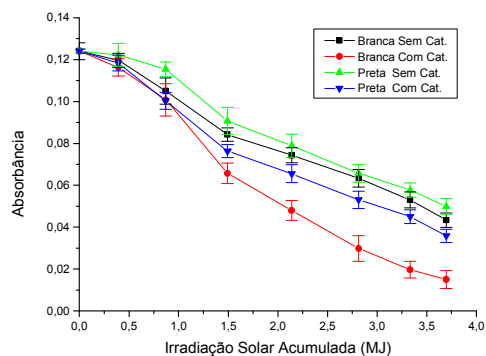


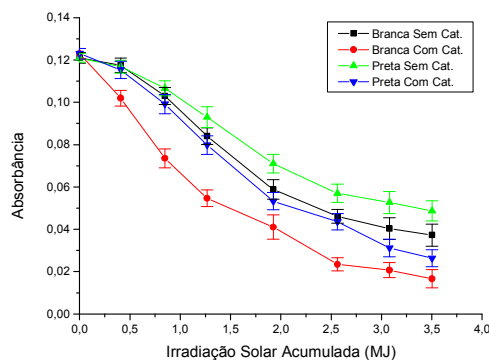
Figura 4: Irradiação solar incidente nos dias 314, 315, 321 e 322



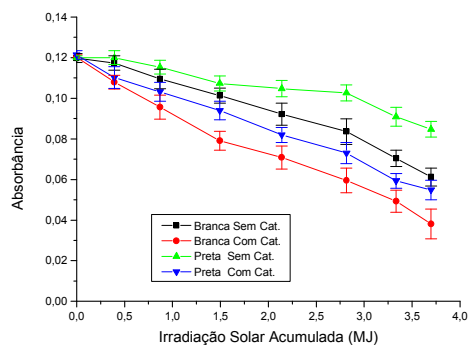
dia 314



dia 315



dia 321



dia 322

Figura 5: Variação da absorbância com energia solar acumulada

A Tabela 1 resume a foto-degradação diária da amostra sintética de Bezema Índigo em função da irradiação solar acumulada. As vasilhas brancas tem maior eficiência por que disponibiliza mais fótons para o processo devido a sua maior refletividade. Este fato é ratificado por que verifica-se que os efluentes das vasilhas pretas tem temperaturas médias 3 °C superiores às brancas. Outra conclusão é de que a degradação do efluente depende da intensidade instantânea da irradiação e não só da irradiação acumulada, como pode ser visto pela comparação entre os dias 322 e os outros dias restantes.

Data	% de degradação				
	Irradiação solar acumulada (MJ)	Branca com TiO <sub>2</sub>	Preta com TiO <sub>2</sub>	Branca sem TiO <sub>2</sub>	Preta sem TiO <sub>2</sub>
314	3.75	91.6	78.5	73.7	56.1
315	3.75	87.7	71.1	65.0	59.8
321	3.50	86.5	78.6	69.2	59.8
322	3.75	68.3	54.8	48.9	29.4

Tabela 1 – Foto-degradação diária da amostra sintética de Bezema Índigo

#### Amostra de efluente real

A 6 mostra a descoloração em termos de absorbância do efluente real Bezema Índigo em função da irradiação solar acumulada, para uma associação de catalisadores TiO<sub>2</sub> (0,66/ℓ) e H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> (1,0x10<sup>-2</sup> mol/ℓ). A curva de absorbância mostra que a descoloração foi mais eficiente na primeira hora do experimento (81,6% de degradação). Nas horas seguintes, a taxa de descoloração ficou oscilando, devido a formação de grupos intermediários capazes de intensificar a coloração do corante. Após 7h, a descoloração final foi de 80,3%. A irradiação solar total acumulada para os dias 151 (2009) foi de 10,2MJ. A mostra o efluente bruto no seu estado inicial e após o término do experimento. A caracterização do efluente real antes e depois do tratamento estão mostrados na Tabela 2.

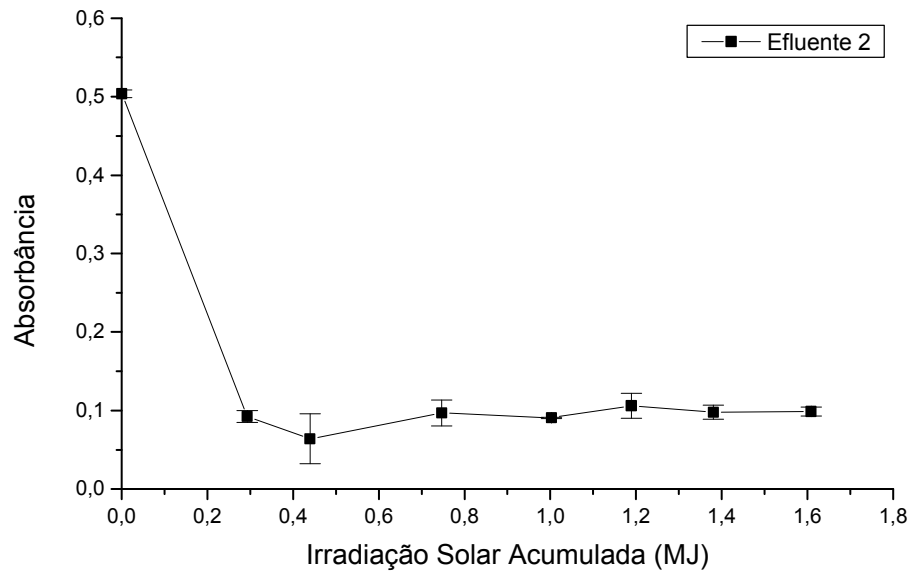


Figura 6: Variação da absorbância com a quantidade da irradiação solar acumulada para o efluente real Indigo



Figura 7 –Efluente real Bezerra Indigo antes e após o tratamento

Parâmetros	Efluente Bruto	Efluente tratado
Cor	N.D.	51 ppm/Pt
pH	9.5	6.4
Turbidez	632 UNT	41 UNT
DQO	2786 mg/ ℓ	1220 mg/ ℓ

Tabela 2 – Caracterização química do efluente real

## CONCLUSÕES

As amostras sintéticas com 50mg/ℓ de concentração do corante indigo pode ser reduzida em 91% em 7 horas de exposição. Os experimentos realizados com recipientes de cor preta e branca apresentaram diferenças significativas na redução da absorbância influenciado pela diferença da absorção e reflexão da luz nos dois recipientes. Para a amostra com efluente real, a concentração inicial do efluente exposto a irradiação solar em camadas finas (2cm) e com a associação de catalisadores

TiO<sub>2</sub> e H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>, atingiu uma redução de 80% . O tratamento proposto é viável tecnicamente e trabalhos adicionais serão realizados para a proposição de uma estação de foto-degradação de efluentes têxteis em escala industrial

#### **Agradecimentos**

Os autores agradecem os suportes financeiros dessa pesquisa ao CNPq, CAPES-SECYT e CAPES-PROENGENHARIAS.

#### **REFERENCIAS**

- Colpine, L. M. S. et al. (2006) "Titânia Comercial na Descoloração Fotocatalítica proveniente da Indústria têxtil", *Acta Sci. Technol.*, 28 (1), 1.
- Hassener, M. E. N.; Amorin, M. T. S. P. e Lapoli, F. R. (2004) "Tratamento de efluente Têxtil através da oxidação por via úmida". Congresso Nacional de Técnicos Têxteis, 21, Natal, Brasil.
- IBGE - 2008 - Censo Industrial.; <http://www.ibge.gov.br> , (accessed September, 10, 2008)
- Kunz A. et al.(2002). "Novas tendências no tratamento de efluentes têxteis", *Química Nova*, 25 (1), 78.
- Nogueira, P. F. R. e Jardim, W. F., (1998) "A fotocatalise heterogenia e sua Aplicação Ambiental", *Química Nova*, 21 (1), 69.
- Pelegrini, R.; Fiorentino, J. C. ; Barbosa, A. C. ; Silva, C. R. U. (2003) "Tratamento de Corantes Dispersivo por Processo fotocatalítico com TiO<sub>2</sub>" Fórum de Estudos Contábeis. III Fórum de estudos Contábeis, Rio Claro, SP, Brazil.
- Robinson T. et al.(2001) "Remediation of dyes in textile effluent: a critical review on current treatment technologies with a proposed alternative", *Bioresource Technology*, 77 (3), 247.
- SEBRAE-Serviço Brasileiro de Apoio às Micro e Pequenas Empresas (2002) "Análise da Eficiência Econômica e da Competitividade da Cadeia Têxtil Brasileira" IEL,CNA e SEBRAE.-Brasilia, 482.
- Tiba, C., Fraidenaich, N., Moskowicz, M., Cavalcanti, E. S. C., Lyra, F. J. M., Barros, Â. M. e Grossi Gallegos, H.(2002) "CD ROM Atlas Solarimétrico do Brasil", ISBN 85-7315-142-0..
- Tiba,C., Leal, S. S. and Piacentini, R. "A study of ultraviolet solar radiation in Pernambuco", Submitted, ISES2009

#### **ABSTRACT**

The textile industry is one of the first and most traditional in the history of Pernambuco. The main center for production of jeans is located in the municipality of Toritama that has 2500 factories producing 15% of jeans made in Brazil. An midsized industrial laundry daily turns 300m<sup>3</sup> of wastewater from the washing processes of jeans in Rio Capibaribe. This study showed that such textile effluent can be destroyed by advanced oxidation process TiO<sub>2</sub> / H<sub>2</sub> O<sub>2</sub> and sunlight. The indigo synthetic wastewater samples with initial concentration of 50 mg / ℓ was reduced by 91% in 7 hours of exposure. The experiments performed with containers of black and white colors showed significant differences in the reduction of absorbance. For the sample with real effluent exposed to solar radiation in thin layers (2 cm) and with TiO<sub>2</sub> and H<sub>2</sub> O<sub>2</sub>, the initial concentration was reduced by 80%.

**Keywords:** solar energy, UV solar irradiation, textile effluent