

## Energia solar no tratamento de corante têxtil

### *Solar Energy in the treatment of textile dye*

Viviane Farias Silva<sup>1\*</sup>, Kalyne Sonale Arruda de Brito<sup>1</sup>, Vanessa F. Silva<sup>2</sup>, Aline Costa Ferreira<sup>3</sup>, Patrício Borges Maracajá<sup>3</sup>

**RESUMO:** As indústrias utilizam a água em todo o seu processo, desperdiçando enormes volumes de água gerando efluentes com altos índices de produtos químicos, precisando de tratamento para ser reutilizado ou lançado no meio ambiente. Nesse contexto, o presente trabalho foi realizado no Laboratório de Engenharia Ambiental e de Qualidade na Universidade Federal de Pernambuco objetivando-se a degradação de corante utilizados nas indústrias têxteis através do uso da energia solar como alternativa de tratamento de efluente. Nesta pesquisa os testes fotocatalíticos foram realizados com o catalisador em pó ( $\text{TiO}_2$  - P25), contendo o corante têxtil Remazol Amarelo Ouro RNL (RGY) ou sem catalisador nos testes de fotólise. Foram testados dois tipos de radiação, a artificial e a energia solar (natural). Para avaliar a descoloração e a degradação das amostras, a Espectroscopia UV-visível foi a principal técnica analítica empregada como também realizadas análises de Carbono Orgânico Total (COT) e Demanda Química de Oxigênio (DQO). Nas 6 (seis) análises realizadas obteve-se um elevado índice de remoção da cor do corante, superior a 97%, com alta eficiência do processo com uma significativa redução da COT e da DQO. Os métodos utilizados foram eficientes na descoloração do RGY, como também na sua degradação, tornando-se uma técnica inovadora com o uso da energia solar para o tratamento de efluentes têxteis.

**Palavras-chave:** efluente industrial, alternativa sustentável, degradação do remazol amarelo ouro, descoloração de efluente

**ABSTRACT:** Industries use water throughout the process, wasting huge amounts of water generating effluents with high levels of chemicals in need of treatment to be reused or released into the environment. In this context, this work was performed at the Laboratory of Environmental Engineering and Quality at Federal University of Pernambuco aiming to degradation of dye used in textile for industries through the use of solar energy as an alternative wastewater treatment. In this research the photocatalytic tests were performed with the catalyst powder ( $\text{TiO}_2$  - P25), containing the textile dye Remazol Golden Yellow RNL (RGY) or without catalyst in photolysis tests. Two types of radiation, artificial and solar energy (natural) were tested. To assess the discoloration and degradation of the samples, the UV-visible spectroscopy was the primary analytical technique but also performed analyzes of Total Organic Carbon (TOC) and Chemical Oxygen Demand (COD). In the six (6) analysis performed yielded a high degree of color removal of dye greater than 97%, high efficiency of the process with a significant reduction in the COD and TOC. The methods used were effective in discoloration of RGY, but also in degradation, becoming an innovative technique with the use of solar energy for treatment of textile effluents.

**Keywords:** Industrial effluent, sustainable alternative, yellow gold remazol degradation, discoloration of effluent

\*autor para correspondência

Recebido para publicação em 11/10/2013; aprovado em 20/09/2014

<sup>1</sup>Engenheira agrícola e mestranda em Engenharia Agrícola, pela Universidade Federal de Campina Grande (UFCG). E-mail: flordeformosur@hotmail.com; line.brito@hotmail.com.

<sup>2</sup>INSA. Email: belaatiria@hotmail.com.

<sup>3</sup>Professores da UFCG. E-mail: alinecfx@yahoo.com.br; patriciomaracaja@gmail.com.

## INTRODUÇÃO

A demanda por água vem tendo destaque em função da necessidade universal deste recurso natural, notadamente para as atividades humanas (WEBER et al., 2010) e necessita que o desenvolvimento econômico harmonize-se com o meio ambiente, buscando a sustentabilidade. De acordo com Hespagnol & Gonçalves (2010), conservar a água pode ser definido como práticas, técnicas e tecnologias que propiciam a melhoria da eficiência do seu uso, atuando de maneira sistêmica na demanda e na oferta de água. Desse modo, as indústrias objetivam alcançar a sustentabilidade utilizando técnicas viáveis que minimizem os impactos ambientais causados.

As indústrias utilizam a água de diversas maneiras, como na incorporação ao produto, lavagem de máquinas, tubulações, água de sistemas de resfriamento, geradores de vapor, águas utilizadas diretamente nas etapas do processo industrial, gerando efluentes líquidos. Porto & Schoenhals (2013) afirma que as operações de limpeza, tingimento e acabamento da indústria têxtil consomem grandes quantidades de água, por isso, o tratamento e a recirculação destes despejos, como também a recuperação de produtos e subprodutos constituem os maiores desafios enfrentados pelo setor.

Durante o processamento de seus insumos a indústria têxtil desperdiça enormes volumes de água. Segundo Rezende et al. (2009), o processo das lavanderias industriais requer elevadas quantidades de água e apresenta altos índices de consumo de produtos químicos para as diversas operações de lavagem, branqueamento, tingimento e acabamento. Aproximadamente 100 m<sup>3</sup> de água são consumidos em média para cada tonelada de tecido processado, gerando 100 Kg de matéria orgânica em termos de Demanda Química de Oxigênio (DQO).

Do ponto de vista ambiental, a indústria têxtil é considerada uma atividade potencialmente poluidora e, como tal, esta sujeita às pressões do poder público, da comunidade e de clientes. Como resposta, a empresa precisa ter um posicionamento seguro com relação aos seus impactos ambientais. Ações como melhorias nos processos produtivos e redução dos desperdícios são cada vez mais valorizadas (BYTYN, 2008).

O setor industrial têxtil tem sofrido nos últimos anos uma série de transformações importantes, motivadas pela busca da qualidade e preço para os seus produtos em função de um mercado extremamente competitivo, mas ao mesmo tempo, de forma sustentável, adotando práticas como o uso racional/eficiente da água, tratamento adequado dos resíduos, efluentes e subprodutos do processo (FERREIRA et al. 2009).

Devido o aumento das exigências ambientais, Faria (2004) alega sobre a preocupação das indústrias em reduzir o consumo de água e fazer o seu reuso. As regulamentações ambientais ficaram mais restritivas com o passar dos anos, através da implementação de uma série de medidas como a cobrança pelo uso da água e pelo

descarte de efluentes, padrões de emissão no corpo receptor mais restritivos, bem como crescentes aumentos nos custos de tratamento e disposição final de resíduos e subprodutos do tratamento de efluentes. Tais fatores, segundo Peixoto (2011) fazem com que as tecnologias de produção mais limpa e reuso da água industrial cresçam como alternativas ambientalmente viáveis.

No Brasil, de acordo com Resende (2012), não há leis ou resoluções que determinem a prática de reuso na indústria, contudo, existe a obrigatoriedade de tratamento antes do descarte, prevista na Resolução 430/2011 do Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA), que estabelece os parâmetros de qualidade para lançamento do efluente em corpos receptores. No tratamento de águas residuais contaminadas por corantes, diversos estudos utilizam os processos oxidativos avançados (POAs), destacando-se o dióxido de titânio (TiO<sub>2</sub>) pela sua capacidade destrutiva, com a formação de radicais hidroxila (COLPINI, 2008; OLIVEIRA et al. 2010).

Nesse contexto, o presente trabalho foi realizado objetivando-se a degradação de corante utilizados nas indústrias têxteis através do uso da energia solar como alternativa de tratamento de efluente.

## MATERIAIS E MÉTODOS

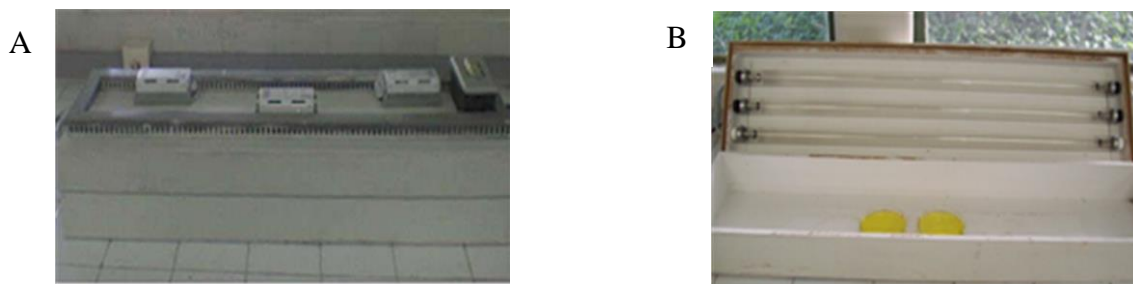
O experimento foi realizado no Laboratório de Engenharia Ambiental e de Qualidade (LEAQ) na Universidade Federal de Pernambuco (UFPE). Nesta pesquisa os testes fotocatalíticos foram realizados com o catalisador em pó (TiO<sub>2</sub> - P25, fornecido pela Degussa), disperso na solução contendo o corante têxtil ou sem catalisador nos testes de fotólise.

Inicialmente foi utilizada uma solução, contendo apenas o corante têxtil Remazol Amarelo Ouro RNL (RGY) fornecidos pela Dystar.

Todas as análises foram realizadas em batelada, a temperatura ambiente, utilizando água deionizada em todas as amostras. Para cada amostra foi utilizado 50 ml da solução para os testes com o catalisador em dispersão. O sistema foi operado em condição estacionária, ou seja, o sistema sem fluxo e nem agitação mecânica.

O ajuste do pH foi realizado utilizando soluções de NaOH a 0,1 mol.L<sup>-1</sup> e H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> a 0,5 mol.L<sup>-1</sup>. Para o pH 6, as amostras não sofreram ajuste de pH, visto que as mesmas se encontraram nesta faixa, ou seja pH natural da solução. Dois tipos de radiação foram testados, a artificial e a natural. Para a artificial utilizou a radiação UV-C com  $\lambda_{\text{máx}} = 253 \text{ nm}$  utilizando três lâmpadas Philips 30W instaladas em um reator de 744 cm<sup>2</sup> (Figura 1).

Para a radiação natural, as amostras foram expostas a luz solar direta, no período compreendido entre 8h da manhã a 16h da tarde, apenas em dias ensolarados (Figura 2). Nesta situação, as amostras foram protegidas com um filme fino de PVC.



**Figura 1.** Reator de radiação UV-C: A) reator fechado e B) reator aberto com duas placas de petri com amostras



**Figura 2.** Exposição do corante Remazol Amarelo RNL 150% à radiação solar

Para avaliar a descoloração e a degradação das amostras, a Espectroscopia UV-visível (Espectrômetro Aquamater, Merck) foi a principal técnica analítica empregada. Para avaliar a descoloração das soluções foram observados o decaimento das absorvâncias medidas num comprimento de onda de 415 nm, 518 nm e 597 nm para RGY, utilizando-se cubetas de quartzo de 1 cm de caminho ótico.

A absorvância das amostras foi medida imediatamente depois de transcorrido o tempo de reação. A partir da absorvância medida foi possível determinar a concentração dos corantes após o tratamento fotocatalítico, e assim, obter a percentagem de descoloração do corante. Também foi realizada uma análise da absorvância em toda a região UV-Vis versus varredura entre 190 a 600 nm. Além dos sinais referentes à absorção dos grupos cromóforos dos corantes, também foi analisado o sinal centrado em 240 nm está relacionado à absorção do anel aromático, conforme Silverstein et al. (1991) e Feng et al. (2000), e foi utilizado como um dos parâmetros para investigar a degradação.

Para avaliar o nível de mineralização das amostras também foram realizadas análises de Carbono Orgânico Total (COT) medidas através do analisador da Shimadzu (analisador da Shimadzu VWS) e Demanda Química de Oxigênio (DQO) pelo método titulométrico com refluxo fechado (APHA, 2005). Para estas análises, as amostras com ou sem tratamento fotocatalítico foram centrifugadas, filtradas e transferidas para recipientes âmbar e fechado, devidamente limpos e rotulados, mantidos em geladeira (10°C) no prazo máximo de 15 dias.

## RESULTADOS E DISCUSSÃO

No tratamento da solução do corante têxtil RGY 150% (100 mg.L<sup>-1</sup>) foi avaliado o pH, o tipo de radiação e a concentração do catalisador. O tempo de exposição das amostras a radiação foi fixado em 7 h. A eficiência na descoloração do corante do corante RGY 150% medida através da leitura de absorvância em 415 nm. Na Tabela 1 verificam-se os parâmetros avaliados na fotocatalise.

**Tabela 1.** Descoloração do RGY 150% utilizando a energia solar e artificial

Experimento	pH	TiO <sub>2</sub> (g.L <sup>-1</sup> )	Radiação	(%) Descoloração	
1	5	0,5	UV-C	99	99
2	5	0,84	Solar	99	99
3	6	0,67	Solar	100	100
4	6	0,67	UV-C	100	96
5	7	0,5	Solar	98	97
6	7	0,84	UV-C	96	97

Conforme a Tabela 1 em todas as análises realizadas obteve-se um elevado índice de remoção da cor do corante, superior a 97%, com alta eficiência do processo nos dois métodos utilizados, porém torna-se economicamente viável a utilização da energia solar, principalmente no nordeste brasileiro onde grande parte do ano ocorre grande incidência solar na região. Índices de descoloração próximos a 100% foram obtidos o que abre uma excelente perspectiva, sobretudo para fins de utilização em escala industrial. O uso de energia solar certamente significa uma economia considerável, além de ser uma medida sustentável.

Na literatura alguns trabalhos realizados referenciam forte influência da concentração do catalisador na eficiência fotocatalítica para a degradação de diversos corantes (TARIQ et al., 2008; PAPADAM et al., 2007;). Os autores relatam que há uma concentração ótima em que a eficiência do catalisador é maximizada. Para concentrações maiores que a ótima, o excesso de partículas em dispersão age como uma barreira física, impedindo a penetração da luz na solução. Estudos posteriores foram incluídos para melhor analisar a influência deste fator.

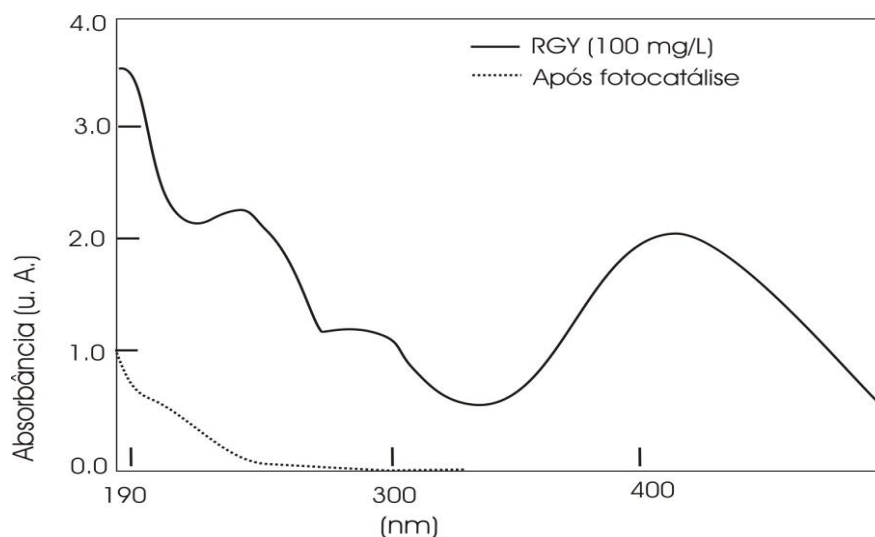
Com relação ao pH, sabe-se que este parâmetro apresenta significativa importância na fotocatalise (SAHEL et al., 2010; SAQUIB et al., 2008; PAPADAM et al., 2007), visto a influência na distribuição de cargas da superfície do semiconductor, afetando a transferência

interfacial dos elétrons e, portanto o processo oxidativo (Lu et al., 2008). Nesta pesquisa nota-se que houve uma variação de 5 a 7 (Tabela 1). Tariq et al. (2008), Caliman et al. (2007), Saien & Soleymani (2007) também realizaram estudos da degradação dos corantes aniônicos (Ácido Azul 45, Alcian Blue 8 GX e Direct Blue 71) mediada por  $\text{TiO}_2$  e obtiveram melhor eficiência com pH próximo a 6.

Mahmoodi et al. (2006) também observaram melhor eficiência fotocatalítica com  $\text{TiO}_2$  para o mesmo corante (RGY) em pH natural (6), e mesma prática foi adotada por Saien & Soleymani (2007), quando estudaram fotodegradação de outro azo corante, o “Direct Blue 71”, resultando numa total descoloração.

Apenas a descoloração não garante a degradação total do corante, uma vez que se trata de uma molécula de elevado peso molecular e possui estruturas difíceis de serem completamente atacadas pelos radicais oxidantes. A oxidação parcial dos corantes pode gerar subprodutos mais tóxicos que os próprios corantes, como as aminas aromáticas (SLEIMAN et al., 2007; KHATAEE et al., 2009).

Assim, para confirmar a degradação do corante têxtil RGY, as amostras antes e após o tratamento fotocatalítico, utilizando as condições descritas no experimento 3 e 4 (Tabela 1: pH 6, 7 h sob radiação solar e  $0,67 \text{ g.L}^{-1}$  de  $\text{TiO}_2$ ), foram analisadas por Espectrometria UV-Vis (Figura 3).



**Figura 3.** Espectro de absorvância do corante têxtil RGY antes e após tratamento fotocatalítico (pH 6, 7 h sob radiação solar e  $0,67 \text{ g.L}^{-1}$  de  $\text{TiO}_2$ ).

Na Figura 3, constata-se que o corante RGY apresenta duas bandas intensas de absorção, uma localizada na região do ultravioleta (240 nm) e outra na região do visível (415 nm). A avaliação da descoloração do corante, realizada anteriormente, indicou a diminuição da absorvância máxima na região do visível (415 nm). Entretanto, o sinal da absorvância na região ultravioleta está relacionado com as ligações do anel aromático (SAIEN & SOLEYMANI, 2007) e como conseqüência da redução ou desaparecimento deste sinal (cerca de 90% na redução do sinal centrado em 240 nm) infere-se que os anéis aromáticos foram fragmentados, originando

compostos mais fáceis de degradar ou até mesmo sua total mineralização.

De acordo com Mahmoodi et al. (2006) quando detectaram a presença de ácidos fórmico, oxálico e acético como subprodutos intermediários na degradação fotocatalítica do RGY, e sua completa mineralização após 4 h de radiação UV-C com  $\text{TiO}_2$  e adição de  $300 \text{ mg.L}^{-1}$  de peróxido de hidrogênio.

Em seguida, para avaliar com mais detalhes o processo de degradação do corante, foram realizadas medidas de COT e de DQO para as amostras submetidas nas mesmas condições do experimento anterior. A medida

de COT fornece a quantidade de carbono orgânico resultante na amostra, e DQO revela a quantidade de material orgânico e inorgânico quimicamente oxidável que a amostra possui. A redução destes parâmetros confirma a degradação e o nível de mineralização do composto.

Para estas análises foram observados resultados promissores, os valores antes e após o tratamento fotocatalítico, utilizando as condições descritas no experimento 3 e 4 (Tabela 1: pH 6, 7 h sob radiação solar e 0,67 g.L<sup>-1</sup> de TiO<sub>2</sub>), estão expostos na Tabela 2.

**Tabela 2.** Resultados de COT e DQO para a solução do corante RGY antes e após o tratamento fotocatalítico utilizando o TiO<sub>2</sub> em dispersão.

Amostras	COT (mg.L <sup>-1</sup> )	DQO (mg O <sub>2</sub> .L <sup>-1</sup> )
RGY (100 mg.L <sup>-1</sup> )	28,3	64,3
RGY após fotocatalise	3,1	30,7

Com uma significativa redução da carga orgânica (Tabela 2), atingindo quase 90% de redução nos valores de COT. E também uma considerável redução no teor de DQO (52%), levando a acreditar que o maior percentual de DQO residual está relacionado ao material inorgânico. Estes resultados confirmam que a fotocatalise, nas condições estudadas, foi eficiente não apenas para a descoloração do RGY, como também na sua degradação.

Estes dados são superiores quando comparado a alguns relatados na literatura (Tabela 3). Porém, é

interessante notar que outros trabalhos apresentam bons resultados com o emprego do TiO<sub>2</sub> em pó com menor tempo de radiação e ainda que, inferior concentração da solução do corante. Como por exemplo, aos observados por Colpini et al. (2008), Papadam et al. (2007) e Saien & Soleymani (2007), conforme descrito na Tabela 3. Observa-se que estes trabalhos empregaram menor teor de catalisador com significativa redução do tempo de reação, fatores importantes para a aplicação em larga escala, pois há redução dos custos.

**Tabela 3.** Comparação dos resultados obtidos com alguns resultados relatados na literatura para a degradação de corantes, quanto a remoção de DQO e COT, através da fotocatalise com as respectivas condições experimentais utilizadas.

Corante (mg.L <sup>-1</sup> )	Catalisador (g. L <sup>-1</sup> de TiO <sub>2</sub> )	Condições experimentais	DQO (%)	COT (%)	Referência
RGY (100)	0,67	7 h de radiação solar e pH 6	50	90	Presente trabalho
Remazol Azul Brillante (100)	-	6 h de radiação solar e 30 % de peróxido de hidrogênio	55	50	Costa et al. (2004)
Alaranjado Reativo 122 (10)	0,4	1 h de radiação UV com lâmpadas de halogênios e pH 6	-	20	Colpini et al. (2008)
Alaranjado I (50)	0,5	2 h de radiação UV-A e pH 6,5	100	-	Papadam et al. (2007)
Azul Direto 71 (50)	0,04	2 h de radiação UV-C e pH natural da solução (~6)	50	-	Saien e Soleymani (2007)
Rodamina B (0,03)	2	7 h radiação UV-A e pH 4	90	33	Zhao (2000)

Visando reduzir o tempo de exposição das amostras à radiação e a quantidade do catalisador na fotodegradação do RGY, foram avaliados valores inferiores aos anteriormente utilizado para estes parâmetros e o efeito da fotólise sobre as amostras. As

demais condições foram fixadas em pH 6 e radiação UV-C. Os experimentos foram realizados sem réplicas, totalizando em 8 amostras, utilizando 50 mL da solução do corante RGY com concentração de 100 mg.L<sup>-1</sup>. Os resultados obtidos estão expostos na Tabela 4.

**Tabela 4.** Percentual de descoloração em função do tempo de irradiação e do teor de TiO<sub>2</sub> na descoloração do RGY.

TiO <sub>2</sub> (g.L <sup>-1</sup> )	% descoloração	
	3 h	5 h
0,0	2	4
0,3	93	100
0,4	91	97
0,8	84	96



Quanto maior o tempo de irradiação, maior é a eficiência de descoloração do corante (Tabela 4), independentemente da concentração do catalisador. Esta observação está em conformidade com os estudos realizados por outros autores (SAQUIB, 2008; SOHRABI & GHAVAMI, 2008), em que maior exposição à irradiação resulta em um aumento da eficiência fotocatalítica. Isto ocorre em função da cinética do processo, visto que há diversas etapas envolvidas: migração das espécies ao catalisador, adsorção e dessorção, ativação do catalisador pela radiação, dentre outros (MURUGANANDHAM & SWAMINATHAN, 2006).

Os melhores resultados foram obtidos com 5 h de exposição das amostras à irradiação, quando se observou total descoloração do RGY (mesmo utilizando a menor concentração de catalisador, 0,3 g.L<sup>-1</sup> de TiO<sub>2</sub>). Este resultado é comparável ao resultado anterior no qual também foi atingido total descoloração, entretanto com o uso do dobro da concentração do catalisador (0,67 g.L<sup>-1</sup> de TiO<sub>2</sub>).

Analisando a concentração de dióxido de titânio, observa-se que a menor quantidade de catalisador (0,3 g.L<sup>-1</sup> de TiO<sub>2</sub>) apresentou melhor desempenho em comparação com as demais. Houve uma redução da diferença da eficiência de 20 a 5% com relação à maior concentração (0,8 g.L<sup>-1</sup> de TiO<sub>2</sub>), quando o tempo de exposição passou de 3 para 5 h. Este resultado pode indicar que o aumento da concentração de catalisador prejudica a eficiência do processo por dificultar a penetração da radiação na solução, o que desfavorece a fotocatalise, como mencionado anteriormente (PAPADAM et al., 2007; SLEIMAN et al., 2007).

Quanto a fotólise (radiação sem catalisador), os resultados mostraram uma descoloração média de 3% ( $\pm 1,4$ ) para os experimentos com 3 e 5 h. Apesar da radiação UV-C ser muito energética, utilizada isoladamente não é capaz de descolorir o RGY com eficiência significativa.

Observou-se, também, que a exposição por 5 h com 0,3 g.L<sup>-1</sup> de TiO<sub>2</sub> resulta numa absorvância inferior a 0,06 (medida em 415 nm), o que enquadra esta amostra nos limites divulgados na literatura para lançamento de efluentes (CATANHO et al., 2006; ZANONI & CARNEIRO, 2001). Resultado similar, foi obtido por Catanho et al. (2006) e Cervantes et al. (2009) após o tratamento do mesmo corante utilizando a técnica fotoeletroquímica por 3 e 4,5 h, respectivamente.

## CONCLUSÃO

Obteve-se elevada eficiência na fotodegradação do corante têxtil RGY nas condições experimentais exploradas (radiação solar e sem adição de produtos químicos para o ajuste do pH, sem adsorção prévia e reação em estado estacionário).

Foi alcançado total descoloração do RGY e 95% de degradação após otimização.

A utilização de radiação solar no tratamento de efluentes têxteis é uma tecnologia sustentável e viável para as indústrias podendo ser usada em larga escala.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- BYTYN, W.. REÚSO em uma indústria textil. Revista HYDRO, São Paulo, ano 3, n. 25. p.7-10, nov. 2008.
- CALIMAN, A. F.; COJOCARU, C.; ANTONIADIS, A.; POULIOS, I. Optimized photocatalytic degradation of Alcian Blue 8 GX in the presence of TiO<sub>2</sub> suspensions. J. Hazard. Mater. v. 144, p. 265–273, 2007.
- CATANHO, M.; MALPASS, G. R. P.; MOTHEO, A. J. Avaliação dos tratamentos eletroquímico e fotoeletroquímico na degradação de corantes têxteis. Quím. Nova. v. 29, n. 5, p. 983-989, 2006.
- COLPINI, L.M.S.; Dyes and Pigments., 76, (2008) p. 525-529.
- FARIA, D.C., Reuso das Correntes de Efluentes Aquosos em Refinarias de Petróleo. Florianópolis, 2004. Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal de Santa Catarina.
- FENG, W.; NANSHENG, D.; HELIN, H. Degradation mechanism of azo dye C. I. Reactive Red 2 by iron powder reduction and photooxidation in aqueous solutions. Chemosphere. v. 41, n. 8, p. 1233-1238, 2000.
- FERREIRA, D. D. M.; SPANHOL, G. K.; KELLER, J. Gestão do processo têxtil : contribuições à sustentabilidade dos Recursos Hídricos. In: CONGRESSO NACIONAL DE EXCELÊNCIA EM GESTÃO: GESTÃO DO CONHECIMENTO PARA A SUSTENTABILIDADE, 5., 2009, Niterói, RJ. Anais... Niterói, RJ: [s.n.], 2009.
- HESPANHOL, I.; GONÇALVES, O. M. Manual de conservação e reúso de água para a indústria. Disponível em: <http://www.fiesp.com.br/publicacoes/pdf/ambiente/reuso.pdf>. Acesso em: 24/04/2010.
- KHATAEE, A.R. ; PONS, M.N. ; ZAHRAA, O. Photocatalytic degradation of three azo dyes using immobilized TiO<sub>2</sub> nanoparticles on glass plates activated by UV light irradiation: Influence of dye molecular structure. J. Hazard. Mater. v. 168, p. 451–457, 2009.
- MURUGANANDHAN, M.; SWAMINATHAN, M. Photocatalytic decolourisation and degradation of Reative Orange 4 by TiO<sub>2</sub>-UV process. Dyes Pigments. v. 68, p. 133-142, 2006. 252
- OLIVEIRA, A.; SAGGIORO, E. M.; BARBOSA, N.; MAZZEI, A.; FERREIRA, L. F.; MOREIRA, J.; Rev. Chim., 62 (2010) 00
- PAPADAM, T.; XEKOUKOULOTAKIS, N. P.; POULIOS, I.; MANTZAVINOS, D. Photocatalytic transformation of acid orange 20 and Cr(VI) in aqueous TiO<sub>2</sub> suspensions. J. Photochem. Photobiol., A. v. 186, p. 308–315, 2007.

- PEIXOTO, T. C. L. C.. Reuso de água: comparação entre os métodos dfa, programação linear e programação não linear. 2011. Dissertação (Mestrado em Ciência da Engenharia Química)-Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2011.
- PORTO, A. E. B. & SCHOENHAL, M. Tratamento de efluentes, reuso da água e legislação aplicada a lavanderia têxtil industrial. *Revista Engenharia Ambiental - Espírito Santo do Pinhal*, v. 10, n. 2, p. 068-080, mar. /abr. 2013.
- RESENDE, L. P.. Reuso na indústria têxtil e lavanderias. *Revista Hydro*, São Paulo, ano 6, n.66, p.14-19, abr. 2012. Disponível em: <<http://sindlav.com.br/wp-content/uploads/2012/05/H66-Especial.pdf>> Acesso em: 09 jan. 2014.
- REZENDE, D.; CARVALHO, K. Q.; KREUTZ, C.; ARANTES, E. J.; PASSIG, F. H. Avaliação do processo de tratamento de efluentes de uma lavanderia industrial de jeans. *Olam –Ciência e Tecnologia*. n.2, n.especial, set. 2009, p.253. Rio Claro-SP.
- SAIEN, J. & SOLEYMANI, A.R.. Degradation and mineralization of Direct Blue 71 in a circulating upflow reactor by UV/TiO<sub>2</sub> process and employing a new method in kinetic study. *J. Hazard. Mater.* v.144, p. 506–512, 2007.
- SAQUIB, M.; ABU M.; TARIQ; M. FAISAL; M. Muneer Photocatalytic degradation of two selected dye derivatives in aqueous suspensions of titanium dioxide. *Desalination*. v. 219, p. 301–311, 2008.
- SILVERSTEIN, R. M.; BASDLER, G. C.; MORRILL, T. C.; *Spectrophotometric Identification of Organic Compounds*. 5. ed. New York: John Wiley & Sons, 1991.
- SLEIMAN, M.; VILDOZO, D.; FERONATO, C.; CHOVELON, J.-M. Photocatalytic degradation of azo dye Metanil Yellow: Optimization and kinetic modeling using a chemometric approach. *Appl. Catal., B*. v.77, p. 1-11, 2007.
- SOHRABI, M.R.& GHAVAMI, M. Photocatalytic degradation of Direct Red 23 dye using UV/TiO<sub>2</sub>: Effect of operational parameters. *J. Hazard. Mater.* v. 153, p.1235–1239, 2008.
- TARIQ, M. A.; M. FAISAL, M. SAQUIB, M. MUNEEER. Heterogeneous photocatalytic degradation of an anthraquinone and a triphenylmethane dye derivative in aqueous suspensions of semiconductor. *Dyes Pigments*. v. 76, p. 358-365, 2008.
- WEBER, C. C.; CYBIS, L. F.; BEAL, L. L. Conservação da água aplicada a uma indústria de papelão ondulado. *Eng. Sanitária e Ambiental*, v.15, n.3, jul/set, p. 291-300, 2010.
- ZANONI, M. V. B.; CARNEIRO, P. A. O descarte dos corantes têxteis. *Ciência Hoje*, p.1-11, 2001.