

## II-314 - DEGRADAÇÃO/REMOÇÃO DE CORANTE TÊXTIL EM MEIO AQUOSO ATRAVÉS DA ASSOCIAÇÃO DE PROCESSOS $\text{TiO}_2$ /UV E ADSORÇÃO EM CARVÃO ATIVADO

**Bárbara Karoline Soares Fernandes Dantas<sup>(1)</sup>**

Graduanda em Engenharia Ambiental e Sanitária pela Universidade Federal de Alagoas (UFAL).

**Aline Neves da Silva<sup>(2)</sup>**

Engenheira Ambiental e Sanitarista pela Universidade Federal de Alagoas (UFAL).

**Andréa Daniella Sampaio de Almeida<sup>(3)</sup>**

Mestranda em Recursos Hídricos e Saneamento pela Universidade Federal de Alagoas (UFAL)

**Christiano Cantarelli Rodrigues<sup>(4)</sup>**

Professor do Centro de Tecnologia da Universidade Federal de Alagoas (UFAL).

**Selêude Wanderley da Nóbrega<sup>(5)</sup>**

Professora do Centro de Tecnologia da Universidade Federal de Alagoas (UFAL).

**Endereço<sup>(5)</sup>:** Av. Lourival Melo Mota, s/n, Tabuleiro dos Martins – Maceió – AL, CEP: 57072-900 – Brasil - Tel: +55 (82) 3214-1306 - e-mail: swn@ctec.ufal.br

### RESUMO

A degradação/remoção de um azocorante têxtil (Remazol Vermelho 3BS), em meio aquoso, pelos processos  $\text{TiO}_2$ /UV e adsorção em carvão ativado foi investigada. Inicialmente os processos foram estudados isoladamente e em seguida a combinação dos mesmos foi avaliada. Os resultados da adsorção do corante pelo  $\text{TiO}_2$ , na ausência de luz, e pelo carvão ativado mostraram que o processo de adsorção, em ambos os casos, é favorecido em pH ácido, atingindo-se remoções de matéria orgânica, em termos de carbono orgânico total (COT), da ordem de 75% ( $\text{TiO}_2$ ) e 65% (carvão ativado) para um tempo de contato de 2 h em pH 2. O processo  $\text{TiO}_2$ /UV apresentou uma cinética de mineralização lenta e dependente do pH do meio, cuja remoção máxima de COT foi da ordem de 60%, após duas horas de reação. A associação da adsorção em carvão ativado com o processo  $\text{TiO}_2$ /UV, seja como pós-tratamento ou co-tratamento, elevou consideravelmente a remoção de COT do meio, atingindo-se valores superiores a 80%.

**PALAVRAS-CHAVE:**  $\text{TiO}_2$ /UV, Carvão Ativado, Corante Têxtil, Adsorção.

### INTRODUÇÃO

O setor têxtil tem apresentado destaque dentre as indústrias devido à capacidade de gerar grandes volumes de efluentes, os quais, quando não devidamente tratados geram sérios problemas de poluição ambiental. Vários são os estudos destinados a avaliar os mais diferentes processos de remoção e/ou degradação dos corantes contidos nestes efluentes. Dentre esses estudos, os processos oxidativos avançados (POAs) e a adsorção em carvão ativado têm tido especial destaque por apresentarem taxas de degradação/remoção bastante significativas, conforme observado nos estudos apresentados na literatura (Cisneiros et al., 2002; Bali et al., 2004; Önal, 2006; Mozia et al., 2007; Aksakal e Uzun, 2010; Juang et al., 2010; Bansal et al., 2010; Vieira et al., 2011).

Entre os diferentes POAs a oxidação química, usando radiação ultravioleta na presença de dióxido de titânio, parece ser a mais promissora (Gupta et al., 2012) e tem sido amplamente estudada no tratamento de efluentes têxteis. O princípio da fotocatalise heterogênea envolve a ativação de um semicondutor (geralmente  $\text{TiO}_2$ ) por luz solar ou artificial. Um semicondutor é caracterizado por possuir bandas de valência e bandas de condução, sendo a região entre elas chamada de *bandgap*. Quando um semicondutor é irradiado com radiação ultravioleta, a uma energia maior que sua energia de *bandgap*, são gerados elétrons ( $e\text{CB}^-$ ) na banda de condução e lacunas ( $h\nu\text{B}^+$ ) na banda de valência. Os elétrons fotogerados podem reagir tanto com o corante quanto com elétrons aceptores, por exemplo, moléculas de oxigênio adsorvidas na superfície do semicondutor ou dissolvidas na água, gerando um superóxido  $\text{O}_2^-$ . As lacunas fotogeradas podem oxidar a molécula orgânica formando  $\text{R}^+$ , ou reagir com  $\text{OH}^-$  ou  $\text{H}_2\text{O}$  oxidando estas espécies a  $\text{OH}^\cdot$ , um agente oxidante muito forte capaz de oxidar a maioria dos corantes (Cervantes et al., 2009).

No entanto, apesar de os estudos demonstrarem uma completa descoloração dos efluentes têxteis pelo uso dos POAs, a mineralização total dos corantes frequentemente não ocorre, havendo a geração de produtos intermediários, muitas vezes com toxicidade superior ao seu precursor. Nestes casos, é necessário e recomendável o uso de um pós-tratamento. A adsorção, processo bastante estudado e usado como técnica de tratamento de efluentes em geral, pode ser usada com essa finalidade. Neste caso, os produtos intermediários podem ser mais favoravelmente adsorvidos que os compostos originais, dada à menor complexidade das suas estruturas, facilitando a retenção destas nos poros do adsorvente. Na adsorção a escolha do adsorvente é determinante para se alcançar alta eficiência no processo. Dentre os vários tipos de sólidos adsorventes, o carvão ativado é o mais versátil e, tem sido usado no tratamento de efluentes em geral, tais como aqueles oriundos do setor têxtil, conforme mostram vários trabalhos publicados na literatura (Mezohegyi et al., 2012; Wang, 2012; Thinakaran et al., 2008; Kavitha e Namasivayam, 2008; Órfão et al., 2006).

Neste sentido, este estudo avaliou o uso isolado e associado do processo fotocatalítico UV/TiO<sub>2</sub> e da adsorção em carvão ativado na degradação/remoção de corante têxtil em meio aquoso, objetivando identificar a combinação que maximiza esta degradação/remoção.

## MATERIAIS E MÉTODOS

O meio aquoso contendo o corante têxtil foi produzido pela dissolução do azocorante Remazol Vermelho 3BS, em água destilada, na concentração de 100 mg/L. O pH desse meio era ajustado, quando necessário, através da adição de soluções concentradas de NaOH ou HCl.

O sistema experimental usado nos testes fotoassistidos está esquematizado na Figura 1. Esse sistema é constituído por um reator de vidro encamisado e acoplado a um banho termostático cuja finalidade é manter a temperatura controlada em, aproximadamente, 25 °C. A fonte de radiação UV é uma lâmpada de alta pressão de mercúrio (250 W, HPN-L Philips), sem o seu bulbo exterior. Todos os ensaios foram realizados em batelada e em todos os casos a agitação e aeração do meio reacional foram asseguradas por um agitador magnético e uma bomba de ar, respectivamente.

### TiO<sub>2</sub>/UV

Nos ensaios fotocatalíticos (UV/TiO<sub>2</sub>), o dióxido de titânio comercial (Aeroxide® TiO<sub>2</sub> P25 – Evonik) foi usado em suspensão no efluente, em concentrações variadas (0,5, 1,0 e 1,5 g/L). As principais características do TiO<sub>2</sub> usado estão apresentadas na Tabela 1. Cada ensaio tinha duração de 2 h, sendo a avaliação da cinética e o desempenho de cada teste medido através da determinação da concentração do carbono orgânico total (COT) remanescente no meio reacional, ao longo de 2 horas, em intervalos de tempo pré-determinados. Todas as amostras retiradas do meio para análise de COT eram imediatamente filtradas em filtro tipo seringa com meio filtrante em celulose regenerada e diâmetro de poro de 0,45 µm. As determinações do COT foram feitas em um analisador de carbono total (Modelo TOC – V<sub>CSN</sub> da Shimadzu).

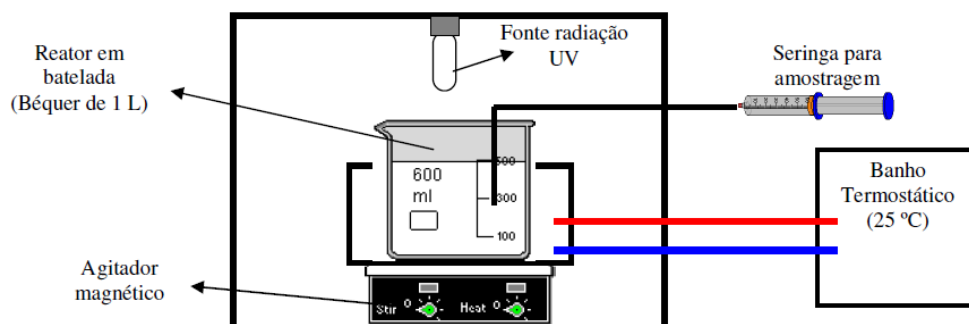


Figura 1: Desenho esquemático do sistema experimental

**Tabela 1: Características do dióxido de titânio (adaptado de Giammar et al., 2007).**

Fases cristalinas (% mássico)	A <sub>BET</sub> (m <sup>2</sup> /g)	d <sub>p</sub> (médio) (nm)	pH <sub>PZC</sub>
<b>80% anatásio 20% rutilo</b>	<b>48,3</b>	<b>21</b>	<b>6,5</b>

## Adsorção

Os ensaios de adsorção em dióxido de titânio e em carvão ativado se deram no mesmo sistema experimental dos testes fotocatalíticos (Figura 1) com a fonte de radiação UV e a alimentação de ar desligadas. Nestes ensaios uma massa do adsorvente (TiO<sub>2</sub> ou carvão ativado) era adicionada ao meio aquoso contendo o corante e mantido sob agitação e temperatura constante ( $\approx 25^{\circ}\text{C}$ ) por um período de duas horas.

A adsorção em carvão ativado também foi utilizada como pós e co-tratamento do POA. Nos ensaios onde a adsorção foi empregada como pós-tratamento (UV/TiO<sub>2</sub> + Adsorção), após o período de duas horas de tratamento pelo processo UV/TiO<sub>2</sub>, era adicionado ao meio uma massa de carvão correspondente a uma concentração de 0,5 g/L. Essa etapa durava duas horas e ocorria na ausência de luz e sem aeração do meio. Já os ensaios onde a adsorção era usada como co-tratamento (UV/TiO<sub>2</sub>/Adsorção) o carvão era adicionado juntamente com o dióxido de titânio e, neste caso, a fonte de radiação e a aeração do meio eram mantidas ligadas ao longo das duas horas de reação. Nestes ensaios foram usadas duas amostras distintas de carvão ativado (Q-Zn e Q-P), obtidas do endocarpo do coco-da-baía e ativadas quimicamente por cloreto de zinco (Q-Zn) e ácido fosfórico (Q-P). As principais características desses carvões estão apresentadas na Tabela 2.

A metodologia usada para avaliar o desempenho dos testes de adsorção, medido através do COT remanescente no meio aquoso, foi semelhante à citada anteriormente.

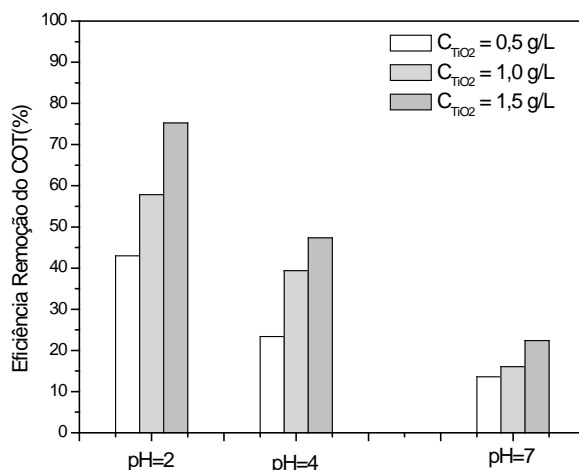
**Tabela 2: Características das amostras de carvão ativado (adaptado de Rodrigues et al., 2010).**

Carvão	A <sub>BET</sub> <sup>a</sup> (m <sup>2</sup> /g)	Volume Total de Poro <sup>b</sup> (cm <sup>3</sup> /g)	Volume de Microporo <sup>c</sup> (cm <sup>3</sup> /g)	Microporosidade (%)	pH <sub>PZC</sub>
Q-Zn	<b>1605</b>	<b>0,98</b>	<b>0,55</b>	<b>56</b>	<b>6,4</b>
Q-P	<b>1529</b>	<b>0,92</b>	<b>0,52</b>	<b>56</b>	<b>3,2</b>

<sup>a</sup>método de BET; <sup>b</sup>quantidade de N<sub>2</sub> adsorvida em p/p<sub>0</sub> = 0,95; <sup>c</sup>método de Dubinin-Radushkevich,

## RESULTADOS

O desempenho do TiO<sub>2</sub> e das amostras de carvão ativado como adsorventes, na remoção de COT do meio aquoso, foi avaliado através de ensaios na ausência de luz. Nestes ensaios o pH inicial do meio e a concentração dos adsorventes foram variados. As Figuras 2 e 3 apresentam os resultados destes ensaios, os quais tiveram uma duração de 2 horas.

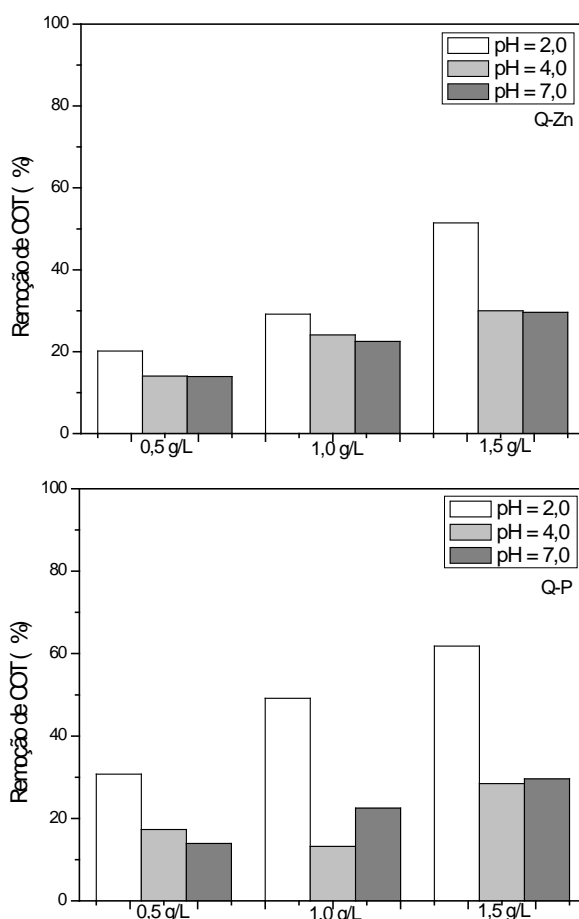


**Figura 2: Remoção de COT por adsorção em  $TiO_2$ :  $C_0 = 100 \text{ mg/L}$  e  $t = 2 \text{ h}$ .**

Observando os resultados apresentados na Figura 2 é possível constatar que a remoção de COT foi mais acentuada quanto mais ácido era o pH inicial do meio aquoso. A melhor performance da adsorção em pH ácido está relacionada principalmente à carga da superfície do  $TiO_2$ , uma vez que alterações no pH do meio modificam sua carga superficial. Em pH inferior ao seu ponto de carga zero ( $pH_{pzc}$ ), o catalisador estará com predominância de cargas positivas em sua superfície, favorecendo a adsorção, mediante interações eletrostáticas (Dallago et al., 2009), de espécies aniônicas, tais como o corante em questão (Asouhidou et al., 2009). Comportamento semelhante ao observado na Figura 2 também é apresentado pelos resultados da adsorção em carvão ativado, conforme mostra a Figura 3. Neste caso, o pH inicial do meio igual a dois também foi o mais favorável para ambas as amostras de carvão. Mais uma vez isso se justifica pelo  $pH_{pzc}$  das amostras de carvão que torna a atração eletrostática mais favorável em meio ácido. Observa-se ainda na Figura 3 que o comportamento de ambas as amostras de carvão (Q-Zn e Q-P), cujas características texturais são semelhantes, somente apresentou diferenças significativas em pH mais ácido, indicando que as características químicas destes carvões são, neste caso, fatores importante na adsorção do Remazol Vermelho 3BS.

A influência da concentração dos adsorventes também pode ser observada nas Figuras 2 e 3. Nestas figuras é possível constatar que quanto maior a massa de adsorvente maior a eficiência de remoção do COT, para todas as situações testadas. Isto se deve ao fato da maior disponibilidade de área superficial para retenção do adsorvato, embora outros fatores também influenciem o processo, tais como a granulometria do adsorvente.

Uma análise comparativa entre os resultados das eficiências dos ensaios de adsorção em  $TiO_2$  e em carvão ativado revela que a adsorção em  $TiO_2$  foi muito mais significativa. De um modo geral, a adsorção de corantes é um processo muito lento devido a vários fatores intervenientes do processo, com destaque para as estruturas moleculares complexas e as altas massas moleculares destes, dificultando o acesso ao interior da estrutura porosa dos adsorventes. Provavelmente, o melhor desempenho do dióxido de titânio esteja relacionado ao fato das partículas do mesmo apresentar uma granulometria média ( $d_p \text{ (médio)} = 21 \text{ nm}$ ) bem inferior às dos carvões ativados em questão ( $d_p < 149 \text{ }\mu\text{m}$ ), permitindo uma saturação mais rápida e, portanto, atingindo remoção maior nos instantes iniciais do processo. Contudo é de se esperar que, dada a maior disponibilidade de área, quando da saturação do carvão, o que só ocorrerá em um tempo bem superior ao aplicado ( $t \gg 2 \text{ h}$ ), o desempenho do mesmo seja superior ao apresentado pelo dióxido de titânio.



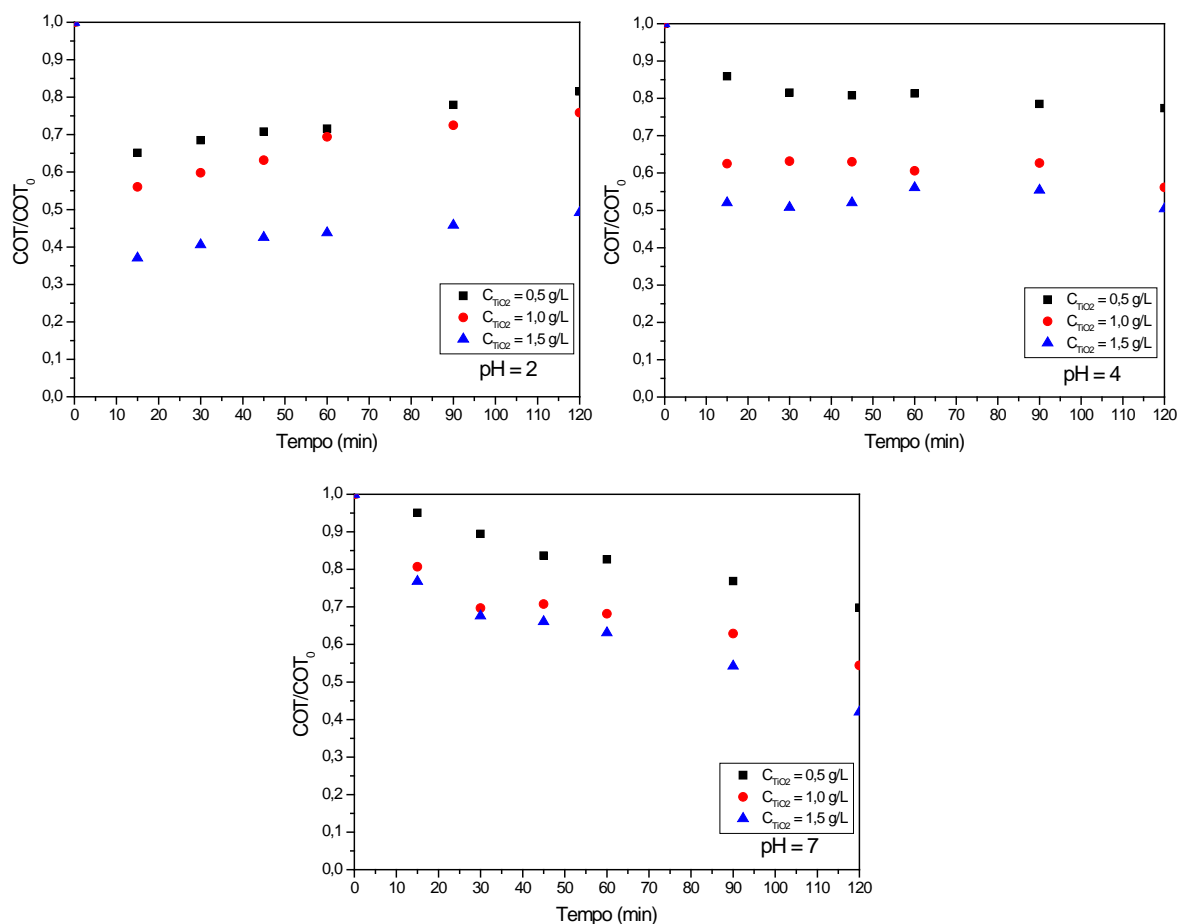
**Figura 3: Remoção de COT por adsorção em carvão ativado:  $C_0 = 100 \text{ mg/L}$ ,  $t = 2\text{h}$ .**

Os resultados da remoção de COT do meio aquoso pelo processo UV/TiO<sub>2</sub> estão apresentados na Figura 4. É possível observar nesta figura que um tempo de duas horas não foi suficiente para mineralizar toda a matéria orgânica presente no meio aquoso, em todas as condições testadas. O comportamento cinético do processo fotocatalítico em meio ácido demonstra que nos primeiros minutos ocorre um rápido decaimento do COT remanescente no meio aquoso, seguido de uma elevação do mesmo nos instantes seguintes, muito provavelmente devido à dessorção de intermediários orgânicos da degradação fotocatalítica do corante. Segundo Dallago et al. (2009), esse comportamento se deve ao fato do maior favorecimento da adsorção em meio ácido reduzir a taxa de degradação dada a menor disponibilidade de sítios ativos do TiO<sub>2</sub>, impedindo a ativação fotônica dos mesmos e, consequentemente, a degradação fotocatalítica.

O que também pode ter influenciado a cinética do processo em meio ácido (pH = 2) foi o fato da correção do pH do meio ter sido feita pela adição de uma solução concentrada de HCl. Isto porque os íons Cl<sup>-</sup> podem agir como sequestradores de HO• através da seguinte reação:

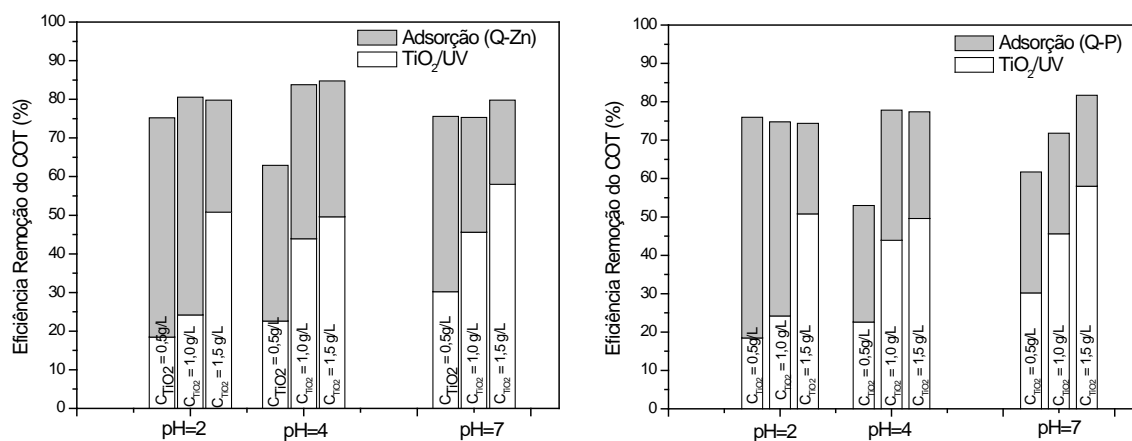


e, considerando que o radical Cl• é menos reativo que o radical hidroxila, o excesso de Cl<sup>-</sup> pode inibir a mineralização do corante (Clausen e Takashima, 2007).



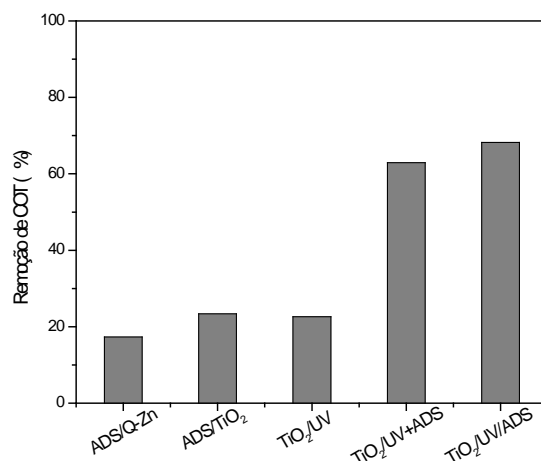
**Figura 4: Cinéticas de mineralização do corante obtidas nos ensaios UV/TiO<sub>2</sub>: C<sub>0</sub> = 100 mg/L e t = 2 h.**

Objetivando remover a fração orgânica remanescente do meio aquoso previamente tratado pelo processo fotocatalítico, a adsorção em carvão ativado foi associada ao processo TiO<sub>2</sub>/UV, sendo esta usada como um pós-tratamento ou co-tratamento. A Figura 5 mostra os resultados da remoção do COT após a associação do processo fotocatalítico e adsorção em carvão ativado como um pós-tratamento. Nesta figura é possível observar que a remoção da matéria orgânica (COT) remanescente do processo fotocatalítico foi significativamente aumentada pela adsorção em carvão ativado, especialmente em pH mais ácido. Isso se deve, provavelmente, ao fato dos subprodutos do processo UV/TiO<sub>2</sub> serem mais facilmente adsorvidos que o corante propriamente dito, haja vista que quando da aplicação apenas da adsorção em carvão ativado ao meio aquoso, originalmente contaminado pelo corante, a remoção de COT foi pouco significativa, conforme observado nos resultados apresentados na Figura 3.



**Figura 5: Tratamento fotocatalítico associado com a adsorção em carvão ativado:**  
 $C_0 = 100 \text{ mg/L}$  e  $C_{\text{carvão}} = 0,5 \text{ g/L}$ .

A Figura 6 exemplifica os resultados da eficiência de remoção de COT, obtidos para todos os processos estudados, em uma dada condição experimental. Nesta figura é possível observar que a adsorção, seja em carvão ativado ou em  $\text{TiO}_2$ , quando aplicada de forma isolada foi o processo que obteve o pior desempenho na remoção de COT do meio aquoso contaminado pelo corante. Entretanto, a associação da adsorção em carvão ativado com o processo fotocatalítico, seja como um pós-tratamento ( $\text{TiO}_2/\text{UV}+\text{ADS}$ ) ou um co-tratamento ( $\text{TiO}_2/\text{UV}/\text{ADS}$ ), elevou de forma considerável a remoção do COT, quando comparado com os demais processos. Estes resultados estão em concordância com aqueles apresentados por Dantas et al. (2012), cuja remoção da matéria orgânica aumentou significativamente com a associação do processo oxidativo avançado ( $\text{H}_2\text{O}_2/\text{UV}$ ) e a adsorção em carvão ativado.



**Figura 6: Remoção de COT por vários processos (pH = 4 e  $C_0 = 100 \text{ mg/L}$ )**  
 ADS:  $C_{\text{adsorvente}} = 0,5 \text{ g/L}$ ,  $t = 2 \text{ h}$ ;  $\text{TiO}_2/\text{UV}$ :  $C_{\text{TiO}_2} = 0,5 \text{ g/L}$ ,  $t = 2 \text{ h}$  (+ADS,  $t = 2 \text{ h}$ );  
 $\text{TiO}_2/\text{UV}/\text{ADS}$ :  $C_{\text{Q-Zn}} = 0,5 \text{ g/L}$ ,  $C_{\text{TiO}_2} = 0,5 \text{ g/L}$ ,  $t = 2 \text{ h}$ .

## CONCLUSÕES

Os resultados obtidos possibilitaram as seguintes conclusões:

- O pH do meio aquoso foi uma variável importante nos processos avaliados;
- Os ensaios de adsorção em  $\text{TiO}_2$  e em carvão ativado obtiveram remoção significativa de COT, com destaque para seu desempenho em pH ácido;



- De um modo geral os dados de remoção de COT indicaram que a aplicação do processo fotocatalítico mediado pelo  $\text{TiO}_2$  mostrou-se uma tecnologia bastante promissora na degradação de corante em meio aquoso, especialmente quando da sua associação com a adsorção em carvão ativado.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. AKSAKAL, O.; UCUN, H. Equilibrium, kinetic and thermodynamic studies of the biosorption of textile dye (Reactive Red 195) onto *Pinus sylvestris* L. Journal of Hazardous Materials, v.181, p.666-672, 2010.
2. ASOUHIDOU, D.D.; TRIANTAFYLIDIS, K.S.; LAZARIDIS, N.K.; MATIS, K.A. Adsorption of Remazol Red 3BS from aqueous solutions using APTES- and cyclodextrin-modified HMS-type mesoporous silicas. Colloids and Surfaces A: Physicochemical and Engineering Aspects, v.346, p.83-90, 2009.
3. BALI, U.; ÇATALKAYA, F.; ŞENGÜL, F. Photodegradation of reactive black 5, direct red 28 and direct yellow 12 using UV,  $\text{UV}/\text{H}_2\text{O}_2$  and  $\text{UV}/\text{H}_2\text{O}_2/\text{Fe}^{2+}$ : a comparative study. Journal of Hazardous Materials, B.114, p.159-166, 2004.
4. BANSAL, P.; SINGH, D.; SUD, D. Photocatalytic degradation of azo dye in aqueous  $\text{TiO}_2$  suspension: reaction pathway and identification of intermediates products by LC/MS. Separation and Purification Technology, v.72, p.357-365, 2010.
5. CERVANTES, T.N.M.; ZAIA, D.A.M.; SANTANA, H. Estudo da fotocatalise heterogênea sobre  $\text{Ti}/\text{TiO}_2$  na descoloração de corantes sintéticos. Química Nova, v.32, n.9, p.2423-2428, 2009.
6. CISNEIROS, R.L.; ESPINOZA, A.G.; LITTER, M.I. Photodegradation of an azo dye of the textile industry. Chemosphere, v.48, p.393-399, 2002.
7. CLAUSEN, D. N.; TAKASHIMA, K. Efeitos dos parâmetros operacionais na fotodegradação do azo corante direct red 23 na interface dióxido de titânio/água. Química Nova, v.30, n.8, p.1896-1899, 2007.
8. DALLAGO, R. M.; DOMENECH, F.; REOLON, J.; DI LUCCIO, M. Estudo da degradação fotocatalítica de dimetildissulfeto: avaliação estatística do efeito do pH, da temperatura e concentração do contaminante orgânico. Química Nova, v.32, n.2, p.343-347, 2009.
9. DANTAS, B.K.S.F.; CHAVES, M.; SOARES, J.D.M.; RODRIGUES, C.C.; NÓBREGA, S.W. Estudo da associação da oxidação com  $\text{UV}/\text{H}_2\text{O}_2$  e adsorção em carvão ativado no tratamento de efluente têxtil. In: Anais do XV Simpósio Luso-Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental - XV SILUBESA, Belo Horizonte-MG, 2012.
10. GIAMMAR, D.E.; MAUS, C.J.; XIE, L. Effects of particle size and crystalline phase on lead adsorption to titanium dioxide nanoparticles. Environmental Engineering Science, v.24, n.1, 2007.
11. GUPTA, V.K.; JAIN, R.; MITTAL, A.; SALEH, T.; NAYAK, A.; AGARWAL, S.; SIKARWAR, S. Photo-catalytic degradation of toxic dye amaranth on  $\text{TiO}_2/\text{UV}$  in aqueous suspensions. Materials Science and Engineering, C 32, p.12-17, 2012.
12. JUANG, R.S.; LIN, S.H.; HSUEH, P.Y. Removal of binary azo dyes from water by UV-irradiated degradation in  $\text{TiO}_2$  suspensions. Journal of Hazardous Materials. v.182, p.820-826, 2010.
13. KAVITHA, D.; NAMASIVAYAM, C. Capacity of activated carbon in the removal of acid brilliant blue: determination of equilibrium and kinetic model parameters. Chemical Engineering Journal, v.139, p.453-461, 2008.
14. MEZOHEGYI, G.; ZEE, F.P.; FONT, J.; FORTUNY, A.; FABREGAT, A. Towards advanced aqueous dye removal processes: a short review on the versatile role of activated carbon. Journal of Environmental Management, v.102, p.148-164, 2012.
15. MOZIA, S.; TOMASZEWSKA, M.; MORAWSKI, A.W. Photodegradation of azo dye acid red 18 in a quartz labyrinth flow reactor with immobilized  $\text{TiO}_2$  bed. Dyes and Pigments, v.75, p.60-66, 2007.
16. ÖNAL, Y. Kinetics of adsorption of dyes from aqueous solution using activated carbon prepared from waste apricot. Journal of Hazardous Materials, B137, p.1719-1728, 2006.
17. ÓRFÃO, J.J.M.; SILVA, A.I.M.; PEREIRA, J.C.V.; BARATA, S.A.; FONSECA, I.M.; FARIA, P.C.C. Adsorption of a reactive dye on chemically modified activated carbons - Influence of pH. Journal of Colloid and Interface Science, v.296, p.480-489, 2006.
18. RODRIGUES, C.C.; NÓBREGA, S.W.; FONSECA, I. Produção de carvão ativado a partir do endocarpo do coco e sua aplicação no tratamento de efluentes líquidos. In: Anais do X SILUBESA – Simpósio Ítalo-Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental, Maceió-AL, 2010.
19. THINAKARAN, N.; BASKARALINGAM, P.; PULIKESI, M.; PANNEERSELVAM, P.; SIVANESAN, S. Removal of Acid Violet 17 from aqueous solutions by adsorption onto activated carbon prepared from



- sunflower seed hull. *Journal of Hazardous Materials*, v.151, p.316-322, 2008.
20. VIEIRA, A.P.; SANTANA, S.A.A.; BEZERRA, C.W.B.; SILVA, H.A.S.; CHAVES, J.A.P.; MELO, J.C.P.; SILVA FILHO, E.C. Removal of textile dyes from aqueous solution by babassu coconut epicarp (*Orbignya speciosa*). *Chemical Engineering Journal*, v.173, p.334-340, 2011.
21. WANG, L. Application of activated carbon derived from 'waste' bamboo culms for the adsorption of azo disperse dye: kinetic, equilibrium and thermodynamic studies. *Journal of Environmental Management*, v.102, p.79-87, 2012.