



## **Descoloração do corante reativo azul 5 G na presença de óxidos mistos promovidos com ferro e prata**

**M. C. P. SOUZA, L. M. M. JORGE, O. A. ANDREO DOS SANTOS<sup>1</sup>**

<sup>1</sup>Departamento de Engenharia Química/ Centro de Tecnologia/ Universidade Estadual de Maringá (onelia@deq.uem.br)

### **Resumo**

O trabalho teve por objetivo avaliar o desempenho de catalisadores Fe/CeO<sub>2</sub>-TiO<sub>2</sub>-γAl<sub>2</sub>O<sub>3</sub> e Ag/CeO<sub>2</sub>-TiO<sub>2</sub>-γAl<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, CeO<sub>2</sub>-TiO<sub>2</sub>-γAl<sub>2</sub>O<sub>3</sub> e TiO<sub>2</sub> na descoloração do corante reativo azul 5G. Os catalisadores foram preparados pelo método de impregnação sucessiva com excesso de solvente e caracterizados por medidas de adsorção e dessorção de N<sub>2</sub> (determinação da área superficial específica ou área B.E.T, volume específico e diâmetro médio de poros), difração de raios X (DRX) e redução à temperatura programada (RTP). A descoloração do corante foi realizada numa unidade em batelada na presença de O<sub>2</sub> e luz ultravioleta (luz UV). Os resultados mostram que o Fe/CeO<sub>2</sub>-TiO<sub>2</sub>-γAl<sub>2</sub>O<sub>3</sub> descoloriu 100% de uma solução aquosa contendo o corante na concentração de 70 ppm em 15 minutos de reação enquanto o Ag/CeO<sub>2</sub>-TiO<sub>2</sub>-γAl<sub>2</sub>O<sub>3</sub> descoloriu 100% em 20 minutos.

Palavras-chave: Óxidos mistos. Corante reativo azul 5 G. Fotocatálise.

Área Temática: Tecnologias Ambientais.

### **1 Introdução**

Muitos estudos têm sido direcionados ao desenvolvimento de processos de tratamento de água da indústria têxtil, uma vez que os corantes e compostos orgânicos presentes em seus efluentes, mesmo quando não são tóxicos ou carcinogênicos, impedem a passagem de luz e a dissolução de oxigênio na água, ainda que em concentrações muito baixas, prejudicando assim a vida aquática e terrestre (OLIVEIRA et al, 2005). Tratamentos por Processos Oxidativos Avançados (POA's) utilizando luz UV (fotocatálise), ozônio e peróxido de hidrogênio têm sido estudados para remover alguns compostos orgânicos e inorgânicos presentes em efluentes industriais. Esses processos se baseiam na formação de radicais hidroxilas, OH·, que são agentes altamente reativos, e oxidam uma ampla faixa de poluentes rapidamente e não seletivamente, levando a completa mineralização para compostos menos tóxicos ou não tóxicos como água e CO<sub>2</sub> (CHO et al, 2006). A fotocatalise na presença de TiO<sub>2</sub> tem sido muito estudado na degradação de poluentes orgânicos e inorgânicos. Além disso, devido ao seu desempenho, baixo custo, não toxicidade, estabilidade e fácil avaliabilidade, o TiO<sub>2</sub> pode ser considerado um ótimo semicondutor (KONSTANTINOU e ALBANIS, 2004; FAISAL et al, 2007; LIU e SUN, 2007; KITANO et al, 2007). Estudos têm mostrado que a adição de metais de transição como Cr, Co, V e Fe, aumenta a resposta espectral do TiO<sub>2</sub> na região do visível e melhoram a foto reatividade (Hamal e Klabunde, 2007), e a adição de metais nobres como Au, Ag, e Pt melhoram o desempenho do catalisador (OLIVEIRA et al, 2005). Ainda, segundo Kitano et al (2007), a atividade fotocatalítica de vários óxidos metálicos como TiO<sub>2</sub>/SiO<sub>2</sub>, TiO<sub>2</sub>/Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, entre outros aumentam com a diminuição do tamanho das partículas, especialmente quando são menores que 100 Å. Desta forma, este trabalho teve como objetivo avaliar a descoloração do corante reativo azul 5G, presente em um efluente sintético na concentração inicial de 70 ppm, pelo processo de foto-



oxidação catalítica utilizando radiação ultravioleta (UV), fornecida por uma lâmpada de vapor de mercúrio de 125 Watts, na presença de catalisadores  $\text{Fe/CeO}_2\text{-TiO}_2\text{-Al}_2\text{O}_3$ ,  $\text{Ag/CeO}_2\text{-TiO}_2\text{-}\gamma\text{Al}_2\text{O}_3$ ,  $\text{CeO}_2\text{-TiO}_2\text{-}\gamma\text{Al}_2\text{O}_3$  e  $\text{TiO}_2$

## 2 Preparação dos catalisadores

Para preparar os catalisadores de  $\text{Fe/CeO}_2\text{-TiO}_2\text{-Al}_2\text{O}_3$  utilizou-se a seguinte metodologia: 5g de  $\gamma$ -alumina ( $\text{Al}_2\text{O}_3$  Aldrich 99,9% de pureza) foram calcinadas a 200°C por 2 horas. Após a calcinação, umedeceu-se com 5 mL de água desionizada à temperatura ambiente e adicionou-se 5g de óxido de titânio IV ( $\text{TiO}_2$  Aldrich pureza > 99%). A solução permaneceu sob agitação em rota-evaporador por 12 horas e, após a retirada do excesso de solvente, o material foi seco em estufa a 100°C por 12 horas e calcinado a 200°C por 2 horas. Na amostra calcinada adicionou-se 5 mL de água desionizada e 5g de Cério IV ( $\text{CeO}_2$  pureza 99,9%). A mistura resultante foi mantida sob agitação constante em rota-evaporador por 12 horas sendo após, seca em estufa a 100°C por 12 horas e calcinada a 200°C por 3 horas. Novamente, na amostra calcinada, adicionou-se 7 mL de água desionizada e em seguida adicionou-se 5 g de sulfato de ferro ( $\text{FeSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$  Synth). A mistura foi mantida sob agitação constante em rota-evaporador 12 horas e após, seca em estufa a 100°C. O precursor hidratado foi calcinado a 200°C e a 350°C por 3 horas. O catalisador  $\text{Ag/CeO}_2\text{-TiO}_2\text{-Al}_2\text{O}_3$  foi preparado de forma similar sendo que 5 g de nitrato de prata ( $\text{AgNO}_3$  Synth) foram adicionados na mistura contendo os óxidos de  $\text{Al}_2\text{O}_3$ ,  $\text{TiO}_2$  e  $\text{CeO}_2$ . As demais etapas foram as mesmas descritas anteriormente para o catalisador  $\text{Fe/CeO}_2\text{-TiO}_2\text{-Al}_2\text{O}_3$ .

## 3 Caracterização dos catalisadores

**Medidas de adsorção/dessorção de  $\text{N}_2$ :** as análises da área superficial específica (área B.E.T.), volume específico ( $V_p$ ) e diâmetro médio ( $d_p$ ) de poros foram realizadas em um equipamento da QUANTA CHROME modelo Nova-1200 tanto para as amostras calcinadas quanto para as amostras não calcinadas. Antes da análise propriamente dita, as amostras foram submetidas a um tratamento térmico à 150°C, sob vácuo, por 2 horas para eliminar a água adsorvida durante a manipulação das amostras e possíveis condensados existentes nos poros dos sólidos.

**Redução à temperatura programada (RTP):** nos ensaios cerca de 100 mg do catalisador previamente calcinado, foram introduzidos em um reator de quartzo em forma de U, alimentado com uma mistura redutora (1,75%  $\text{H}_2$ /98,25% Ar), a 30 mL/min. O aumento de temperatura foi programado para uma velocidade de aquecimento de 10°C/min, desde a temperatura ambiente até 1000°C. Ao longo da análise, foram registrados, simultaneamente, o consumo de  $\text{H}_2$ , por meio de medidas de condutividade térmica e a temperatura da amostra.

**Difração de raios X (DRX):** os difratogramas de raios X das amostras foram coletados em um difratômetro Rigaku-Denki com anodo rotatório, utilizando radiação  $\text{CuK}\alpha$ , ( $V=140\text{V}$ ,  $I=40\text{mA}$ ), os quais permitiram verificar a cristalinidade e espécies presentes na superfície do sólido analisado.

## 4 Ensaios fotocatalíticos

Antes dos ensaios fotocatalíticos propriamente ditos foram realizados ensaios de adsorção, na ausência de luz, com o objetivo de verificar a capacidade de adsorção do corante na superfície dos catalisadores, bem como ensaios de descoloração do corante na ausência do



catalisador e na presença de luz UV para verificar a ocorrência da fotólise. Todos os ensaios experimentais foram realizados em um reator batelada (vidro pyrex) em escala de bancada, com capacidade para 1000 cm<sup>3</sup>, equipado com uma camisa de água para manter a temperatura do meio constante. Para os ensaios com reação, inicialmente preparou-se uma solução aquosa padrão, efluente sintético, com concentração inicial de 70 ppm do corante azul reativo 5G. No reator foram adicionados 500 mL dessa solução juntamente com 1g de catalisador. A solução aquosa foi mantida sob agitação magnética constante, na presença de oxigênio numa vazão de aproximadamente 50 cm<sup>3</sup>/min e à temperatura ambiente. Os ensaios fotocatalíticos foram realizados na presença de irradiação ultravioleta fornecida por uma lâmpada de vapor de mercúrio de 125W. Para quantificar a variação da concentração do corante com o tempo de reação, amostras foram coletadas em intervalos regulares de tempo durante a reação, filtradas com filtros Milipore de 0,45 µm e em seguida, enviadas para as leituras da absorbância das mesmas no espectrofotômetro UV-VIS. O mesmo procedimento experimental foi adotado para os testes de adsorção e de fotólise.

## 5 Resultados e discussão

**Caracterização dos catalisadores:** os valores da área B.E.T., Vp e dp obtidos para os catalisadores Fe/CeO<sub>2</sub>-TiO<sub>2</sub>-γAl<sub>2</sub>O<sub>3</sub> e Ag/CeO<sub>2</sub>-TiO<sub>2</sub>-γAl<sub>2</sub>O<sub>3</sub> encontram-se nas Tabelas 1, 2 e 3, respectivamente. De acordo com os resultados apresentados na Tabela 1 a calcinação dos catalisadores não exerce influência significativa nos valores obtidos para a área B.E.T., com exceção do catalisador Ag/CeO<sub>2</sub>-TiO<sub>2</sub>-γAl<sub>2</sub>O<sub>3</sub> calcinado a 200°C para o qual a calcinação conduziu a um aumento no valor da área superficial específica (7m<sup>2</sup>/g). Para TiO<sub>2</sub> a calcinação a 200°C e a 350°C aumentou a área B.E.T.. Resultados similares foram obtidos para o Vp e para o dp. Os valores obtidos para o volume específico de poros e para o diâmetro médio de poros foi, em média, de aproximadamente 0,006 cm<sup>3</sup>/g e de 50Å, respectivamente, independente do tratamento térmico de calcinação.

Tabela 1 – Área superficial específica dos catalisadores

Área superficial específica (área B.E.T.) (m <sup>2</sup> /g)			
Catalisador	Não calcinado <sup>a</sup>	Cal. 200°C	Cal. 350°C
Fe/CeO <sub>2</sub> -TiO <sub>2</sub> -γAl <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	5	5	5
Ag/CeO <sub>2</sub> -TiO <sub>2</sub> -γAl <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	5	7	4
CeO <sub>2</sub> -TiO <sub>2</sub> -γAl <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	8	6	6
TiO <sub>2</sub>	5	11	12

Tabela 2 – Volume específico de poros dos catalisadores

Volume específico de poros dos catalisadores (cm <sup>3</sup> /g)x10 <sup>3</sup>			
Catalisador	Não calcinado <sup>a</sup>	Cal. 200°C	Cal. 350°C
Fe/CeO <sub>2</sub> -TiO <sub>2</sub> -γAl <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	6,5	6,2	6,1
Ag/CeO <sub>2</sub> -TiO <sub>2</sub> -γAl <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	6,3	10,6	4,8
CeO <sub>2</sub> -TiO <sub>2</sub> -γAl <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	10	7,3	7,3
TiO <sub>2</sub>	3,5	13,5	14,5

Tabela 3 – Diâmetro médio de poros dos catalisadores

Diâmetro médio de poros (Å)			
Catalisador	Não calcinado <sup>a</sup>	Cal. 200°C	Cal. 350°C
Fe/CeO <sub>2</sub> -TiO <sub>2</sub> -γAl <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	40	51	51
Ag/CeO <sub>2</sub> -TiO <sub>2</sub> -γAl <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	48	57	55
CeO <sub>2</sub> -TiO <sub>2</sub> -γAl <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	50	50	50
TiO <sub>2</sub>	25	50	50



As Figuras 1 e 2 apresentam os perfis de RTP obtidos para os catalisadores Fe/CeO<sub>2</sub>-TiO<sub>2</sub>-γAl<sub>2</sub>O<sub>3</sub> e Ag/CeO<sub>2</sub>-TiO<sub>2</sub>-γAl<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, calcinados a 200°C e a 350°C, respectivamente.

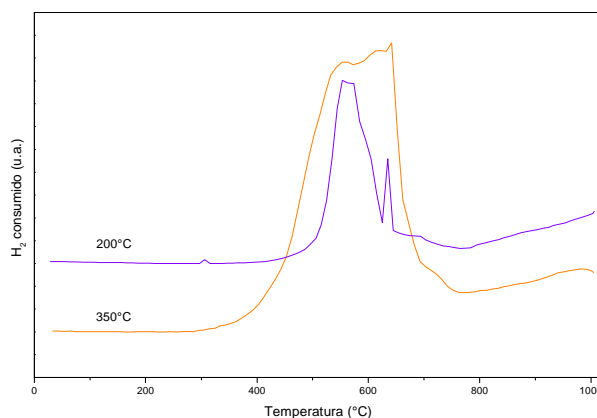


Figura 1- Perfis de TPR dos catalisadores Fe/CeO<sub>2</sub>-TiO<sub>2</sub>-γAl<sub>2</sub>O<sub>3</sub> calcinados a 200 e 350°C.

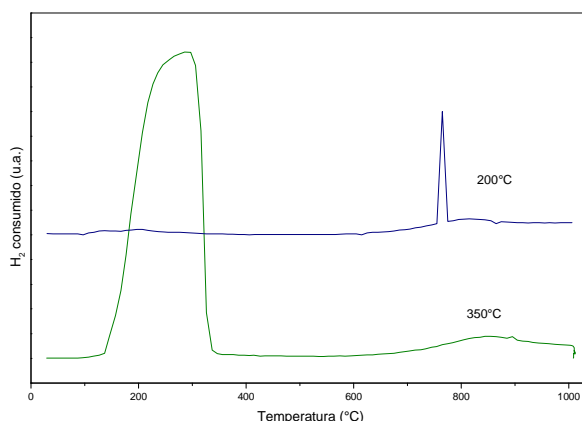


Figura 2- Perfis de TPR dos catalisadores Ag/CeO<sub>2</sub>-TiO<sub>2</sub>-γAl<sub>2</sub>O<sub>3</sub> calcinados a 200 e 350°C.

O perfil de RTP obtido para o Fe/CeO<sub>2</sub>-TiO<sub>2</sub>-γAl<sub>2</sub>O<sub>3</sub> calcinados a 200°C (Figura 1) mostra a existência de um pico de redução bem definido, com máximo a 500°C, que pode ser associado à redução do Fe em interação com o suporte e a presença de um “ombro” em aproximadamente 600°C. Resultados similares são obtidos para o catalisador calcinado a 350°C (Figura 2). Contudo, o pico observado quando o catalisador é calcinado a 350°C é mais intenso e mais largo. Para os catalisadores Ag/CeO<sub>2</sub>-TiO<sub>2</sub>-γAl<sub>2</sub>O<sub>3</sub> os perfis RTP indicaram apenas um pico de redução para o catalisador calcinado a 200°C, Ag<sup>+</sup>→Ag<sup>0</sup>, e dois picos de redução para o catalisador calcinado a 350°C, provavelmente a redução de Ag<sup>2+</sup>→Ag<sup>+</sup>→Ag<sup>0</sup>.

Por sua vez, as Figuras 3 e 4 apresentam, respectivamente, os resultados obtidos com as análises de DRX realizadas para o Ag/CeO<sub>2</sub>-TiO<sub>2</sub>-γAl<sub>2</sub>O<sub>3</sub> e Fe/CeO<sub>2</sub>-TiO<sub>2</sub>-γAl<sub>2</sub>O<sub>3</sub> não calcinados e calcinados. Os picos observados para o Fe/CeO<sub>2</sub>-TiO<sub>2</sub>-γAl<sub>2</sub>O<sub>3</sub> e Ag/CeO<sub>2</sub>-TiO<sub>2</sub>-γAl<sub>2</sub>O<sub>3</sub> foram comparados com os dados padrões publicados pela JCPDS (1995). De acordo com os resultados obtidos, para Ag/CeO<sub>2</sub>-TiO<sub>2</sub>-γAl<sub>2</sub>O<sub>3</sub> não calcinado, a Ag encontra-se na superfície do catalisador na forma Ag<sub>3</sub>O<sub>4</sub> e AlAg<sub>3</sub>, além do CeO<sub>2</sub> na forma cerianite e a alumina nas formas Al<sub>4</sub>Ce e (Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>)O. Não foi identificada nenhuma forma de Ti. A calcinação modifica a estrutura cristalina do catalisador. Para o catalisador calcinado a 200°C, observa-se um pico característico para a Ag, além da espécie Ag<sub>3</sub>O<sub>4</sub>, titânia nas formas Al<sub>3</sub>Ti e AlTi, CeO<sub>2</sub> na forma cerianite e ainda Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> e ξ-Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> enquanto que para o catalisador calcinado a 350°C, observa-se um pico característico da Ag, além de Ag<sub>3</sub>O<sub>4</sub> e AgAlO<sub>2</sub>, CeO<sub>2</sub>,



$\text{Al}_3\text{Ti}$ ,  $\xi\text{-Al}_2\text{O}_3$  e  $\theta\text{-Al}_2\text{O}_3$ . Para os catalisadores  $\text{Fe/CeO}_2\text{-TiO}_2\text{-}\gamma\text{Al}_2\text{O}_3$ , não calcinado, verifica-se a presença de Fe na forma anatase, maghemite ( $\text{FeO}_2$ ),  $\xi\text{-Fe}_2\text{O}_3$ ,  $\text{Fe}_2\text{Ti}_4\text{O}$ ,  $\text{CeFe}_{17}$ ,  $\text{Al}_3\text{CeFe}_4$ , além de  $\text{TiO}_2$  na forma brookite,  $\text{CeO}_2$  cerianite e Ce. Após a calcinação, as espécies encontradas são maghemite ( $\text{FeO}_2$ ),  $\text{Fe}_2\text{Ti}_4\text{O}$ ,  $\text{FeFe}_2\text{O}_4$ ,  $\text{Al}_8\text{CeFe}_4$ ,  $\text{TiO}_2$  brookite,  $\text{TiO}_2$  anatase,  $\text{Al}_3\text{Ti}$ ,  $\text{CeO}_2$  cerianite e Ce, independente da temperatura de calcinação.

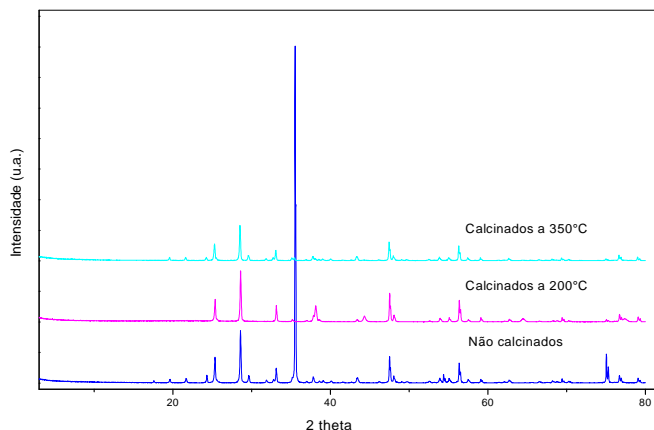


Figura 3 - Difração de raios X do catalisador  $\text{Ag/CeO}_2\text{-TiO}_2\text{-}\gamma\text{Al}_2\text{O}_3$

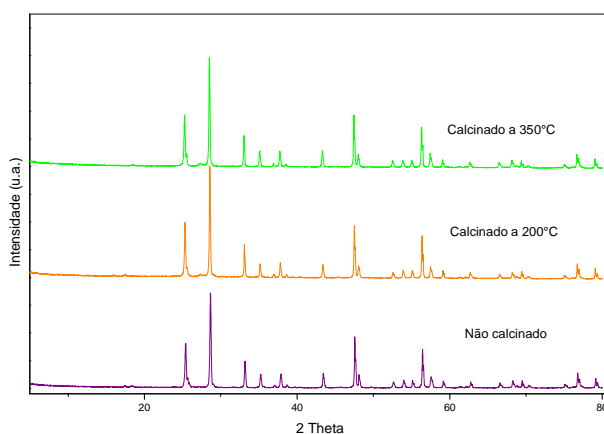


Figura 4 - Difração de raios X do catalisador  $\text{Fe/CeO}_2\text{-TiO}_2\text{-}\gamma\text{Al}_2\text{O}_3$

**Ensaio fotocatalítico:** as Figuras 5, 6, 7, 8, 9 e 10 apresentam os resultados obtidos com os testes de adsorção e descoloração do corante na presença dos catalisadores  $\text{Fe/CeO}_2\text{-TiO}_2\text{-}\gamma\text{Al}_2\text{O}_3$ ,  $\text{Ag/CeO}_2\text{-TiO}_2\text{-}\gamma\text{Al}_2\text{O}_3$ ,  $\text{CeO}_2\text{-TiO}_2\text{-}\gamma\text{Al}_2\text{O}_3$  e  $\text{TiO}_2$  não calcinados, calcinados a  $200^\circ\text{C}$  e a  $350^\circ\text{C}$ , respectivamente. Para os catalisadores não calcinados (Figura 5), os resultados obtidos mostram que ocorreu adsorção do corante na superfície de todos os catalisadores, com exceção do  $\text{TiO}_2$ . A maior adsorção (aproximadamente 20%) ocorreu na presença do catalisador  $\text{Fe/CeO}_2\text{-TiO}_2\text{-}\gamma\text{Al}_2\text{O}_3$ , para um período de uma hora. Contudo, quando o catalisador foi calcinado a adsorção foi de aproximadamente 35%, independente da temperatura de calcinação (Figuras 6 e 7). Contudo para o catalisador de  $\text{Ag/CeO}_2\text{-TiO}_2\text{-}\gamma\text{Al}_2\text{O}_3$  a calcinação não exerce uma influência tão significativa na capacidade de adsorção. Os resultados obtidos com os ensaios de descoloração na presença dos catalisadores não calcinados (Figura 8) mostram, nas condições dos testes, que embora os catalisadores apresentem 100% de descoloração, o  $\text{Fe/CeO}_2\text{-TiO}_2\text{-}\gamma\text{Al}_2\text{O}_3$  conduz a descoloração total da solução contendo o corante em apenas 30 minutos de reação enquanto que na presença do catalisador de  $\text{Ag/CeO}_2\text{-TiO}_2\text{-}\gamma\text{Al}_2\text{O}_3$  a descoloração total ocorre em 60 minutos de reação.

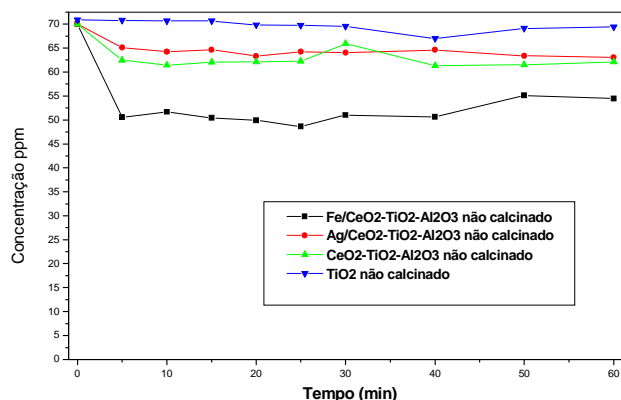


Figura 5 - Variação da concentração do corante com o tempo de reação, na ausência de luz, para catalisadores não calcinados.

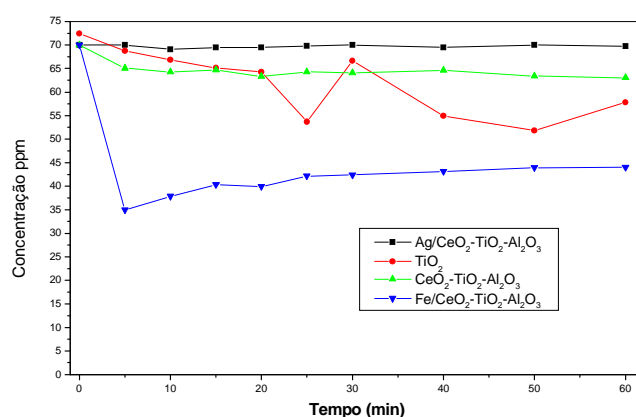


Figura 6 - Variação da concentração do corante com o tempo de reação, na ausência de luz, para catalisadores calcinados a 200°C

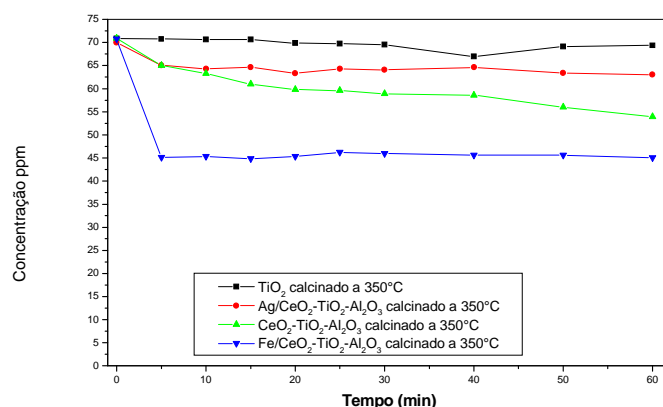


Figura 7 - Variação da concentração do corante com o tempo de reação, na ausência de luz, para catalisadores calcinados a 350°C

Para os catalisadores calcinados a 200°C (Figura 9) a remoção de cor também é de 100%. Contudo, na presença do Fe/CeO<sub>2</sub>-TiO<sub>2</sub>-γAl<sub>2</sub>O<sub>3</sub> e do Ag/CeO<sub>2</sub>-TiO<sub>2</sub>-γAl<sub>2</sub>O<sub>3</sub> a descoloração total ocorre praticamente no mesmo tempo de reação, em torno de 15 minutos, indicando que a calcinação aumenta a velocidade de descoloração. Já na presença do CeO<sub>2</sub>-TiO<sub>2</sub>-γAl<sub>2</sub>O<sub>3</sub> e do TiO<sub>2</sub> a descoloração ocorreu em 60 minutos de reação. Para os catalisadores calcinados a 350°C (Figura 10), os resultados obtidos mostram que para o Fe/CeO<sub>2</sub>-TiO<sub>2</sub>-γAl<sub>2</sub>O<sub>3</sub> a remoção total de cor ocorre em 20 minutos de reação enquanto que para o catalisador de Ag/CeO<sub>2</sub>-TiO<sub>2</sub>-γAl<sub>2</sub>O<sub>3</sub> a descoloração total ocorre em 40 minutos de reação.



Também nesse caso, observa-se que o tratamento de calcinação conduz a uma maior velocidade de descoloração do que a observada para os catalisadores não calcinados. Contudo, a calcinação dos catalisadores a 350°C apresentou um tempo de descoloração maior do que o observado para os catalisadores calcinados a 200°C, independente do tipo de metal presente na superfície do catalisador. Os resultados obtidos com a fotólise, por sua vez, mostram que ocorreu aproximadamente 7% de descoloração da solução contendo o corante.

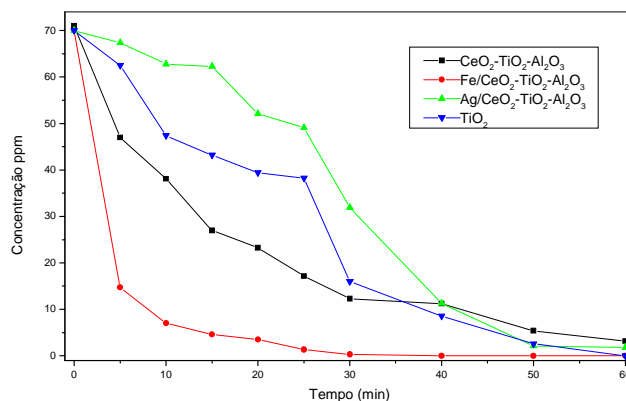


Figura 8 - Variação da concentração do corante com o tempo de reação para catalisadores não calcinados.

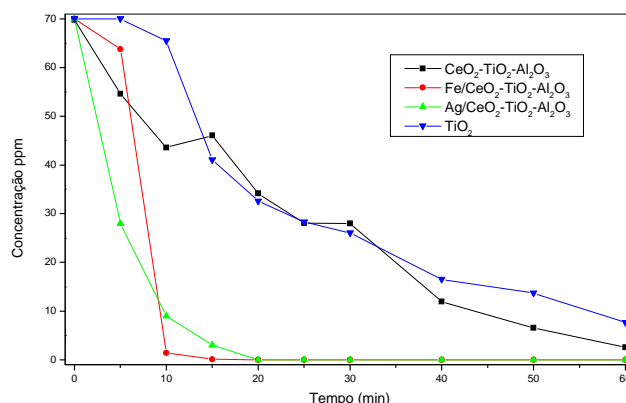


Figura 9 - Variação da concentração do corante com o tempo de reação para catalisadores calcinados a 200°C.

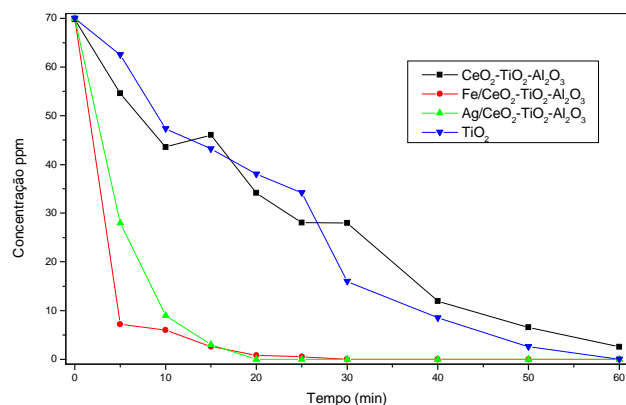


Figura 10 - Variação da concentração do corante com o tempo de reação para catalisadores calcinados a 350°C.

## 6 Conclusões

A calcinação dos catalisadores não exercem influência significativa nos valores obtidos para a área superficial específica, com exceção do catalisador Ag/CeO<sub>2</sub>-TiO<sub>2</sub>-γAl<sub>2</sub>O<sub>3</sub> calcinado a 200°C para o qual a calcinação conduziu a um aumento no valor da área





superficial específica. Resultados similares são obtidos para o volume específico e diâmetro médio de poros. O difratograma obtido com a análise de DRX mostrou, nas condições estudadas, que para o catalisador de  $\text{Ag/CeO}_2\text{-TiO}_2\text{-}\gamma\text{Al}_2\text{O}_3$  não calcinado, a prata encontra-se na superfície do catalisador na forma  $\text{Ag}_3\text{O}_4$  e  $\text{AlAg}_3$ , além do  $\text{CeO}_2$  na forma cerianite e a alumina nas formas  $\text{Al}_4\text{Ce}$  e  $(\text{Al}_2\text{O}_3)\text{O}$  e que nenhuma forma Ti foi identificada. O tratamento térmico de calcinação modifica a estrutura cristalina do catalisador  $\text{Ag/CeO}_2\text{-TiO}_2\text{-}\gamma\text{Al}_2\text{O}_3$ . Para o catalisador calcinado a  $200^\circ\text{C}$  observa-se um pico característico para a prata, além da espécie  $\text{Ag}_3\text{O}_4$ , titânia nas formas  $\text{Al}_3\text{Ti}$  e  $\text{AlTi}$ ,  $\text{CeO}_2$  na forma cerianite e ainda  $\text{Al}_2\text{O}_3$  e  $\xi\text{-Al}_2\text{O}_3$ . Para o catalisador calcinado a  $350^\circ\text{C}$ , observa-se um pico característico da prata, além de  $\text{Ag}_3\text{O}_4$  e  $\text{AgAlO}_2$ ,  $\text{CeO}_2$ ,  $\text{Al}_3\text{Ti}$ ,  $\xi\text{-Al}_2\text{O}_3$  e  $\theta\text{-Al}_2\text{O}_3$ . Para o catalisador  $\text{Fe/CeO}_2\text{-TiO}_2\text{-}\gamma\text{Al}_2\text{O}_3$ , não calcinado, verifica-se a presença de Fe na forma anatase, magnetita ( $\text{FeO}_2$ ),  $\xi\text{-Fe}_2\text{O}_3$ ,  $\text{Fe}_2\text{Ti}_4\text{O}$ ,  $\text{CeFe}_{17}$ ,  $\text{Al}_3\text{CeFe}_4$ , além de  $\text{TiO}_2$  na forma brookite,  $\text{CeO}_2$  cerianite e Ce. Para o catalisador  $\text{Fe/CeO}_2\text{-TiO}_2\text{-}\gamma\text{Al}_2\text{O}_3$  calcinado a  $200^\circ\text{C}$  e a  $350^\circ\text{C}$ , as espécies encontradas na superfície do catalisador são magnetita ( $\text{FeO}_2$ ),  $\text{Fe}_2\text{Ti}_4\text{O}$ ,  $\text{FeFe}_2\text{O}_4$ ,  $\text{Al}_8\text{CeFe}_4$ ,  $\text{TiO}_2$  brookite,  $\text{TiO}_2$  anatase,  $\text{Al}_3\text{Ti}$ ,  $\text{CeO}_2$  cerianite e Ce, independente da temperatura de calcinação. Os catalisadores apresentaram um ótimo desempenho conduzindo a 100% de descoloração do efluente sintético contendo o corante reativo azul 5G, sendo que tanto  $\text{Fe/CeO}_2\text{-TiO}_2\text{-}\gamma\text{Al}_2\text{O}_3$  quanto  $\text{Ag/CeO}_2\text{-TiO}_2\text{-}\gamma\text{Al}_2\text{O}_3$  calcinados a  $200^\circ\text{C}$  conduziram a remoção total da cor num tempo de aproximadamente 15 minutos de reação. Para os catalisadores não calcinados e calcinados a  $350^\circ\text{C}$ , o  $\text{Fe/CeO}_2\text{-TiO}_2\text{-}\gamma\text{Al}_2\text{O}_3$  demonstrou melhor eficiência removendo 100% da cor da solução contendo o corante com metade do tempo requerido para o  $\text{Ag/CeO}_2\text{-TiO}_2\text{-}\gamma\text{Al}_2\text{O}_3$ . A adição de metal aos óxidos mistos aumenta a velocidade da reação.

## Referências

CHO I., ZOH, K., "Photocatalytic degradation of azo dye (Reactive Red 120) in  $\text{TiO}_2/\text{UV}$  system: Optimization and modeling using a response surface methodology (RSM) based on the central composite design". **Dyes and Pigments**, v. 75, 2007, pg. 533-543.

FAISAL M., TARIQ M.A., MUNEER, M., "Photocatalysed degradation of two selected dyes in UV-irradiated aqueous suspensions of titania". **Dyes and Pigments**, v. 72, 2007, pg. 233-239.

HAMAL D.B, KLABUNDE K.J, "Synthesis, characterization, and visible light activity of new nanoparticle photocatalysts based on silver, carbon, and sulfur-doped  $\text{TiO}_2$ ". **Journal of Colloid and Interface Science**, v. 311, 2007, pg. 514-522.

KITANO M., MATSUOKA M., UESHIMA M., ANPO, M., "Recent development in titanium oxide-based photocatalysts". **Applied Catalysis**, v. 325, 2007, pg. 1-14.

KONSTANTINOU I. K., ALBANIS T. A., "TiO<sub>2</sub>-assisted photocatalytic degradation of azo dyes in aqueous solution: kinetic and mechanistic investigation. A review". **Applied Catalysis**, v. 49, 2004, pg. 1-14.

LIU Y., SUN D., "Development of  $\text{Fe}_2\text{O}_3\text{-CeO}_2\text{-TiO}_2/\gamma\text{-Al}_2\text{O}_3$  as catalyst for catalytic wet air oxidation of methyl orange azo dye under room condition". **Applied Catalysis**, v. 72, 2007, pg. 205-211.

OLIVEIRA, G. G., 2005. **Catalisadores sol-gel aplicados na degradação de corantes de indústrias têxteis**. Dissertação de Mestrado, Universidade Estadual de Maringá.