

ESTUDO DA INFLUÊNCIA DO PERÓXIDO DE HIDROGÊNIO NA DEGRADAÇÃO DO RODAMINA B VIA PROCESSOS OXIDATIVOS AVANÇADOS (UV, UV/H₂O₂, Fe²⁺/H₂O₂ e UV/Fe²⁺/H₂O₂)

Thiago Romário Soares Paulino¹ Bruno César Barroso Salgado²

RESUMO

No presente trabalho é avaliada a aplicação da fotólise direta (UV), processo fotoquímico (UV/H₂O₂), reação Fenton (Fe²⁺/H₂O₂) e processo Foto-Fenton (UV/Fe²⁺/H₂O₂) na degradação do corante Rodamina B a uma concentração inicial de 10 mg/L. O estudo é realizado sob diferentes dosagens de agente oxidante (H₂O₂) e intensidades luminosas (I₀). Os resultados obtidos apresentam elevados níveis de remoção de cor, com eficiência na ordem de 51%, 86%, 87% e 100% para da fotólise direta (UV), reação Fenton (Fe²⁺/H₂O₂), processo fotoquímico (UV/H₂O₂) e processo Foto-Fenton (UV/Fe²⁺/H₂O₂), respectivamente, nas condições máximas da concentração. O modelo cinético empregado apresenta um bom ajuste aos dados obtidos, demonstrando haver uma relação de direta proporcionalidade entre a eficiência do processo e incremento dos agentes envolvidos.

PALAVRAS-CHAVE: Processos Oxidativos Avançados; Corantes; Descoloração; Cinética.

STUDY OF THE INFLUENCE OF HYDROGEN PEROXIDE IN DEGRADATION THE RHODAMINE B VIA ADVANCED OXIDATION PROCESSES (UV, UV/H₂O₂, FE²⁺ + / H₂O₂ AND UV/FE²⁺ + / H₂O₂)

ABSTRACT

In this study it is evaluated the application of direct photolysis (UV), photochemical process (UV/H₂O₂), Fenton reaction (Fe²⁺/H₂O₂) and Photo-Fenton process (UV/Fe²⁺/H₂O₂) in the degradation of dye Rhodamine B at an initial concentration of 10 mg/L. The study is conducted at different dosages of the oxidizing agent (H₂O₂) and light intensity (I₀). The results show high levels of color removal with efficiency on the order of 51%, 86%, 87% and 100% for the direct photolysis (UV), Fenton reaction (Fe²⁺/H₂O₂), photochemical process (UV/H₂O₂) and photo-Fenton process (UV/Fe²⁺/H₂O₂), respectively, in the maximum conditions of the concentration. The employed kinetic model show a good fit to the data obtained, showing that there is a direct proportionality relationship between process efficiency and increase the agents involved.

KEYWORDS: Advanced Oxidative Processes; Dyes; Decolorization; Kinetic.

¹Graduando do curso de Bacharelado em Engenharia Ambiental pelo Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Ceará (IFCE), Campus Maracanaú. Bolsista de Iniciação Científica do Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico – CNPq. E-mail: thiagoromario@yahoo.com.br.

²Mestre em Tecnologia e Gestão Ambiental pelo Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Ceará (IFCE). Professor do Eixo de Química e Meio Ambiente do IFCE, Campus Maracanaú. E-mail: brunocesar@ifce.edu.br.

1 INTRODUÇÃO

Os efluentes provindos da indústria têxtil possuem características físico-químicas que provocam grandes impactos ambientais, como elevados níveis de pH, cor, sólidos dissolvidos, sais e Demanda Química de Oxigênio (DQO) (FENG et al., 2010; GULKAYA, SURUCU e DILEK, 2006; JAMALLUDDIN e ABDULLAH, 2011).

As moléculas corantes se mostram resistentes a tratamentos convencionais biológicos, apresentando, em geral, baixos níveis de remoção. Como método de tratamento alternativo, podem-se destacar os processos oxidativos avançados (POAs) os quais utilizam diferentes rotas para gerar o radical hidroxilo ($\cdot\text{OH}$), um forte oxidante que leva diversos compostos a total mineralização (BALDRIAN et al., 2006; FU, WANG e TANG, 2010; HERNEY-RAMIREZA, VICENTE e MADEIRAC, 2010).

Dos diferentes POAs, cita-se a aplicação do processo fotoquímico (UV/H₂O₂), reação Fenton (Fe²⁺/H₂O₂) e processo foto-Fenton (UV/Fe²⁺/H₂O₂).

O processo fotoquímico dá-se pela aplicação de luz ultravioleta (UV) para a fotodecomposição do peróxido de hidrogênio, gerando dois mols radicais hidroxilos para cada mol de H₂O₂ (DOPAR, KUSIC e KOPRIVANAC, 2011).

Vários pesquisadores relatam a direta proporcionalidade entre a eficiência do processo e a concentração de H₂O₂ no meio (GOI e TRAPIDO, 2002, BENITEZ, ACERO e REAL, 2002). Daneshvar, Behnajady e Asghar (2007) estudaram a degradação fotooxidativa do 4-nitrofenol segundo o processo UV/H₂O₂. Os autores observaram que houve um aumento na eficiência de degradação com o aumento da concentração de peróxido de hidrogênio até certo limite, e a partir daí decresce em função de que um excesso de radicais hidroxilos no meio reage com o H₂O₂ produzindo radicais HO₂ $\cdot$ menos eficientes que as espécies $\cdot\text{OH}$. Constatou-se ainda que a oxidação do composto orgânico é proporcional a intensidade luminosa UV devido a uma maior efetividade na formação de radicais hidroxilos. Os principais intermediários identificados na oxidação do 4-nitrofenol foram o 4-nitrocatecol, a hidroquinona e o 1,2,4-benzenotriol.

A reação Fenton é uma técnica que se utiliza da decomposição catalítica do peróxido de hidrogênio por íons ferrosos com a finalidade de produzir radicais hidroxilos. A reação é conduzida em meio ácido para evitar a precipitação de sais de ferro pela oxidação de sua forma ferrosa (Fe²⁺) à sua forma férrica (Fe³⁺) (SUN et al., 2007).

Em função do caráter coagulante dos íons férricos, o processo Fenton pode ter função dupla de oxidação e coagulação. Geralmente a execução deste método de tratamento é composta de quatro etapas: ajuste de pH, reação de oxidação, neutralização e precipitação. Assim,

consequentemente, compostos orgânicos são removidos em dois estágios: oxidação e coagulação (KANG e HWANG, 2000).

O processo foto-Fenton constitui um sistema combinado do processo fotoquímico e da reação Fenton. Adicionalmente, faz-se presente a regeneração do Fe²⁺ a partir da absorção de luz UV pelo aquocomplexo férrico, gerando ainda um radical hidroxilo (NOGUEIRA, VILLA e SILVA, 2007). O Fe²⁺ regenerado por irradiação, quando na presença de peróxido de hidrogênio, restabelece a reação. A utilização cíclica de Fe²⁺ e Fe³⁺ na presença de peróxido de hidrogênio sob radiação caracteriza a chamada de reação foto-Fenton.

Kusic, Koprivanac e Srsan (2006) relataram um aumento da velocidade de degradação de um corante azo sob radiação na presença de peróxido de hidrogênio e Fe³⁺ em relação à reação na ausência de luz. O efeito positivo da luz sobre a reação de degradação foi atribuído à redução de Fe³⁺ a Fe²⁺ que, por sua vez, reage com H₂O₂ dando prosseguimento à reação Fenton.

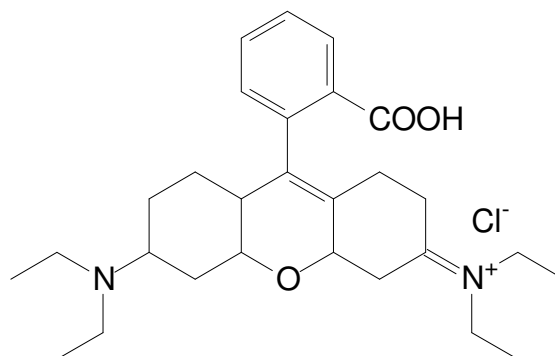
Dos corantes utilizados pela indústria têxtil pode-se destacar o corante Rodamina B (Basic Violet 10), da classe Xanteno (SAGOO e JOCKUSCH, 2011). Esse corante possui diversas aplicações, podendo-se citar tingimento de algodão, papel de seda, couro, preparo de papel carbono, caneta, tinta de bloco adesivo e pinturas (MEROUANI et al., 2010). O corante Rodamina B traz consigo riscos ao meio ambiente e ao homem, sendo experimentalmente comprovada sua carcinogenicidade, toxicidade reprodutiva e neurotoxicidade (JAIN et al., 2007).

O objetivo deste trabalho foi avaliar a eficiência dos sistemas de oxidação avançada do tipo fotólise direta (UV), Fotoquímico (UV/H₂O₂), Fenton (Fe²⁺/H₂O₂) e Foto-Fenton (UV/Fe²⁺/H₂O₂) sobre a solução sintética do corante Rodamina B (RB) em diversas concentrações de peróxido de hidrogênio (H₂O₂) e intensidade luminosa.

2 EXPERIMENTAL

O corante Rodamina B (C₂₈H₃₁ClN₂O₃, CI: 45170), fornecido pelo fabricante DINÂMICA, possui grau analítico e foi utilizado sem qualquer processo de purificação prévia. A estrutura molecular do corante é apresentada na Figura 1.

Figura 1 – Estrutura molecular do corante Rodamina B.



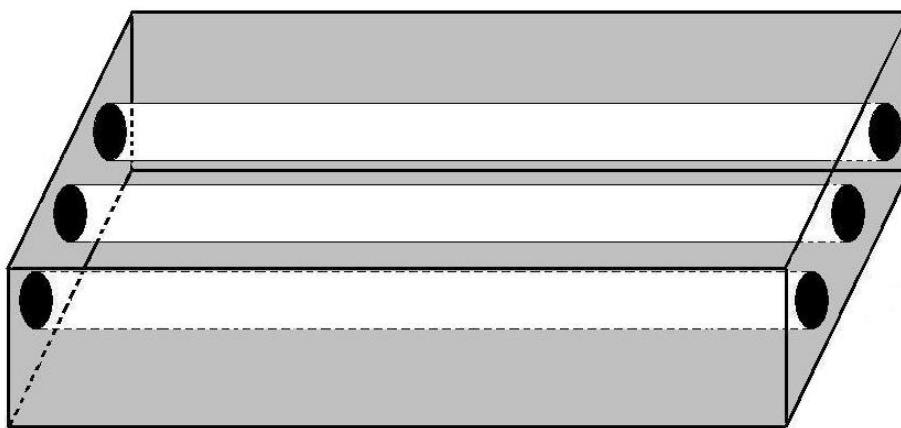
Fonte: Elaborada pelo autor

Para o estudo, preparou-se uma solução sintética com concentração inicial de 10 mg L⁻¹ do corante solubilizado em água destilada. Peróxido de hidrogênio (30% v/v) foi utilizado como espécie química oxidante e fonte de radicais hidroxilos, sendo preparada uma solução estoque de 25 mM. Utilizou-se o sulfato ferroso heptahidratado (Fe₂SO₄·7H₂O) como fonte de íons ferrosos (Fe²⁺), preparando-se sua solução estoque com uma concentração de 30 mM. O reator utilizado nos estudos de descoloração é apresentado na Figura 2, o qual possui forma retangular horizontal e constituído de vidro com um volume reacional de 250 mL. O reator é dotado de três lâmpadas UV de oito Watts cada, promovendo intensidades luminosas (*I*₀) de 15, 30, 45 mW/cm².

O processo de fotólise direta (UV) foi executado pelo simples acionamento das lâmpadas, sendo investigada a influência isolada da intensidade luminosa na degradação do corante. O sistema fotoquímico foi aplicado de maneira semelhante à fotólise direta, houve dosagem de diferentes concentrações de H₂O₂ (0,05 a 0,25 mM) para a intensidade luminosa de maior eficiência.

Para as reações Fenton e Foto-Fenton, o pH da solução do corante foi previamente ajustado para 3±0,5. A reação Fenton se deu com a adição de H₂O₂ (0,05 a 0,25 mM) a uma concentração fixa de Fe²⁺ em 0,05 mM. O processo foto-Fenton foi executado sob as mesmas condições da reação Fenton, sendo essa acionada as lâmpadas UV de modo a ter *I*₀ de 45 mW/cm².

Figura 2 – Desenho esquemático do reator utilizado nos processos de Fotólise direta (UV), Fotoquímico (UV/H₂O₂), Fenton (Fe²⁺/H₂O₂) e Foto-Fenton (UV/Fe²⁺/H₂O₂).



Fonte: Elaborada pelo autor.

Alíquotas de 5 mL foram coletadas em tempos pré-determinados (0 – 60 min). Todas as amostras foram analisadas segundo absorbância no espectrofotômetro UV-Vis Thermo *Evolution 100*. O comprimento de onda de máxima absorção do corante Rodamina B foi identificado em 560 através de uma varredura espectral de 400 a 800 nm, conforme mostrado nas Figuras 8 a 11.

As eficiências de descoloração foram definidas de acordo com a Equação 1.

$$\text{Eficiência (\%)} = (1 - a_1/a_0) \times 100 \quad (01)$$

Sendo a_0 é a absorbância inicial da solução a ser degradada e a_1 é a absorbância final da mesma em certo tempo reacional.

As curvas das cinéticas de descoloração foram obtidas a partir da aplicação do modelo cinético proposto por Chan e Chu (2003), o qual é devidamente representado na Equação 2.

$$C_t/C_0 = 1 - t/(\rho + \sigma \cdot t) \quad (02)$$

Sendo C é a concentração (absorbância) do produto remanescente no sistema após um tempo reacional t (min) e C_0 é a concentração (absorbância) inicial do poluente orgânico (corante). Os parâmetros ρ e σ são duas constantes experimentais relacionadas à cinética reacional (min^{-1}) e à capacidade de oxidação (adimensional) das moléculas oxidadas, respectivamente.

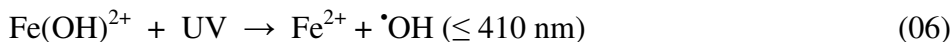
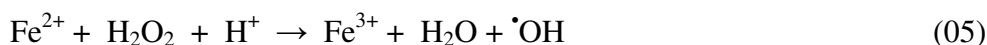
Os valores destas constantes podem ser obtidos a partir da linearização da Equação 2, a qual assume a seguinte forma (Equação 3):

$$t/(1 - C_t/C_0) = \rho + \sigma \cdot t \quad (03)$$

3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os resultados obtidos para cada método estão dispostos na Tabela 1. A aplicação do sistema de fotólise direta para o corante Rodamina B apresentou remoções de cor de 20%, 31% e 51% para a variação da intensidade luminosa (I_0) de 15, 30 e 45 mW/cm^2 , respectivamente. Este estudo possibilitou a adoção da intensidade luminosa de 45 mW/cm^2 nos processos fotoquímico e foto-Fenton.

Com a adição das concentrações de H₂O₂, o mecanismo fotoquímico apresentou um incremento na remoção de cor de 55%, 69%, 84% 86% e 87% para as concentrações de H₂O₂ em 0,05, 0,10, 0,15, 0,20 e 0,25 mM, respectivamente. Esse aumento do grau de descoloração está relacionado à geração de radicais hidroxilos, conforme Equação 4 (DOPAR, KUSIC e KOPRIVANAC, 2011).



A reação Fenton apresentou níveis de eficiência de mesma magnitude do processo fotoquímico, demonstrando que não houve diferença significativa quanto à rota de produção de radicais hidroxilos, seja pela fotodissociação do H₂O₂ ou pela sua decomposição catalítica por íons Fe²⁺.

O processo foto-Fenton foi o que mostrou os maiores níveis de eficiência, atingiu uma completa remoção de cor em todas as concentrações de H₂O₂ estudadas. Contatou-se que a ação conjunta da luz UV com os íon ferrosos sobre o H₂O₂ promove uma elevação da eficiência do sistema, o que pode ser explicado pelas por uma maior produção de radicais hidroxilos (Equações 4 e 5) (SUN et al., 2007). Deve-se levar em consideração ainda a regeneração dos íons ferrosos pela

absorção de luz UV do aquocomplexo férrico. Complexos de Fe(III) quando são irradiados favorecem a promoção de um elétron de um orbital centrado no ligante para um orbital centrado no metal; em um fenômeno denominado de transferência de carga ligante-metal (“Ligand to Metal Charge Transfer” - LMCT), o que implica na redução de Fe(III) a Fe(II) e oxidação do ligante (Equação 6), formando radical hidroxilo (NOGUEIRA, VILLA e SILVA, 2007).

Tabela 1 – Remoções de cor e constantes cinéticas obtidas pela aplicação dos POAs na descoloração da solução aquosa do corante Rodamina B.

Rodamina B	Dosagem	Remoção de cor %	$1/\rho$ (min ⁻¹)	$1/\sigma$
Fotólise direta [I ₀]	[15]	20	0,024	0,176
	[30]	31	0,027	0,294
	[45]	51	0,018	0,742
Fotoquímico [I ₀ : H ₂ O ₂]	[45:0,05]	55	0,044	0,598
	[45:0,10]	69	0,059	0,765
	[45:0,15]	84	0,071	0,983
	[45:0,20]	86	0,082	0,995
	[45:0,25]	87	0,057	1,026
Fenton [Fe ²⁺ : H ₂ O ₂]	[0,05:0,05]	61	0,204	0,633
	[0,05:0,10]	66	0,293	0,673
	[0,05:0,15]	72	0,373	0,728
	[0,05:0,20]	74	0,441	0,738
	[0,05:0,25]	86	0,464	0,856
Foto-Fenton [I ₀ : Fe ²⁺ : H ₂ O ₂]	[45:0,05:0,25]	100	0,391	1,066
	[45:0,05:0,05]	100	0,214	1,101
	[45:0,05:0,10]	100	0,214	1,097
	[45:0,05:0,15]	100	0,374	1,053
	[45:0,05:0,20]	100	0,359	1,057

Fonte: Elaborada pelo autor.

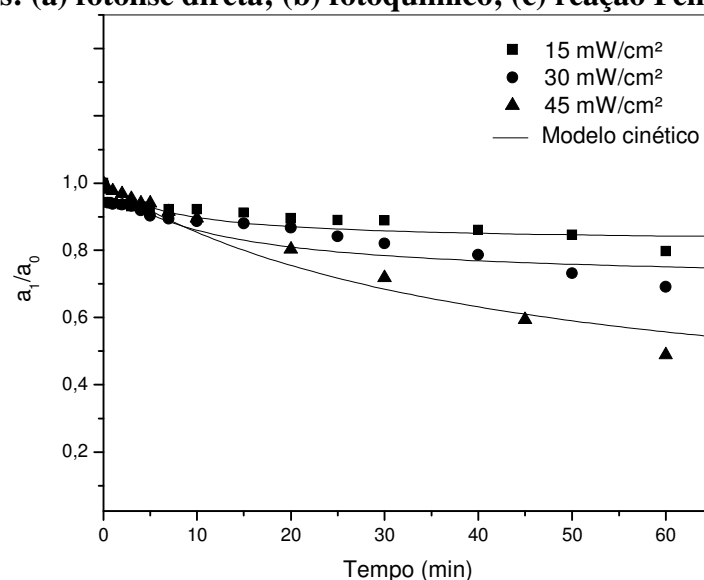
Os dados de absorbância obtidos das alíquotas coletadas nos tempos predeterminados no decorrer dos experimentos de descoloração do corante Rodamina B foram modelados segundo o modelo cinético proposto por Chan e Chu (2003). As curvas cinéticas de descoloração estão apresentadas na Figura 3, e as constantes cinéticas providas da aplicação do modelo proposto estão dispostas na Tabela 1.

Observou-se claramente que a elevação da dosagem dos agentes envolvidos nos processo eleva a taxa de descoloração, evidenciando-se o aumento dos valores dos parâmetros de velocidade reacional ($1/\rho$) e capacidade oxidativa ($1/\sigma$).

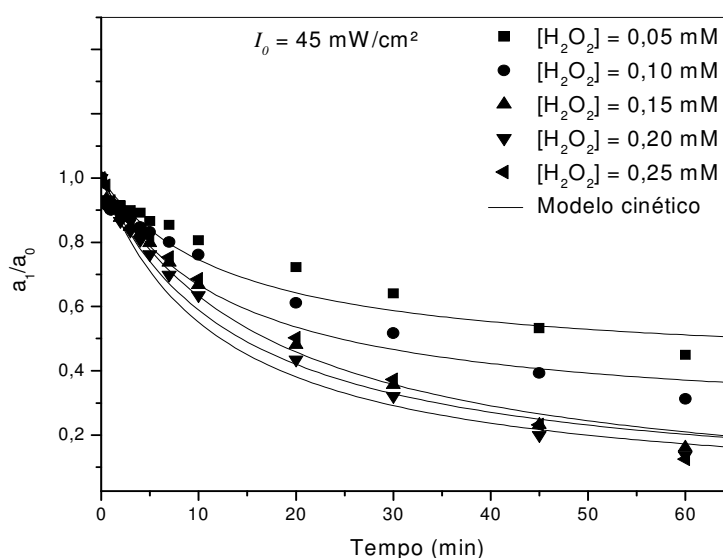
No quesito velocidade reacional ($1/\rho$), a fotólise direta foi o mecanismo que apresentou a menor taxa de oxidação. Ainda em relação à fotólise direta, observou-se ainda que a variação de I_0 não provocou alterações significativas quanto à cinética reacional, por outro lado o valor de $1/\sigma$ se mostrou maior para a máxima intensidade aplicada.

Ao se realizar um estudo comparativo entre os processos fotoquímico e Fenton constatou-se que, apesar dos níveis de remoção de cor serem semelhantes, as taxas de descoloração da reação Fenton se mostraram bem superiores ao processo fotoquímico, tendo-se uma razão de velocidade de oito vezes para a concentração de 0,25 mM. Tal constatação denotou uma maior eficiência de decomposição do H₂O₂ pelos íons ferrosos que pela ação fotodissociativa.

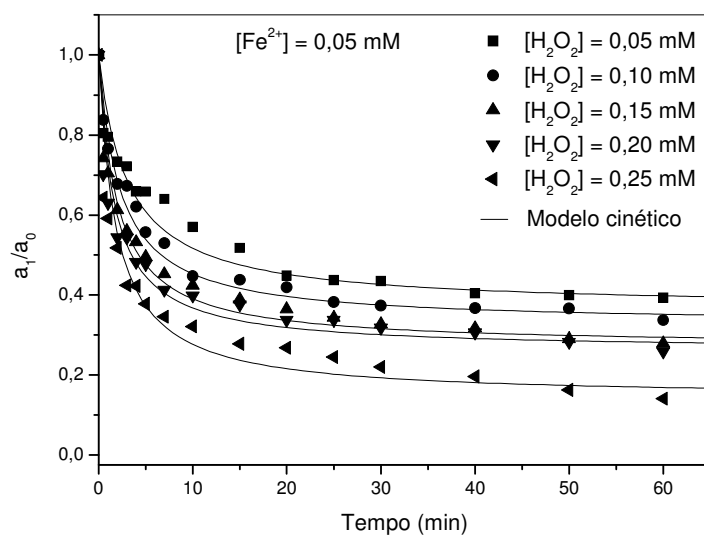
Figura 3 – Modelagem cinética de descoloração do Rodamina B frente aos processos oxidativos estudados: (a) fotólise direta; (b) fotoquímico; (c) reação Fenton e (d) foto-Fenton.



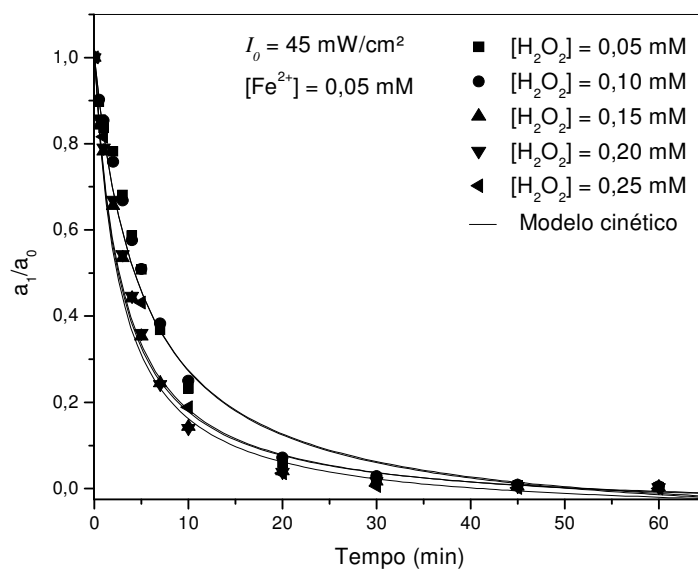
(a)



(b)



(c)

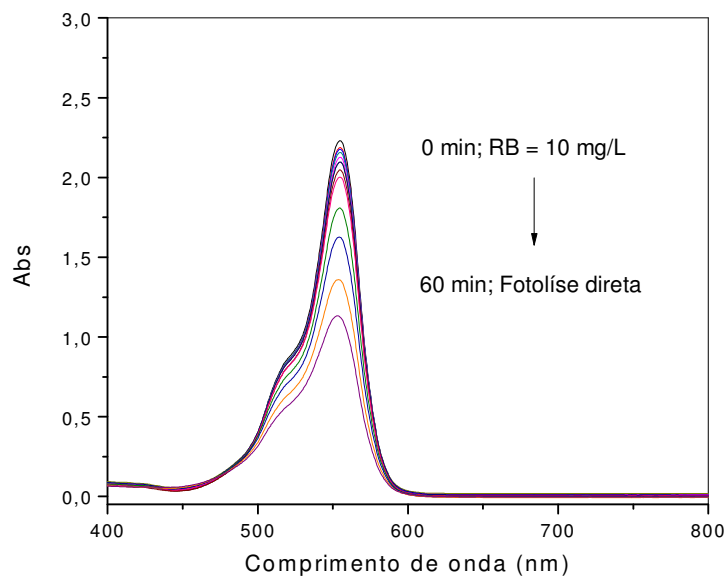


(d)

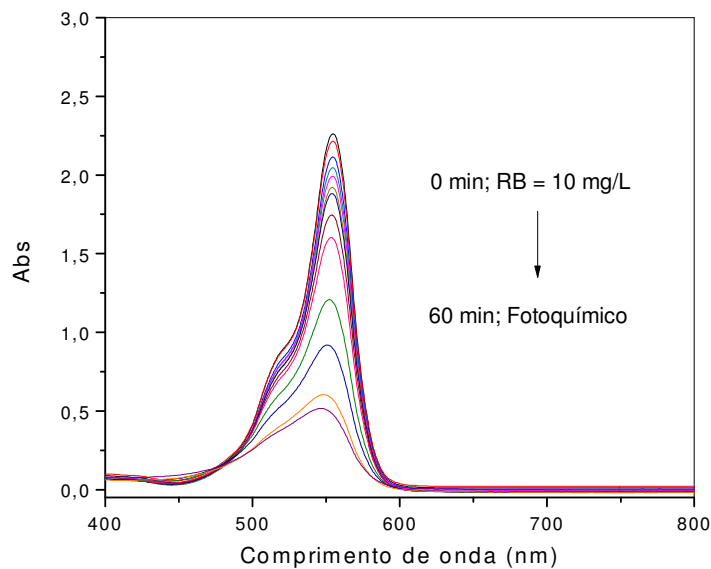
O processo foto-Fenton apresentou taxas reacionais da mesma ordem que a reação Fenton, entretanto a capacidade oxidativa do primeiro processo se mostrou superior ao segundo em todas as concentrações de H₂O₂

Na Figura 4, foi apresentado o monitoramento espectral na região do visível da molécula do corante Rodamina B frente a cada processo oxidativo aplicado nas condições máxima remoção de cor ($I_0 = 45 \text{ mW/cm}^2$, $[\text{H}_2\text{O}_2] = 0,25 \text{ mM}$, $[\text{Fe}^{2+}] = 0,05 \text{ mM}$).

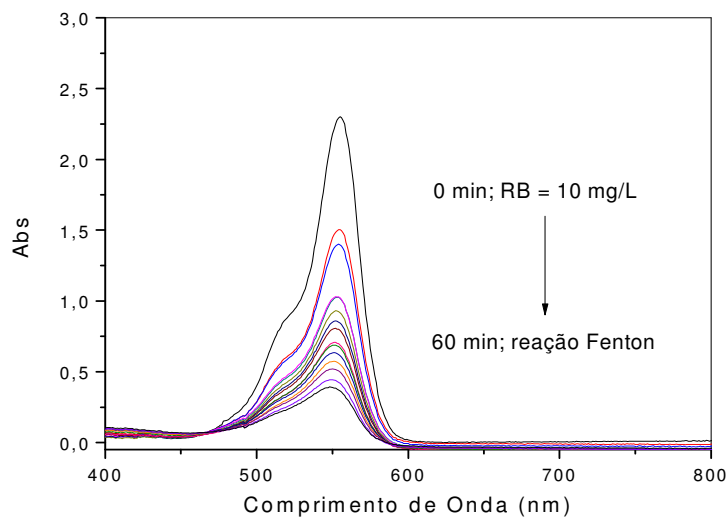
Figura 4 – Variação espectral da molécula do Rodamina B via aplicação dos processos oxidativos em estudo: (a) fotólise direta; (b) fotoquímico; (c) reação Fenton; foto-Fenton.



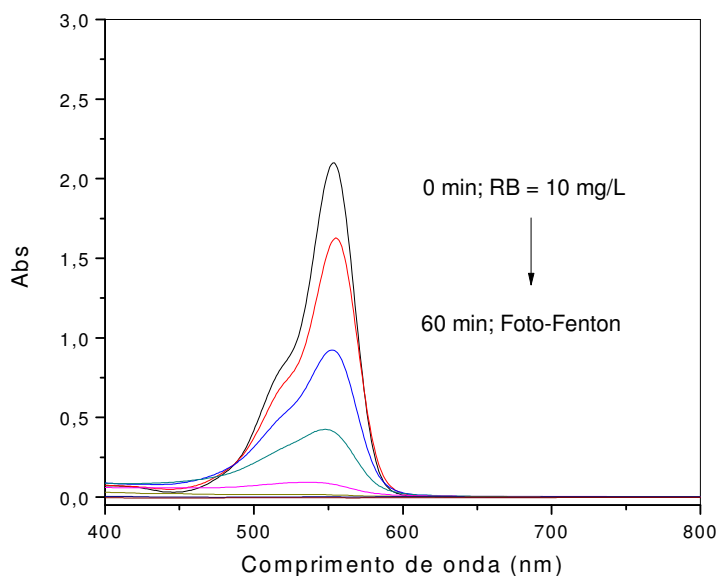
(a)



(b)



(c)



(d)

Constatou-se que houve uma redução significativa do pico de absorção localizado na região do visível em 560 nm, relativo ao grupo cromóforo do corante Rodamina B, com o decorrer das reações. Essa redução corrobora com resultados obtidos, indicando um alto nível de eficiência. Dentre os métodos estudados o processo foto-Fenton apresentou maior nível de remoção em sua dosagem máxima, sendo atingida uma completa descoloração com 45 minutos de reação. A redução de cor pela ação dos radicais hidroxila está relacionada a reações de N-desacetilação e clivagem da ligação do grupamento carboxifenil (AI et al., 2007; HE et al., 2009).

4 CONCLUSÕES

Os POAs estudados apresentaram elevada eficiência na descoloração da solução aquosa do corante Rodamina B. Remoções de cor da ordem de 51%, 86%, 87% e 100% foram atingidas pela aplicação da fotólise direta (UV), reação Fenton (Fe²⁺/H₂O₂), processo fotoquímico (UV/H₂O₂) e processo foto-Fenton (UV/Fe²⁺/H₂O₂), respectivamente, para as dosagens máximas dos agentes em estudo. O modelo cinético proposto se ajustou bem aos dados experimentais, demonstrando haver uma relação de direta proporcionalidade entre a eficiência do processo e incremento dos agentes envolvidos. Observou-se o decaimento do pico relativo ao grupo cromóforo do corante Rodamina B principalmente na reação foto-Fenton, que aos 45 minutos foi possível constatar a completa remoção de cor.

AGRADECIMENTOS

Ao CNPq (Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e tecnológico) pelo financiamento concedido no decorrer do trabalho.

REFERÊNCIAS

- AI, Z. H., LU, L. R., LI, J. P., ZHANG, L.Z., QIU, J. R., WU, M. H. Fe@ Fe₂O₃ core-shell nanowires as iron reagent. 1. Efficient degradation of rhodamine B by a novel sono-Fenton process. **Journal of Physical Chemistry C**, v. 111, n. 11, p. 4087–4093, Mar, 2007.
- BALDRIAN, P.; MERHAUTOVÁ, V.; GABRIEL, J.; NERUD, F.; STOPKA, P.; HRUBÝ, M.; BENES, M. J. Decolorization of synthetic dyes by hydrogen peroxide with heterogeneous catalysis by mixed iron oxides. **Applied Catalysis B: Environmental**, v. 66, n. 3-4, p. 258–264, Jul, 2006.
- CHAN, K. H.; CHU, W. Modeling the reaction kinetics of Fenton's process on the removal of atrazine. **Chemosphere**, v. 51, n. 4, p. 305-311, Abr, 2003.
- DANESHVAR, N., BEHNAJADY, M. A., ASGHAR, Y. Z. Photooxidative degradation of 4-nitrophenol (4-NP) in UV/H₂O₂ process: Influence of operational parameters and reaction mechanism. **Journal of Hazardous Materials B**, v. 139, n. 2, p. 275-279, Jan, 2007.
- DOPAR, M.; KUSIC, H.; KOPRIVANAC, N. Treatment of simulated industrial wastewater by photo-Fenton process. Part I: The optimization of process parameters using design of experiments (DOE). **Chemical Engineering Journal**, v. 173, n. 2, p. 267– 279, Set, 2011.
- FENG, F.; XU, Z.; LI, X.; YOU, W.; ZHEN, Y. Advanced treatment of dyeing wastewater towards reuse by the combined Fenton oxidation and membrane bioreactor process. **Journal of Environmental Sciences**, v. 22, n. 11, p. 1657–1665, Nov, 2010.
- FU, F.; WANG, Q.; TANG, B. Effective degradation of C.I. Acid Red 73 by advanced Fenton process. **Journal of Hazardous Materials**, v. 174, n. 1-3, p. 17–22, Fev, 2010.
- GOI, A.; TRAPIDO, M. Hydrogen Peroxide photolysis, Fenton reagent and photo-Fenton for degradation of nitrophenols: a comparative study. **Chemosphere**, v. 46, n. 6, p. 913-922, Fev, 2002.
- GULKAYA, I.; SURUCU, G. A.; DILEK, F. B. Importance of H₂O₂/Fe²⁺ ratio in Fenton's treatment of a carpet dyeing wastewater. **Journal of Hazardous Materials B**, v. 136, n. 3, p. 763–769, Ago, 2006.
- HERNEY-RAMIREZ, J.; VICENTE, M. A.; MADEIRA, L. M. Heterogeneous photo-Fenton oxidation with pillared clay-based catalysts for wastewater treatment: A review. **Applied Catalysis B: Environmental**, v. 98, n. 1-2, p. 10–26, Jul, 2010.
- HE, Z., SUN, C., YANG, S.G., DING, Y.C., HE, H., WANG, Z.L. Photocatalytic degradation of rhodamine B by Bi₂WO₆ with electron accepting agent under microwave irradiation: mechanism and pathway. **Journal of Hazardous Materials**, v. 162, n. 2-3, p. 1477–1486, Mar, 2009.
- JAIN, R.; MATHUR, M.; SIKARWAR, S.; MITTAL, A. Removal of the hazardous dye rhodamine B through photocatalytic and adsorption treatments. **Journal of Environmental Management**, v. 85, n. 4, p. 956–964. Dez, 2007.
- JAMALLUDDIN, N. A.; ABDULLAH, A. Z. Reactive dye degradation by combined Fe(III)/TiO₂ catalyst and ultrasonic irradiation: Effect of Fe(III) loading and calcination temperature. **Ultrasonics Sonochemistry**, v. 18, n. 2, p. 669–678, Mar, 2011.
- KANG, Y.W.; HWANG, K.Y. Effects of reaction conditions on the oxidation efficiency in the Fenton process. **Water Research**, v. 34, n. 10, p. 2786-2790, Jul, 2000.
- KUSIC, H.; KOPRIVANAC, N.; SRSAN, L. Azo dye degradation using Fenton type processes assisted by UV irradiation: A kinetic study. **Journal of Photochemistry and Photobiology A: Chemistry**, v. 181, n. 2-3, p. 195-202, Jul, 2006.
- MEROUANI, S.; HAMDAR, O.; SAOUDI, F.; CHIHA, M. Sonochemical degradation of Rhodamine B in aqueous phase: Effects of additives. **Chemical Engineering Journal**, v. 158, n. 3, p. 550–557, Abr, 2010.
- NOGUEIRA, R. F. P.; VILLA, R. D.; SILVA, M. R. A. Fundamentos e aplicações ambientais dos processos fenton e foto-fenton. **Química Nova**, São Paulo, v.30, n.2, Mar/Abr, 2007.

SAGOO, S. K.; JOCKUSCH, R. A. The fluorescence properties of cationic rhodamine B in the gas phase. **Journal of Photochemistry and Photobiology A: Chemistry**, v. 220, n. 2-3, p. 173–178, Mai, 2011.

SUN, J. H.; SUN, S. P.; WANG, G. L.; QIAO, L. P. Degradation of azo dye Amido black 10B in aqueous solution by Fenton oxidation process. **Dyes and Pigments**, v. 74, n. 3, p. 647-652, Jun, 2007.