

# Tratamento de Efluente Têxtil Sintético Via Processos Fenton e Foto-Fenton Artificial e Solar

Diego R. Manenti<sup>1\*</sup>, Fernando H. Borba<sup>1\*\*</sup>, Melécio Marciniuk Junior<sup>1</sup>, João H. Pagliari<sup>1</sup>, Soraya M. Palácio<sup>1</sup>, Aparecido N. Módenes<sup>1</sup>, Fernando R. Espinoza-Quiñones<sup>1</sup>, Nora D. Mora<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Programa de pós-graduação em Engenharia Química. NBQ – Núcleo de Biotecnologia e Desenvolvimento de Processos Químicos – CECE – UNIOESTE, *Campus* de Toledo. Rua da Faculdade, 645. Jardim Santa Maria – Toledo - PR – Brasil (\*Bolsista Capes), (\*\*Bolsista PTI C&T/FPT)

<sup>2</sup>Laboratório de Materiais – LAMAT – Universidade Estadual do Oeste do Paraná – UNIOESTE, *Campus* de Foz do Iguaçu - PR – Brasil

diegomanenti@hotmail.com

**Abstract.** *In this work, the synthetic textile effluent treatment has been studied by using the Fenton, solar and artificial irradiation-based foto-Fenton techniques. On the basis of chemical oxygen demand (COD) reduction, 2<sup>3</sup> factorial experimental designs have been performed in order, and assessment the decolourisation and the conductivity values effects, to optimize the processes. Among these processes, the artificial foto-Fenton has shown the best results, followed by the solar-based foto-Fenton and Fenton processes. High efficiencies for all processes were achieved at 0.6 g Fe<sup>2+</sup> L<sup>-1</sup> and 2.0 g H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> L<sup>-1</sup> concentrations, and 10 min reaction time, showing 97.5% COD reduction, 99.9% decolourisation and 60% conductivity increasing.*

**Resumo.** *Neste trabalho, foi estudado o tratamento de efluente têxtil sintético via processos Fenton e foto-Fenton, com irradiação solar e artificial. Foram avaliados os efeitos na descoloração e na condutividade, e baseado na redução da demanda química de oxigênio (DQO), foi realizado um planejamento fatorial 2<sup>3</sup> para otimizar os processos. Comparando estes processos, o foto-Fenton artificial apresentou os melhores resultados, seguido do foto-Fenton solar e do processo Fenton. Todos os processos adquiriram elevada eficiência com concentrações de 0,6 g L<sup>-1</sup> de Fe<sup>2+</sup> e 2,0 g L<sup>-1</sup> de H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>, e tempo de reação em 10 minutos, apresentando 97,5% na redução da DQO, 99,9% de descoloração e 60% no aumento da condutividade.*

## 1. Introdução

O setor têxtil é tradicional dentro do segmento industrial, porém, figura no topo das atividades poluidoras devido aos seus processos consumirem grandes volumes de água. Após o tingimento, aproximadamente 15% dos corantes são perdidos na forma de efluentes. Estes apresentam características bastante variadas de pH, temperatura, alguns sais orgânicos e inorgânicos, metais pesados, intensa coloração, elevada DQO e DBO [Hassemer 2006, Sottoriva 2006]. O destino dessas águas em ambientes naturais acarretam em conseqüências adversas para a vida aquática, além de ser carcinogênico e/ou mutagênico aos seres humanos [Knittel e Schollmeyer 2008, Garcia *et al* 2007].

Recentemente é investigada a eficiência da degradação dos efluentes têxteis através dos processos oxidativos avançados (POAs) homogêneos e heterogêneos. Já tem sido estudado o uso da catálise heterogênea com  $\text{TiO}_2$  e  $\text{ZnO}$  combinando irradiação artificial e solar [Garcia *et al* 2009, Makhotkina *et al* 2008], e reações homogêneas Fenton [Lucas e Peres 2006].

A vantagem da reação Fenton comparada aos outros POAs é que o processo oferece alta eficiência de oxidação pela geração do radical hidroxila ( $\text{HO}^\bullet$ ), a um baixo custo operacional e de manutenção [Liu *et al* 2007]. O processo foto-Fenton combina a reação Fenton com irradiação UV-vis. Nestas condições de fotólise dos complexos  $\text{Fe}^{3+}$  ocorre a regeneração das espécies  $\text{Fe}^{2+}$  com a produção de radicais hidroxila. Este processo é de especial interesse porque pode ser utilizada a luz solar como recurso energético e assim, reduzir os custos operacionais [Huang *et al* 2008, Primo *et al* 2008].

Este trabalho tem como objetivo a utilização dos processos Fenton e foto-Fenton, utilizando energia solar e artificial como fontes de irradiação no tratamento de efluente têxtil sintético. Foram avaliados os efeitos na descoloração, no aumento da condutividade, e baseado no parâmetro DQO, foi desenvolvido um planejamento fatorial  $2^3$  para otimizar as variáveis de processo: concentração dos reagentes  $\text{Fe}^{2+}$  e  $\text{H}_2\text{O}_2$ , tempo de reação e pH inicial do efluente.

## 2. Materiais e Métodos

### 2.1. Preparação e análises do efluente

O efluente têxtil sintético utilizado foi preparado pela mistura de seis corantes em água destilada, com concentração de 50 ppm. Os corantes foram fornecidos por uma indústria têxtil localizada na cidade de Toledo (Paraná/Brasil). Os corantes utilizados foram: Azul FGLE ( $\text{C}_{40}\text{H}_{23}\text{N}_7\text{Na}_4\text{O}_{13}\text{S}_4$ ), Marinho BLE ( $\text{C}_3\text{H}_{24}\text{N}_5\text{Na}_3\text{O}_{13}\text{S}_3$ ), Escarlate BNLE ( $\text{C}_{44}\text{H}_{32}\text{N}_7\text{Na}_4\text{O}_{16}\text{S}_4$ ), Preto FR ( $\text{C}_{44}\text{H}_{32}\text{N}_{13}\text{Na}_3\text{O}_{11}\text{S}_3$ ), Laranja TGL ( $\text{C}_{25}\text{H}_{33}\text{ClN}_6\text{O}_6\text{S}_2$ ) e Amarelo ARLE ( $\text{C}_{48}\text{H}_{26}\text{N}_8\text{Na}_6\text{O}_{18}\text{S}_6$ ).

Todas as metodologias utilizadas para determinar os parâmetros físico-químicos são descritas no APHA (2005). A demanda química de oxigênio foi determinada pelo método do refluxo fechado/método colorimétrico. O pH foi medido utilizando um pH metro digital (Tecnal TEC-2). A condutividade foi medida usando um condutivímetro (Tecnal R-TEC-04P-MP).

A descoloração foi mensurada utilizando o Espectrofotômetro UV-vis (Shimadzu UV-1610PC). As medidas foram feitas nos comprimentos de onda de máxima absorção ( $\lambda_{\text{máx}}$ ) de cada corante contido no efluente, 404, 416, 483, 494,5 e 588 nm para o Amarelo, Laranja, Preto, Escarlate e Azul/Marinho, respectivamente. Os valores percentuais da descoloração ( $\Delta\text{Abs}$ ) foram calculados pela equação (1)

$$\Delta\text{Abs}(\%) = 100 \frac{[\text{Abs}_0^M - \text{Abs}^M]}{\text{Abs}_0^M} \quad (1)$$

sendo que  $\text{Abs}_0^M$  e  $\text{Abs}^M$  correspondem aos valores medidos nos comprimentos de onda de máxima absorção de cada corante do efluente antes e depois do tratamento, respectivamente.

## 2.2. Reator Fenton, foto-Fenton solar e artificial

Os reatores de escala laboratorial são constituídos por um becker de 250 mL, agitador magnético e coletores de amostras. Nos procedimentos experimentais do processo Fenton o reator foi montado com ausência de irradiação. Para o processo foto-Fenton solar, o reator foi montado de forma que a reação ocorra utilizando a luz solar como fonte de irradiação. E, para o processo foto-Fenton artificial, o reator foi montado utilizando lâmpadas comerciais de alta pressão de mercúrio (Philips – 250 W) como fonte de irradiação.

## 2.3. Procedimento experimental

Para avaliar a influência do pH na eficiência dos processos, foram realizados testes preliminares variando os valores do pH inicial em 3,0, 7,0 e 11,0, utilizando a DQO como parâmetro de avaliação.

Antes dos experimentos, o pH foi ajustado utilizando soluções padrões de NaOH (6 M) e H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> (3 M). Assim, adiciona-se 200 mL do efluente no reator, seguido das soluções de H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> (30% v/v) e Fe SO<sub>4</sub> .7H<sub>2</sub>O (10.000 mg L<sup>-1</sup>) nas quantidades pré-estabelecidas (níveis das variáveis). Alíquotas do efluente foram retiradas nos tempos pré-determinados para as etapas do planejamento e da otimização do tempo de reação, para análises dos parâmetros físico-químicos.

A influência das variáveis de processo: concentrações de H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> e Fe<sup>2+</sup>, e o tempo de reação, foram investigadas de acordo com a redução da DQO, utilizando o método de planejamento fatorial 2<sup>3</sup> completo com triplicatas nos pontos centrais [Barros Neto *et al* 2007]. Os níveis das variáveis são apresentados na Tabela 1. As condições ótimas de processo foram estimadas a partir de uma análise estatística que propôs um modelo do comportamento dos efeitos e das interações das variáveis de processo na redução dos parâmetros estudados. Esta análise apresenta as tabelas de efeitos e da análise de variâncias (ANOVA), a correlação entre os valores previstos pelo modelo e os valores observados experimentalmente, e os gráficos 3-D.

**Tabela 1. Variáveis e níveis do planejamento fatorial 2<sup>3</sup>**

Variáveis	Coeficientes	Níveis		
		-	•	+
[H <sub>2</sub> O <sub>2</sub> ] (g L <sup>-1</sup> )	<i>q</i> <sub>1</sub>	2,1	3,5	4,9
[Fe <sup>2+</sup> ] (g L <sup>-1</sup> )	<i>q</i> <sub>2</sub>	0,3	0,5	0,7
Tempo (min.)	<i>q</i> <sub>3</sub>	30	45	60

Foram realizados experimentos utilizando as melhores condições de processo, retirando alíquotas do efluente nos tempos de 10, 20, 30, 60, 90, 120, 150, 180 e 210 minutos, para avaliar os efeitos do tempo de reação, descoloração e condutividade.

## 3. Resultados e Discussão

### 3.1. Caracterização do efluente sintético

Testes preliminares variando os valores do pH inicial apresentaram que o mesmo não exerce influência significativa na redução da DQO. Assim, utilizou-se o pH inicial do efluente sintético bruto (7,0).

As características físico-químicas do efluente sintético são apresentadas na Tabela 2.

**Tabela 2. Características físico-químicas do efluente sintético**

Parâmetro	Valor
DQO (mg L <sup>-1</sup> )	197,0
Condutividade (µS cm <sup>-1</sup> )	41,8
pH	7,0

Os valores da absorvância do efluente sintético não tratado no comprimento de onda de máxima absorção de cada corante são: 0,768 (404 nm), 0,782 (416 nm), 0,639 (483 nm), 0,621 (494,5 nm) e 0,596 (588 nm) para os corantes Amarelo, Laranja, Preto, Escarlate e Azul/Marinho, respectivamente.

### 3.2. Análise estatística

Os resultados obtidos no planejamento fatorial 2<sup>3</sup> são apresentados na Tabela 3, onde a remoção da DQO variou entre 85,7 à 92% para o processo Fenton, 90,8 à 97% para o processo foto-Fenton artificial, e 91 à 97,4% para o processo foto-Fenton solar.

**Tabela 3. Planejamento fatorial 2<sup>3</sup> com os resultados de redução da DQO**

Exp.	Variáveis			% de Redução da DQO		
	q <sub>1</sub> (g L <sup>-1</sup> )	q <sub>2</sub> (g L <sup>-1</sup> )	q <sub>3</sub> (min.)	Fenton	Foto-Fenton artificial	Foto-Fenton Solar
1	-	-	-	89,1	93,1	93,7
2	+	-	-	88,8	92,8	93,2
3	-	+	-	92	96,7	97,4
4	+	+	-	85,7	90,8	91
5	-	-	+	87,7	91,3	91,5
6	+	-	+	88,2	94,2	94,7
7	-	+	+	87,9	91,3	91
8	+	+	+	89	94,1	94,5
9	•	•	•	88,5	91,7	92,3
10	•	•	•	88,6	91,6	92,1
11	•	•	•	88,7	91,8	92,4

As respostas experimentais, baseadas nos valores de redução da DQO, permitiram o desenvolvimento do modelo estatístico (Equação 1), com um bom ajuste linear dos efeitos das interações entre as variáveis, conforme são apresentados nas Tabelas 4, 5 e 6 para as técnicas Fenton, foto-Fenton artificial e solar respectivamente.

$$DQO = a_0 + \sum_{i=1}^N a_i q_i + \sum_{i=1}^N \sum_{j=1}^N b_{ij} q_i q_j \quad (1)$$

**Tabela 4. Ajuste linear e a interação entre os valores das variáveis de processo do modelo previsto para a remoção da DQO pela técnica Fenton com nível de significância de 95% ( $p < 5\%$ ) e  $r^2 = 0,9991$**

Variáveis	Coefficientes	Valor	Desvio padrão	$t_{exp}$	$p$ -valor
$q_0$	$a_0$	88,550	0,035	2504,572	<0,01
$q_1$	$a_1$	-0,625	0,035	-17,678	0,11
$q_2$	$a_2$	0,100	0,035	2,828	<0,01
$q_3$	$a_3$	-0,350	0,035	-9,899	<0,01
$q_1 \times q_2$	$b_{12}$	-0,675	0,035	-19,092	<0,01
$q_1 \times q_3$	$b_{13}$	1,025	0,035	28,991	0,05
$q_2 \times q_3$	$b_{23}$	0,150	0,035	4,243	<0,01
$q_1 \times q_2 \times q_3$	$b_{123}$	0,825	0,035	23,335	0,18

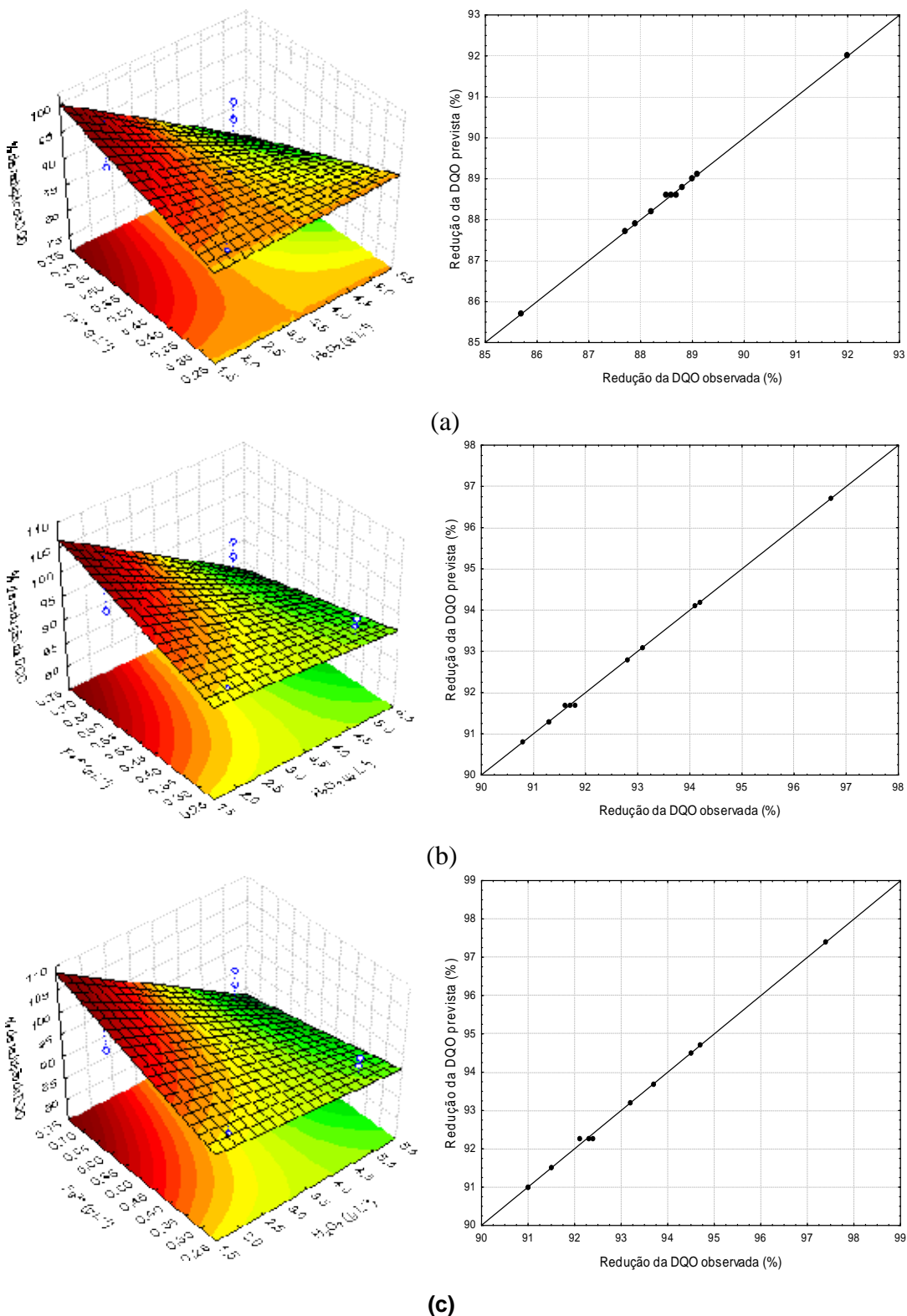
**Tabela 5. Ajuste linear e a interação entre os valores das variáveis de processo do modelo previsto para a remoção da DQO pela técnica foto-Fenton artificial com nível de significância de 95% ( $p < 5\%$ ) e  $r^2 = 0,9993$**

Variáveis	Coefficientes	Valor	Desvio padrão	$t_{exp}$	$p$ -valor
$q_0$	$a_0$	93,038	0,035	2631,50	<0,01
$q_1$	$a_1$	-0,062	0,035	-1,77	0,22
$q_2$	$a_2$	0,188	0,035	5,30	0,03
$q_3$	$a_3$	-0,313	0,035	-8,84	<0,01
$q_1 \times q_2$	$b_{12}$	-0,713	0,035	-20,15	<0,01
$q_1 \times q_3$	$b_{13}$	1,488	0,035	42,07	<0,01
$q_2 \times q_3$	$b_{23}$	-0,213	0,035	-6,01	0,03
$q_1 \times q_2 \times q_3$	$b_{123}$	0,688	0,035	19,45	<0,01

**Tabela 6. Ajuste linear e a interação entre os valores das variáveis de processo do modelo previsto para a remoção da DQO pela técnica foto-Fenton solar com nível de significância de 95% ( $p < 5\%$ ) e  $r^2 = 0,9987$**

Variáveis	Coefficientes	Valor	Desvio padrão	$t_{exp}$	$p$ -valor
$q_0$	$a_0$	93,375	0,054	1728,97	<0,01
$q_1$	$a_1$	-0,025	0,054	-0,46	0,69
$q_2$	$a_2$	0,100	0,054	1,85	0,21
$q_3$	$a_3$	-0,450	0,054	-8,33	<0,01
$q_1 \times q_2$	$b_{12}$	-0,700	0,054	-12,96	<0,01
$q_1 \times q_3$	$b_{13}$	1,700	0,054	31,48	<0,01
$q_2 \times q_3$	$b_{23}$	-0,275	0,054	-5,09	0,04
$q_1 \times q_2 \times q_3$	$b_{123}$	0,775	0,054	14,35	<0,01

Baseados nas respostas de redução da DQO são desenvolvidos os gráficos 3-D e gráficos de respostas previstas em função das respostas observadas. Os gráficos das superfícies e das previsões em função das respostas observadas são apresentados nas Figuras 1 a-c, para os processos Fenton, foto-Fenton artificial e solar respectivamente.



**Figura 1. Superfícies e respostas previstas vs observadas da redução da via processos: (a) Fenton, (b) foto-Fenton artificial, e (c) foto-Fenton solar**

A análise de variância é apresentada na Tabela 7. Os resultados obtidos na análise de variância para a DQO, para um intervalo de confiança de 95% ( $p < 0,05$ ), apresentaram um  $F_{\text{calculado}} > F_{\text{tabelado}}$ , validando com isto o modelo estatístico para todas

as técnicas. O teste da ANOVA apresentou confiabilidade de 99,98, 99,91 e 99,93%, quando os níveis de significância foram 0,019, 0,086 e 0,069 para os processos Fenton, foto-Fenton artificial e foto-Fenton solar, respectivamente.

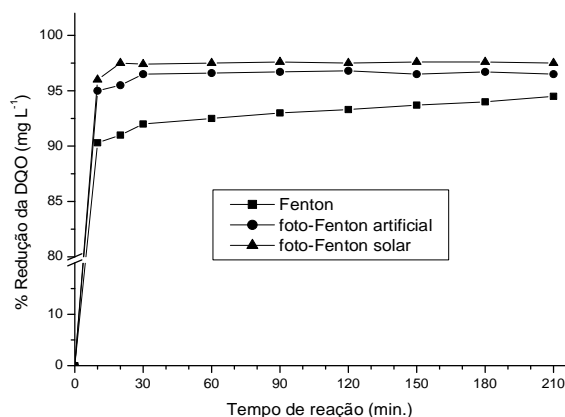
**Tabela 7. Teste ANOVA do modelo previsto de remoção da DQO**

Processos	Fontes de Variação	Soma Quadrática	Graus de Liberdade	Quadrado Médio	F		Nível de significância
					Calculado	Tabelado	
Fenton	Regressão	21,86	5	4,37	1092,5	5,05	0,019
	Resíduos	0,02	5	0,004			
	Total	21,88	10				
foto-Fenton artificial	Regressão	30,9	7	4,41	735,0	8,885	0,086
	Resíduos	0,02	3	0,006			
	Total	30,92	10				
foto-Fenton solar	Regressão	36,83	6	6,14	558,18	6,16	0,069
	Resíduos	0,047	4	0,011			
	Total	36,88	10				

O efeito positivo ( $a_2 > 0$ , ver Tabelas 4, 5 e 6) sugere o aumento na concentração de  $Fe^{2+}$ , e o efeito negativo ( $a_1 < 0$ , ver Tabelas 4, 5 e 6) apresenta que os valores mais baixos das concentrações de  $H_2O_2$  obtiveram a maior eficiência na remoção da DQO. A análise do tempo de reação ( $a_2 < 0$ , ver Tabelas 4, 5 e 6) apresenta que menores tempos podem ser suficiente para a elevada eficiência dos processos. Estes resultados são similares para todas as técnicas, e podem ser confirmados pela análise das superfícies de respostas que apresentam maior remoção a partir dos valores mais elevados das concentrações de  $Fe^{2+} = 0,6 \text{ g L}^{-1}$ , e dos valores mais baixos de  $H_2O_2 = 2,0 \text{ g L}^{-1}$ .

### 3.3. Efeito do tempo de reação

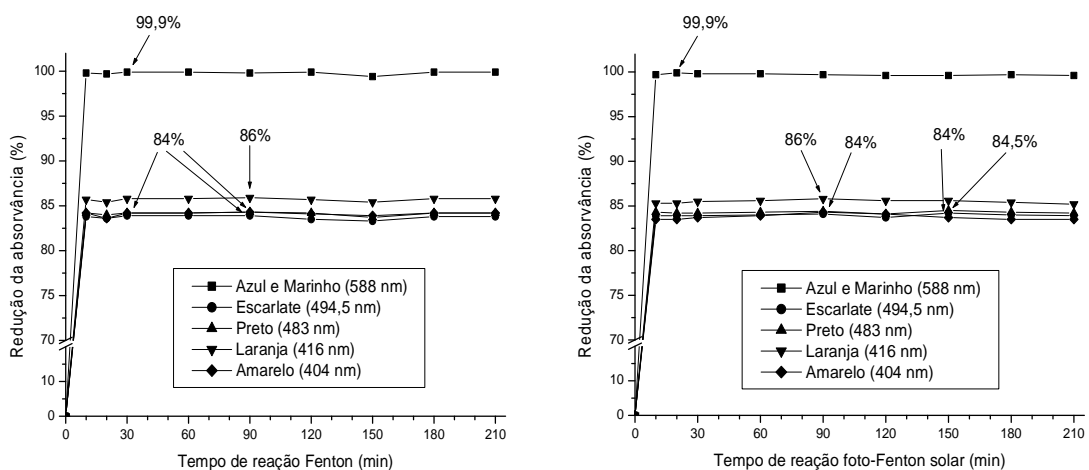
Segundo a análise dos efeitos, pode ser obtida elevada eficiência na redução da DQO com baixo tempo de reação. Os resultados apresentados na Figura 2 mostram que com apenas 10 minutos de reação, os processos Fenton e foto-Fenton artificial e solar atingiram reduções de 90, 95 e 96%, respectivamente. Após este tempo, a eficiência mantém-se constante.



**Figura 2. Percentual de redução da DQO em relação ao tempo de reação**

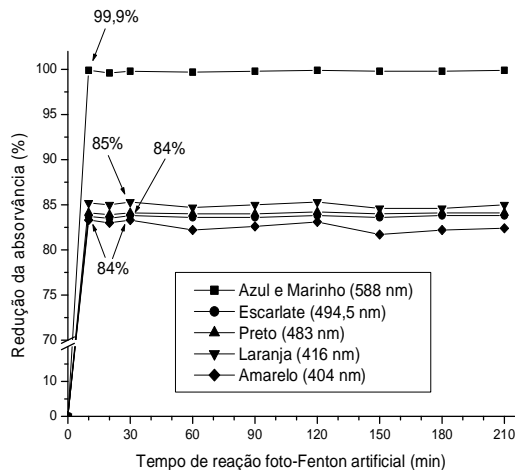
### 3.3. Descoloração

A porcentagem de redução da absorvância em relação ao tempo de reação Fenton, foto-Fenton solar e foto-Fenton artificial são apresentados na Figura 3 (a), (b) e (c), respectivamente. Os resultados apresentam a eficiência de 99,9% na redução dos corantes Azul e Marinho, e cerca de 85% na redução dos corantes Escarlata, Preto, Laranja e Amarelo. Os resultados são similares para todas as técnicas utilizadas.



(a)

(b)



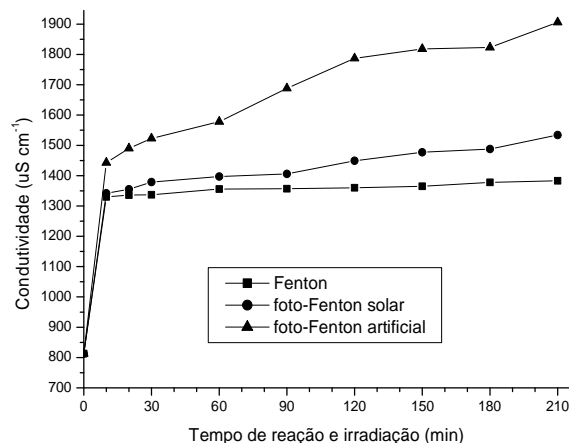
(c)

Figura 3. Percentual de redução dos corantes em relação ao tempo de reação Fenton (a), foto-Fenton solar (b) e foto-Fenton artificial (c)

### 3.2. Aumento da condutividade

Os resultados das análises apresentaram o valor de  $41,8 \mu\text{S cm}^{-1}$  para condutividade inicial do efluente bruto. Após a adição dos reagentes  $\text{Fe}^{2+}$  e  $\text{H}_2\text{O}_2$ , o valor da condutividade elevou-se para  $813 \mu\text{S cm}^{-1}$ . Análises realizadas no efluente tratado apresentaram os valores de condutividade, conforme apresentado na Figura 4.





**Figura 4. Resultados da condutividade do efluente tratado pelos processos Fenton, foto-Fenton solar e artificial**

Os resultados apresentados na Figura 4 mostram valores de condutividade em cerca de 1400, 1500 e 1900  $\mu\text{S cm}^{-1}$ , para o processo Fento, foto-Fenton solar e foto-Fenton artificial respectivamente, no tempo de 210 minutos. O aumento da condutividade esta relacionada com a quantidade de compostos tratados que resultaram em íons dissolvidos. Desta forma, pode-se afirmar que há ocorrências de mineralizações, sendo a técnica foto-Fenton artificial cerca de 25% mais eficiente que as outras técnicas.

#### 4. Conclusões

As melhores condições das variáveis de processo foram: o pH inicial não exerce influência na eficiência dos processos, concentração de  $\text{Fe}^{2+} = 0,6 \text{ g L}^{-1}$ , concentração de  $\text{H}_2\text{O}_2 = 2,0 \text{ g L}^{-1}$  e o tempo de reação em 10 minutos. Estas condições obtiveram reduções de 97,5% da DQO, cerca de 85 a 99,9% de descoloração e o aumento em cerca de 60% no valor da condutividade para o tratamento do efluente têxtil sintético *via* processo foto-Fenton artificial.

Conforme os resultados apresentados neste trabalho, o processo foto-Fenton artificial obteve a maior eficiência entre os processos estudados, seguido pelos processos foto-Fenton solar e Fenton.

#### Agradecimentos

À Capes e a Fundação Parque Tecnológico Itaipu – PTI C&T/FPT, pelo apoio financeiro.

#### Referências

- APHA, AWWA, WPCF. (2005). Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater, 21st ed., American Public Health Association, Washington, DC.
- Barros Neto, Benício, Scarminio, Ieda Spacino, Bruns, Roy Edward. (2007). Como fazer experimentos: pesquisa e desenvolvimento na ciência e na indústria. – 3º Ed. – Campinas, SP: Editora da UNICAMP.
- Garcia, J. C., Oliveira, J. L., Silva, A. E. C., Oliveira, C. C., Nozaki, J., de Souza, N. E.

- (2007). Comparative study of the degradation of real textile effluents by photocatalytic reactions involving UV/TiO<sub>2</sub>/H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> and UV/Fe<sup>2+</sup>/H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> systems. *Journal of Hazardous Materials*, 147. 105-110 p.
- Garcia, J. C., Simionato, J. I., da Silva, A. E. C., Nozaki, J., de Souza, N. E. (2009). Solar photocatalytic degradation of real textile effluents by associated titanium dioxide and hydrogen peroxide. *Solar Energy*, Volume 83, Issue 3, March 2009, Pages 316-322.
- Hassemer, M. E. N. (2006). “Oxidação fotoquímica - UV/H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> - para degradação de poluentes em efluentes da indústria têxtil”. Florianópolis: UFSC, 2006. Tese (Doutorado em Engenharia Ambiental) – Universidade Federal de Santa Catarina.
- Huang, Y. H; et al. (2008). Comparative study of oxidation of dye-Reactive Black B by different advanced oxidation processes: Fenton, electro-Fenton and photo-Fenton. *Journal of Hazardous Materials*, 154. 655–662 p.
- Knittel, D. and Schollmeyer, E. (2008). Functional group analysis on oxidized surfaces of synthetic textile polymers. *Journal of Hazardous Materials*, 154. 83–91 p.
- Liu, R; et al. Degradation and sludge production of textile dyes by Fenton and photo-Fenton processes. (2007). *Dyes and Pigments*, 73. 1–6 p.
- Lucas, M. S and Peres, J. A. (2006). Decolorization of the azo dye Reactive Black 5 by Fenton and photo-Fenton oxidation. *Dyes and Pigments*, 71. 236–244 p.
- Makhotkina, O. S., Preis, S. V., Parkhomchuk, E. V. (2008). Water delignification by advanced oxidation processes: Homogeneous and heterogeneous Fenton and H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> photo-assisted reactions. *A. Cat. B: Envir.*, 74. 134–140 p.
- Primo, O., Rivero, M. J., Ortiz, I. (2008). Photo-Fenton process as an efficient alternative to the treatment of landfill leachates. *J. of Haz. Mate.*, 153. 834–842 p.
- Sottoriva, P. R. S. (2006). “Remediação de efluentes têxteis por processos oxidativos avançados integrados a lodos ativados”. Lorena-SP, 2006. Tese (Doutorado – Programa de Pós-Graduação em Biotecnologia Industrial. Área de Concentração: Conservação de Biomassa) – Escola de Engenharia de Lorena da Universidade de São Paulo.