

Tratamento de Efluente Têxtil Utilizando Coagulação/Floculação e Fenton

Victor Marques Campos e Núbia Natália de Brito

*Instituto de Química, Universidade Federal de Goiás
nubiabrito@ufg.br*

Submetido em 23/01/2014; Versão revisada em 01/04/2014; Aceito em 19/04/2014

Resumo

Este trabalho teve como objetivo o tratamento de um efluente de lavanderia têxtil utilizando sistemas de coagulação/floculação e Fenton. Para tal, estudou-se a concentração do agente coagulante e as condições de pH, para coagulação/floculação e concentração de sulfato ferroso heptahidratado e peróxido de hidrogênio, para o processo Fenton. O desempenho dos processos foram avaliados através de análises da Demanda Química de Oxigênio (DQO), turbidez, cor, pH e ferro total. Para o processo de coagulação/floculação os melhores resultados foram obtidos utilizando 50 mg L⁻¹ de agente coagulante (FeSO₄.7H₂O) em pH 8 com redução de 64% de matéria orgânica, 29% de turbidez e 45% de remoção da cor. Já o processo Fenton apresentou redução de matéria orgânica na faixa de 85%, redução de turbidez de 97% e 90% na remoção da coloração.

Palavras-Chave: remediação, corante têxtil, oxidação.

Abstract

This study aimed to research a system for the treatment of textile effluent laundry using coagulation/flocculation systems and Fenton. For such, it was studied the coagulating agent concentration and the pH conditions, for coagulação/floculação and iron concentration and hydrogen peroxide, for the process Fenton. The performance of the processes was evaluated through analyses of Chemical Oxygen Demand (COD), turbidity, color, pH and total iron. For the coagulation/flocculation process the best results were obtained using 50 mg L⁻¹ of coagulating agent (FeSO₄.7H₂O) at the pH 8 with reduction of 64% of organic matter 29% of turbidez and 45% of removal of the color. Already the Fenton process presented organic matter reduction of 85%, turbidity reduction of 97% and coloration. removal of 90%.

Keywords: remediation, textile dye, oxidation.

INTRODUÇÃO

A indústria têxtil se destaca como uma atividade que impacta o meio ambiente, principalmente em razão do elevado consumo de água e do descarte de resíduos contendo espécies fortemente coloridas e pouco biodegradáveis, muitas das quais apresentam elevado potencial carcinogênico e mutagênico. De modo geral, a

indústria têxtil utiliza sistemas de tratamento baseados em sistemas físico-químicos e biológicos, em muitos casos incompatíveis com as características do efluente gerado (DE SOUZA e PERALTA-ZAMORA, 2005).

O mesmo caso ocorre com efluentes de lavanderias, os quais são normalmente tratados por processo físico-químico de

coagulação/floculação seguido de uma etapa de separação sólido/líquido por sedimentação, flotação ou filtração. A complementação pode ocorrer através de um estágio de polimento pela adsorção em carvão ativado ou da adoção de lagoas de estabilização ou outro processo biológico (BRAILE e CAVALCANTI, 1993).

O sabão e detergente presente na água produzem uma suspensão relativamente estável e é comum depois de prolongada estagnação do efluente que apresente considerável decomposição por bactérias, ocasionando mau cheiro (SCHNEIDER et al., 2005)

A coagulação é o processo por meio do qual o agente coagulante é adicionado à água, reduzindo as forças que tendem a manter separadas as partículas em suspensão, e a floculação é a aglomeração dessas partículas por meio de transporte de fluido, de modo a formar partículas maiores que possam sedimentar (BONGIOVANI, et al., 2010)

Alternativas promissoras para o tratamento de efluentes de lavanderias estão também nos processos oxidativos avançados. Em especial nos que agregam a reação de Fenton, pois o processo permite, ao mesmo tempo, a degradação/mineralização dos compostos orgânicos solúveis pelo radical hidroxila (OH) bem como a remoção dos sólidos suspensos pela precipitação do ferro residual (ZANELLA, et al., 2010).

Sabe-se bem que um caminho para uma melhor utilização da água é o reuso de efluentes industriais para finalidades adequadas à qualidade do mesmo, após os devidos tratamentos (SANTOS, et al., 2010).

Visando contornar tais problemas, este projeto propõe aperfeiçoar o tratamento de

efluente textil proveniente de uma lavanderia na cidade de Goiânia-GO, utilizando a técnica de coagulação/floculação e o processo oxidativo via reação de Fenton.

MATERIALE MÉTODOS

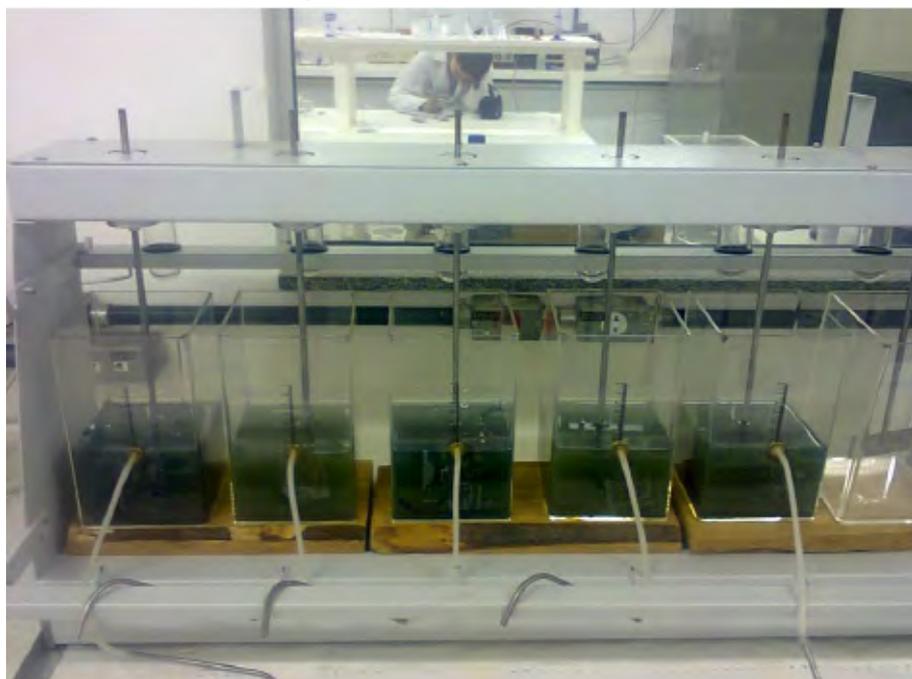
Reagentes

O efluente têxtil proveniente da lavagem de tecido foi fornecido por uma lavanderia localizada em Goiânia - Goiás. No processo de coagulação/floculação foi utilizado sulfato ferroso hepta-hidratado (Cinética química) na concentração de 1000 mg L⁻¹ como fonte de ferro. No processo oxidativo foi utilizado peróxido de hidrogênio (Lafan-Química Fina) 8,6 % m/m padronizado por titulação permanganométrica.

Instrumentos

Os ensaios de coagulação/floculação e Fenton foram realizados em um equipamento JAR TEST (Nova Ética, Modelo 218/06 LDB) (figura 1), que continha 6 jarros cada qual com volume de 1L de efluente. A agitação do processo foi mantida continua por meio das pás giratórias em que no processo de coagulação/floculação apresentou uma mistura rápida de 2 minutos a 100 rpm seguida de

Figura 1: Equipamento Jar test em funcionamento



uma mistura lenta de 20 minutos a 50 rpm e posteriormente uma decantação de 20 minutos. Já no processo Fenton adotou-se uma mistura rápida de 2 minutos a 100 rpm seguida de uma mistura lenta de 30 minutos a 50 rpm e posteriormente uma decantação de 30 minutos. Ambos os processos ocorreram em temperatura ambiente.

Métodos

Na avaliação da eficiência dos tratamentos do efluente têxtil de lavanderia foram empregados os seguintes parâmetros: pH, cor real, turbidez, ferro total, peróxido de hidrogênio residual e matéria orgânica.

O peróxido de hidrogênio residual foi baseado na reação entre peróxido de hidrogênio e o íon vanadato (VO_4^{3-}) em meio ácido. A reação leva à formação de íon peroxovanádio (Vo_2^{3+}) de coloração avermelhada que absorve fortemente em 446 nm (OLIVEIRA et al.; 2001). A coloração do efluente têxtil foi determinada de acordo com a varredura do comprimento de onda utilizando Espectrômetro UV-Vís Perkin-Elmer Lambda 45, para tanto se fez necessário filtragem de todas as amostras a serem determinadas para não ocorrer interferências na análise.

A determinação dos valores de pH foi realizada de acordo com método potenciométrico utilizando medidor de pH 1500 intelligent meter, aferido nos valores padrões de pH 4,0 e 7,0 conforme Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater .

A análise de Demanda Química de Oxigênio (DQO) foi realizada de acordo com o método Colorimétrico utilizando bloco digestor RD 125 e fotômetro Photometer-system MP 100, de acordo com Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater (5220 D), 20th Edition.

As análises de ferro total foram realizadas utilizando um espectrofotômetro de absorção atômica (Perkin-Elmer, modelo Analyst 400). Foram preparadas soluções padrões e posteriormente

construída uma curva padrão, de acordo com Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater, 20th Edition.

As análises de turbidez foram realizadas de acordo com o método nefelométrico, onde suspensão padrão adaptada para a calibração do nefelometro é a de formazina em várias concentrações de acordo com Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater (2130 B), 20th Edition.

Para o processo oxidativo via reação Fenton foi construído um planejamento fatorial 2^2 com ponto central onde foram experimentados 3 níveis: um nível menor (-) , um intermediário (0) e outro maior (+) para as variáveis: concentração de H_2O_2 e de sulfato ferroso heptahidratado.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Caracterização do efluente têxtil

O efluente gerado no dia 03 de setembro de 2012 no processo de lavagem de jeans de uma lavanderia, situada em Goiânia - Goiás apresentou macroscopicamente coloração azul dominante, forte odor de matéria orgânica em putrefação e sedimentos constituídos de fibras de tecido e restos de corantes. O efluente foi coletado com um valor de pH medido 5,22. A turbidez da amostra atingiu o valor de 150 NTU. A DQO medida foi de 287 $\text{mg O}_2 \text{ L}^{-1}$. A concentração de ferro total apresentou valor de 0,095 mg Fe L^{-1} . Na varredura do comprimento de onda do efluente em estudo foi possível verificar uma banda de absorção em $\lambda = 660 \text{ nm}$.

Otimização do processo coagulação/floculação utilizando sulfato ferroso

Nos ensaios de coagulação/floculação foi testada a ação do coagulante: $\text{FeSO}_4 \cdot 7 \text{ H}_2\text{O}$, primeiramente foi realizado um ensaio preliminar com uma dosagem variável de 20 mg L^{-1} a 70 mg L^{-1} (20 mg L^{-1} , 26 mg L^{-1} , 32 mg L^{-1} , 38 mg L^{-1} , 44 mg L^{-1} e 50 mg L^{-1} , 56 mg L^{-1} , 62 mg L^{-1} , 70 mg L^{-1} respectivamente) de sulfato ferroso hepta-hidratado

a pH natural do efluente (pH = 5,22) a fim de determinar sua concentração ótima para este efluente.

Dos testes feitos a concentração de sulfato ferroso hepta-hidratado que apresentou maior eficiência na remoção da turbidez foi de 50 mg L⁻¹, partindo inicialmente de 150 NTU para uma turbidez final de 101 NTU, portanto uma redução de 33%.

Após determinar a concentração ótima do agente coagulante fez-se necessário ensaios para determinar o pH ideal para a otimização do processo de tratamento como um todo. Foram feitos teste com o pH variando entre 4 e 9 (pH, 4, 5, 6, 7, 8, e 9) a uma concentração fixa de Fe SO₄.7 H₂O de 50 mg L⁻¹. Procurou-se avaliar o desempenho das melhores condições de coagulação/floculação, quanto à clarificação do efluente, a redução de matéria orgânica e turbidez.

No que se refere ao parâmetro DQO os ensaios realizados no jarro 5 (pH = 8) apresentaram o melhor desempenho com uma redução do valor de DQO de 65 % (partindo de uma DQO de 287 mgO₂L⁻¹ para 101 mgO₂L⁻¹). Quanto ao parâmetro turbidez os ensaios realizados no jarro 5 (pH = 8) apresentaram

o melhor desempenho com uma redução do valor de turbidez na faixa de 29% (partindo de 150 NTU para 107 NTU). Para o parâmetro cor, os ensaios realizados no jarro 5 (pH = 8) e jarro 1 (pH = 4,0), obtiveram melhores desempenho tendo uma redução de 45 % e 52 %, respectivamente. Porém o ensaio realizado no jarro 1 (pH = 4) apresentou menores eficiências para redução nos valores de turbidez e matéria orgânica quando comparado ao jarro 5 (pH = 8). Espectros de absorvância desses parâmetros podem ser observados na figura 2.

Portanto, o jarro escolhido foi o 5, com as seguintes condições otimizadas: 50 mg FeSO₄.7 H₂O L⁻¹ em pH = 8.

Otimização do processo Fenton utilizando Sulfato Ferroso e peróxido de hidrogênio

Na reação de Fenton o Fe²⁺ reage com o H₂O₂ gerando o radical OH com um alto poder oxidativo, o que o torna interessante à remediação de efluentes. O processo leva à geração de um mol de radical hidroxila para cada mol de peróxido de hidrogênio presente no meio da equação:



Os ions ferrosos (Fe²⁺) servem de catalisadores para decomposição do peróxido de hidrogênio (H₂O₂), em meio ácido, gerando radical hidroxila, extremamente reativo, capaz de oxidar efetivamente grande parte da matéria orgânica presente em efluentes em uma demanda de tempo de apenas alguns minutos. Os radicais hidroxila, formados podem atuar sob vários mecanismos diferentes,

Figura 2: Varredura do comprimento de onda dos jarros 1, 2, 3, 4, 5 e 6

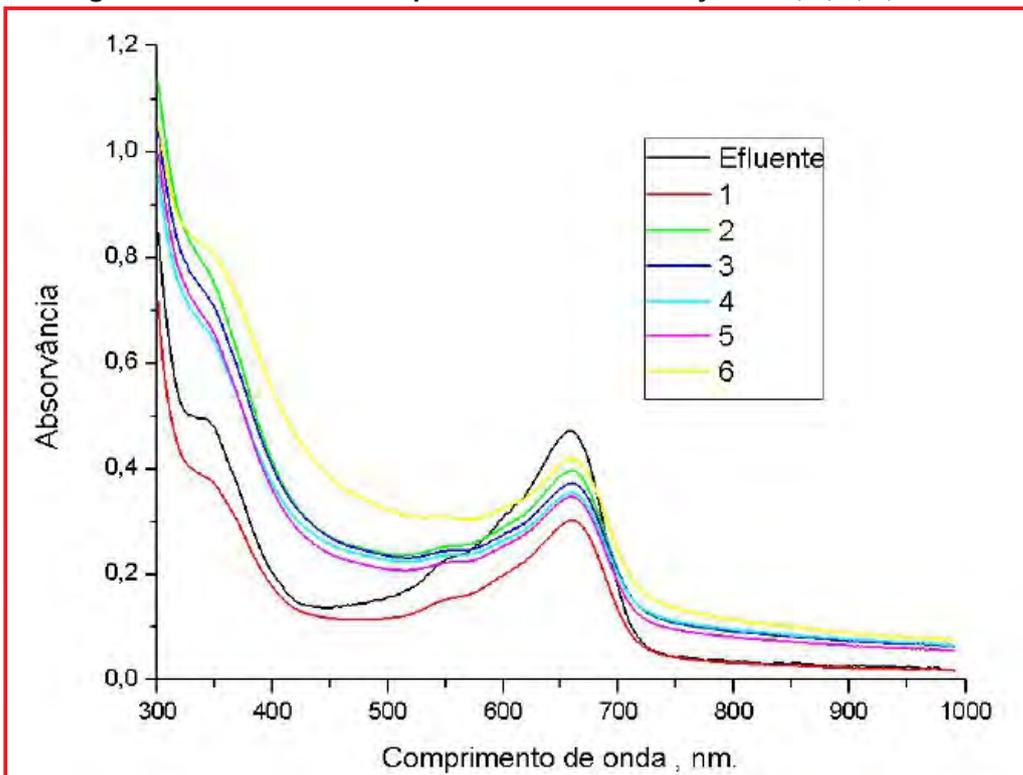


Tabela 1: Resultados obtidos para tratamento de efluente têxtil via reação Fenton

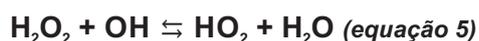
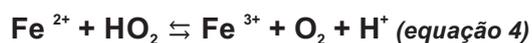
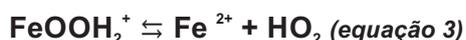
Variável	Nível (-)	Nível (0)	Nível (+)
FeSO ₄ . 7H ₂ O mgL ⁻¹	30 mgL ⁻¹	50 mgL ⁻¹	70 mgL ⁻¹
H ₂ O ₂ 8,5%	34 mgL ⁻¹	60 mgL ⁻¹	86 mgL ⁻¹
Jarros	FeSO ₄	H ₂ O ₂	% de remoção da matéria orgânica
1	-	-	85
2	+	+	77
3	-	+	76
4	+	-	58
5	0	0	45

com adição nucleofílica, abstração de hidrogênio, substituição no anel, produzindo compostos oxidados (NOGUEIRA, et al., 2007).

Um planejamento fatorial 2² com ponto central proposto anteriormente, tem como objetivo determinar a melhor concentração de sulfato ferroso heptahidratado e peróxido de hidrogênio que em conjunto aperfeiçoem o sistema como um todo. Esses ensaios levaram aos seguintes resultados (tabela 1).

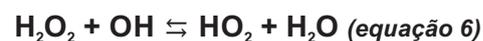
Geralmente a velocidade de degradação aumenta com um aumento na concentração de íons ferrosos. Existe, no entanto, uma concentração ótima de ferro, que é característica do reagente Fenton.

Uma grande quantidade de ferro no meio reacional acarretará um aumento na quantidade de sais de ferro inutilizáveis, que contribuirá no aumento da quantidade de sólidos totais dissolvidos do efluente. É importante salientar que as espécies de ferro em solução aquosa existem como aquo-complexos. Os íons férricos formados podem decompor H₂O₂ cataliticamente a H₂O e O₂, cujos passos são dependentes do pH, formando também íons ferrosos e radicais:



Nesse planejamento fatorial a concentração de ferro que apresentou melhor desempenho foi 6 mgL⁻¹ (30 mg L⁻¹ FeSO₄. 7H₂O), concentração de H₂O₂ de 34 mg L⁻¹ e pH = 4 (jarro 1), com redução dos valores de turbidez 97% partindo de 150 NTU para 4 NTU e redução dos valores de DQO 85% partindo de 287 mg O₂L⁻¹ para 42 mg O₂L⁻¹. Vale ressaltar que o jarro 3 (mesma concentração de sulfato ferroso heptahidratado e maior concentração de peróxido de hidrogênio) apresentou mesma redução de turbidez (97%) diferenciando em desempenho na redução de DQO 76%.

Este fato pode ser explicado da seguinte forma: o H₂O₂ pode também atuar com seqüestrador de radical hidroxila, formando o radical hidroperoxila (Ho₂), o qual apresenta um menor potencial de redução (E° = 1,42 V) que OH, prejudicando, portanto, o processo de degradação (NOGUEIRA, et al., 2007):



Para o parâmetro cor, os espectros de absorvância podem ser verificados na figura 3.

Pode-se observar o desaparecimento da banda de absorção entre 500 nm e 700 nm (pico em 660 nm) evidenciando, portanto uma descoloração do efluente devido à oxidação de grupos cromóforos e auxocromos presentes em corantes e que são determinantes de cor em efluentes têxteis (BRITO,

Figura 3: Espectros de absorvância dos parâmetros utilizados na tabela 1

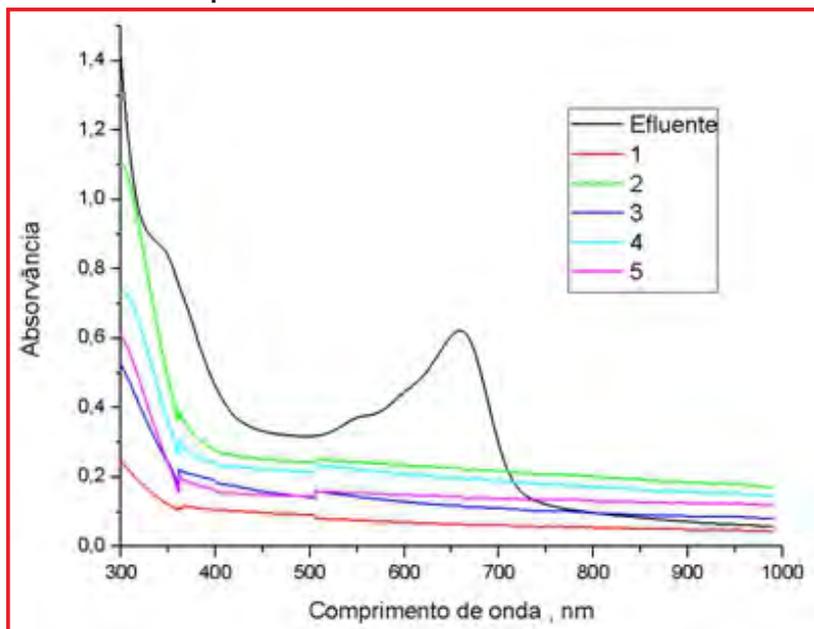


Figura 4: Varredura do comprimento de onda do efluente têxtil, após os tratamentos

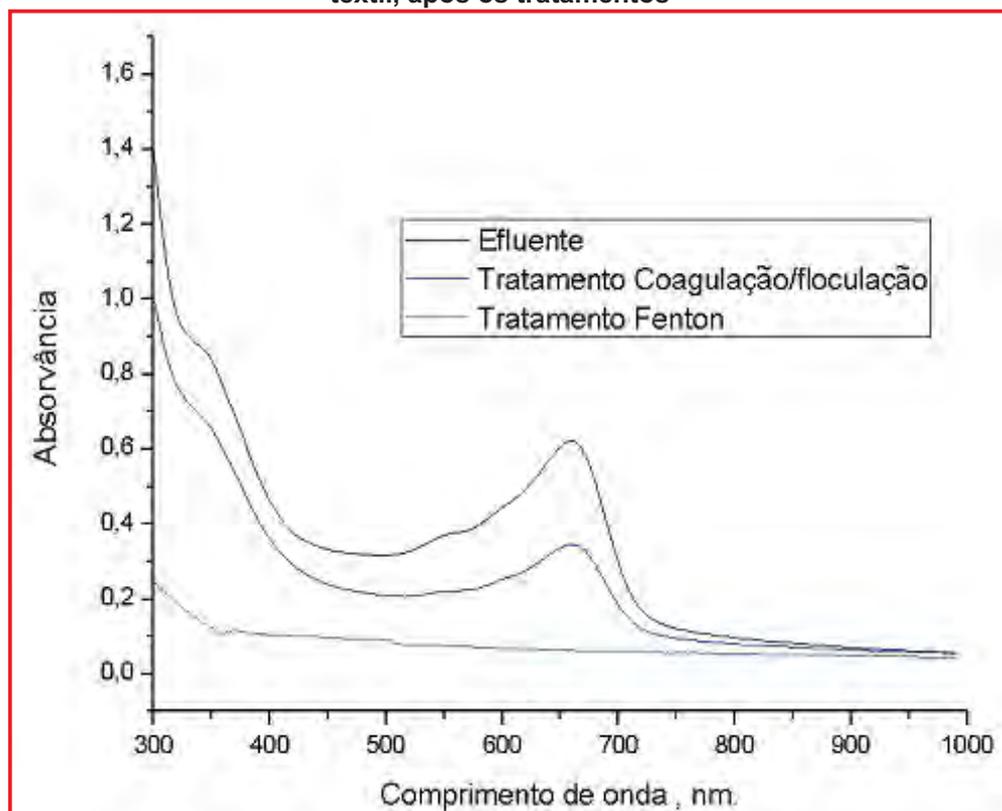


Figura 5: Comparação entre o efluente bruto e após tratamento via Fenton

et al., 2007). A remoção de DQO também foi bastante satisfatória o que enfatiza que além dos grupos causadores de cor, ocorreu oxidação de matéria orgânica e de possíveis intermediários gerados, para CO_2 e H_2O (COELHO et al., 2006).

Portanto utilizando uma concentração de 30 mg L^{-1} de $\text{FeSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ e 34 mg L^{-1} de H_2O_2 se obteve uma redução de 85% de DQO, 97% de turbidez e 90% de redução na coloração real (jarro 1).

Enfatizando que utilizando uma menor concentração de ambos

os reagentes chegou-se a resultados mais satisfatórios que os parâmetros que utilizaram concentrações maiores de reagentes como já explicado nas equações de 2-6. Vale ressaltar que o após tratamento o efluente apresentou $4,58 \text{ mgL}^{-1}$ de ferro total, enquadrado portanto na resolução CONAMA N° 430/2011 para descarte de ferro total (até 15 mg L^{-1}) e não apresentou H_2O_2 residual, portanto consumido em toda a reação.

A figura 4 compara a diminuição da banda de absorção característica do efluente têxtil após ambos os tratamentos propostos sendo claro que o tratamento via reação Fenton obteve melhor resultado quanto ao parâmetro cor. Podendo também ser visualmente comparado com o efluente têxtil bruto na figura 5.

CONCLUSÃO

Os estudos efetuados permitiram concluir que o processo Fenton é mais eficaz na redução de coloração (cerca de 90% de redução), com uma redução de turbidez de 97% além de 85% da redução da matéria orgânica.

Após o tratamento a água residuária se enquadra no limite indicado pela resolução CONAMA N° 430/2011 para descartes de ferro total (no máximo 15 mg L⁻¹).

Porém devido a necessidade de um pH ácido para ocorrência da reação Fenton se faz necessário após o processo uma neutralização da água residuária antes de seu descarte.

A potencialidade do processo para o tratamento de efluentes deve-se a simplicidade de sua aplicação, uma vez que a reação ocorre à temperatura e pressão ambientes, não requer nenhum reagente ou equipamento especial e se aplica a uma grande variedade de compostos.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem ao Programa de Iniciação Científica – PIBIC do CNPq pela bolsa concedida ao estudante Victor Marques Campos.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AMERICAN PUBLIC HEALTH ASSOCIATION-APHA. **Standard Methods for the Water and Wastewater**. 20 ed. New York: APHA, 1998.

BONGIOVANI, M. C.; KONRADT-MORAES, L. C.; BERGAMASCO, R.; LOURENÇO, B. S. S.; TAVARES, C. R. G. Os benefícios da utilização de coagulantes naturais para a obtenção de água potável. **Acta Scientiarum Technology**, v. 32, p. 167-170, 2010.

BRAILE, P.M.; CAVALCANTI, J.E.W.A. **Manual de**

Tratamento de Águas Residuárias. São Paulo: CETESB, 1993. 764p.

BRITO, N.N.; SALES, P.T.F.; PELEGRINI, R. Photochemical treatment of industrial textile effluent containing reactive dyes. **Environmental Technology**, v. 28, p.321-328, 2007.

COELHO, A. ; CASTRO, A. ; DEZOTTI, M.; SANTANNA JR, G. Treatment of petroleum refinery sourwater by advanced oxidation processes. **Journal of Hazardous Materials**, v. 137, p. 178-184, 2006.

DE SOUZA, C. R. L.; PERALTA-ZAMORA, P. Degradação de corantes reativos pelo sistema ferro metálico/peróxido de hidrogênio. **Química Nova**, v. 28, n. 2 p.226-228, 2005.

NOGUEIRA, R.F.P.; TROVÓ, A.G.; DA SILVA, R.M.A.; VILLA, R.D.; OLIVEIRA, M.C. Fundamentos e Aplicações Ambientais dos Processos Fenton e Foto Fenton. **Química Nova**, v. 30, n. 02, p.400-408, 2007.

OLIVEIRA, M.C.; NOGUEIRA, R.F.P.; NETO, J.A.G.; JARDIM, W.F. e ROHWEDDER, J.J.R. **Sistema de injeção em fluxo espectrofotométrico para monitorar peróxido de hidrogênio em processo de fotodegradação por reação fotofenton**. **Química Nova**, v.24, n.2, p. 188-190, 2001.

SANTOS, M.F.; SANTOS, R.S.; BERETTA, M. Reuso de efluentes em atividades industriais. **Revista de Química Industrial**, n.729, p.12-17, 2010.

SCHNEIDER, I. A. H.; MENEZES, J.C. S. S.; PIZZOLATO, T. M. Avaliação de Processos de Coagulação/Floculação, Adsorção e Reação de Fenton no Tratamento do Efluente de uma Lavanderia Industrial. **Química Têxtil**, Brasil, v. 80, p. 36-48, 2005.