Reuso de efluente têxtil após tratamento complementar com reagente de Fenton

REUSE OF TEXTILE WASTEWATER AFTER ADDITIONAL TREATMENT BY FENTON'S REAGENT

Marília Cleto Meirelles Ribeiro⁽¹⁾

Mônica Maria Diniz Leão⁽²⁾

⁽¹⁾ Engenheira Química, Mestre em Saneamento, Meio Ambiente e Recursos Hídricos (UFMG)

⁽²⁾ Engenheira Química, Doutora em Engenharia de Antipoluição (INSA, França), Professora adjunta do DESA (UFMG).

Endereço: Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental – DESA / Escola de Engenharia / Universidade Federal de Minas Gerais – UFMG - Av. Contorno, 842/804 - Centro - Belo Horizonte - MG - CEP: 30110-060 - Brasil - Tel: (31) 3409-1887 - E-mail: marilia@cleto.eng.br.

chemical parameters defined as suitable for the characterization of waters subject to industrial textile use. The water produced by further treatment is fed to the textile mill, where testing for reuse is conducted in order to evaluate the impact on the quality of dyed fabrics. Results show that most parameters achieves significant removal. The dying tests show positive results, indicating the possibility of wastewater reuse after the suggested treatment.

Palavras-chave: reuso industrial; efluente têxtil; reagente de Fenton.

Key words: industrial reuse; textile wastewater; Fenton's reagent.

RESUMO

Este estudo avalia a possibilidade de reuso industrial de efluentes têxteis convencionalmente tratados por lodos ativados e submetidos a tratamento complementar por processo oxidativo avançado, através do uso de reagente de Fenton. O processo é aplicado em efluente coletado à saída da estação de tratamento de uma indústria têxtil. A qualidade do efluente, antes e após o tratamento sugerido, é monitorada em termos de 16 parâmetros físico-químicos determinados adequados para a caracterização de águas sujeitas a uso industrial têxtil. A água obtida por tratamento complementar é fornecida à indústria têxtil, onde testes de reuso são conduzidos para avaliação de seu impacto à qualidade de tingimento de tecidos. Resultados demonstram que a maioria dos parâmetros alcança remoção significativa. Os testes de tingimento apresentam resultados positivos, indicando a possibilidade de reuso do efluente após tratamento proposto.

ABSTRACT

This study assesses the possibility of reusing textile wastewater treated by conventional activated sludge process and submitted to further treatment by advanced oxidative process, through the use of Fenton's reagent. The process is applied to an effluent from the conventional treatment station of a textile mill. The quality of the wastewater before and after the additional treatment is monitored in terms of 16 physical-

INTRODUÇÃO

Devido à grande quantidade de água demandada na produção, e às diversas possibilidades de recondicionamento de seus efluentes, a indústria têxtil apresenta elevado potencial na aplicação de técnicas que viabilizem o reuso de água. O efluente industrial que atualmente é tratado por sistema convencional – lodos ativados – pode ser submetido a um tratamento posterior para remoção de componentes recalcitrantes a fim de ser reutilizado no processo.

Para identificação das possibilidades de reuso de água na indústria é fundamental a caracterização dos efluentes gerados, já que alguns parâmetros físico-químicos são essenciais à avaliação da qualidade da água requisitada para uso industrial. Para cada tipo de aplicação, o grau de qualidade exigido pode variar significativamente, de modo que sejam minimizados os riscos ao processo, produto ou sistema no qual a água será utilizada (SAUTCHÚK *et al.*, 2004).

Na literatura, a qualidade da água a ser utilizada em processos têxteis possui restrições que variam conforme o autor. A determinação de parâmetros físico-químicos considerados relevantes à qualidade requerida da água para uso industrial têxtil em efluentes destinados ao reuso

é essencial para a tomada de decisão acerca de sua aceitação. A comparação entre as características físico-químicas antes e após intervenção de um tratamento complementar sobre o efluente indica se o tratamento sugerido pode ser suficiente para o reuso proposto.

Dentre as opções de tratamentos que visam ao polimento de efluentes industriais, destacam-se os processos oxidativos avançados (POA), apresentando vantagens por destruírem poluentes ao invés de simplesmente transferi-los de fase. Os POA se caracterizam pela geração de radicais hidroxila ($\cdot\text{OH}$), altamente oxidantes, que são capazes de provocar a mineralização da matéria orgânica a dióxido de carbono, água e íons inorgânicos (TEIXEIRA & JARDIM, 2004).

Um dos processos mais difundidos é a utilização de reagente de Fenton, no qual se aplicam peróxido de hidrogênio (H_2O_2) e íons Fe^{2+} em solução. Os radicais hidroxila, responsáveis pela degradação dos poluentes, são gerados pela decomposição do peróxido catalisada pelos íons ferrosos. A dosagem ótima desses reagentes é fundamental para a eficiência do processo e varia de acordo com o tipo de efluente. Ajuste de pH na faixa de 3,0 e temperatura entre 20-40°C também são essenciais para a eficácia do tratamento.

METODOLOGIA

Na primeira etapa fez-se um levantamento bibliográfico a fim de selecionar parâmetros físico-químicos considerados relevantes à caracterização de águas para uso no processo industrial têxtil. Tal procedimento foi realizado com base em recomendações e restrições para a qualidade da água requerida por indústrias têxteis, disponíveis em estudos acadêmicos, manuais de uso e reúso de água, livros, cartilhas e publicações destinados à utilização e conservação de água na indústria.

A segunda etapa consistiu na caracterização físico-química do efluente coletado à saída da estação de tratamento convencional de efluentes (ETEI) de uma indústria têxtil localizada no município de Ribeirão das Neves, Minas Gerais.

Na terceira etapa, o efluente da ETEI foi submetido a tratamento complementar utilizando-se o reagente de Fenton, à base de peróxido de hidrogênio e sulfato ferroso heptahidratado, na proporção mássica de 1:2:2 em relação a $\text{DQO}/[\text{H}_2\text{O}_2]/[\text{Fe}^{2+}]$. Para acidificação e neutralização do sistema, utilizaram-se ácido sulfúrico e hidróxido de sódio. O sistema foi mantido em aparelho *jar-test* sob agitação mecânica a 100 rpm, temperatura ambiente e pH 3. Após 120 minutos de reação, procedeu-se à neutralização do sistema, coagulação e posterior decantação do lodo formado. O sobrenadante foi caracterizado através dos mesmos parâmetros determinados para o efluente da ETEI.

Numa última etapa, foram realizados testes de tingimento de tecidos na indústria têxtil, em escala piloto, utilizando-se o efluente tratado com reagente de Fenton e, em paralelo, as águas de produção geralmente utilizadas na fábrica, a fim de se comparar os efeitos causados pelo reúso sobre os tecidos produzidos.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

De acordo com Araújo & Castro (1984), a água para utilização industrial têxtil deve atender às seguintes exigências de qualidade: não possuir excesso de ácido nem álcali; apresentar pH compreendido entre 5 e 9, mas o mais próximo possível de 7; não ser corrosiva para tanques e tubulações; não conter substâncias que formem espuma e odores desagradáveis.

A Agência de Proteção Ambiental Americana – USEPA (2004) ressalta que as águas utilizadas na produção de têxteis não podem causar manchas. Para tanto, devem ser livres de corantes e possuir baixos teores de turbidez, cor e ferro. Águas duras podem causar coágulos que se depositam nos tecidos e problemas em alguns dos processos que usam sabão. Nitratos e nitritos podem causar problemas na etapa de tin-

Tabela 1. Relação de parâmetros físico-químicos e métodos analíticos selecionados.

Parâmetro	Método analítico	Referência (APHA, 2005)
Cor	Espectrofotométrico de varredura	De Mio & Campos, 1998 *
Demanda Química de Oxigênio - DQO	Colorimétrico, refluxo fechado	Standard Methods 5220 D
pH	Potenciométrico	Standard Methods 4500-H ⁺ B
Alcalinidade total	Titulometria potenciométrica	Standard Methods 2320 B
Dureza total	Titulométrico	Standard Methods 2340 C
Condutividade	Potenciométrico	Standard Methods 2510 B
Sólidos Dissolvidos Totais - SDT	Gravimétrico, secagem a 180°C	Standard Methods 2540 C
Sólidos Suspensos Totais - SST	Gravimétrico, secagem a 103-105°C	Standard Methods 2540 D
Turbidez	Nefelométrico	Standard Methods 2130 B
Nitrato	Colorimétrico (salicilato de sódio)	Rodier & Rodi, 1981
Nitrito	Colorimétrico	Standard Methods 4500-NO ₂ ⁻ B
Cloreto	Titulométrico	Standard Methods 4500-Cl ⁻ B
Sulfato	Turbidimétrico	Standard Methods 4500-SO ₄ ²⁻ E
Ferro total	Absorção atômica	Standard Methods 3111 C
Manganês total	Absorção atômica	Standard Methods 3111 C
Cobre total	Absorção atômica	Standard Methods 3111 C

* adaptado

* adaptado

gimento e recomenda-se que não estejam presentes em quantidades significativas.

Conforme publicação sul-africana do Departamento de Águas e Florestas – DWAF (1996) que estabelece diretrizes para a qualidade da água para uso industrial nesse país, o excesso de matéria orgânica é prejudicial ao produto e ao processo, na medida em que alguns ácidos orgânicos de origem húmica podem interferir na cor dos pigmentos utilizados na produção de têxteis, causando manchas e coloração não uniforme nos produtos. Além disso, a demanda adicional de oxigênio exercida pela elevada concentração de matéria orgânica em operações de branqueamento leva à necessidade de uso de agentes branqueadores em excesso.

A alcalinidade elevada, especialmente em águas duras ou em processos alcalinos, promove a precipitação de carbonatos de cálcio e magnésio. Tais precipitados interferem em inúmeros processos na fabricação de tecidos, já que podem reagir com certos corantes e bloquear os difusores de umidificadores utilizados no processo têxtil (DWAF, 1996).

Devido à irregularidade provocada, a aderência desigual de sólidos em suspensão aos produtos tingidos gera tecidos de qualidade prejudicada, podendo tam-

bém influenciar no brilho obtido em tais tecidos (DWAF, 1996).

Já a presença de manganês interfere nas operações de branqueamento, uma vez que a oxidação do manganês a permanganato pode causar manchas, descoloração e opacidade no tecido. Além disso, a formação de complexos de manganês com corantes é capaz de torná-los inativos (DWAF, 1996).

Diante disso, foram definidos como relevantes à caracterização de efluentes sujeitos a reuso industrial têxtil os parâmetros apresentados na Tabela 1, com os respectivos métodos analíticos selecionados.

A caracterização físico-química do efluente antes e após intervenção do tratamento complementar proposto são apresentados na Figura 1 e na Tabela 2.

Observa-se pelas curvas de absorção e aspecto visual do efluente (Figura 1), que a cor alcançou remoção praticamente total. De um modo geral, conforme Tabela 2, o efluente apresentou melhora de sua qualidade após a aplicação do reagente de Fenton. Todos os parâmetros sofreram redução em suas concentrações iniciais, com exceção apenas de sulfato, que por consequência, influenciou no aumento da concentração de sólidos dissolvidos totais e da condutividade.

Porém, foi observado na etapa de testes de reuso

Figura 1. (a) Determinação de cor do efluente por varredura do espectro; (b) Aspecto visual.

Tabela 2. Resultados da caracterização físico-química do efluente.

Parâmetro	Unidade	ETEI	Fenton	Parâmetro	Unidade	ETEI	Fenton
DQO	mgO ₂ /L	211	62	Nitrato	mg/L	3,2	3,2
pH	-	7,7	7,5	Nitrito	mg/L	0,33	0,01
Alcalinidade	mgCaCO ₃ /L	374	77	Cloreto	mg/L	1780	1746
Dureza	mgCaCO ₃ /L	96	69	Sulfato	mg/L	245	1362
Condutividade	mS/cm	6,8	8,3	Ferro	mg/L	0,94	0,50
SDT	mg/L	4700	5976	Manganês	mg/L	0,12	0,04
SST	mg/L	49	5,6	Cobre	mg/L	0,11	0,02
Turbidez	UNT	25	3,1				

que os íons responsáveis pelos níveis elevados de condutividade e SDT não interferem negativamente no processo, visto que esses fatores não prejudicaram o tingimento do tecido utilizado nos testes. De certa forma, os sólidos dissolvidos podem inclusive ser proveitosos, já que no processo de tingimento é usual a adição de eletrólitos, que têm como função transportar o corante do meio aquoso para as fibras do tecido.

Em conformidade com observação feita por Mierzwa & Hespanhol (2005), o principal problema relacionado aos sólidos dissolvidos é seu acúmulo à medida que o efluente possa ser utilizado, tratado e reciclado no processo, já que em nenhuma das etapas do ciclo ocorre sua remoção, havendo apenas o acréscimo constante de íons ao longo do percurso, seja pela adição de produtos químicos no processo ou de reagentes no tratamento.

A Figura 2 apresenta a imagem dos tecidos produzidos no laboratório da empresa têxtil, de acordo com o procedimento adotado na produção em escala industrial. As imagens foram obtidas por fotografia digital, sendo os tecidos submetidos a exposição luminosa e distância focal fixas.

Figura 2. Resultado do tingimento de tecidos com (a) água de

produção e (b) água de reuso.

Todas as amostras de tecido obtidas foram aprovadas pelo controle de qualidade da indústria, apresentando resultados plenamente satisfatórios. Não foram verificadas formação de manchas, descoloração, opacidade ou qualquer outro efeito indesejável nos tecidos produzidos com o efluente após seu tratamento por reagente de Fenton, indicando-o como sendo apropriado para reuso no processo industrial têxtil.

CONCLUSÕES

O presente estudo permite a definição de parâmetros essenciais à caracterização de efluentes têxteis para reuso: cor, DQO, pH, alcalinidade, dureza, condutividade, SDT, SST, turbidez, nitrato, nitrito, cloreto, sulfato, ferro, manganês e cobre.

Avalia-se o reuso do efluente tratado com reagente de Fenton na proporção $DQO/[H_2O_2]/[Fe^{2+}]$ de 1:2:2 como possível, considerando-se a qualidade da água

obtida, os requisitos industriais têxteis e os testes práticos de reuso.

Ressalta-se a importância de uma avaliação associada à viabilidade técnica e econômica para a aceitação definitiva do tratamento e reuso proposto do efluente em escala industrial.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem à Fapemig (processo TEC 1123/06), à CAPES (Procad 0064/05-0) e à Comissão Organizadora do 3º Workshop Uso e Reuso de Águas Residuárias.

REFERÊNCIAS

- APHA; AWWA; WEF. *Standard methods for the examination of water and wastewater*. 21. ed. Washington: APHA, 2005.
- ARAÚJO, M.; CASTRO, E.M.M. *Manual de engenharia têxtil*. v.2. Lisboa: Fundação Calouste Gulbenkian, 1984.
- DE MIO, G. P.; CAMPOS, J. R. "Proposição de método para avaliação da remoção de cor em efluentes líquidos de indústria têxtil". In: XXVI Congreso Latinoamericano de Ingeniería Sanitaria y Ambiental, XXVI, 1998, Lima/Peru. *Anais do XXVI Congreso Latinoamericano de Ingeniería Sanitaria y Ambiental*. CD-ROM.
- DWAF - Department of Water Affairs & Forestry. *South African water quality guidelines*. v.3: Industrial Water Use. 2. ed. 1996.
- MIERZWA, J. C.; HESPANHOL, I. *Água na indústria: uso racional e reuso*. São Paulo: Oficina de Textos, 2005. 144 p.
- RODIER, J.; RODI, L. *Análisis de las aguas: aguas naturales, aguas residuales, aguas de mar*. Barcelona: Omega, 1981. 1059 p.
- SAUTCHÚK, C. A.; LANDI, F. D. N.; MIERZWA, J. C.; VIVACQUA, M. C. R.; DA SILVA, M. C. C.; LANDI, P. D. N.; SCHMIDT, W. *Conservação e reuso de água: manual de orientações para o setor industrial*. v.1. São Paulo: FIESP, 2004. 90 p.
- TEIXEIRA, C. P. A. B.; JARDIM, W. F. *Processos oxidativos avançados*: Caderno temático. v.3. UNICAMP, Campinas, agosto 2004. 83 f. Apostila.
- USEPA – United States Environmental Protection Agency. *Guidelines for water reuse*. Washington. 2004. p. 17.