



Estudo do Custo de Energia Elétrica para o Tratamento de Efluentes da Indústria Têxtil por Eletrocoagulação

Laura E. Araújo¹, Michaele P. S. de Miranda¹, Bruna D. C. da Silva¹,
Alyson S. G. Tenório¹, Milton P. de Melo Júnior², Abel Coelho da Silva Neto³

¹Estudantes do Curso Técnico em Eletrotécnica e Bolsistas PIBIC-IFAL.

²Estudante do Curso Tecnológico em Sistemas Elétricos e Bolsista IFAL/CNPq.

³Doutor em Ciências/Físico-Química e Professor de Química – IFAL. E-mail: abel.coelho@ifalpalmeira.edu.br

Resumo: A indústria têxtil é uma das maiores produtoras de efluentes líquidos. Os efluentes gerados nas indústrias têxteis variam enormemente em sua composição sendo constituídos de diversas substâncias químicas com coloração e com certo odor, prejudiciais ao meio ambiente. Desta maneira, torna-se essencial um apropriado sistema de tratamento para eliminação destes contaminantes. A técnica de eletrocoagulação é um método alternativo que vem demonstrando grande eficiência no tratamento de efluentes. Este trabalho teve como objetivo uma análise empírica do consumo de energia elétrica em kWh/m³ no tratamento de efluente por meio de eletrolises onde foi empregada uma corrente de 0,1 A, tensão de 2,4 V, tempo de tratamento de 10 minutos e obtendo um percentual de redução de cor de 99% para o corante *Tupy[®] vermelho 13*. Foram usados eletrodos de alumínio com área submersa de 35,2 cm², a densidade da corrente igual a 2,84 mA/cm². Os resultados obtidos foram de grande expressividade, pois contrastam a elevada eficiência do método na redução das cargas poluidoras com um consumo de energia elétrica equivalente a 40 kWh/m³ e um custo financeiro superior a dois milhões de reais por mês para uma indústria.

Palavras-chave: consumo de energia, efluente têxtil, eletrocoagulação, tratamento

1. INTRODUÇÃO

A contaminação do meio ambiente pelas indústrias teve início no século XVIII, com a Revolução Industrial, e desde então o problema teve um crescimento expressivo (DIAS, 2007). Esta problemática que afeta diretamente a saúde humana, serve de alerta e esta possibilitando o desenvolvimento de alternativas pra minimizarem a degradação ambiental que as indústrias provocam.

Em especial, o setor têxtil, precursor da industrialização no Brasil, segundo KUNZ et al. (2002) é responsável por grande parte da poluição ambiental, uma vez que emite gases, resíduos sólidos, ruídos, odores e grandes quantidades de efluentes líquidos. Destacando as características dos efluentes líquidos industriais que por sua vez contêm inúmeras substâncias contaminantes, devido à intensa utilização de produtos químicos e às variações em seus processos torna esse efluente um composto complexo que pode causar danos ao meio ambiente se não for adequadamente removido ou tratado. Muitas das substâncias utilizadas e que não foram retiradas no tecido são descartadas como efluente, por exemplo. (LEÃO et al., 2002).

De modo geral, existem diversos tratamentos. O tratamento biológico dos efluentes da Indústria têxtil é a técnica convencional mais utilizada, porém o mesmo não apresenta tanta eficiência, na remoção de matéria orgânica e coloidal (BRASILEIRO et al., 2005; FRANCO, 2009). Assim um processo muito estudado e bastante promissor na atualidade é o eletroquímico (SANTOS et al., 2005).

O processo eletrolítico ocorre quando um potencial é aplicado por uma fonte externa de corrente provocando uma reação química não espontânea no meio aquoso (MAHAN E MYERS, 2003; RUIZ E GUERRERO, 2002). Este processo de tratamento eletroquímico de efluentes possibilita aumentar a capacidade e eficiência do tratamento físico-químico tradicional (SILVA et al., 2005).

De acordo com GIORDANO e FILHO (2000), os sistemas de tratamento são controlados objetivando a eficiência da remoção dos contaminantes e os custos operacionais. Os custos operacionais estão relacionados com a manutenção e o consumo energético do reator em kWh/m³ de água tratada. A fim de se atingir estes objetivos foram realizados testes em escala de laboratorial, nos quais o processo foi testado e avaliado quanto à aplicação do tratamento de efluentes específicos.



2. MATERIAL E MÉTODOS

Para a realização das análises práticas foi preparado o efluente sintético, com um corante de tingir tecidos (TUPY® vermelho 13), utilizando uma balança semi-analítica, mediu-se 1,000 g do corante e 1,000 g de cloreto de sódio (NaCl). O efluente sintético foi dissolvido em água destilada e transferido para o balão volumétrico (1000 mL) e feita a aferição completando o volume também com água destilada, assim o balão volumétrico foi colocado em um agitador magnético Nova Ética® com velocidade de 20 rpm, durante 5 minutos para que o corante ficasse totalmente dissolvido e o efluente sintético fosse melhor homogeneizado.

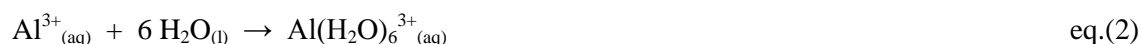
Em seguida transferiu-se o efluente para um reator eletrolítico de bancada com capacidade para 1L de efluente, com distância aproximada de 3 cm entre os eletrodos de alumínio com área submersa de 35,2 cm² empregados como ânodo e cátodo. Aplicou-se uma corrente elétrica de 0,1A utilizando um gerador de corrente contínua, Fonte Instrutherm FA 130®.

O processo eletroquímico utilizado para o tratamento foi o de eletrocoagulação que é caracterizado pela eletrolise realizada com anodos de sacrifício onde há passagem da corrente elétrica através deles provoca a sua dissolução conforme as reações apresentadas nas equações de (1) a (4).

Oxidação do alumínio sólido (reação anódica):



Solvatação do cátion formado:



Formação do agente coagulante:



Reações de complexação:



A eletrolise da água no cátodo produz hidroxilas que reagem com os cátions livres formando hidróxidos metálicos, reagindo também com os contaminantes presentes no meio aquoso. Estes hidróxidos coagulam e em seguida formam flocos e precipitam no estado sólido. De acordo com SILVA et al. (2005), o conjunto de eletrodos é a fonte de geração de agentes coagulantes.

As eletrólises foram realizadas em tempo de 10 minutos e o potencial elétrico foi registrado durante todo o processo, tendo ficado em torno de 2,40 V.

As amostras de 5 ml foram recolhidas em tubos de ensaio em três fases distintas: primeira amostra retirada antes do tratamento; segunda amostra recolhida após o tratamento por eletrólise e a terceira amostra foi recolhida depois de ter passado pelos processos de eletrólise e de centrifugação sob velocidade de 2500 rpm durante 3 minutos. A centrifugação foi aplicada como processo de separação das fases (líquido-flocos) visando acelerar a sedimentação, onde o corpo mais denso da mistura sólido-líquida, no caso os flocos, se depositou no fundo do recipiente devido à ação da gravidade, permitindo uma resposta mais rápida da análise. As amostras foram recolhidas desta maneira para possibilitar uma comparação dos efluentes pré e pós o tratamento.

O teste foi feito em um espectrofotômetro, utilizando um comprimento de onda 500 nm. Depois de várias práticas e análises podemos concluir que o corante (TUPY® vermelho 13), apresentou uma melhor absorvância, ou “limpeza” no relatado comprimento de onda e com um baixo custo de energia elétrica.



3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Para medir a eficiência deste tratamento eletroquímico, principalmente com relação ao custo, foi analisado o consumo energético em kWh/m³ e os percentuais de remoção de cor. A avaliação do custo do processo foi estimada por extrapolação a partir da tarifa estabelecida pela ANEEL (Agência Nacional de Energia Elétrica), sendo o kWh de 29 centavos para a indústria (COSERN, 2008). Não foram considerados os impostos. As Equações (5) a (8) foram utilizadas para calcular tal custo.

$$C_1 = (E \times i \times t) / V \quad \text{eq.(5)}$$

Onde:

C_1 = Consumo de energia em Wh/m³

$E = 2,4$ V [potencial aplicado (volts)]

$i = 0,1$ A [intensidade de corrente de eletrólise (Ampere)]

$t = 1/6$ hora (tempo total de eletrolise)

$V = 0,001$ m³ [volume de efluente tratado (m³)];

Obtendo-se, com estes valores,

$$C_1 = 40 \text{ Wh/m}^3 \quad \text{eq.(6)}$$

Convertendo para kWh/m³, temos

$$C_1 = 0,04 \text{ kWh/m}^3 \quad \text{eq.(7)}$$

A equação (5) demonstra o gasto energético do tratamento de efluente sintético produzido em escala laboratorial e todos os cálculos foram feitos por extrapolação, pelo qual é perceptível que através desse experimento conseguimos demonstrar que, além da elevada eficiência deste tratamento na remoção de contaminantes, o consumo de energia elétrica é bastante reduzido. O consumo de energia para tratar 1 m³ de efluente sintético foi de 0,04 kWh/m³.

Segundo LEÃO et al (2002) são necessários aproximadamente 150 litros para produzir 1 kg de tecido sendo que 80 % deste volume são descartados como efluente e apenas 12 % do total compõem as perdas por evaporação. Como geralmente uma indústria produz em torno de 57000 kg de tecido por dia. O que gera uma quantidade aproximada de efluente de 6840 m³ por dia.

Com estes dados aplicados a Equação (8) pode-se estimar o consumo de energia elétrica mensal.

$$C = C_1 (\text{kWh/m}^3) \times V_m (\text{m}^3) \quad \text{eq.(8)}$$

Onde:

C = consumo energético kWh em 30 dias.

$V_m = 6840 \times 30 = 205200$ m³ (volume estimado do efluente de uma indústria em um mês)

O consumo de energia é, portanto,

$$C = 8.208 \text{ kWh} \quad \text{eq.(9)}$$

O custo energético em reais (R) que uma determinada indústria terá para tratar seu efluente pode ser calculado multiplicando o valor do kWh para indústria (R\$ 0,29) pelo consumo de energia estimado para um mês (C), conforme apresentado na equação (10).



$$R = 8.208 \times 0,29 = 2.380,00 \text{ reais (por mês)} \quad \text{eq.(10)}$$

Diante destes resultados podemos observar que os custos financeiro com energia que a indústria teria que arcar para realizar o tratamento de seus efluentes por eletrocoagulação seriam viáveis, e ainda devem ser considerados os 99% de remoção de cor do efluente.

6. CONCLUSÕES

Se considerarmos os custos ambientais que esses resíduos causam para o ecossistema, para o próprio homem e para a própria indústria, que deve a sociedade a responsabilidade por seus poluentes e se também for levada em conta a eficiência do método, podemos concluir que a eletrocoagulação precisa continuar sendo explorada em nível de pesquisas, buscando a minimização dos custos operacionais, incluindo o uso de energias alternativas para promover as eletrólises, e também sua sistematização em um tratamento em fluxo contínua.

As perspectivas futuras para este trabalho são de adequação de um reator eletrocoagulador usado para tratamento de água do petróleo desenvolvido por este grupo de pesquisa (patente nº PI 1010501-8 A2) para o tratamento de efluentes com corantes têxteis.

AGRADECIMENTOS

À Direção Geral do campus Palmeira dos Índios do IFAL.

À Coordenação de Pesquisa do campus Palmeira dos Índios do IFAL.

À PRPI/IFAL

Ao CNPq

REFERÊNCIAS

BRASILEIRO, I. M. N.; VILAR, E.O; CAVALCANTE, E. B.; TONHOLO, J. – **Eletro-oxidação do fenol presente em águas de produção de campos de petróleo**. In: Congresso Brasileiro de P&D em Petróleo e Gás Natural, nº3, 2005, Salvador.

COSERN- **Tarifas de Energia Elétrica em Vigor a partir de 22 de abril de 2008**. Resolução Homologatória 637/2008, ANEEL.

DIAS, R. - **Gestão ambiental: responsabilidade social e sustentabilidade**. São Paulo: Atlas, 2007

FRANCO, L. C. A. C. – **A gestão dos efluentes das indústrias têxteis e os princípios da responsabilidade social em Sergipe**. Dissertação submetida ao Programa de Pós-graduação em Saúde e Ambiente, 90p, Abril, 2009.

GIORDANO G.; Filho, O. B. - **O Processo Eletrolítico Aplicado Ao Saneamento Ambiental De Balneários**. In: XXVII Congresso Interamericano De Engenharia Sanitária E Ambiental. Associação Brasileira De Engenharia Sanitária E Ambiental, 2000.

KUNZ, A.; et. al - **Novas tendências no tratamento de Efluentes têxteis**. Química Nova. São Paulo, v. 25, n. 1, p. 78-82, jan. /fev. 2002.

LEÃO, M. M. D. PINTO, N. M. C. - **Controle ambiental na indústria têxtil: acabamento de malhas**. Belo Horizonte. Segrad, 2002.



MAHAN, B. M; MYERS, R. J. – **Reações de oxi-redução**. In: Química: um curso universitário. 4ª Edição. Ed Edgard Blucher Ltda. São Paulo, 2003. p.187.

RUIZ, A. C.; GUERRERO, J. A. C. – **Eletrólise**. In: Química. 2002. São Paulo: Pearson Education do Brasil, 1992. P.564.

SANTOS, A. C.; SILVA, S. R.; TONHOLO, J.; ZANTA, C. L. P. S. – **Tratamento de água produzida de petróleo através da tecnologia eletroquímica**. In: Congresso Brasileiro de P&D em Petróleo e Gás Natural, nº3, 2005, Salvador.

SILVA, P. C. F.; MAINIER, F. B.- **Tecnologia Eletroquímica Aplicada Ao Tratamento De Efluentes Industriais**. In: VII Semana De Engenharia Da Universidade Federal Fluminense, IV Seminário Fluminense De Engenharia, Niterói, 2005.

SILVA NETO, A. C.; TONHOLO, J; ZANTA, C. L. P. S; Universidade Federal de Alagoas – UFAL. *Eletrocoagulador para Tratamento de Águas Residuárias* - PI 1010501-8 A2, 30/12/2012.