

"REATOR ELETROLÍTICO PARA TRATAMENTO DE EFLUENTES TÊXTEIS"

A presente patente tem por objetivo apresentar um modelo inovador de reator para uso no tratamento de efluentes têxteis, em especial corantes, podendo ser estendida sua aplicação, mediante adequações, ao trato de efluentes domésticos e industriais em geral. Dada a demanda por formas de tratamentos alternativos, foi concebido o reator, enfocando a versatilidade para manejo e eficiência para remoção de cor, através do estudo das variáveis densidade de corrente, tempo de tratamento, vazão e tipo de eletrólito de suporte.

Atualmente é possível encontrar na literatura uma grande gama de projetos de reatores eletroquímicos - alguns em fase de comercialização (Pletcher & Weinberg, 1992) - e sistemas de tratamento concebidos para atuar na remediação de efluentes. Em geral, estes reatores consistem de células eletrolíticas compostas por eletrodos dispostos paralelamente ou eletrodos circulares rotativos, imersos na solução a ser tratada, ocorrendo muitas vezes a necessidade de auxílio de membranas, chicanas e filtros, o que torna os processos estruturalmente mais complexos e dispendiosos economicamente.

O reator proposto, além de possuir um modelo tubular fechado diferenciado, se caracteriza por sua construção compacta de baixo custo, facilidade de manutenção e transporte, longa vida útil e capacidade de adequação quanto ao volume e tipo de efluente a ser tratado. Ainda, permite a utilização conjunta com lâmpada ultra-violeta, possibilitando também o tratamento fotocatalítico de efluentes. Ou seja, sua eficiência no caso de determinados efluentes pode ser aumentada quando aplicados os processos eletrolítico e fotocatalítico conjuntamente.

Embora para cada efluente tenha sua particularidade, é notória a existência de uma relação entre a eficiência do sistema de tratamento e a metodologia empregada. Pode-se considerar que, de modo geral, os processos eletrolíticos têm a vantagem de ser ambientalmente compatíveis, na medida em que o reagente principal é o elétron. A aplicação do processo eletrolítico

tem se mostrado muito útil, especialmente quando as águas residuárias apresentam substâncias persistentes, pois permitem aumento da biodegradabilidade, bem como diminuição da toxicidade de efluentes (Reed et al., 1998).

5 Particularmente aos corantes, os métodos habitualmente utilizados para remediação são os tratamentos convencionais, tais como oxidação biológica, adsorção ou coagulação com sais de ferro ou alumínio (Hachem et al., 2001). No entanto, estas formas de tratamento possuem algumas limitações, tais como a ocupação de grandes áreas de instalação, longos
10 tempos de retenção do efluente e eficiência limitada para a remoção de cor. Também, devido à variabilidade na composição dos resíduos, podem se tornar inadequados (Willels & Ashbolt, 2000).

O tratamento eletrolítico por sua vez pode sanar estas dificuldades operacionais, na medida em que pode oferecer versatilidade quanto ao volume
15 e tipo de efluente a ser tratado, relativa facilidade de automação, diminuição do tempo de tratamento, menores áreas de instalação e maior vida útil do sistema, dependendo do tipo de eletrodo utilizado, podendo ser economicamente mais interessante (Rajeshwar et al., 1994).

Dentre os tipos de eletrodos utilizados em processos eletroquímicos, os
20 eletrodos de titânio cobertos por finas camadas de óxidos metálicos têm sido empregados para promover a eletro-oxidação de compostos. No caso do presente projeto, foi utilizado o eletrodo de titânio recoberto com TiO_2/RuO_2 . Este tipo de óxido, quando utilizado como material anódico, apresenta várias propriedades interessantes, tais como a possibilidade de ativação por luz ultra-
25 violeta, boa resistência mecânica, estabilidade química numa ampla faixa de pH, relativo baixo custo e ausência de toxicidade (Ziulli & Jardim, 1998).

Descrição do reator

Foi construído um reator de forma cilíndrica, de titânio metálico e revestido internamente com óxidos na proporção de $70TiO_2/30RuO_2$. Este tubo
30 constitui o corpo do reator e também funciona como anodo (Figura 1-A). O cátodo, também de forma cilíndrica (Figura 1-B), foi construído de tela de titânio e colocado concentricamente ao anodo. Dentro do catodo, foi inserido um tubo

de quartzo para possibilitar colocação de lâmpada UV e propiciar a expansão do sistema para tratamento fotocatalítico em conjunto.

O catodo é isolado eletricamente do anodo por meio de isoladores plásticos e uma película isolante entre as flanges, e o corpo do reator (anodo) pode ser por sua vez isolado do local de sustentação através de espuma isolante. Os reator recebe a polarização necessária ligando-se cabos aos contatos elétricos e à uma fonte elétrica externa.

Para proporcionar a possibilidade do reator para operar conjuntamente com o processo fotocatalítico, foram projetadas e confeccionadas duas tampas de polipropileno preto irradiado, que foram colocadas nas extremidades inferior e superior do tubo de titânio (Figura 1-D). O polipropileno preto irradiado tem a característica de ser praticamente inerte aos raios ultra-violeta, não sendo atacado fotoquimicamente e não permitindo a transmissão destes raios. A Figura 1 mostra a seqüência de montagem do reator, onde A: anodo, B: catodo, C: anodo + cátodo, D: reator completo, com vedações e tampas. O diagrama esquemático do reator pode ser visualizado na Figura 2.

O efluente a ser tratado é impulsionado para dentro do reator por meio de bomba hidráulica. O fluxo é na direção vertical, com sentido ascendente em relação ao reator, ou seja, o líquido sai pela parte de cima do mesmo, para então retornar novamente ao reservatório. Esta disposição tem a finalidade de retirar a camada de oxigênio formada e aumentar a eficiência das reações químicas.

Redução da coloração e degradação de corantes

Foi utilizada uma solução de corante Preto Remazol a 15 mg/L, feita a partir da dissolução do corante em água destilada. Os experimentos neste caso foram conduzidos na presença do eletrólito suporte Na_2SO_4 na concentração $0,1\text{mols.L}^{-1}$. A solução assim preparada apresentou absorbância inicial de $0,4258 \pm 0,020$ em 597 nm. Também foram submetidos ao tratamento eletrolítico, dois efluentes reais de indústria têxtil, resultantes do processo de tingimento da empresa. O primeiro efluente, era composto principalmente pelo corante Índigo Blue (CI VAT Blue 1), com absorbância inicial de 0,5475 (diluição de 25 vezes) a 678 nm e o outro efluente composto por uma mistura

de corantes, com absorvância inicial de 0,6752 (diluição de 25 vezes) em 666 nm.

Inicialmente, aplicou-se o processo eletrolítico utilizando-se do reator na solução de Preto Remazol empregando-se uma densidade de corrente elétrica 6,8 mA.cm⁻² e com vazão variável, observou-se uma redução na cor de 91% em 3000 L.h⁻¹ em 120 minutos de tratamento, mostrando que as reações no reator foram favorecidas pelo aumento da vazão (Figura 3). Comparativamente aos tratamentos biológicos, que habitualmente demandam muitos dias para o tratamento de efluentes contendo corantes, este tempo de tratamento é muito menor, sendo portanto interessante do ponto de vista econômico e ambiental.

Calculou-se a constante média de remoção da cor (k), sendo que o valor encontrado para uma vazão (Q) de 3000 L.h⁻¹ foi de 3,56.10⁻⁴ m.s⁻¹. Através dos valores de k podemos verificar que a velocidade de remoção da cor aumenta com a vazão.

Para avaliar o efeito da densidade de corrente na degradação da cor, escolheu-se a vazão de 1000 L.h⁻¹ e variou a densidade de corrente nos experimentos. A escolha deste valor de vazão é devido a este ter proporcionado um boa redução da cor num curto intervalo de tempo em relação à vazões superiores (Figura 4).

Avaliou-se a ordem da velocidade de remoção também para este caso. Para valores de densidade de corrente testados superiores a 3,60 mA.cm⁻² (k = 2,57.10⁻⁴ m.s⁻¹, redução de 88% da cor), nota-se uma variação cada vez menor na redução da cor, alcançando o máximo em 46,06 mA.cm⁻² (k = 5,02.10⁻⁴ e redução de 92% na cor) em 120 minutos de tratamento.

A temperatura dos experimentos com o corante Preto Remazol ficou aproximadamente constante em torno de 30 °C e o valor do pH medido sofreu, em geral, uma alteração menor que 3%. As medidas de Carbono Orgânico Total também não apresentaram variação substancial, sendo a maior variação obtida no processo eletrolítico à 6,8 mA.cm⁻² com 300L.h⁻¹ de 16% entre a concentração inicial e a concentração após 120 min de tratamento.

Nos experimentos com os efluentes da indústria têxtil, foram obtidas reduções da cor da ordem de 99%, em apenas 45 minutos de processo, tanto para o Índigo Blue quanto para o efluente composto, utilizando $J = 67,11 \text{ mA.cm}^{-2}$ (Figura 5). Isto novamente comprova a eficácia do reator em relação aos tratamentos convencionais aplicados. A cor, quando presente em efluentes, impede a passagem da luz no meio aquático, interferindo na fotossíntese de microrganismos e prejudicando a biota.

Os dados obtidos para os testes de Carbono Orgânico Total (reduções de 30% e 38% em 45 min e 44% e 39% em 180 min para o Índigo Blue e efluente composto respectivamente), conforme a Figura 6, demonstram o aumento de degradabilidade possibilitada pelas reações químicas ocorridas no reator, quantificada em termos de redução da matéria orgânica total. Estes resultados são importantes do ponto de vista sanitário e ambiental, haja visto que a degradação natural se processa muito lentamente, podendo demorar décadas.

Quando realizadas medidas de Demanda Química de Oxigênio, verificou-se redução de 90% para o efluente contendo Indigo Blue e 74% para o efluente composto, em 180 minutos de processamento à 3000 L.h^{-1} (Figura 7). Esta análise permite intuir que houve uma diminuição da recalcitrância do efluente, tornando-o mais passível de degradação.

Bibliografia

Hachem, C.; Bocquillon, F.; Zahraa, O.; Bouchy, M. decolourization of textile industry wastewater by the photocatalytic degradation process. *Dyes and Pigments* v.49, n.2, 2001, pp.117-125.

Pletcher, D., Weinberg, N. L. The green potential of electrochemistry. *Chemical Engineering*, 132-141, November/1992.

Rajeshwar, K, Ibanez, J. G., Swain, G. M. Electrochemistry and the environment. *Journal of Applied Electrochemistry*, London, v.24, 1994, p.1077-91.

Reed, B. E., Matsumoto, M. R., Jensen, J. N., Viadero Junior, R., Lin, W. Physicochemical processes. *Water Environment Research* v.70, pp. 449-468, 1998.

Willems, J.R.M.; Ashbolt, N.J. Understanding anaerobic decolourisation of textile dye wastewater: mechanism and kinetics. *Water Science & Technology* v.42, n.1, 2000, pp.409-415.

Zioli, R. L.; Jardim, W. F. *Quimica Nova* v. 21, n.3, 1998, pp.319-325.

REIVINDICAÇÕES

1. **“REATOR ELETROLÍTICO PARA TRATAMENTO DE EFLUENTES TÊXTEIS”**, caracterizado por operar com eletrodos cilíndricos concêntricos, em compartimento único, com sentido ascendente do fluxo de entrada do efluente, utilizando catodos e anodos de titânio revestidos com $\text{TiO}_2/\text{RuO}_2$, para tratamento de efluentes têxteis contendo corantes reativos e/ou dispersivos.

2. **“REATOR ELETROLÍTICO PARA TRATAMENTO DE EFLUENTES TÊXTEIS”**, caracterizado por utilizar a diferença de potencial entre eletrodos e/ou a aplicação da corrente elétrica, via fonte externa, para promover a oxidação de espécies químicas recalcitrantes em efluentes têxteis.

3. **“REATOR ELETROLÍTICO PARA TRATAMENTO DE EFLUENTES TÊXTEIS”**, caracterizado por permitir a redução da cor, redução do teor de Carbono Orgânico Total e redução da Demanda Química de Oxigênio em corantes reativos e/ou dispersivos.

4. **“REATOR ELETROLÍTICO PARA TRATAMENTO DE EFLUENTES TÊXTEIS”**, caracterizado por proporcionar o tratamento fotocatalítico em configuração opcional, para atuar isolado e/ou conjuntamente com o tratamento eletrolítico de efluentes têxteis contendo corantes reativos e/ou dispersivos.

5. **“REATOR ELETROLÍTICO PARA TRATAMENTO DE EFLUENTES TÊXTEIS”**, caracterizado por possuir o corpo externo do reator desempenhando funcionalmente o papel de anodo.

6. **“REATOR ELETROLÍTICO PARA TRATAMENTO DE EFLUENTES TÊXTEIS”**, caracterizado por possuir cátodo cilíndrico de titânio revestido com DSA[®] em forma de tela.

7. **“REATOR ELETROLÍTICO PARA TRATAMENTO DE EFLUENTES TÊXTEIS”**, caracterizado por utilizar tampas de polipropileno irradiado nas extremidades, com sistema de vedação com o'ring e dispositivo de travamento do tubo de quartzo.

8. “REATOR ELETROLÍTICO PARA TRATAMENTO DE EFLUENTES TÊXTEIS”, caracterizado por proporcionar, mediante adequações, a possibilidade de tratamento de diversos tipos de efluentes domésticos e industriais.

5 **9. “REATOR ELETROLÍTICO PARA TRATAMENTO DE EFLUENTES TÊXTEIS”**, caracterizado por oferecer a possibilidade de adequação das dimensões do reator em função da quantidade e do tipo de efluente a ser processado.

10 **10. “REATOR ELETROLÍTICO PARA TRATAMENTO DE EFLUENTES TÊXTEIS”**, caracterizado por possibilidade de utilização como pré-tratamento ou pós-tratamento aos processos biológicos convencionais.

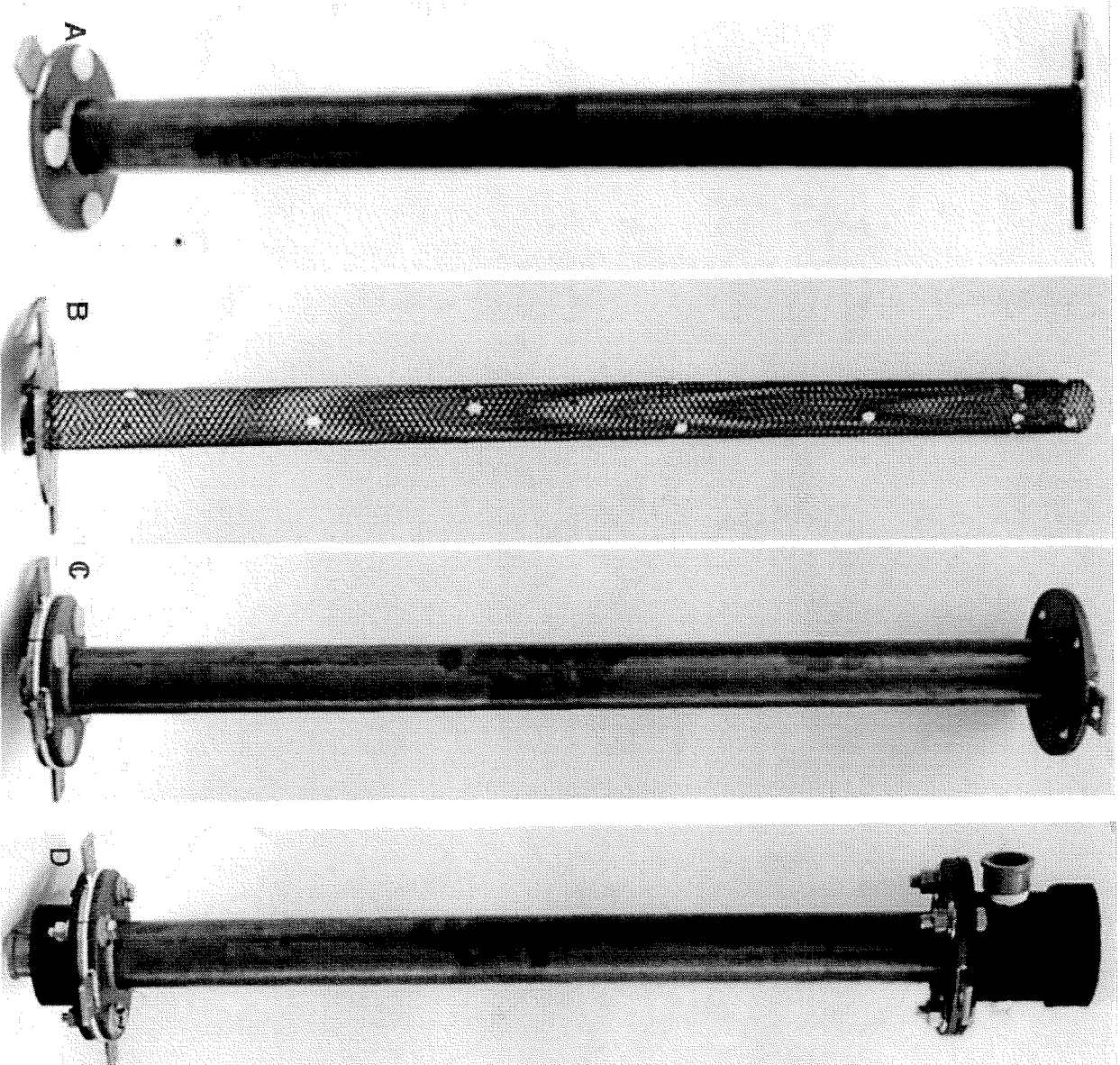


Figura 1

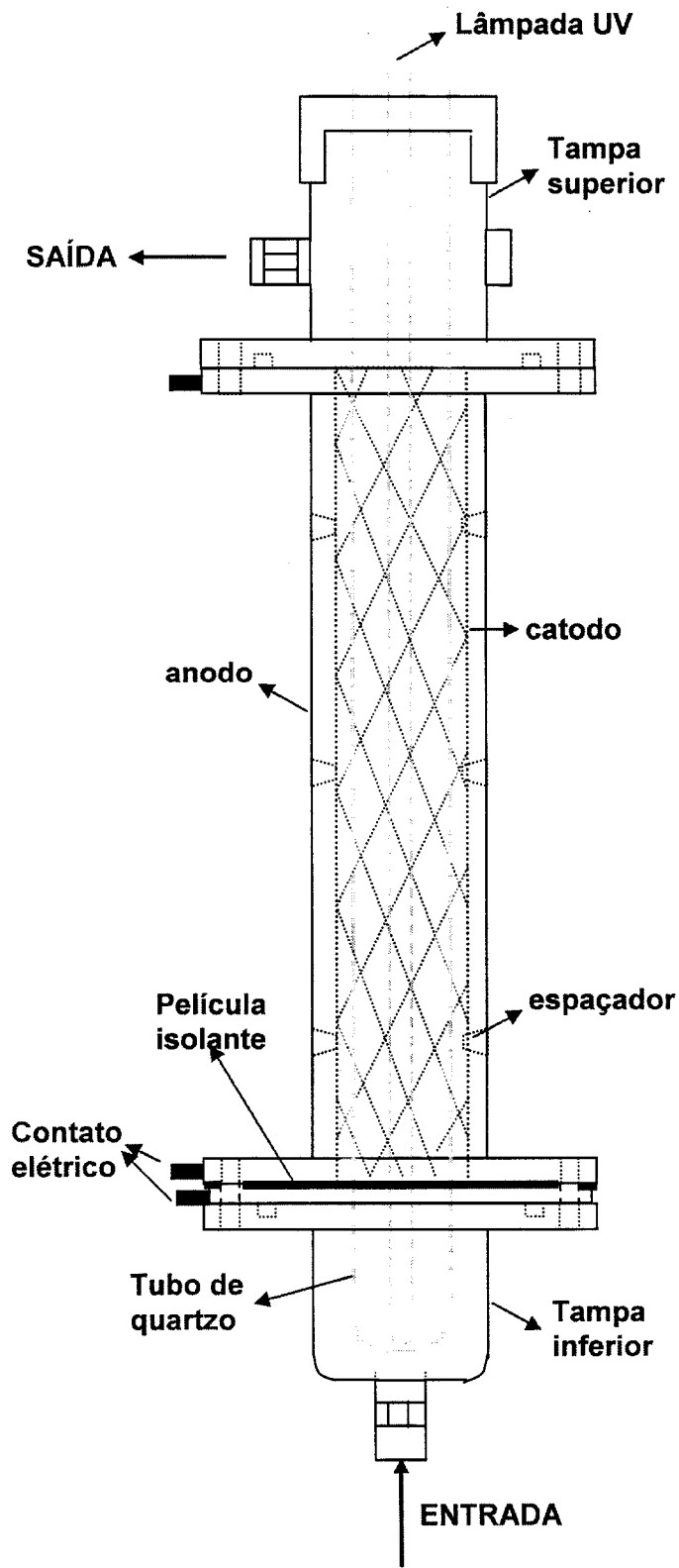


Figura 2

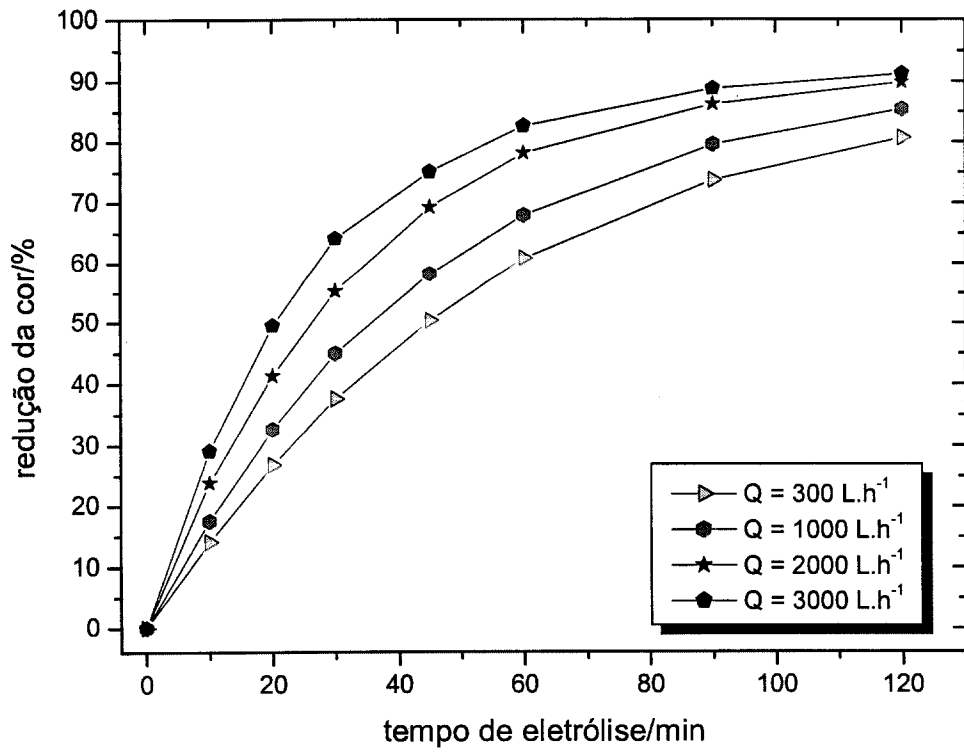


Figura 3

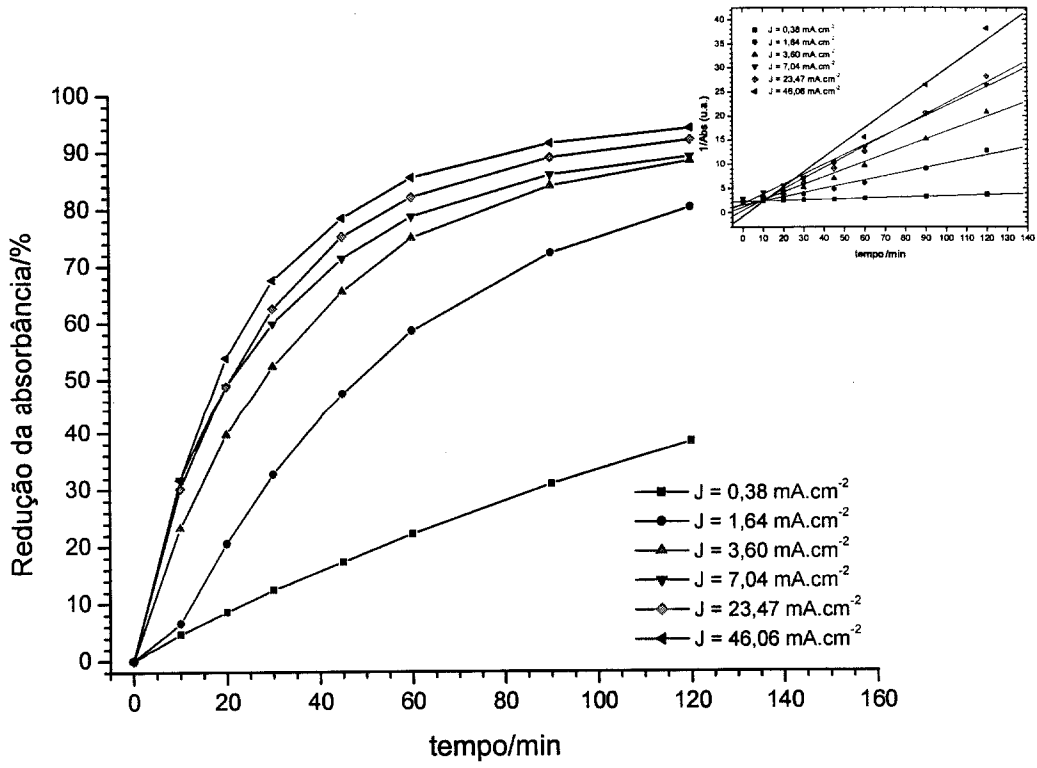


Figura 4

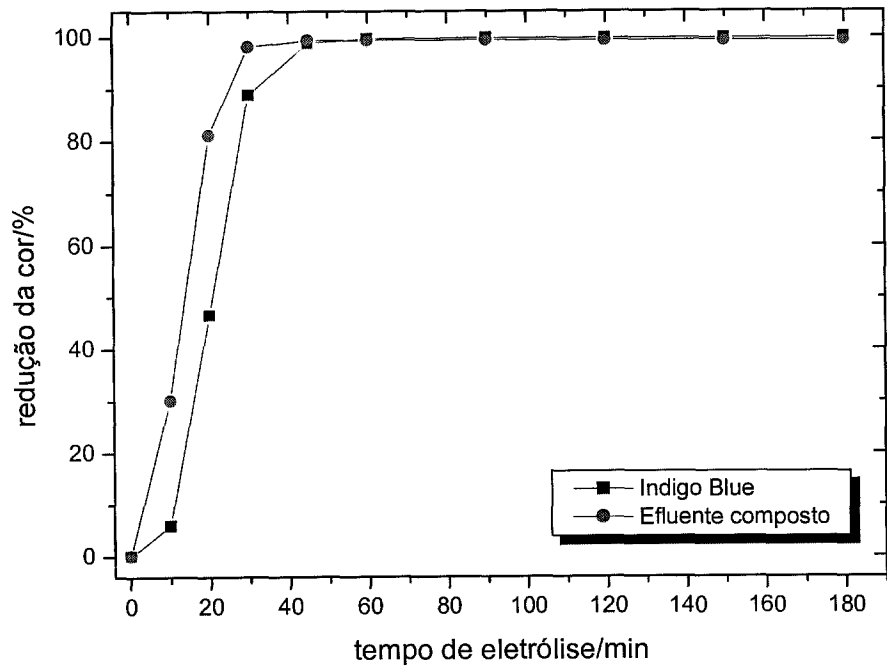


Figura 5

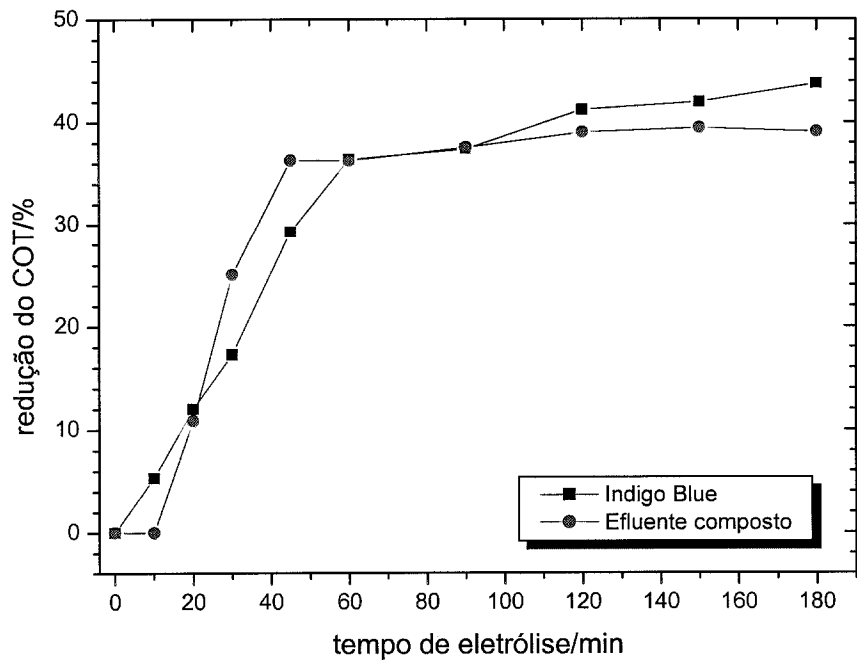


Figura 6

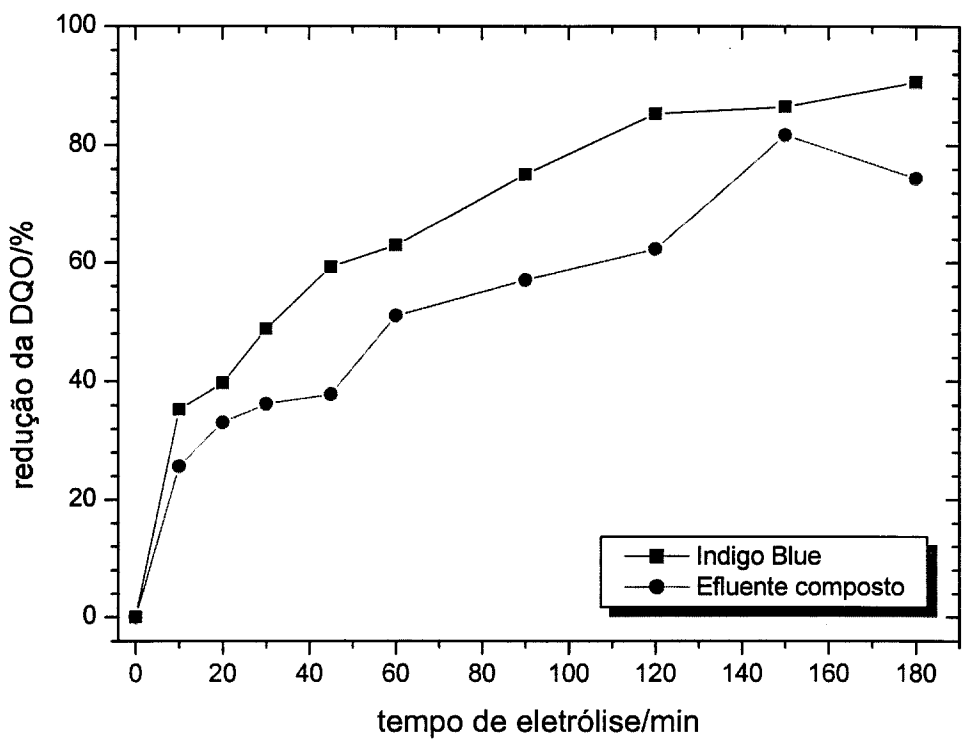


Figura 7

RESUMO

"REATOR ELETROLÍTICO PARA TRATAMENTO DE EFLUENTES TÊXTEIS"

Este desenvolvimento refere-se a um equipamento destinado à
5 utilização como pré-tratamento, tratamento ou pós-tratamento de efluentes de
indústria têxteis contendo corantes reativos e dispersivos, sendo expansível ao
tratamento de diversos tipos de efluentes domésticos e/ou industriais. O reator
possui uma estrutura compacta, e consiste de um sistema tubular concêntrico
de eletrodos de titânio revestido por $\text{TiO}_2/\text{RuO}_2$, fechado nas extremidades por
10 tampas de polipropileno irradiado e com um tubo de quartzo central. O reator
utiliza o processo eletrolítico, onde a aplicação de diferença de potencial via
fonte externa entre eletrodos desencadeia reações químicas na superfície
destes levando à formação de radicais capazes de degradar espécies químicas
recalcitrantes presentes em efluentes. Oferece ainda, a possibilidade de
15 tratamento fotoquímico, por meio de colocação de lâmpada ultra-violeta dentro
do tubo de quartzo. O sistema se mostrou eficiente no tratamento de corantes,
pois permitiu uma rápida degradação da solução contendo corante Preto
Remazol, verificados por reduções da cor superiores a 88% a partir de 90
minutos de tratamento e reduções no teor de Carbono Orgânico Total. Quando
20 aplicado no efluente da indústria têxtil, foram obtidas reduções da cor da ordem
de 99% em 45 minutos de processamento. Houve também, redução superior a
39% no teor de Carbono Orgânico Total em 180 minutos, enquanto que foi
obtida redução superior a 74% na Demanda Química de Oxigênio. As reduções
da cor, do COT e da DQO podem estabelecer relação com a degradabilidade e
25 recalcitrância do corante e, conseqüentemente, pode-se esperar um aumento
da biodegradabilidade desses corantes após o tratamento com o reator
proposto.