

## II-047 – OTIMIZAÇÃO DOS PARÂMETROS OPERACIONAIS DE UM SISTEMA DE TRATAMENTOS DE EFLUENTES COM CORANTES DA INDÚSTRIA TÊXTIL POR PROCESSOS ELETROQUÍMICOS

**Germana de Paiva Pessoa<sup>(1)</sup>**

Química Industrial pela Universidade Federal do Ceará. Mestranda em Engenharia Civil, área de concentração em Saneamento Ambiental pela Universidade de Federal do Ceará.

**Antônio Idivan Vieira Nunes<sup>(2)</sup>**

Professor do Departamento de Engenharia Hidráulica e Ambiental da Universidade Federal do Ceará.

**Endereço<sup>(1)</sup>:** Campus do Pici – Bloco: 713 - Fortaleza – CE – Brasil – Tel.: +55 (85) 33669623 - Fax: +55 (85) 33669627 - e-mail: [germanapaiva@hotmail.com](mailto:germanapaiva@hotmail.com)

### RESUMO

A eletrocoagulação (EC) é uma das técnicas mais eficazes para remoção de cor e poluentes orgânicos provenientes de águas residuárias, reduzindo também a quantidade de lodo formado. Neste trabalho, estudou-se utilização da eletrocoagulação como técnica de tratamento de efluente têxtil com o objetivo de remover a cor visando reutilizar a água tratada. O método utilizado nesse experimento foi o de batelada utilizando o alumínio como material dos eletrodos. O corante utilizado nesse experimento foi o Remazol Blue RR, pertencente à da classe dos reativos, utilizado para tingir algodão e outras fibras celulósicas. O efeito dos parâmetros operacionais, tais como: a densidade de corrente, o pH inicial da solução, o tempo de eletrólise, a concentração inicial do corante e a condutividade da solução foram estudados com o objetivo de se alcançar o máximo de remoção de cor do efluente. Além dos parâmetros citados, avaliou-se também a demanda química de oxigênio (DQO), o consumo de energia e o consumo dos eletrodos.

**PALAVRAS-CHAVE:** Eletrocoagulação, efluente têxtil, reuso de água, remoção de cor.

### INTRODUÇÃO

A indústria têxtil consome uma quantidade considerável de água durante os processos de fabricação e beneficiamento de tecidos. Durante os processos usuais de tingimento e acabamento são utilizados aproximadamente 100 litros de água por tonelada de tecido. [1] A água utilizada nos processos realizados pela indústria necessita de um pré-tratamento para poder ser descartada na rede coletora ou em corpos receptores devido às características do efluente gerado, como a forte cor e alta turbidez. [2]

Um dos maiores problemas do efluente têxtil está relacionado à cor, devido às grandes estruturas poliméricas que os corantes apresentam e são muito difíceis de decompor biologicamente. [3]. A principal causa da geração desse efluente caracterizado pela forte cor seria a lavagem em banhos correntes para a retirada do excesso do corante original ou do corante hidrolisado que não foi fixado à fibra. [4]

Devido à problemática envolvendo os efluentes têxteis várias técnicas, como, coagulação química seguida de sedimentação e adsorção, processo anaeróbio com mediador redox, processos oxidativos avançados, vêm sendo aplicadas para o tratamento desse tipo de efluente visando além da adequação perante a legislação, a reciclagem da água para processos na própria indústria.

### MATERIAIS E MÉTODOS

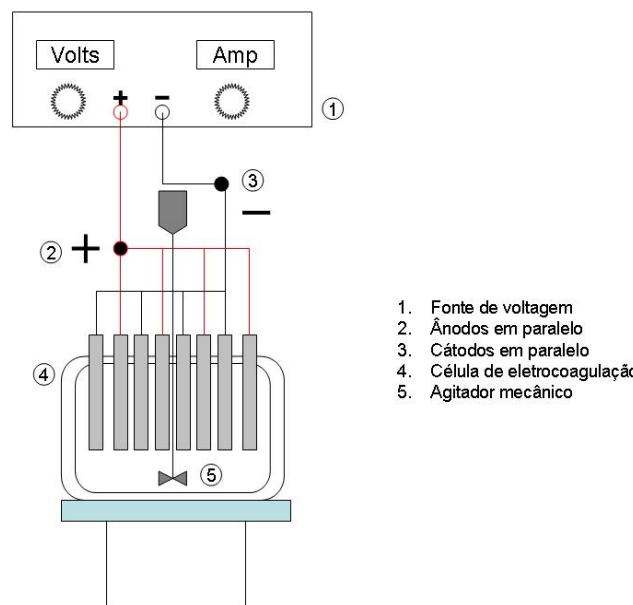
#### Materiais

O corante utilizado neste trabalho é o corante reativo Remazol Blue RR da indústria DyStar, utilizado em tingimento de fibras de algodão e celulósicas. As soluções foram preparadas dissolvendo-se os corantes em água deionizada e ajustando-se o pH com  $H_2SO_4$  0,1N e NaOH 0,1N e condutividade com NaCl.

#### Aparato Experimental

O aparato experimental foi montado de acordo como ilustrado na Figura 1. A célula foi construída com material acrílico com dimensões 100 x 150 x 180 mm, sendo utilizado o volume de 1500 cm<sup>3</sup>. Foram utilizados oito eletrodos, sendo 4 cátodos e 4 ânodos, em forma de placas de alumínio apresentando as dimensões iguais de 50 x 110 x 3 mm, com área de superfície total de 0,04784 m<sup>2</sup> e a distância entre os eletrodos na célula de EC é de 11

mm em todos os experimentos. Os eletrodos foram conectados de forma monopolar a uma fonte de tensão (DAWER FCC-3020 D 30 V e 20 A). A agitação foi realizada através de um agitador mecânico com velocidade 350 rpm.



**Figura 1 – Fluxograma do Processo de Eletrocoagulação**

### Procedimento Experimental

Todo o experimento foi realizado com solução do corante com concentração de 50 mg/L, sendo monitorados os parâmetros de corrente, tensão, tempo, temperatura, pH e condutividade. Ao final do tempo estabelecido foi coletada uma amostra da solução para análises de cor e DQO, antes da realização das análises a amostra foi centrifugada e filtrada para que não houvesse interferências.

Ao final de cada período os eletrodos eram lavados com solução 2:1 de hexametileno tetramina  $C_6H_{12}N_4$  (2,80%) e HCl (35%) para remoção de qualquer resíduo sólido na superfície dos mesmos e depois lavados com água e sabão, secos e pesados.

As concentrações do corante foram determinadas a partir de suas características de absorbância na escala do UV/Visível ( $\lambda = 600\text{nm}$ ) pelo método da curva de calibração utilizando um Espectrofotômetro UV/Vis.

O cálculo da eficiência de remoção da cor (ER), após o tratamento por EC, será feito usando-se a seguinte fórmula:

$$ER = 100 \times \frac{C_o - C}{C_o} (\%) \quad (1)$$

Onde  $C_o$  e  $C$  são respectivamente as concentrações inicial e final da eletrocoagulação do corante em mg/L.

A determinação da demanda química de oxigênio (DQO) foi realizada de acordo com o método titulométrico (5220 C) de acordo com o “Standard Methods for Water and Wastewater” [5]. O método titulométrico foi escolhido devido à restrição ao método colorimétrico, pois amostras que contenham turbidez ou cor com absorção máxima próximo de  $\lambda = 600\text{nm}$  são persistentes após a digestão da amostra [6].

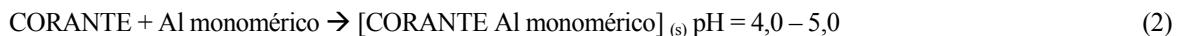
## RESULTADOS

### Efeito do pH inicial

O efeito do pH inicial na remoção da cor foi analisado entre os valores de pH de 3 a 11 utilizando os seguintes parâmetros operacionais:

- Concentração inicial do corante ( $C_o$ ): 50 mg L<sup>-1</sup>;
- Condutividade do efluente ( $K$ ): 1 mS cm<sup>-1</sup>;
- Tempo de tratamento de eletrocoagulação ( $t_{EC}$ ): 20 minutos;
- Densidade de corrente (d. c.): 48 A m<sup>-2</sup>.

Como mostra a Figura 2, a maior eficiência obtida foi de 91% , encontrada no pH inicial 4. Esta eficiência é resultado de uma precipitação eficiente das moléculas de corante, de acordo com o mecanismo da equação (2):



A Figura 2 mostra que durante a faixa de pH 5-9 há uma taxa de remoção constante apresentando um grande decaimento no pH 10 e 11. Este fato pode ser explicado devido à formação em excesso dos íons OH<sup>-</sup> fazendo com que não se formassem compostos monoméricos e sim compostos que não se adsorvem nas partículas do corante.

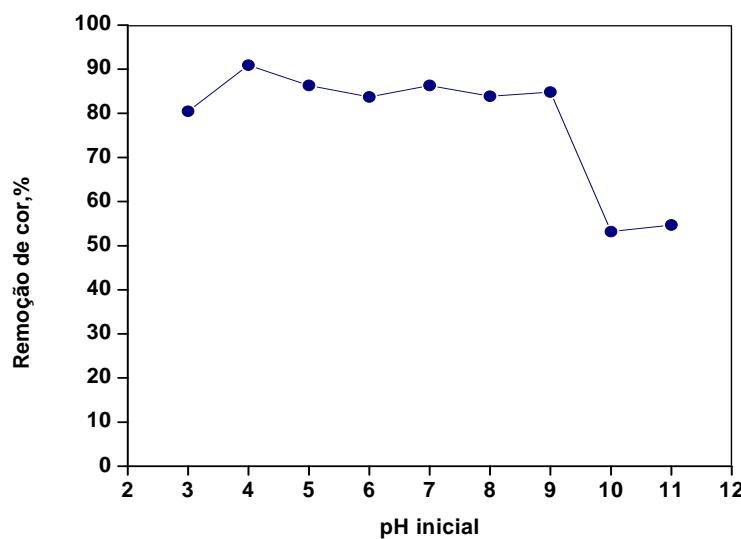
Um baixo pH inicial retarda a formação de flocos de Al(OH)<sub>3</sub> e estimula a formação de espécies hidróxido poliméricas. Em valores de pH elevados, acima de 9, a quantidade de flocos diminui de acordo com a equação:



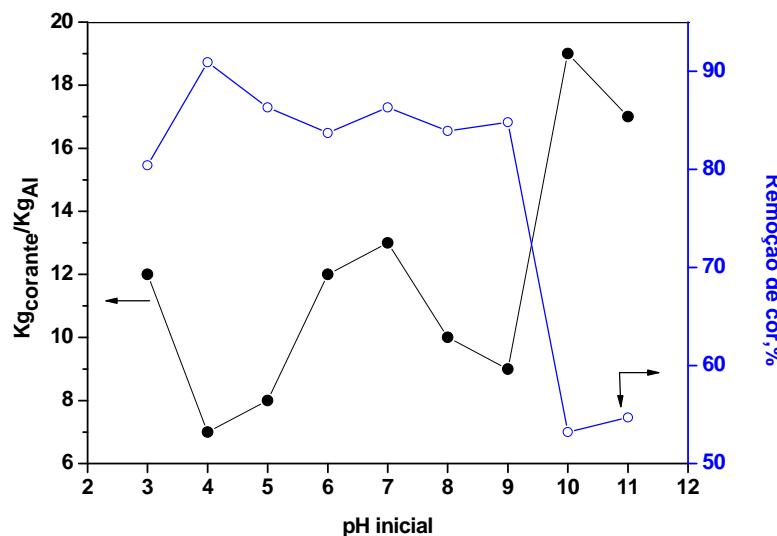
Pois o equilíbrio da equação se desloca para a direita aumentando a quantidade de Al(OH)<sub>4</sub><sup>-</sup>, diminuindo assim a eficiência de remoção.

Os íons OH<sup>-</sup> acumulados na fase aquosa durante o processo e a sua concentração é imposta não apenas pelo pH inicial, mas também pela cinética e equilíbrio da reação neste complicado sistema aquoso.[6]

Durante todos os ensaios realizados o pH final do efluente se manteve constante na faixa de 8,3 - 8,8, mostrando assim a capacidade tampão do sistema Al(OH)<sub>3</sub>/Al(OH)<sub>4</sub><sup>-</sup>.

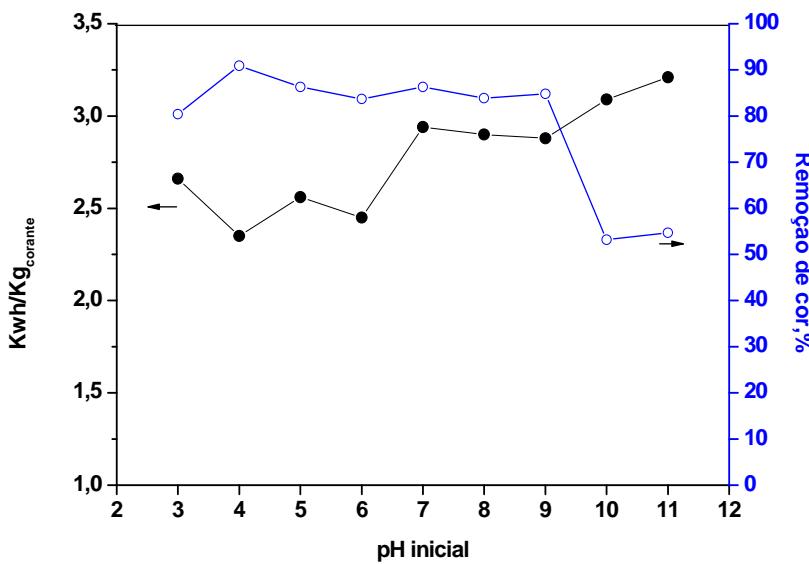


**Figura 2 - Efeito do pH inicial na eficiência da remoção de cor.**  
(C<sub>0</sub> = 50 mg L<sup>-1</sup>; K = 1 mS cm<sup>-1</sup>; t<sub>EC</sub> = 20 min; d. c. = 48 A m<sup>-2</sup>)



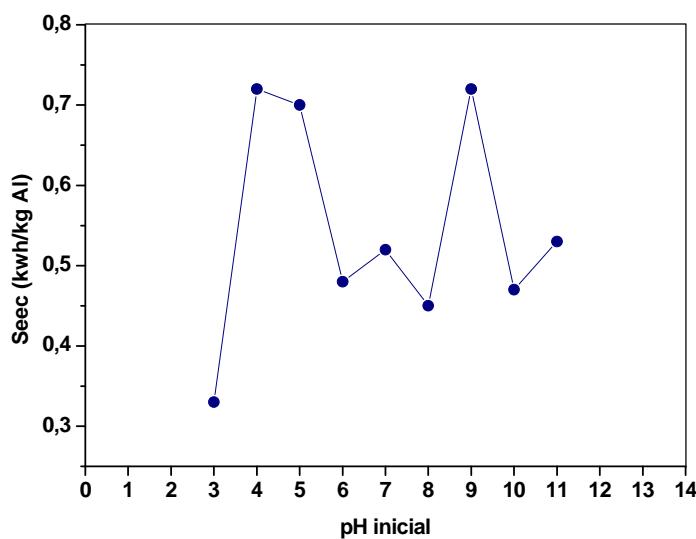
**Figura 3 - Efeito do pH inicial no consumo dos eletrodos.**  
 $(C_o = 50 \text{ mg L}^{-1}; K = 1 \text{ mS cm}^{-1}; t_{EC} = 20 \text{ min}; d.c. = 48 \text{ A m}^{-2})$

A Figura 3 mostra que o melhor resultado de remoção de cor obteve um menor consumo dos eletrodos de Al por kg de corante removido e para a menor remoção (53%) obteve um maior consumo de eletrodos. Este fato indica que em condições ótimas, no caso o pH inicial, não há uma necessidade excessiva do desgaste dos eletrodos, o Al para de ser consumido, uma vez que a quantidade necessária para formar os precipitados com o corante foi atingida.



**Figura 4 - Efeito do pH inicial no consumo de energia.**  
 $(C_o = 50 \text{ mg L}^{-1}; K = 1 \text{ mS cm}^{-1}; t_{EC} = 20 \text{ min}; d.c. = 48 \text{ A m}^{-2})$

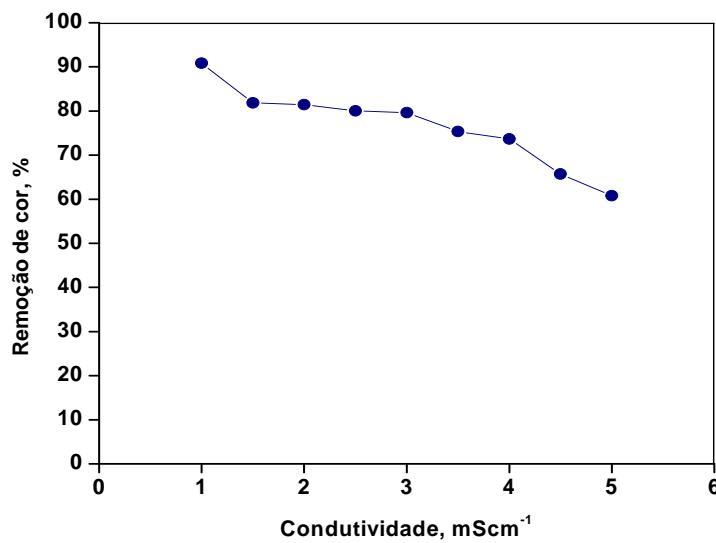
O consumo de energia elétrica por kg de corante removido em função do pH inicial pode ser representado pela figura 4. Em valores de pH ácido (3 – 6) ocorre o menor consumo de energia, sofrendo um aumento nos valores de pH neutro entre 7 a 9, permanecendo praticamente constante e finalmente um aumento em pH mais elevados ( 10 e 11).



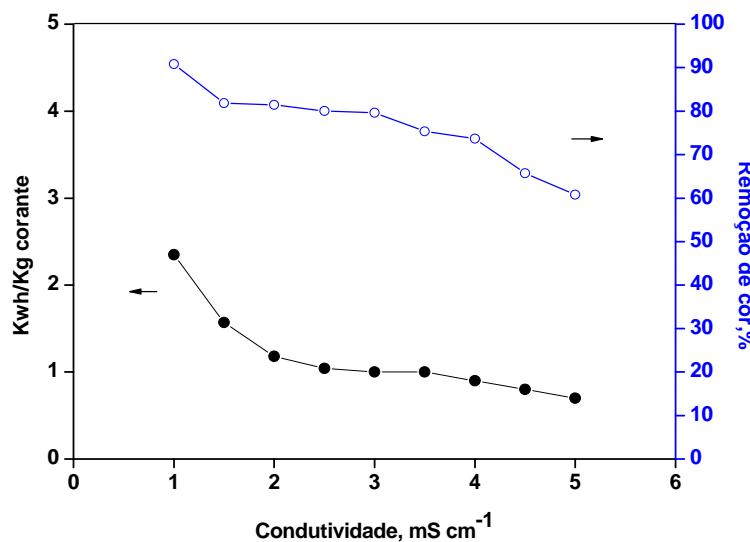
**Figura 5 - Efeito do pH inicial no consumo específico de energia SEEC (kwh/kg Al).**  
 $(C_o = 50 \text{ mg L}^{-1}; K = 1 \text{ mS cm}^{-1}; t_{EC} = 20 \text{ min}; d.c. = 48 \text{ A m}^{-2})$

#### Efeito da condutividade

O efeito da condutividade na eficiência de remoção da cor foi estudado entre os valores de 1 e 5 mS cm<sup>-1</sup> utilizando NaCl como eletrólito. Como pode ser observado na Figura 6 há uma diminuição constante na eficiência com o aumento da condutividade. Este fato pode ser atribuído à mudança da força iônica devido à mudança de condutividade no meio aquoso. A força iônica afeta claramente o equilíbrio e a cinética das reações entre espécies carregadas ocorrendo durante a eletrocoagulação.

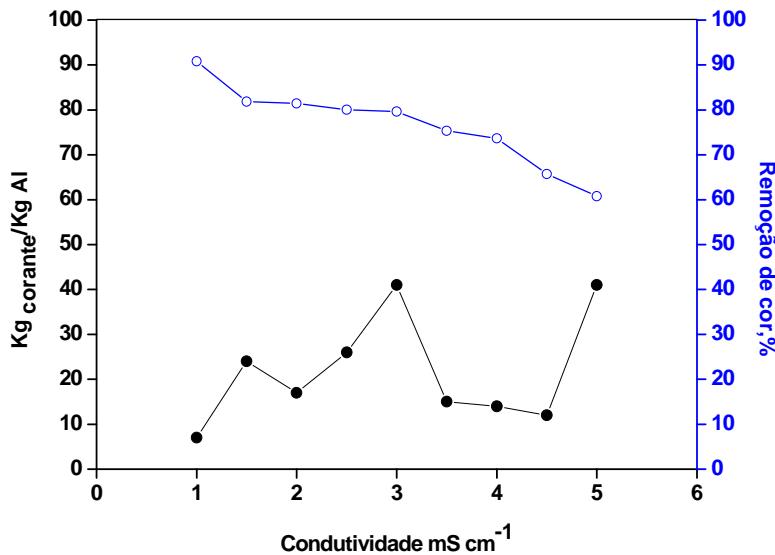


**Figura 6 - Efeito da condutividade na eficiência da remoção de cor.**  
 $(C_o = 50 \text{ mg L}^{-1}; \text{pH inicial} = 4; t_{EC} = 20 \text{ min}; d.c. = 48 \text{ a m}^{-2})$

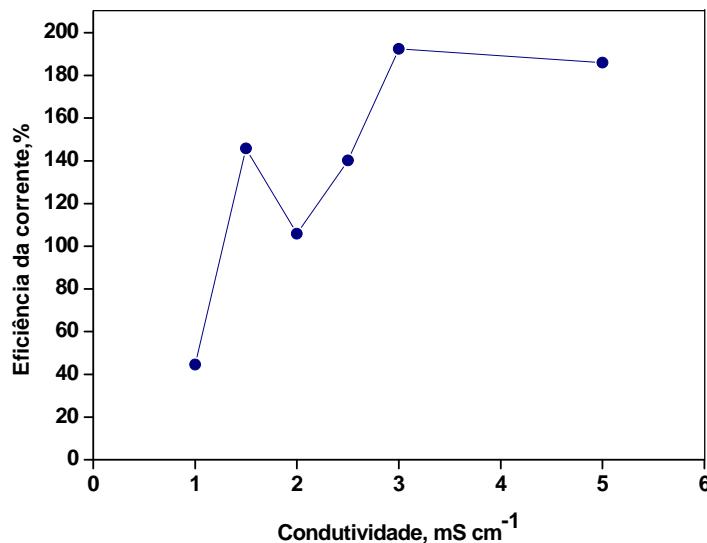


**Figura 7 - Efeito da condutividade no consumo de energia.**  
 $(C_o = 50 \text{ mg L}^{-1}; \text{pH}_{\text{initial}} = 4; t_{EC} = 20 \text{ min}; d.c. = 48 \text{ A m}^{-2})$

O aumento da condutividade diminui o consumo de energia, como pode ser visto na Figura 7. No entanto não influencia no desgaste dos eletrodos, uma vez que os resultados apresentados na Figura 8 não mostram nenhuma relação dependente entre os dois fatores. No entanto, a eficiência da corrente apresenta valores elevados, se comparados com valores com condutividade menor, como é apresentado na Figura 9, chegando a um valor de 192% no valor de condutividade 3  $\text{mS cm}^{-1}$ .



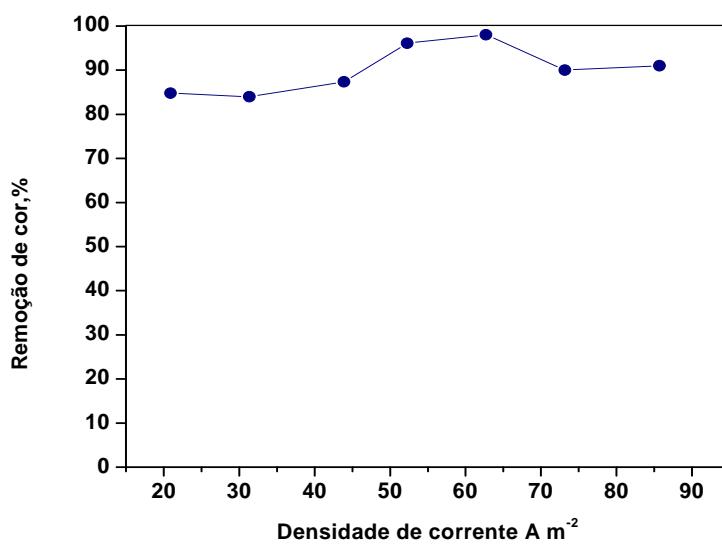
**Figura 8 - Efeito da condutividade no consumo dos eletrodos.**  
 $(C_o = 50 \text{ mg L}^{-1}; \text{pH}_{\text{initial}} = 4; t_{EC} = 20 \text{ min}; d.c. = 48 \text{ A m}^{-2})$



**Figura 9 - Efeito da condutividade na eficiência da corrente.**  
 $(C_0 = 50 \text{ mg L}^{-1}; \text{pH}_{\text{inicial}} = 4; t_{EC} = 20 \text{ min}; d.c. = 48 \text{ A m}^{-2})$

#### Efeito da densidade de corrente

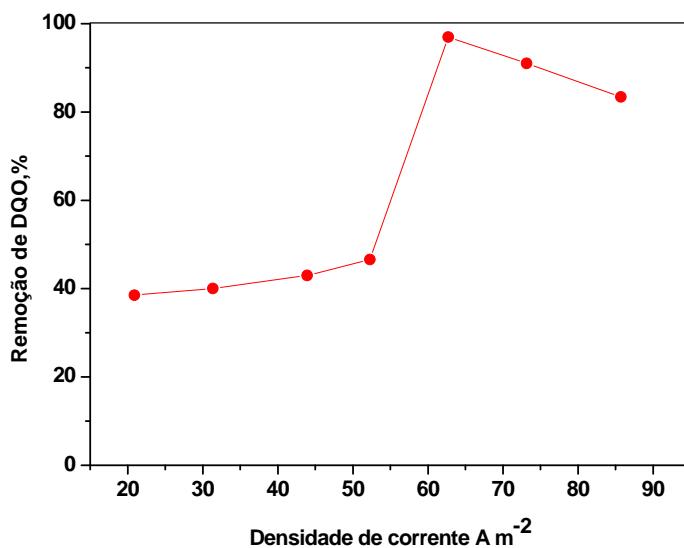
O efeito da densidade de corrente foi analisado entre os valores de  $21 \text{ e } 86 \text{ A m}^{-2}$ , o melhor resultado encontrado foi na densidade de corrente de  $63 \text{ A m}^{-2}$  com uma eficiência de 98%. Pode-se observar que após esse valor há um pequeno decréscimo na eficiência da remoção se mantendo estável em 91% em valores mais elevados de corrente, ou seja, houve uma perda de potência nestes valores devido à dissipação da energia elétrica como energia térmica, fazendo com que a eficiência de remoção fosse reduzida.



**Figura 10 - Efeito da densidade de corrente na eficiência da remoção de cor.**  
 $(C_0 = 50 \text{ mg L}^{-1}; \kappa = 1 \text{ mS cm}^{-1}; \text{pH}_{\text{inicial}} = 4; t_{EC} = 20 \text{ min})$

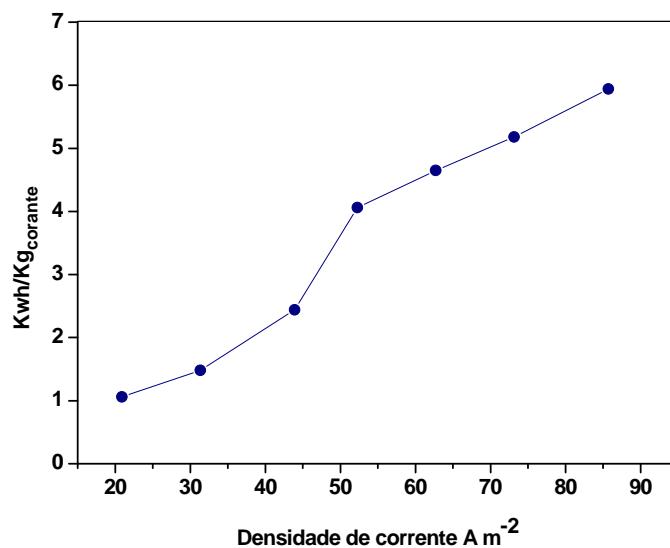
A Figura 11 apresenta resultados da remoção de DQO de acordo com o aumento da densidade de corrente. O maior valor encontrado chega a 97% de eficiência no valor de  $63 \text{ A m}^{-2}$ . Pode-se dizer que existe uma relação entre a

remoção de cor e DQO, quanto maior for a remoção de cor maior será a eficiência de remoção de DQO neste caso apresentado, uma vez que o efluente estudado é composto apenas de corante e água desionizada, ou seja, o único responsável pela DQO é o corante.



**Figura 11 - Efeito da densidade de corrente na remoção de DQO.**  
 $(C_o = 50 \text{ mg L}^{-1}; \kappa = 1 \text{ mS cm}^{-1}; \text{pH}_{\text{inicial}} = 4; d.c. = 63 \text{ A m}^{-2})$

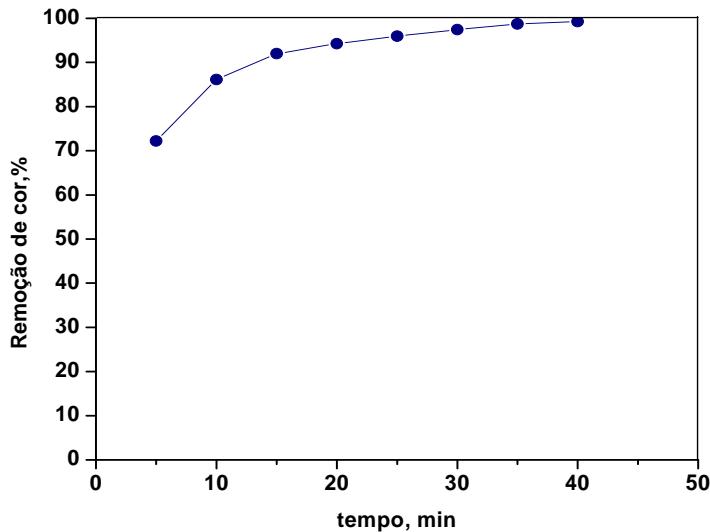
Na Figura 12 pode-se observar que há um aumento contínuo no consumo de energia com o aumento da densidade de corrente, o que mostra ser um gasto desnecessário, uma vez que a eficiência não sofre um aumento significativo com o aumento da densidade de corrente.



**Figura 12 - Efeito da densidade de corrente no consumo de energia.**  
 $(C_o = 50 \text{ mg L}^{-1}; \kappa = 1 \text{ mS cm}^{-1}; \text{pH}_{\text{inicial}} = 4; d.c. = 63 \text{ A m}^{-2})$

### Efeito do tempo de tratamento

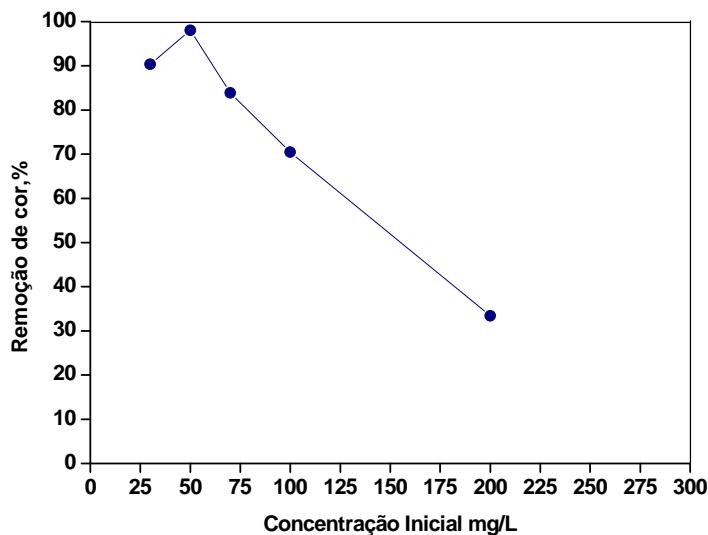
A análise do tempo de tratamento foi realizada entre 5 e 40 minutos, pode-se observar que no tempo de 40 minutos ocorre uma melhor remoção da cor, no entanto o custo operacional seria excessivo, podendo manter o tratamento em 30 minutos, uma vez que já se obtém uma remoção eficiente, chegando a um valor acima de 98%.



**Figura 13 - Efeito do tempo na eficiência da remoção de cor.**  
( $C_o = 50 \text{ mg L}^{-1}$ ;  $\kappa = 1 \text{ mS cm}^{-1}$ ;  $\text{pH}_{\text{inicial}} = 4$ ;  $d.c. = 63 \text{ A m}^{-2}$ )

### Efeito da concentração inicial do corante

A eficiência de remoção cai de 98% para 70,5% quando a concentração do corante aumenta de  $50 \text{ mg L}^{-1}$  para  $100 \text{ mg L}^{-1}$ , o que significa que a eficiência varia em função da concentração do corante.



**Figura 14 - Efeito da concentração inicial na eficiência da remoção de cor.**  
( $\kappa = 1 \text{ mS cm}^{-1}$ ;  $\text{pH}_{\text{inicial}} = 4$ ;  $d.c. = 63 \text{ A m}^{-2}$ ;  $t_{EC} = 20 \text{ min}$ )

## CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES

Com base no trabalho realizado, concluiu-se que:

A eletrocoagulação é um processo eficiente para remoção da cor de um efluente têxtil, uma vez que pode-se obter um resultado de 98% em condições otimizadas, podendo chegar a uma taxa de remoção de cor 100% com um tempo de tratamento maior, aumentando de 20 para 40 minutos. Os parâmetros como pH inicial, condutividade e densidade de corrente são variáveis importantes que afetam diretamente a eficiência da remoção.

Na análise dos parâmetros operacionais para o corante específico Remazol Blue RR os valores ótimos encontrados foram:

- pH inicial: 4;
- Condutividade:  $1\text{mS cm}^{-1}$ ;
- Densidade de corrente:  $63 \text{ A m}^{-2}$ ;
- Tempo de tratamento: 30 minutos;
- Concentração inicial do corante:  $50 \text{ mg L}^{-1}$ .

Embora não tenham sido apresentados gráficos de remoção da DQO para todos os parâmetros analisados devido a flutuações nos valores provenientes de interferências do método utilizado, pôde-se concluir que a técnica utilizada é eficiente na remoção de DQO chegando a uma remoção de 97% nos valores ótimos já citados.

As condições operacionais do processo necessitam ainda de uma melhor otimização em relação a velocidade de agitação para obtenção de grandes quantidades de espécies poliméricas para que este processo possa ser utilizado em escala real, além da utilização do processo em fluxo contínuo.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. LIN, S.H; CHEN, L.M, Treatment of Textile Wastewater by Chemical Methods for Reuse. Water Research, v.31, n.4,p. 868-876,1997.
2. PERALTA-ZAMORA, P. E LIMA, L. Remediação de resíduos têxteis aquosos por processos fotoeletroquímicos. Química Têxtil .Vol.78. p.58-62, 2005.
3. LIN, S.H.; CHEN, L.M., Purification of textile wastewater effluents by a combined Fenton process and ion exchange. Desalination 109. p. 121-130,1997.
4. GUARATINI,C.C.I E ZANONI,M.V.B. Corantes Têxteis. Química Nova. Vol.23. p.71-78, 2000.
5. APHA. Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater. 19ª Edição. Washington: American Public Health Association, 1995.
6. AQUINO, S.F; SILVA, S.Q.; CHERNICHARO, C.A.L. Considerações práticas sobre o teste de demanda química de oxigênio (DQO) aplicado a análise de efluentes anaeróbicos. Engenharia Sanitária e Ambiental, v. 11, nº04, p. 295-304, 2006.
7. CAN, O.T.; BAYRAMOGLU, M.; KOBYA, M., Decolorization of Reactive Dyes Solutions by Electrocoagulations using Aluminum Electrodes. Industrial & Engineering Chemistry Research,v.42, p.3391-3396, 2003.