



XXII CONGRESSO  
BRASILEIRO DE  
ENGENHARIA QUÍMICA  
23 a 26 de Setembro de 2018  
Hotel Maksoud Plaza  
São Paulo – SP



XVII ENCONTRO BRASILEIRO  
SOBRE O ENSINO DE  
ENGENHARIA QUÍMICA  
27 a 28 de Setembro de 2018  
USP  
São Paulo – SP

# AVALIAÇÃO DA INFLUÊNCIA DE PARÂMETROS ASSOCIADOS AO TRATAMENTO POR ELETROCOAGULAÇÃO DE EFLUENTE TÊXTIL NA PERDA DE MASSA POR MEIO DA ANÁLISE DE VARIÂNCIA

SOUSA MC<sup>1</sup>, OLIVEIRA JT<sup>1</sup>, SENA LMG<sup>1</sup>, NETO EFA<sup>2</sup>, ROMERO FB<sup>1</sup>, MARTINS IA<sup>1</sup>,  
NASCIMENTO RF<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Universidade Federal do Ceará, Centro de Ciências, Departamento de Química Analítica e Físico-Química

<sup>2</sup> Centro Universitário Unichristus

E-mail para contato: mikaellycabral@hotmail.com

**RESUMO** – *Os materiais de eletrodo associados a eletrocoagulação quando aplicados a efluente têxtil denotam em muitos casos a eficácia do processo. A metodologia do presente estudo foi baseada na análise de variância com dois fatores (corante e tipo de eletrodo), com resposta a perda de massa do eletrodo ânodo. A ocorrência de interação entre fatores pode ser confirmada a partir da realização do teste F e a comparação com o valor crítico, além do gráfico das médias que denota os efeitos de combinação dos tipos de eletrodo e corante.*

## 1. INTRODUÇÃO

O processo de eletrodissolução de um eletrodo de sacrifício em um sistema eletroquímico consiste em criar flocos de hidróxidos metálicos provenientes dessa perda de massa, que, por conseguinte são responsáveis por remover os poluentes contidos no efluente em questão (SINGH *et al.*, 2014). O material que compõe esse eletrodo corresponde diretamente as subespécies que serão geradas e principalmente a resistência a corrosão do eletrodo. Aços austeníticos, ligas não-magnéticas de ferro-cromo-níquel com baixo teor de carbono, vêm sendo aplicados no dimensionamento de sistemas que utilizam a eletrocoagulação como princípio de remoção de poluentes recalcitrantes em efluentes (SINGH *et al.*, 2014). Singh *et al.*, (2014) relatam que a remoção dos poluentes orgânicos do efluente é proporcional a concentração de hidróxidos metálicos formados em um reator de eletrocoagulação em batelada. Diante disso, a avaliação da perda de massa do eletrodo em sistemas eletroquímicos relaciona-se com os percentuais de remoção dos poluentes das mais diversas matrizes que contém compostos orgânicos em sua composição. Dentro desse contexto, efluentes provenientes de indústrias têxteis, possuidores de cargas com grandes espécies orgânicas pós-produção, se tornam instrumento de estudo e avaliação de parâmetros ambientais.

Ferramentas estatísticas podem facilitar a observação de resultados e evidenciar importantes conclusões que podem ser despercebidas em repetições experimentais. A análise



XXII CONGRESSO  
BRASILEIRO DE  
ENGENHARIA QUÍMICA  
23 a 26 de Setembro de 2018  
Hotel Maksoud Plaza  
São Paulo – SP



XVII ENCONTRO BRASILEIRO  
SOBRE O ENSINO DE  
ENGENHARIA QUÍMICA  
27 a 28 de Setembro de 2018  
USP  
São Paulo – SP

de variância (ANOVA) testa a hipótese de que as médias de duas ou mais populações são iguais. Esse tipo de metodologia faz a avaliação de importância de um ou mais fatores, comparando as médias de variáveis de resposta nos diferentes níveis de fator. Dado a complexidade dos fatores que podem ser englobados no processo de eletrocoagulação aplicado a matriz têxtil, no presente trabalho avaliou-se os fatores tais como: tipo de eletrodo e tipo de corante com resposta experimental, a perda de massa do eletrodo de sacrifício para determinar se existe uma diferença significativa nos efeitos principais ou interação entre os fatores escolhidos, via ANOVA de dois fatores.

## 2. METODOLOGIA

Os experimentos foram realizados em um reator de 500 mL em batelada. Os eletrodos possuíam  $10,97 \text{ cm}^2$  de área e como material, aço inoxidável AISI 304 e AISI 316L com espaçamento 0,3 cm. Os dois eletrodos (cátodo – ânodo) utilizados foram ligados a um circuito *home-made* (corrente pulsada – operando a 71% de *duty cycle*) que, por conseguinte foi ligado a uma fonte de tensão (0-33V / 0-5A regulável – Minipa). A solução sintética foi preparada de forma fixa para todos os experimentos  $25 \text{ mg L}^{-1}$  de corante (Remazol Brilliant Yellow 3GL e Reactive Blue 19, ambos DyStar) e  $1000 \text{ mg L}^{-1}$  de eletrólito suporte (NaCl – Dinâmica reagentes) e o ajuste de pH inicial foi realizado com hidróxido de sódio (NaOH – Dinâmica reagentes). A solução de limpeza dos eletrodos após o tratamento consistiu em solução ácido nítrico ( $\text{HNO}_3$  - Dinâmica reagentes) 10%. Os parâmetros fixados para cada experimento realizado foram: pH inicial (7,9), tensão 12V, frequência de pulsos do circuito *home-made* 120Hz, agitação 400 rpm e tempo de 45 minutos.

O estudo de obtenção da perda de massa seguiu a norma G1-03 (2017) da *American Society for Testing and Materials* e seus procedimentos para cada tipo de eletrodo estudado. Um polimento com lixa (grão 1200) foi realizado nos eletrodos antes de cada experimento. Ao final, com a solução de limpeza aquecida por meio de uma chapa aquecedora (KASVI) a  $60^\circ\text{C}$  ( $\pm 5^\circ\text{C}$ ), o eletrodo ânodo foi imerso durante 20 minutos nessa solução, e posteriormente seco. O procedimento de pesagem foi repetido três vezes. O modelo ANOVA de dois fatores foi utilizado para verificar a interação corante-eletrodo tendo como resposta a perda de massa do ânodo. Dessa forma, o fator 1 representava os corantes têxteis e o fator 2 os tipos de eletrodos, anteriormente citados na metodologia. Como tratou-se de realizar a verificação dos efeitos de interação, realizou-se três repetições para cada condição (eletrodo X corante), totalizando 12 experimentos. Os resultados do modelo ANOVA de dois fatores, foram obtidos a partir do software EXCEL®.

## 3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os resultados de perda de massa médio do eletrodo de sacrifício obtidos para cada experimento são apresentados na tabela 1.



XXII CONGRESSO  
BRASILEIRO DE  
ENGENHARIA QUÍMICA  
23 a 26 de Setembro de 2018  
Hotel Maksoud Plaza  
São Paulo - SP



XVII ENCONTRO BRASILEIRO  
SOBRE O ENSINO DE  
ENGENHARIA QUÍMICA  
27 a 28 de Setembro de 2018  
USP  
São Paulo - SP

Tabela 1 - Resultados médios de perda de massa (g) para os eletrodos de sacrifício (Exp.=Experimento)

Exp.	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Perda de massa (g)	0,11 90	0,11 59	0,11 85	0,11 75	0,11 25	0,11 25	0,18 94	0,18 55	0,18 33	0,20 44	0,20 32	0,20 34

Os experimentos (1-6) foram realizados com eletrodos do tipo AISI 316L, diferindo a cada 3 experimentos o tipo de corante utilizado. Os demais ensaios (7-12) diferindo da mesma forma, foram realizados com eletrodos do tipo AISI 304. Os dados na tabela 1 indicam uma maior perda de massa para os experimentos realizados com o aço 304 (7-12). A discrepância, entretanto, é observada para os experimentos realizados com os mesmos aços. Os experimentos (7-9) com a presença do corante Remazol Brilliant Yellow 3GL (RBY3GL) proporcionaram uma perda de massa menor que no caso do corante Reactive Blue 19 (RB19).

Tabela 2 – Análise de Variância (dois fatores) com replicata (95% de confiança e teste F *one-tailed*)

Fonte da variação	Soma Quadrática (SQ)	Grau de liberdade (GL)	Média Quadrática (MQ)	F <sub>calculado</sub> (F <sub>c</sub> )	valor-p (p)
Linhas (Eletrodo)	0,0186	1	0,0186	3522,74	7,2x10 <sup>-12</sup>
Colunas (Corante)	1,44x10 <sup>-4</sup>	1	1,44x10 <sup>-4</sup>	27,25	8,03x10 <sup>-3</sup>
Interações (CorantexEletrodo)	3,35x10 <sup>-4</sup>	1	3,35x10 <sup>-4</sup>	63,29	4,5x10 <sup>-5</sup>
Resíduo	4,23x10 <sup>-5</sup>	8	5,3x10 <sup>-6</sup>		
Total	0,0192	11			

A ANOVA de dois fatores permite testar os efeitos do tipo de eletrodo e tipo de corante em um único experimento, sobre a perda de massa do ânodo. Além disso, pode-se testar uma hipótese sobre o efeito da interação das duas variáveis na resposta. Sendo assim, uma hipótese é estabelecida para avaliar o efeito de interação:

1. H<sub>0</sub>: Não há efeito de interação entre o tipo de eletrodo utilizado e o tipo de corante usado na perda de massa do ânodo - H<sub>1</sub>: Existe um efeito de interação entre o tipo de eletrodo e tipo de corante na perda de massa do ânodo.

Assume-se na ANOVA que as variâncias das populações das quais as amostras foram selecionadas devem ser iguais. O F<sub>crítico</sub> para os três testes de hipóteses é 5,318 (correspondente a cada grau de liberdade contido na tabela 2). Tendo em vista o item 1 anteriormente citado,

observa-se um  $F_{\text{calculado}}$  na tabela 2 de 63,29. Como  $F_{\text{calculado}} > F_{\text{crítico}}$  rejeita-se a hipótese  $H_0$  deste item e aceita-se que a combinação tipo de eletrodo e tipo de corante afeta a perda de massa do eletrodo, levando-se em conta o efeito de interação. Dado a avaliação significativa para o efeito de combinação entre corante e eletrodo, um gráfico de médias (figura 1) pode demonstrar que dependendo do tipo de corante e eletrodo o valor de perda de massa pode ser diferente, contrapondo a homogeneidade de variâncias, predita anteriormente.

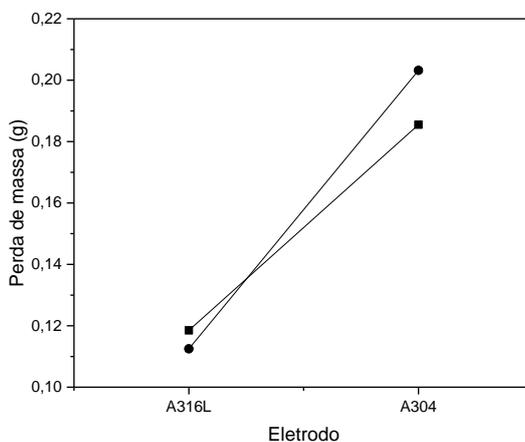


Figura 1 – Gráfico das médias de perda de massa para cada fator (●) corante RB19 (■) corante RBY3GL

Avaliando a mudança de níveis para o fator eletrodos, verifica-se que o corante RB19 ocasionou uma maior diferença em perda de massa média do ânodo, quando comparado ao RBY3GL. Dessa forma, a avaliação dos efeitos de interação, sobrepõe os de efeitos principais, visto que, a variação de nível interfere significativamente na perda de massa do ânodo.

#### 4. CONCLUSÃO

Dos estudos realizados é possível inferir que a perda de massa para ânodos de aço inoxidável AISI 316L e 304 possuem comportamento dependente do tipo de poluente (corante). Os valores de razão F calculados para a interação entre os fatores estudados denotam que a combinação de tipos de corante e eletrodo afeta significativamente a perda de massa do ânodo.

#### 5. REFERÊNCIAS

AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS. G1-03: Standard Practice for Preparing, Cleaning, and Evaluating Corrosion Test Specimens. West Conshohocken, Pa, 2017.

SINGH S, SRIVASTAVA VC, VM, MALL ID. Electrochemical Treatment of Dye Bearing Effluent with Different Anode–Cathode Combinations: Mechanistic Study and Sludge Analysis. *Ind. & Eng. Chem. Res.* v. 53, p.10743-10752, 2014.