



MODELAMENTO MATEMÁTICO DA REMOÇÃO DA MATÉRIA ORGÂNICA DE EMULSÕES ÓLEO-ÁGUA POR ELETROCOAGULAÇÃO¹

Rodolfo Maia Rangel²
Roberto José de Carvalho³
Maurício Leonardo Torem⁴

Resumo

Foi desenvolvido um modelo matemático para calcular o abatimento da DQO (remoção da matéria orgânica) de emulsões sintéticas óleo-água pelo processo de eletrocoagulação. O modelo envolveu os três fundamentos da eletrocoagulação: eletroquímica, coagulação e flotação. Através da comparação entre os valores experimentais de DQO e aqueles calculados pelo modelo verificou-se que este foi capaz de prever adequadamente as concentrações de matéria orgânica (DQO) presentes nas emulsões e descrever satisfatoriamente o comportamento físico da eletrocoagulação.

Palavras-chave: Eletrocoagulação; Modelamento; Emulsões; Águas oleosas.

MATHEMATICAL MODELING OF ORGANIC MATTER REMOVAL FROM OIL-WATER EMULSIONS BY ELECTROCOAGULATION

Abstract

A mathematical model was developed to evaluate the COD abatement (removal of organic matter) from synthetic oil-water emulsions by the electrocoagulation process. The model involved the three fundamentals of electrocoagulation: electrochemistry, coagulation and flotation. By comparing the experimental values of COD with those calculated by the model it was found that the model was able to adequately predict the concentrations of organic matter (COD) present in the emulsions and satisfactorily describe the physical behavior of electrocoagulation.

Key words: Electrocoagulation; Modeling; Emulsions; Oily waters.

¹ Contribuição técnica ao 65º Congresso Anual da ABM, 26 a 30 de julho de 2010, Rio de Janeiro, RJ, Brasil.

² Doutor DEMA - PUC-Rio.

³ PhD DEMA - PUC-Rio.

⁴ Doutor DEMA - PUC-Rio.



1 INTRODUÇÃO

Emulsões óleo-água são muito utilizadas nas indústrias metalúrgicas, como, por exemplo, em laminações, forjas e processos de conformação, uma vez que exibem propriedades que incluem lubrificação, resfriamento superficial, limpeza e prevenção de corrosão, todas exigidas por metais submetidos a operações mecânicas. O principal problema encontrado com tais emulsões é a degradação substancial de alguns componentes com o tempo nas temperaturas de trabalho,⁽¹⁾ as quais variam normalmente entre 45°C e 90°C. Essas emulsões precisam, portanto, ser substituídas diversas vezes por ano. As emulsões apresentam elevados teores de óleo, na faixa de 0,1 kg/m³ a 30 kg/m³, dependendo da aplicação específica. Suspensões oleosas são tóxicas e têm que ser tratadas de tal modo que a reciclagem da água seja possível.

Diversos métodos eletroquímicos foram investigados ao longo dos anos para separação de emulsões óleo-água.⁽²⁻⁵⁾ A eletroflotação foi um dos primeiros processos desenvolvidos, na qual óleo é removido de emulsões previamente “quebradas” (desestabilizadas) por aditivos químicos. Esforços mais recentes concentraram-se na aplicação de técnicas eletroquímicas para a “quebra” de emulsões e para a separação do óleo desestabilizado sem a adição de reagentes químicos. O processo-chave envolvido na maioria desses métodos é a eletrocoagulação que pode ser considerada um processo em dois estágios: (1) íons de alumínio ou ferro são introduzidos eletroliticamente para reduzir as forças repulsivas sobre as gotículas de óleo negativamente carregadas e “quebrar” a emulsão; (2) uma tensão de corrente contínua é aplicada através da emulsão para fazer com que as gotículas carregadas migrem e coalesçam. As bolhas de gás geradas na eletrocoagulação (oxigênio no anodo e hidrogênio no catodo) promovem o coalescimento (eletrofloculação) e a separação das gotículas coalescidas, as quais podem ser carregadas para o topo da emulsão, coletadas e removidas.⁽³⁾

Neste trabalho, foi desenvolvido um modelo matemático para calcular o abatimento da DQO (remoção da matéria orgânica) de emulsões sintéticas óleo-água pelo processo de eletrocoagulação.

2 METODOLOGIA

Os experimentos de eletrocoagulação foram conduzidos em uma célula com um arranjo de anodos de alumínio em paralelo e monopolares. Com esse arranjo, logrou-se aumentar o transporte de massa e evitar o superaquecimento da emulsão, além de facilitar a liberação dos gases gerados. A célula continha uma janela lateral para a retirada de amostras da emulsão, visando a análise da DQO e do pH em diferentes tempos de tratamento.

As emulsões óleo-água apresentaram boa estabilidade para valores de pH inicial maiores que 5, com valores médios de potencial Zeta de -75 mV. A estabilidade diminuiu para pHs menores que 5, com valores médios de potencial Zeta de -40 mV. No que diz respeito à condutividade, à exceção dos experimentos realizados com concentração de eletrólito (NaCl) igual a 1,0 kg/m³, os valores médios foram da ordem de 6000 μScm^{-1} , os quais são adequados para a execução da eletrocoagulação.

Os efeitos da densidade de corrente, pH inicial da emulsão, concentração inicial de óleo, concentração de eletrólito e distância entre eletrodos foram estudados.

O modelo matemático envolveu os três fundamentos da eletrocoagulação:



eletroquímica (representada pela lei de Faraday na previsão da quantidade de cátions de alumínio gerados nos anodos em função do tempo), coagulação (representada pelo equilíbrio químico entre a matéria orgânica e as espécies de Al^{3+}) e flotação (representada pela eletroflotação durante o estágio de inércia e pela flotação dos complexos durante o estágio reativo).

3 MODELO MATEMÁTICO

As curvas de abatimento da DQO em função do tempo obtidas têm a forma de S invertido e apresentam três estágios: um período de inércia ou latência, no qual as espécies Al^{3+} se acumularam no circuito e contribuíram para a redução do potencial Zeta da superfície da matéria dispersa; um estágio reativo onde houve aumento no abatimento da DQO, provavelmente devido a baixos valores do potencial Zeta e possível aglomeração da dispersão de complexos Al^{3+} , e um patamar para o qual posterior adição de espécies Al^{3+} não permitiu tratamento subsequente.

A densidade de corrente teve grande efeito sobre a taxa de abatimento da DQO, com maiores valores de densidade de corrente implicando em períodos de inércia mais curtos e, conseqüentemente, em menores tempos totais para o tratamento de eletrocoagulação. É bastante conhecido que o efeito da densidade de corrente está ligado à taxa de produção das espécies Al^{3+} .

O modelo matemático considera as seguintes hipóteses simplificadoras:

(i) Existência de uma concentração mínima de alumínio, $C_{Al,min}$, necessária para o início do processo de eletrocoagulação propriamente dito, além de um correspondente tempo mínimo para a ocorrência de tal concentração, t_{min} . A concentração mínima de alumínio e o tempo mínimo são relacionados pela lei de Faraday, ou seja, $C_{Al,min} = \frac{\eta M I t_{min}}{z F V}$, sendo M a massa atômica do alumínio, I a corrente aplicada, z o número de elétrons envolvidos na reação de eletrodo, F a constante de Faraday e V o volume. Desse modo, considera-se que a quantidade de alumínio (Al^{3+}) que é produzida na célula é η vezes superior ao valor previsto pela Lei de Faraday, embora na realidade a oxidação do alumínio seja produzida de dois modos: oxidação eletroquímica e ataque químico no anodo (no caso em que os catodos não são de alumínio, mas sim de um material inerte, tal como aço inoxidável).

A concentração mínima de alumínio foi expressa pela correlação:

$$C_{Al,min} = A + B pH_o + C C_{o_o} \quad (1)$$

onde pH_o é o pH inicial da emulsão, C_{o_o} é a concentração inicial de óleo e A , B e C são constantes a serem determinadas em função dos dados experimentais.

(ii) Para concentrações de alumínio inferiores a $C_{Al,min}$ e, conseqüentemente, para tempos inferiores a t_{min} , não ocorre abatimento da DQO, o que é caracterizado por um patamar horizontal nas curvas. No entanto, caso haja excesso de surfatante, considerou-se que ocorrerá abatimento da DQO referente apenas ao surfatante, traduzindo-se por um processo de eletroflotação simples de tal composto. Tendo em vista que no estágio de inércia as curvas de abatimento de DQO assemelham-se a retas com inclinações diferente de zero, supôs-se que a eletroflotação apresenta uma cinética de ordem zero, isto é: $DQO = DQO_o - k t$, onde DQO_o é a DQO inicial e k é a constante cinética, função das variáveis experimentais.

No estágio de inércia, a DQO segue a correlação:



$$DQO = DQO_o - (A + B pH_o + C j + D C_{O_o} + E C_E + F \delta) t \quad (2)$$

onde j é a densidade de corrente, C_E é a concentração de eletrólito, δ é a distância entre eletrodos, t é o tempo e A , B , C , D , E e F são constantes a serem determinadas a partir dos dados experimentais.

Os experimentos e a análise estatística mostraram que a contribuição das variáveis δ e C_{O_o} para a equação (2) é insignificante.

(iii) A matéria orgânica contida na emulsão será expressa no modelamento em termos do nível de DQO pela função $Q(t)$. Será considerado que a quantidade de matéria orgânica que não pode ser removida por eletrocoagulação é desprezível, de forma que o estágio de estabilização é caracterizado por valores de DQO muito baixos (inferiores a $0,05 \text{ kg/m}^3$). Tal suposição implica que toda a matéria orgânica presente pode ser tratada por eletrocoagulação após a adição do coagulante e que no tempo zero, $DQO_i = Q(0) = Q_o$.

(iv) A eletrocoagulação ocorre pela complexação da matéria orgânica, Q , pelas espécies de Al^{3+} , através de um “equilíbrio químico” dado por:



onde n é um coeficiente global, expresso em $\text{mg O}_2/\text{mg Al}^{3+}$, e X é o complexo formado, o qual será posteriormente removido por flotação. Devido à dimensão de n , a equação acima não pode ser considerada como um processo químico real, mas simplesmente uma descrição fenomenológica da complexação da matéria orgânica pelas espécies de alumínio. Tal descrição é adequada, uma vez que a análise cinética revelou que a taxa de reação depende das concentrações de matéria orgânica e de alumínio.⁽⁶⁾

Uma constante de equilíbrio total, K , foi definida por:

$$K = \frac{[X]}{[Q][Al]} \quad (4)$$

onde $[Al]$ é a concentração de espécies de alumínio livres e $[X]$ a concentração de alumínio na forma complexada.

O coeficiente n não foi incluído na expressão para a constante de equilíbrio, uma vez que a reação 3 não pode ser considerada como um processo elementar em equilíbrio.

Para tempos superiores ao tempo mínimo, $t > t_{min}$, um balanço de massa sobre o alumínio dissolvido conduz a:

$$C_{Al} = C_{Al,min} + [Al] + \frac{1}{n} [X] \quad (5)$$

Substituindo $[Al]$ obtida pela equação (4) na equação (5) a concentração do complexo X , formado pela complexação da matéria orgânica com as espécies de Al^{3+} , é dada por:

$$[X] = \frac{n K [Q] (C_{Al} - C_{Al,min})}{n + K [Q]} \quad (6)$$



(v) O complexo formado pela matéria orgânica e pelas espécies de Al^{3+} é flotado para a superfície da célula pelas micro-bolhas de hidrogênio geradas nos catodos de aço inoxidável. O mecanismo de remoção de matéria orgânica via sedimentação será completamente desprezado, tendo em vista os valores razoavelmente elevados de densidade de corrente empregados para a realização dos experimentos. Tendo por base a análise dos experimentos de eletrocoagulação, será suposto que os complexos são flotados para a superfície de acordo com uma cinética de primeira ordem, uma vez que esta foi a que melhor representou os dados experimentais. Assim tem-se que:

$$-\frac{d[X]}{dt} = K' [X] \quad (7)$$

onde K' é a constante cinética da flotação do complexo.

Integrando a equação (7) a partir de t_{min} e a correspondente concentração do complexo X, $[X]_{min}$, não necessariamente igual a 0, e após algumas manipulações:

$$[Q] = \frac{n [X]_{min} \exp\{-K' (t - t_{min})\}}{n K (C_{Al} - C_{Al,min}) - K [X]_{min} \exp\{-K' (t - t_{min})\}} \quad (8)$$

A equação 8 fornece uma expressão matemática para a concentração de matéria orgânica no tempo t em função da constante de “equilíbrio” de complexação, K , da constante cinética da flotação, K' , do tempo mínimo para início do estágio reativo, t_{min} , da concentração mínima de alumínio, $C_{Al,min}$, necessária para o início do processo de eletrocoagulação e da concentração inicial do complexo, $[X]_{min}$.

Será descrita a seguir a metodologia seguida para o ajuste do modelo aos resultados experimentais.

Inicialmente, não foi possível identificar o tempo exato (t_{min}) em que ocorreu a mudança do estágio de inércia para o estágio reativo, ou seja, o instante em que o abatimento da DQO deixou de ser linear e passou a seguir o comportamento indicado pela equação 8. Determinou-se então, para cada experimento, o intervalo de tempo em que aconteceu a mudança de comportamento (inflexão). A partir da determinação desse intervalo de tempo, procedeu-se ao ajuste do modelo referente ao estágio de inércia. Para isso, considerou-se a equação:

$$DQO = DQO_o - G t \quad (9)$$

Comparando a equação 9 com a equação 2 vem que:

$$G = A + B pH_o + C j + D C_{Oo} + E C_E + F \delta \quad (10)$$

O parâmetro G foi determinado por meio do pacote numérico Solver da Microsoft®, o qual utiliza o método dos mínimos quadrados para o ajuste dos dados experimentais. As constantes A , B , C , D , E e F foram determinadas mediante uma regressão linear múltipla, em função das variáveis experimentais. Desse modo, foram obtidos valores para a DQO referentes ao estágio de inércia, os quais foram comparados com aqueles obtidos experimentalmente.

Feito o ajuste do estágio de inércia, passou-se ao ajuste do estágio reativo, para o qual é essencial, em primeiro lugar, a determinação numérica do tempo mínimo, t_{min} ,



e da concentração mínima de alumínio, $C_{Al,min}$. Para isso utilizou-se também o pacote numérico Solver, que determinou, dentro do intervalo de tempo previamente definido, o valor de t_{min} que melhor ajustou a equação 8 aos dados experimentais. Determinado o ponto de inflexão (t_{min} , $C_{Al,min}$), procedeu-se à determinação dos parâmetros K , K' , $[X]_{min}$ e n que melhor ajustaram-se aos valores experimentais mediante a utilização do método dos mínimos quadrados (pacote numérico Solver). Os parâmetros acima foram correlacionados às variáveis experimentais estudadas. Finalmente, procedeu-se de modo similar para o estágio de inércia e para o modelo como um todo, ou seja, considerando-se os dois estágios em sequência.

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

O parâmetro G nada mais é do que a constante cinética referente ao processo de eletroflotação de ordem zero que ocorre no estágio de inércia das curvas de abatimento da DQO em função do tempo. A correlação entre o parâmetro G referente ao estágio de inércia e às variáveis experimentais é dada pela equação:

$$G = 14,917 - 5,479 pH_o + 16,847 j + 9,530 C_{O_o} + 2,499 C_E - 0,920 \delta \quad (11)$$

Esta equação apresentou um coeficiente de ajuste igual a 0,831.

Como era de se esperar, o parâmetro G é função das variáveis experimentais e mostrou um comportamento consistente com relação às mesmas, ou seja, aumentou com o aumento da corrente elétrica, da concentração de óleo e da concentração de eletrólito, e diminuiu com o aumento do pH inicial e da distância entre eletrodos.

Para verificar se os parâmetros t_{min} , $C_{Al,min}$, K , K' , $[X]_{min}$ e n refletem os fenômenos físicos observados procuraram-se correlações entre os parâmetros e as variáveis experimentais estudadas (j , pH_o , C_{O_o} , C_E e δ).

A constante de equilíbrio, K , apresentou a seguinte dependência com o pH inicial (coeficiente de correlação 0,9995), considerando-se o intervalo de pH estudado entre 4 e 12, sendo desprezível a contribuição das demais variáveis operacionais:

$$K = 0,0941 pH_o^{-5,967} \quad (12)$$

Está claro então que a constante de equilíbrio diminui, indicando que a reação de complexação representada pela equação 3 torna-se cada vez mais difícil, à medida que o pH inicial da emulsão aumenta. Tal constatação é compatível com os dados experimentais e com os diagramas de predominância em meio aquoso Eh-pH.

Durante a avaliação dos valores da constante de equilíbrio verificou-se que a razão entre a concentração de alumínio na forma complexada e a concentração de alumínio livre é igual a:

$$\frac{[Al_{livre}]}{[Al_{complexado}]} = \frac{K Q}{n} \quad (13)$$

É de se esperar que durante o estágio reativo e, principalmente, nos primeiros minutos de sua duração, tal razão entre alumínio complexado e alumínio livre seja superior a 1, significando que durante o processo de eletrocoagulação propriamente dito o alumínio dissolvido está principalmente na forma de um complexo com a matéria orgânica. Entretanto, ao se calcular os valores da razão $\frac{K Q}{n}$, para cada



experimento, o modelo forneceu valores bastante inferiores a 1, não refletindo o comportamento físico esperado. Sendo assim, optou-se por forçar o modelo a ajustar-se de modo que esta razão fosse superior a 1, particularmente nos primeiros 10 minutos do estágio reativo, quando normalmente ocorreu a maior parte da remoção da matéria orgânica, mantendo a cinética de flotação de primeira ordem.

Da mesma forma, tendo em vista que os valores da constante de equilíbrio mostraram-se consistentes com o comportamento físico esperado, optou-se por manter tais valores e aplicar o modelo de modo a encontrar os valores de t_{min} , $C_{Al,min}$, K' , $[X]_{min}$ e n que melhor se ajustassem aos valores experimentais de DQO.

Outra condição de contorno importante para o modelo deve levar em conta que para que se inicie a flotação do complexo é preciso que se atinja uma concentração mínima a qual deve evidentemente ser inferior à concentração instantânea do complexo. Assim, $[X]_{min}$ deve ser inferior à concentração do complexo calculada pela equação 6.

Os parâmetros t_{min} , $C_{Al,min}$, K , K' , $[X]_{min}$ e n foram então novamente calculados através das condições de contorno indicadas acima (razão $\frac{K'Q}{n}$ e $[X]_{min}$).

A seguir foram determinadas as correlações entre os parâmetros do modelo K' , $[X]_{min}$, n e $C_{Al,min}$, e as variáveis experimentais. Tendo em vista que grande parte dos experimentos foi conduzida com $i = 2,0$ A, $\delta = 0,01$ m, $C_{Oo} = 3,0$ kg/m³ e $C_E = 3,0$ kg/m³, é intuitivo esperar que a variável que apresente maior impacto sobre os parâmetros do modelo seja o pH, uma vez que esse foi variado entre 4 e 12.

A constante cinética para a flotação dos complexos, K' , apresentou valores no intervalo entre -10^{-2} e -10^{-4} min⁻¹, com o sinal negativo sendo decorrência do fato da concentração instantânea do complexo, $[X]$, calculada pela equação 6, precisar ser superior à $[X]_{min}$ para que ocorra a flotação do referido complexo. Em outras palavras, o sinal negativo de K' significa que a velocidade de formação dos complexos é superior à velocidade de remoção dos mesmos da solução, via flotação, o que também parece ser fisicamente bastante razoável. É de se esperar que K' varie com a corrente elétrica utilizada. No entanto, como a maior parte dos experimentos de eletrocoagulação foi conduzida com um valor de corrente elétrica de 2,0 A, entende-se que a variável com maior influência sobre esta constante cinética deva ser o pH. De fato, a constante cinética mostrou-se dependente do pH, sendo essa dependência expressa através de um polinômio do sexto grau apresentando um coeficiente de correlação igual a 0,9418.

A concentração mínima de complexo necessária para o início da flotação, $[X]_{min}$, apresentou valores no intervalo 10^{-4} a 10^{-6} kg/m³ e foi, para todos os experimentos, sempre inferior à concentração instantânea de complexo calculada pela equação 6. De modo semelhante à constante cinética, $[X]_{min}$ mostrou-se dependente do pH, sendo essa dependência expressa por um polinômio do terceiro grau com um coeficiente de correlação de 0,9850. De modo geral, $[X]_{min}$ diminuiu com o aumento do pH. É preciso, no entanto, avaliar tal informação tendo em vista que a concentração instantânea de complexo, $[X]$, também diminuiu com o aumento do pH, significando que em menores valores de pH, maior é a concentração de complexo, ou seja, a reação indicada pela equação 3 é mais favorecida em menores valores de pH, o que é fisicamente esperado.

O coeficiente global, n , apresentou valores no intervalo 10^{-4} a 10^{-2} mg O₂/mg Al³⁺, com exceção dos experimentos com pHs 4,1, 10,8 e 12,1, os quais apresentaram valores de $-5,53 \times 10^{12}$, $2,24 \times 10^7$ e $2,86 \times 10^7$ mg O₂/mg Al³⁺, respectivamente. Tais exceções indicam que em valores de pH correspondentes ao meio ácido a

complexação ocorreria sem a necessidade do alumínio (valor de n muito elevado e negativo), ao passo que em valores de pH mais elevados (acima de 10,0) a complexação seria muito difícil, exigindo grandes quantidades de coagulante. Esse resultado é compatível com a literatura, mostrando que o modelo está descrevendo adequadamente o comportamento físico da eletrocoagulação. De uma maneira geral, o coeficiente global aumentou com o aumento do pH, indicando que quanto maior o valor de pH, maior a quantidade de coagulante necessária para a eletrocoagulação, e apresentou uma dependência que pode ser expressa por um polinômio do terceiro grau com um coeficiente de correlação de 0,9957.

A concentração mínima de alumínio, $C_{Al,min}$, necessária para o início do estágio reativo apresentou valores da ordem de 0,02 kg/m³ para pH 4,1; 0,03 kg/m³ para pH 7,2; 0,06 kg/m³ para pH 8,0; de 0,09 kg/m³ a 1,00 kg/m³ para pH entre 8,5 e 9,5 e 1,10 kg/m³ para pH entre 10 e 12. Ou seja, em geral, quanto maior o pH, maior a concentração mínima de alumínio necessária para o início do estágio reativo, o que reflete a maior facilidade para a ocorrência da complexação em meios levemente ácidos e neutros e a maior dificuldade em meios fortemente alcalinos. A concentração mínima mostrou-se efetivamente dependente do pH, sendo expressa por um polinômio de sexta ordem com um coeficiente de correlação igual a 0,9524. Não se espera que a concentração mínima para o início do estágio reativo seja dependente da densidade de corrente, uma vez que a função dessa variável é acelerar o processo, ou seja, quanto maior a densidade de corrente menor o tempo necessário para o início do estágio reativo e menor o tempo de duração de tal estágio, sem que isso influencie a concentração de alumínio necessária para que se inicie a complexação com a matéria orgânica.

Para ilustrar a aplicação do modelo foram selecionados cinco experimentos abrangendo diferentes concentrações iniciais de óleo, corrente e pH inicial. Esses experimentos são apresentados na Tabela 1 e em todos eles a concentração do surfatante foi 1,0 kg/m³, a concentração do eletrólito 3,0 kg/m³ e a distância entre os eletrodos 0,01 m.

Tabela 1. Experimentos selecionados para ilustrar a aplicação do modelo

Experimento	C_{Oo} (kg/m ³)	i (A)	pH_o
1	3,0	4,0	9,56
2	3,0	8,0	9,30
3	3,0	2,0	7,21
4	0,5	2,0	8,79
5	10,0	2,0	8,70

As Figuras 1 a 5 apresentam o resultado da comparação entre os valores experimentais de DQO e aqueles calculados pelo modelo matemático, para os experimentos selecionados. Está evidente que o modelo previu adequadamente as concentrações de matéria orgânica (DQO) presentes nas emulsões, ajustando-se muito bem aos dados experimentais, o que também ocorreu para os demais experimentos.

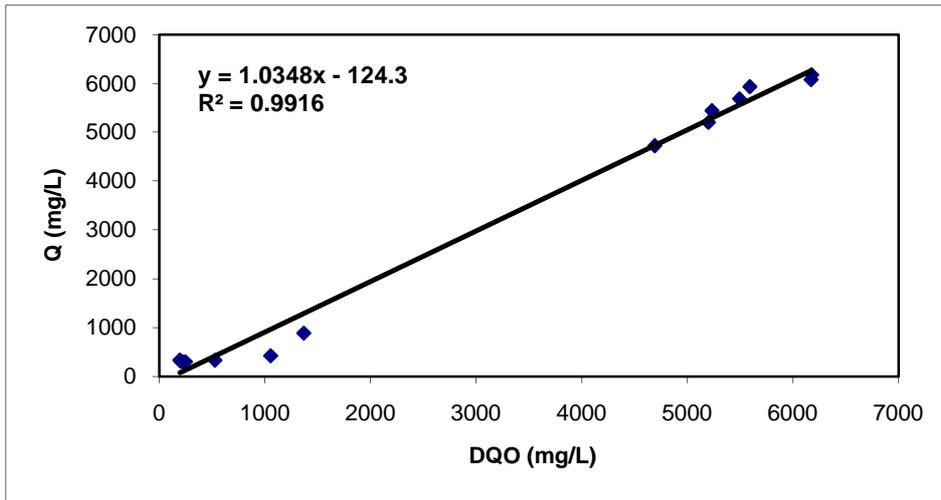


Figura 1. Relação entre a DQO medida e a calculada (Q) para o experimento 1.

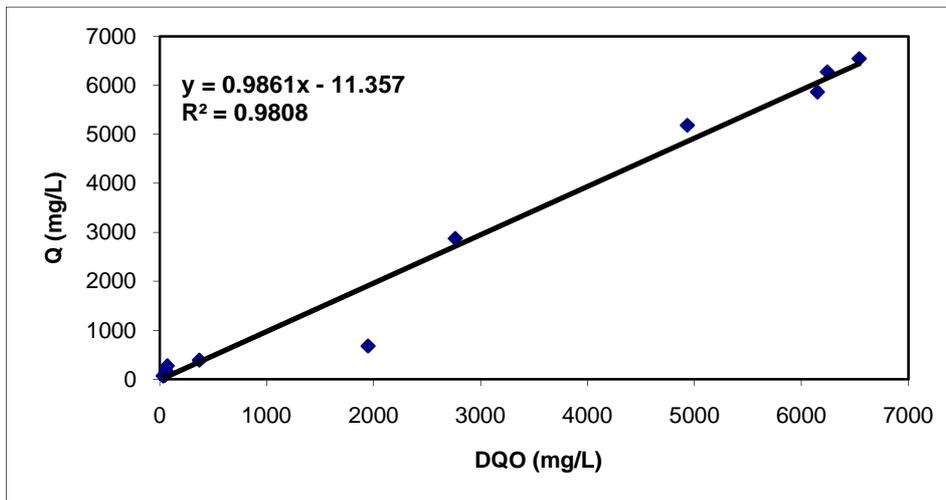


Figura 2. Relação entre a DQO medida e a calculada (Q) para o experimento 2.

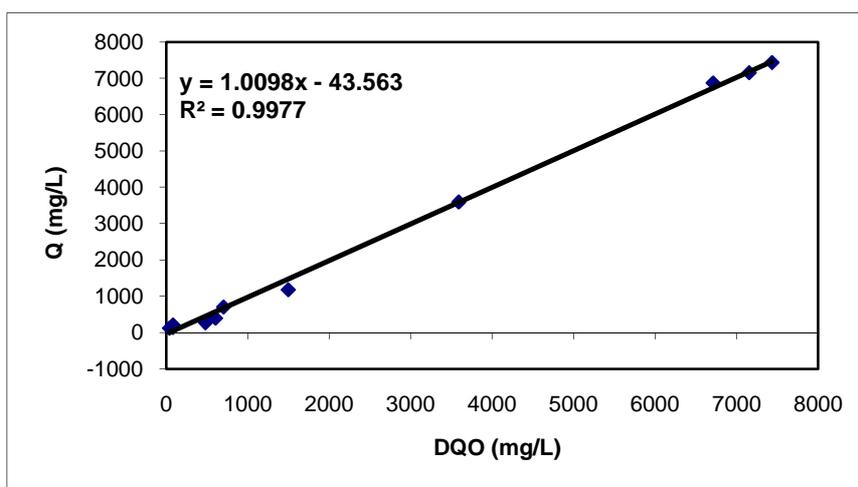


Figura 3. Relação entre a DQO medida e a calculada (Q) para o experimento 3.

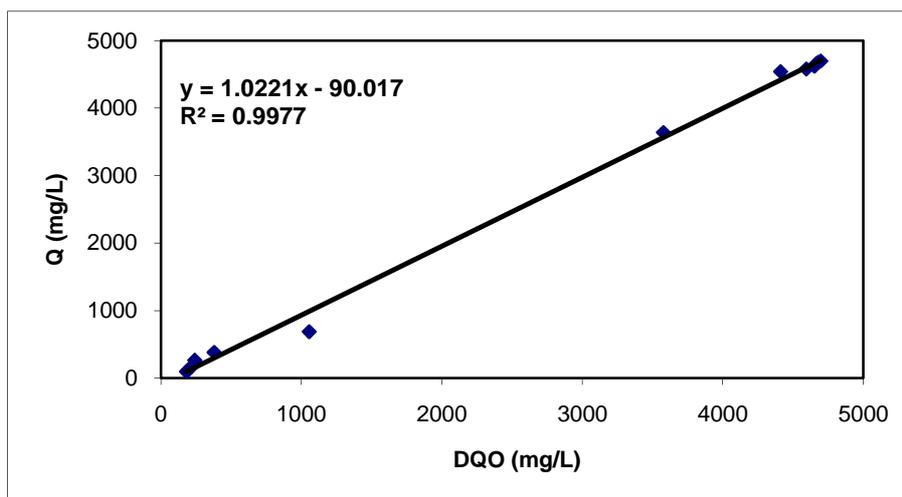


Figura 4. Relação entre a DQO medida e a calculada (Q) para o experimento 4.

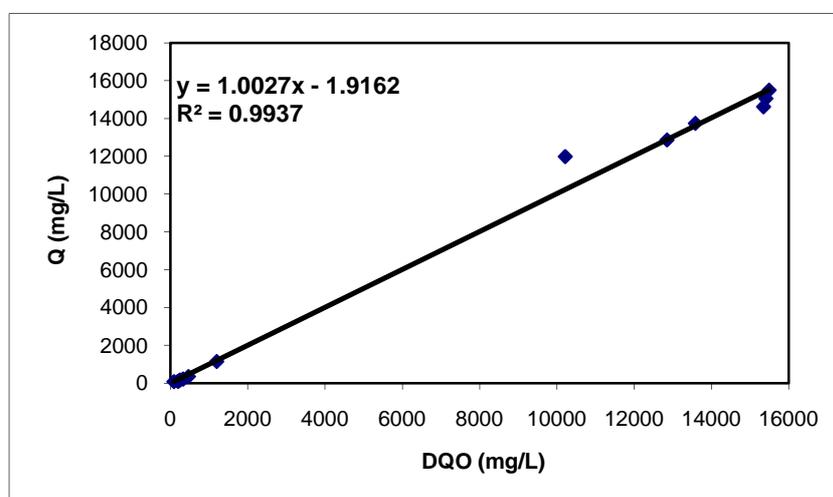


Figura 5. Relação entre a DQO medida e a calculada (Q) para o experimento 5.

5 CONCLUSÕES

A comparação entre os valores experimentais de DQO e aqueles calculados pelo modelo matemático permitiu concluir que este foi capaz de prever adequadamente as concentrações de matéria orgânica (DQO) presentes nas emulsões sintéticas óleo-água e descrever satisfatoriamente o comportamento físico da eletrocoagulação.

Agradecimentos

Os autores agradecem ao CNPq pelo apoio a este trabalho e pela concessão de uma bolsa de doutorado a Rodolfo Maia Rangel.

REFERÊNCIAS

1. CARMONA, M.; KHEMIS, M.; LECLERC, J.P.; LAPICQUE, F. A simple model to predict the removal of oil suspensions from water using the electrocoagulation technique. *Chemical Engineering Science*, v. 61, p. 1233-1242, 2006.

- 2 YANG, C-L. Electrochemical coagulation for oily water demulsification. *Separation and Purification Technology*, v.54, p. 388–395, 2007.
- 3 CAÑIZARES, P.; MARTINEZ, F.; JIMÉNEZ, C.; SÁEZ, C.; RODRIGO, M.A. Coagulation and electrocoagulation of oil-in-water emulsions. *Journal of Hazardous Materials*, v. 151, p. 44–51, 2008.
- 4 IBRAHIM, M.Y.; MOSTAFA, S.R.; FAHMY, M.F.M.; HAFEZ, A.I. Utilization of electroflotation in remediation of oily wastewater. *Separation Science and Technology*, v. 36, n. 16, p. 3749-3762, 2001.
- 5 KRAMER, G.R.; BUYERS, A.; BROWNLEE, B. Electrolytic treatment for oily wastewater. 34th Purdue Industrial Waste Conference. Lafayette, IN, 673, 1979.
- 6 RANGEL, R.M. Modelamento da eletrocoagulação aplicada ao tratamento de águas oleosas provenientes das indústrias extrativas. Tese de Doutorado. Departamento de Engenharia de Materiais. Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2008.