

AVALIAÇÃO DO CUSTO DE ENERGIA ELÉTRICA E DE MATERIAL NO TRATAMENTO DE EFLUENTE DE LATICÍNIOS POR ELETROCOAGULAÇÃO

EVALUATION OF THE COST OF ELECTRICITY AND MATERIAL IN THE TREATMENT OF EFFLUENT FROM DAIRY INDUSTRY BY ELECTROCOAGULATION

Gerson de Freitas Silva Valente¹; Regina Célia Santos Mendonça²; José Antônio Marques Pereira³
¹IFSULDEMINAS - Câmpus Inconfidentes - Inconfidentes - Brasil gerson.valente@ifsulde Minas.edu.br
^{2,3}Universidade Federal de Viçosa - Viçosa - Brasil

Resumo

Neste trabalho foi avaliado o efeito das variáveis operacionais da eletrocoagulação, pH inicial do efluente; tempo de eletrólise e densidade de corrente elétrica, nos elementos de custo operacional: custo de energia elétrica, custo de desgaste dos eletrodos de alumínio e reagentes para ajuste do pH. Os ensaios experimentais foram realizados de acordo com um delineamento experimental composto central rotacional para três fatores em dois níveis. A melhor condição para remoção de 70 % de Demanda Química de Oxigênio (DQO) com menor custo operacional foi: densidade de corrente elétrica de 12,3 A·m⁻², tempo de eletrólise de aproximadamente 23 minutos e pH em torno de 6,0. O custo do tratamento, referente aos elementos de custo operacional, para remoção de 70 % de DQO foi de aproximadamente R\$ 2,68 por metro cúbico. O desgaste do eletrodo é o principal componente do custo entre os elementos avaliados.

Palavras-chave: águas residuárias, eletrólise, indústria de alimentos.

1. Introdução

A tecnologia de tratamento de efluente líquido usando eletrólise, também denominada eletrocoagulação (EC), é uma alternativa promissora devido a eficiência de remoção de substâncias em efluentes industriais. Essa tecnologia possibilita ampliar a capacidade de tratamento dos sistemas tradicionais, visto que utiliza os mesmos fundamentos básicos de coagulação e floculação, porém adicionalmente disponibiliza elementos que potencializam o tratamento, pois há geração de hidrogênio nas reações de eletrólise, que forma um fluxo ascendente de microbolhas que interagem com todo o efluente (MOLLAH et al, 2004; EMAMJOMEH; SIVAKUMAR, 2009).

Na indústria de laticínios há poucos trabalhos utilizando a EC para tratamento do efluente líquido (SENGIL e OZACAR, 2006; KUSHWAHA et al., 2010; TCHAMANGO et al., 2010; BENSADOK et al., 2011; VALENTE et al., 2012;). Entre esses trabalhos somente três fizeram alguma avaliação do custo do tratamento por EC.

Sengil e Ozacar (2006) usaram eletrodos de ferro para tratamento de água residuária de uma indústria de laticínios localizada na Turquia. O consumo estimado de eletrodo foi 0,0204 g e o consumo de energia foi 0,003 kWh, ambos por quilograma de DQO removida para ensaios realizados em laboratório.

Em um estudo usando leite em pó para preparar a água residuária de uma indústria de laticínio, Kushwaha et al. (2010) verificaram que o custo referente ao consumo de energia elétrica e desgaste do eletrodo ficou entre 0,072 e 2,55 dólares americanos. Na melhor condição operacional houve redução de 70 % de DQO.

Bensadok et al. (2011) também usaram leite em pó para preparar o efluente da indústria de laticínios. A remoção de DQO foi de 80 % com consumo de energia elétrica de 0,03 kWh por quilograma de DQO removida do efluente.

O objetivo deste trabalho foi avaliar o efeito das variáveis operacionais da eletrocoagulação (pH inicial do efluente; tempo de eletrólise e densidade de corrente elétrica) nos elementos de custo operacional: custo de energia elétrica, custo de desgaste dos eletrodos de alumínio e reagentes para ajuste do pH.

2. Material e métodos

Caracterização do efluente: amostragem e análise

Foram utilizadas águas residuárias brutas provenientes de uma indústria de laticínios (15.000 L de leite por dia). As águas de lavagem dos diferentes setores: pasteurização, doce de leite, iogurte, manteiga, requeijão cremoso, além da área de recepção, era direcionada para uma caixa de passagem, local onde as amostras foram coletadas. As amostras foram coletadas usando metodologia de amostragem composta proporcional a vazão. Os intervalos de coleta das subamostras foram de 1 hora no período de 8 às 17 horas que correspondia ao horário de operação da indústria no turno diurno. As subamostras coletadas foram sendo acondicionadas e mantidas sob refrigeração até que fosse atingido o volume necessário. O pH foi medido na amostra composta. Os parâmetros avaliados nesse estudo também foram utilizados para caracterizar o efluente, sólidos totais e suas frações, turbidez e DQO.

A análise de DQO foi realizada segundo o método colorimétrico nº5220 da APHA (2005). As amostras foram digeridas em um bloco digestor aquecido da marca MARCONI® modelo DRY BLOCK MA 4004. Realizou-se leitura de absorvância das amostras em espectrofotômetro GBC® modelo UV/VIS 911A a 600 nm.

As análises da concentração de sólidos das amostras foram realizadas segundo o método gravimétrico nº2540 da APHA (2005). A medida de pH foi realizada pelo método potenciométrico utilizando aparelho digital portátil DIGIMED® modelo DMPH-2 de acordo com o método nº4500 (H⁺) da APHA (2005). A medida de turbidez foi efetuada de acordo com o método nº2130 da APHA (2005). Para a medida de turbidez utilizou-se turbidímetro TECNOPON® modelo TB 1000.

Ensaio de eletrocoagulação

Os ensaios de eletrocoagulação foram realizados em batelada usando um modelo de reator construído em vidro e eletrodos em alumínio conforme esquema mostrado em Valente et al. (2012). O eletrodo em alumínio foi construído com 8 placas (130 x 200 x 1,5 mm), mantendo-se uma relação entre a área do eletrodo e o volume de efluente de 27 m²·m⁻³ em cada ensaio. Foi mantida uma conexão elétrica em paralelo do tipo monopolar entre os eletrodos para a aplicação de corrente contínua. A temperatura do efluente no momento de condução dos ensaios de eletrocoagulação foi mantida em 20°C ± 2 °C, próximo a temperatura média anual (19 °C) do local das instalações da indústria de laticínios. A distância entre os eletrodos foi de 0,6 cm.

Após cada ensaio foi realizado a inversão de polaridade dos eletrodos. O pH da amostra foi ajustado às condições estipuladas no planejamento experimental, utilizando NaOH (1 mol·L⁻¹) ou H₂SO₄ (0,05 mol·L⁻¹) segundo o caso.

Cessada a aplicação da corrente, esperava-se 20 min, o tempo necessário para a separação das fases por flotação, coletava-se uma amostra na profundidade média do reator para as análises de caracterização do efluente.

Planejamento experimental

O planejamento experimental foi um delineamento composto central rotacional ($\alpha=1,633$) para três fatores, em dois níveis para cada fator e ponto central, com duas repetições por bloco e cinco no ponto central. Os blocos correspondem as amostras coletadas em três dias diferentes de produção. O planejamento foi estabelecido usando o *software* MINITAB 15®. Os níveis das variáveis operacionais estão na Tabela 1.

Tabela 1 – Variáveis operacionais e seus níveis no tratamento efluente líquido da indústria de laticínios por EC

Variáveis	Níveis				
	- 1,633	-1	0	1	+ 1,633
Tempo de eletrólise (min)	2,0	9,4	21,0	32,6	40,0
pH	3,0	3,6	4,5	5,4	6,0
Densidade de corrente elétrica ($A \cdot m^{-2}$)	12,3	21,9	37,0	52,0	61,6

Avaliação de elementos de custo

Para avaliar o custo foram considerados os parâmetros: desgaste do eletrodo, custos de energia elétrica e reagente necessário para ajuste do pH inicial do efluente.

Para avaliar o desgaste do eletrodo, no início de cada ensaio, eles foram pesados. Ao final da operação de EC, os eletrodos foram limpos com detergente neutro, lavados com acetona para remover lipídeos da superfície. Outras impurezas foram removidas por meio da imersão em solução de ácido clorídrico ($1 \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$) por 5 min e secos em estufa a $105 \text{ }^\circ\text{C}$ para, então, determinar o peso final (BAYRAMOGLU et al, 2004; BAYRAMOGLU et al., 2006).

O consumo de energia elétrica no reator durante a eletrólise foi quantificado por meio da aplicação da Lei de Ohm, em que a potência consumida (P) é o produto da diferença de tensão (V) multiplicada pela corrente elétrica (i).

3. Resultados e Discussão

Caracterização do efluente: amostragem e análise

As características físico-químicas do efluente líquido de uma indústria de laticínios utilizado nos testes experimentais é mostrada na Tabela 2. As amostras do efluente do laticínio apresentaram alta concentração de matéria orgânica, principal-mente a fração que corresponde aos sólidos dissolvidos voláteis, estas características estão de acordo com outros autores (DEMIREL et al., 2005; HAMDANI et al., 2005; MATOS et al., 2010; VALENTE et al., 2012).

Tabela 2 – Características físico-químicas do efluente líquido do laticínio

Características Analisadas	Faixa
pH	3,0 – 8,2
Turbidez (UNT)	123 – 549
DQO (mg·L ⁻¹)	951 – 3.170
Sólidos e suas frações (mg·L ⁻¹)	
Sólidos totais (ST)	1.138 – 2.972
Sólidos totais voláteis (STV)	896 – 2.739
Sólidos totais fixos (STF)	233 – 264
Sólidos dissolvidos(SDT)	761 – 2.353
Sólidos dissolvidos voláteis (SDV)	527 – 2.177
Sólidosdissolvidosfixos (SDF)	177 – 234
Sólidos suspensos (SST)	285 – 619
Sólidos suspensos voláteis (SSV)	209 – 562
Sólidos suspensos fixos (SSF)	8 – 76
Sólidos sedimentáveis (SSed, mL·L ⁻¹)	0,1 – 15

Ensaio de eletrocoagulação

Os resultados dos ensaios de EC para avaliar a remoção de DQO e custo operacional do tratamento referente ao consumo de energia elétrica e material estão na Tabela 3.

A análise de variância para remoção de DQO usando o modelo quadrático é está na Tabela 4.

O modelo quadrático ajustado aos dados de remoção de DQO é mostrado na equação 1:

$$Y = -7,9 + 2,76 t + 3,74 pH + 0,016 j^2 - 0,052 j t \quad (1)$$

em que Y é a porcentagem de remoção de DQO; t o tempo de eletrólise (min); e j a densidade de corrente elétrica ($A \cdot m^{-2}$).

De acordo a equação 1 observa-se que o aumento no tempo de eletrólise promove o aumento na eficiência de remoção de DQO do efluente para valores de densidade de corrente elétrica mais baixos, pois o aumento da densidade de corrente aumenta o termo referente a interação entre densidade de corrente elétrica e tempo de eletrólise que possui efeito negativo na remoção de DQO. Para valores de densidade de corrente elétrica próximos a $60 A \cdot m^{-2}$, o tempo de eletrólise apresenta menor efeito na remoção de DQO, como pode ser observado na Figura 1.

Tabela 3 –Redução de DQO (%), experimental e calculada, e custo operacional para os ensaios realizados

Ensaio	Bloco	t (min)	pH	j (A·m ⁻²)	R _e	R _c	Custo (R\$.m ⁻³)
1	3	40,0	4,5	37,0	77,72	64,27	5,71
2	3	21,0	4,5	37,0	43,18	48,39	2,61
3	3	21,0	4,5	61,6	67,65	60,34	4,52
4	3	21,0	6,0	37,0	53,26	54,00	2,54
5	3	21,0	3,0	37,0	41,74	42,78	2,05
6	3	21,0	4,5	12,3	64,05	55,88	1,41
7	3	2,0	4,5	37,0	18,30	32,51	0,38
8	3	21,0	4,5	61,6	64,05	60,34	2,44
9	3	21,0	4,5	12,3	57,57	55,88	0,96
10	3	21,0	6,0	37,0	60,45	54,00	2,69
11	3	21,0	4,5	37,0	51,10	48,39	2,34
12	3	21,0	3,0	37,0	48,94	42,78	1,93
13	3	21,0	4,5	37,0	46,06	48,39	2,61
14	3	21,0	4,5	37,0	47,00	48,39	2,39
15	3	40,0	4,5	37,0	75,49	64,27	5,15
16	3	2,0	4,5	37,0	24,10	32,51	0,29
17	1	9,4	3,6	21,9	30,00	28,48	0,80
18	1	21,0	4,5	37,0	54,35	48,39	2,66
19	1	21,0	4,5	37,0	49,41	48,39	2,77
20	1	32,6	3,6	52,1	43,90	50,65	6,59
21	1	9,4	5,4	52,1	55,59	56,20	3,72
22	1	21,0	4,5	37,0	50,00	48,39	6,10
23	1	32,6	3,6	52,1	51,88	50,65	14,79
24	1	9,4	5,4	52,1	60,53	56,20	3,97
25	1	9,4	3,6	21,9	29,65	28,48	1,83
26	1	32,6	5,4	21,9	76,59	72,82	5,98
27	1	21,0	4,5	37,0	55,00	48,39	6,28
28	1	32,6	5,4	21,9	62,40	72,82	5,67
29	2	21,0	4,5	37,0	54,82	48,39	6,09
30	2	9,4	3,6	52,1	56,67	49,47	3,84
31	2	32,6	3,6	21,9	56,67	66,09	5,87
32	2	9,4	5,4	21,9	29,62	35,21	2,03
33	2	32,6	5,4	52,1	52,59	57,38	12,93
34	2	32,6	3,6	21,9	54,08	66,09	10,58
35	2	21,0	4,5	37,0	53,33	48,39	6,11
36	2	9,4	5,4	21,9	47,04	35,21	1,82
37	2	9,4	3,6	52,1	53,33	49,47	3,75
38	2	21,0	4,5	37,0	57,04	48,39	5,68
39	2	32,6	5,4	52,1	45,90	57,38	14,07
40	2	21,0	4,5	37,0	54,82	48,39	6,91

R_e é a porcentagem de redução de DQO experimental e R_c a redução de DQO calculada.

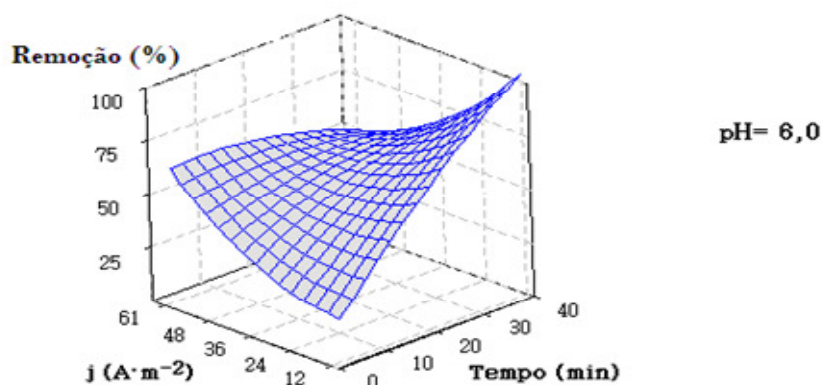
Tabela 4 – Análise de variância (ANOVA) para o modelo quadrático de superfície de resposta referente a remoção de

	DQO				
	GL	SQ	QM	F	P
Regressão	5	4676,3	935,27	16,98	0,00
Linear	3	2996,8	998,95	18,14	0,00
Quadrática	1	360,5	360,53	6,55	0,01
Interação	1	1319,0	1318,97	23,95	0,00
Resíduo	34	1872,2	55,07		
Falta de ajuste	9	1244,0	138,22	5,50	0,00
Erro puro	25	628,2	25,13		
Total	39	6548,6			

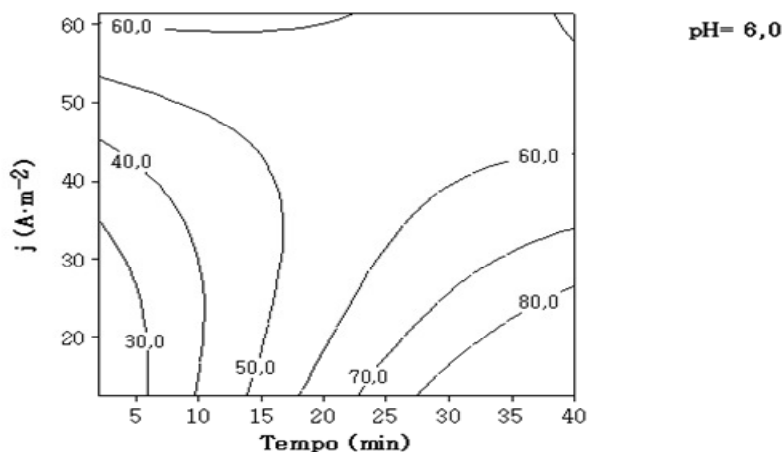
R²= 0,714.

Figura 1 – Efeito das variáveis operacionais tempo de eletrólise e densidade de corrente elétrica na remoção de DQO em porcentagem

A.



B.

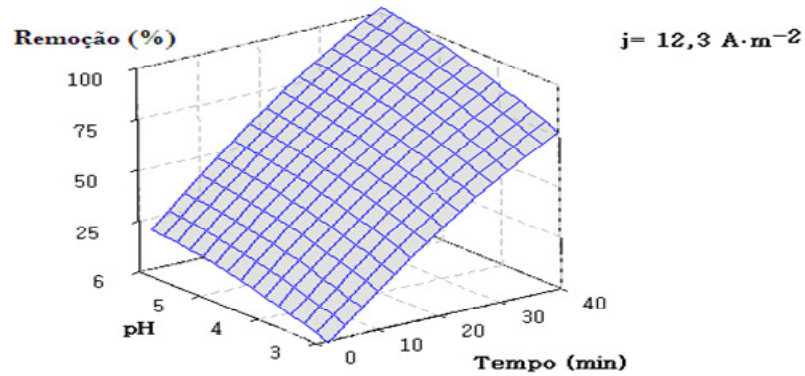


Na Figura 1A é possível observar que a maior remoção de DQO ocorreu para densidade de corrente elétrica de $12,3 A \cdot m^{-2}$ e tempo de eletrólise de 40 min. No entanto, observando a Figura 1B verifica-se que tempo de eletrólise superior a 28 minutos e densidade de corrente elétrica menor que $25 A \cdot m^{-2}$ são suficientes para atingir a remoção de 80 % de DQO.

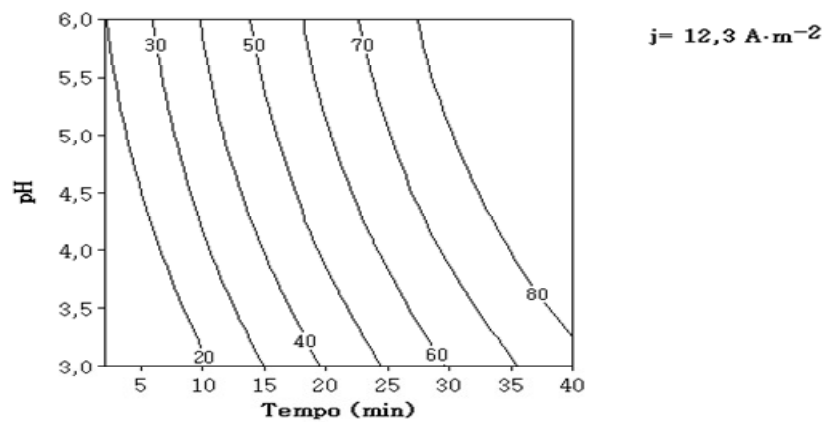
Em relação ao pH inicial do efluente, observa-se que o aumento no valor dessa variável pode promover aumento de eficiência de remoção de DQO do tratamento, mas com efeito menos expressivo que o tempo de eletrólise (Figura 2A). Esse comportamento da eficiência do método EC em relação à variável pH pode ser uma grande vantagem. A coagulação química é muitas vezes ineficaz para o tratamento do efluente líquido de laticínios devido a grande variação de pH que reduz a eficiência de remoção da matéria orgânica. Ainda, observa-se na Figura 2B que a medida que se aumenta o pH inicial do efluente, pode-se usar um menor tempo de eletrólise

Figura 2 – Efeito das variáveis operacionais tempo de eletrólise e densidade de corrente elétrica na remoção de DQO em porcentagem

A.



B.



Observou-se que para os ensaios que usaram tempo de eletrólise elevado (40 min) e alta densidade de corrente ($61,6 \text{ A}\cdot\text{m}^{-2}$), houve formação de espuma devido ao maior volume de gás produzido. Para essa condição de tratamento por EC, o volume de espuma gerado pode ser um problema, pois o vento pode carregar esse material para outros setores da estação de tratamento, ou ainda para a área industrial e sua vizinhança.

Para os ensaios que foram realizados em pH igual a 3,0 verificou-se que ocorria flotação e sedimentação. Para os outros ensaios a separação dos flocos foi por flotação.

Avaliação de elementos de custo

Os parâmetros econômicos usados para o cálculo dos elementos de custo do tratamento de efluente líquido da indústria de laticínios estão na Tabela 5.

Tabela5 – Parâmetros usados no cálculo do custo operacional do tratamento por EC

Variáveis	
Energia elétrica (R\$/kW.h)	0,33
Material	
Eletrodo de alumínio (R\$/kg)	5,40
H ₂ SO ₄ (R\$/kg)	23,00
NaOH (R\$/kg)	30,00

A análise de variância para o custo operacional usando o modelo linear é apresentada na Tabela 6.

Tabela 6 – Análise de variância (ANOVA) do modelo linear de superfície de resposta para o custo operacional

	GL	SQ	QM	F	P
Regressão	2	241,0	120,48	19,10	0,00
Linear	2	241,0	120,48	19,10	0,00
Resíduo	36	233,4	6,31		
Falta de ajuste	11	117,2	19,54	5,21	0,00
Erro puro	25	116,2	3,75		
Total	39	474,4			

R²= 0,501.

A ANOVA mostrou que o modelo de regressão linear para elementos de custo foi significativo ($\alpha= 0,1$). O teste da falta de ajuste foi significativo, o que mostra que o modelo pode não ser adequado pois há grande variância.

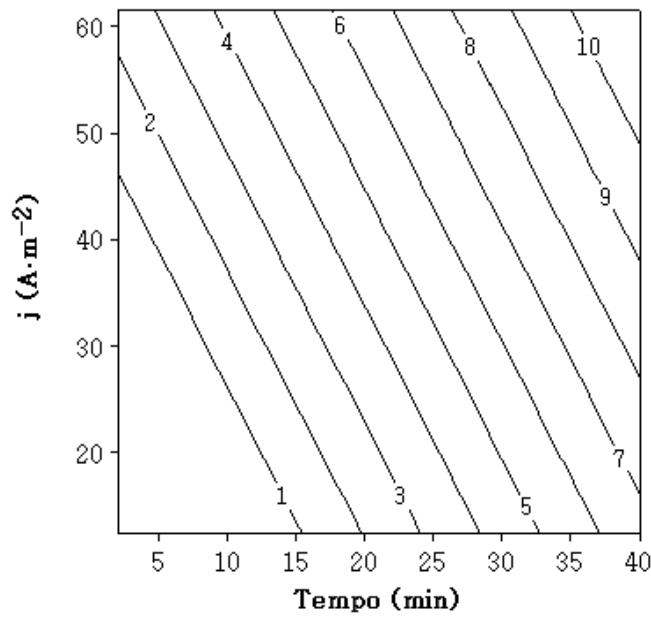
O modelo linear para o custo operacional do tratamento por EC é mostrado na equação2:

$$Z = -3,67 + 0,23 t + 0,091 j \quad (2)$$

em que Z é o custo operacional (R\$.m⁻³) do tratamento do efluente por EC; t o tempo de eletrólise (min); e j a densidade de corrente elétrica (A.m⁻²).

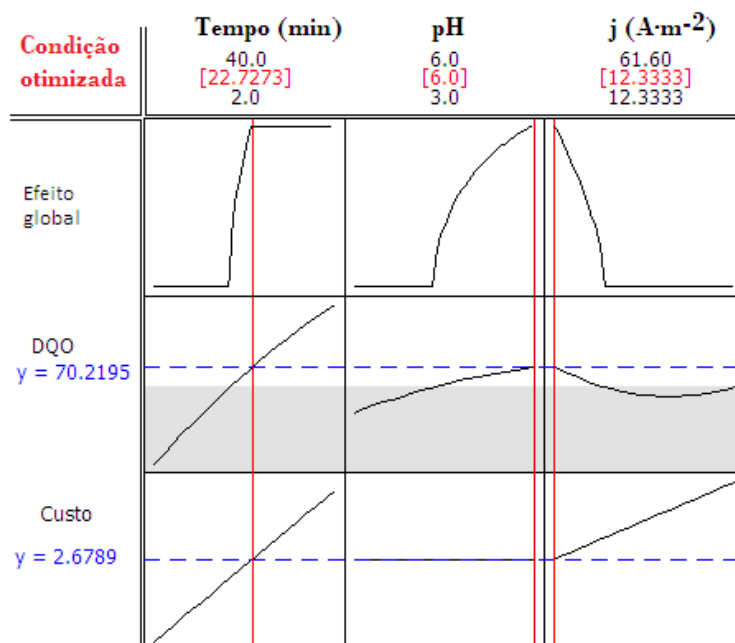
O modelo mostra que tanto o aumento do tempo de eletrólise, quanto o aumento da densidade de corrente elétrica aumentam o custo operacional do tratamento do efluente da indústria de laticínios por EC. Tal comportamento é melhor visualizado na Figura 3. Estes resultados estão de acordo com Bayramoglu et al. (2004) e Bayramoglu et al. (2006).

Figura 3 – Efeito do tempo de eletrólise e da densidade de corrente elétrica no custo operacional (R\$.m⁻³)



Como o objetivo é maximizar a eficiência de remoção de DQO e minimizar o custo, fez-se o uso da ferramenta de otimização do *software* MINITAB[®]. Para remoção de 70 % de DQO, a melhor condição operacional foi: tempo de eletrólise de 23 min, pH inicial de 6,0 e densidade de corrente elétrica de 12,3 A.m⁻². O custo referente aos elementos de custo foi de aproximadamente R\$ 2,68 por metro cúbico de efluente tratado. Os resultados para remoção de 70 % de DQO estão na Figura 4.

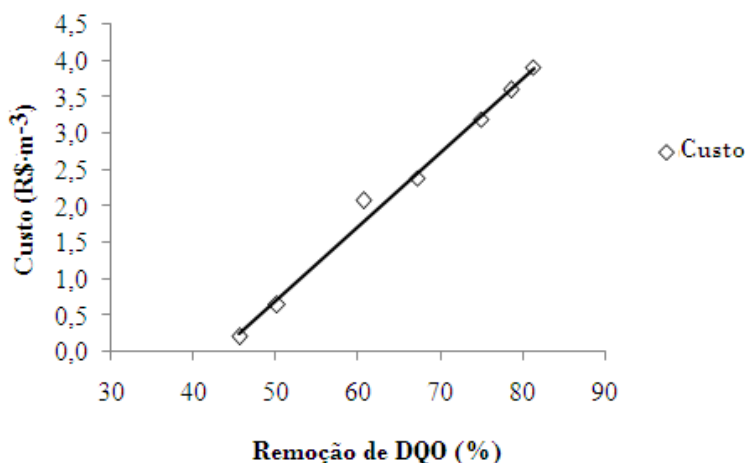
Figura 4 – Maximização de remoção de DQO e minimização do custo do tratamento por EC



O gráfico da Figura 4 mostra que o aumento de tempo de eletrólise aumenta a remoção de DQO, mas também aumenta o custo de tratamento. O pH inicial da amostra somente apresenta efeito para remoção de DQO. O aumento de densidade de corrente elétrica aumenta o custo e diminui a remoção de DQO para a condição avaliada. O efeito global corresponde ao comportamento da função que maximiza a remoção de DQO e minimiza o custo. O melhor resultado é apresentado entre os níveis das variáveis.

A utilização dessa ferramenta do *software* MINITAB® permitiu obter dados para a construção do gráfico que relaciona o custo com a remoção de DQO (Figura 5).

Figura 5 – Custo operacional em função da remoção de DQO



Observa-se um aumento considerável no custo operacional para um pequeno aumento na remoção de DQO. Para remoção de 50 % de DQO, o custo operacional foi menor que R\$ 1,00 por metro cúbico de efluente tratado. Enquanto para remoção de aproximadamente 70 % na DQO, o custo operacional fica próximo de R\$ 2,70 por metro cúbico de efluente tratado. Esse comportamento observado do aumento do custo operacional sugere que a EC para tratamento de efluente da indústria de laticínios deva

ser usada como parte de um processo de tratamento. A eficiência de remoção de SST por EC como avaliado por Valente et al. (2012) combinado com tratamento biológico para remoção de SDT parece ser a solução.

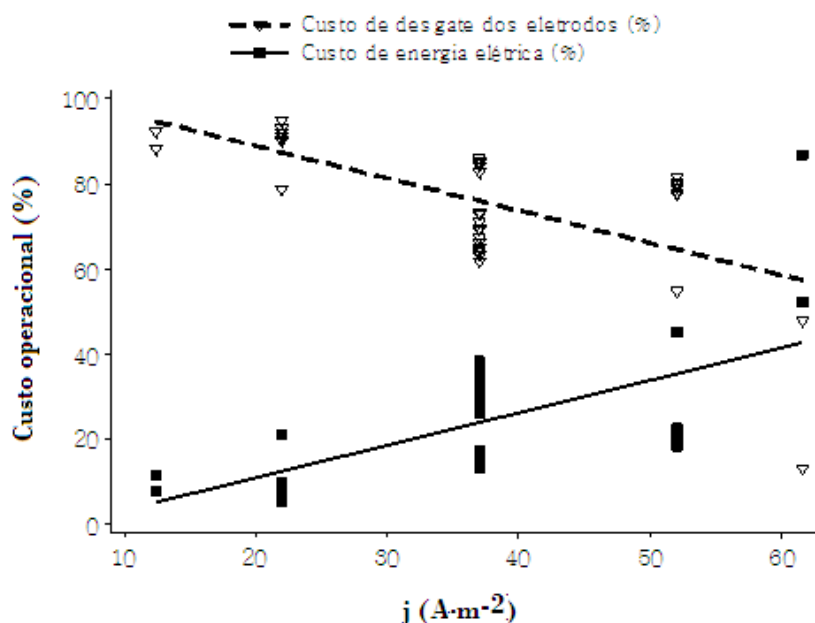
Para avaliar a contribuição do desgaste do eletrodo e do consumo de energia elétrica no custo operacional do tratamento por EC, fez-se o cálculo da porcentagem que cada um desses custos representavam em cada um dos ensaios.

Realizou-se uma análise estatística para avaliar o efeito das variáveis operacionais na porcentagem do custo de energia elétrica e na porcentagem do custo referente ao desgaste do eletrodo. Somente a densidade de corrente elétrica foi significativa ao nível de 10 % de probabilidade. A Figura 6 mostra como cada um desses custos afetam o custo operacional em função da densidade de corrente elétrica usada.

O principal componente do custo em avaliação para o tratamento de efluente líquido da indústria de laticínios foi o custo referente ao desgaste do eletrodo, principalmente quando se aplica densidade de corrente elétrica próximo a $12,3 \text{ A}\cdot\text{m}^{-2}$.

Alguns trabalhos (BAYRAMOGLU et al., 2004; BAYRAMOGLU et al., 2006; KOBAYA et al., 2006) relatam que o maior custo do tratamento por EC é devido ao elevado consumo de energia elétrica. Na verdade essa afirmação é relativa porque o custo operacional depende dos níveis das variáveis em estudo. Nesse trabalho para densidade de corrente elétrica de $12,3 \text{ A}\cdot\text{m}^{-2}$, o custo referente ao desgaste do eletrodo foi de aproximadamente 90 % do custo avaliado.

Figura 6 – Contribuição dos custos de energia elétrica e de consumo de eletrodos no custo operacional em função da densidade de corrente elétrica



No trabalho de Kushwaha et al. (2010) o custo do tratamento por EC para efluente de laticínio usando eletrodos de ferro foi de aproximadamente R\$5,00 por metro cúbico de efluente tratado para redução de 70% na DQO. Esse trabalho apresenta custo operacional de R\$ 2,68 por metro cúbico de efluente tratado usando eletrodos de alumínio. Apesar de usar alumínio como material de construção que é mais caro que o ferro, o custo operacional foi menor. Isso provavelmente ocorreu devido a densidade de corrente elétrica usada por Kushwaha et al. (2010), foi muito maior ($270 \text{ A}\cdot\text{m}^{-2}$).

Esse estudo inicial sobre o custo referente aos elementos de custo operacional do tratamento de efluente da indústria de laticínios por EC permite avaliar a possibilidade do uso dessa tecnologia. Para uma melhor estimativa do custo operacional é necessário realizar uma avaliação de um reator em escala maior.

4. Conclusão

O custo operacional para tratamento de efluente líquido da indústria de laticínios foi de R\$ 2,68 por metro cúbico de efluente tratado para remoção de 70 % de DQO.

As variáveis operacionais que foram significativas para o custo operacional foram a densidade de corrente elétrica e o tempo de eletrólise.

O custo referente ao desgaste do eletrodo é o principal componente do custo operacional, principalmente quando se usa densidade de corrente elétrica próximo a $12,3 \text{ A}\cdot\text{m}^{-2}$.

Abstract

This study evaluated the effect of operating variables of electrocoagulation, initial pH of the effluent, electrolysis time and electrical current density, on the operating cost components: the cost of electricity, cost of wear on the aluminum electrodes and reagents for pH adjustment. The assays were performed according to a central composite experimental design for three factors at two levels. The best condition for removing 70% of chemical oxygen demand with lowest operating cost was: electrical current density of $12.3 \text{ A}\cdot\text{m}^{-2}$, electrolysis time of approximately 23 minutes and pH around 6.0. The cost of treatment, referring to the elements of operating cost to remove 70% of chemical oxygen demand was approximately U.S. \$ 1.15 per cubic meter.

Keywords: electrolysis, food industry, wastewater. The wear of the electrode is the main component of the cost among the elements assessed.

Keywords: electrolysis, food industry, wastewater.

5. Referências

AMERICAN PUBLIC HEALTH ASSOCIATION; AMERICAN WATER WORKS ASSOCIATION; WATER ENVIRONMENT FEDERATION (APHA; AWWA; WEF). **Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater**. 21th ed. Washington: APHA-AWWA-WEF, 2005. 1200p.

BAYRAMOGLU, M.; KOBYA, M.; CAN, O. T.; SOZBIR, M. Operating cost analysis of electrocoagulation of textile dye wastewater. **Separation Purification and Technology**, v.37, p.117-125, 2004.

BAYRAMOGLU, M.; KOBYA, M.; EYVAZ, M.; SENTURK, E. Technical and economic analysis of electrocoagulation for the treatment of poultry slaughterhouse wastewater. **Separation and Purification Technology**, v.51, p.404-408, 2006.

BENSADOK, K.; EL HANAFAI, N.; LAPICQUE, F. Electrochemical treatment of dairy effluent using combined Al and Ti/Pt electrodes system. **Desalination**, v. 280, p. 244-251, 2011.

- DEMIREL, B.; YENIGUN, O.; ONAY, T. T. Anaerobic treatment of dairy wastewaters: a review. **Process Biochemistry**, v.40, p.2583-2595, 2005.
- EMAMJOMEH, M. M.; SIVAKUMAR, M. (2009) Review of pollutants removed by electrocoagulation and electrocoagulation/flotation processes. **Journal of Environmental Management**, v. 90, p.1663-1679, 2009.
- HAMDANI, A.; MOUNTADAR, M.; ASSOBEI, O. Comparative study of the efficacy of three coagulants in treating dairy factory waste water. **International Journal of Dairy Technology**, v.58, n.2, p.83-88, 2005.
- KOBYA, M.; HIZA, H.; SENTURKA, E.; AYDINERA, C.; DEMIRBAS, E. Treatment of potato chips manufacturing wastewater by electrocoagulation. **Desalination**, v.190, p.201-211, 2006.
- KUSHWAHA, J. P.; SRIVASTAVA, V. C.; MALL, I. D. Organics removal from dairy wastewater by electrochemical treatment and residual disposal. **Separation and Purification Technology**, v.76, p. 198-205, 2010.
- MATOS, A. T.; ABRAHÃO, S.S; LOMONACO, P. A. V.; SARMENTO, A.P.; MATOS, M. P. Capacidade extratora de plantas em sistemas alagados utilizados no tratamento de águas residuárias de laticínios. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.14, p. 1311-1317, 2010.
- MOLLAH, M. Y. A.; MORKOVSKY, P.; GOMES, J. A. G.; KESMEZ, M.; PARGA, J.; COCKE, D. L. Fundamentals, present and future perspectives of electrocoagulation. **Journal of Hazardous Materials**, v.114, p.199-210, 2004.
- SENGIL, I. A.; OZACAR, M. Treatment of dairy wastewaters by electrocoagulation using mild steel electrodes. **Journal of Hazardous Materials**, v.137, p.1197-1205, 2006.
- TCHAMANGO, S.; NANSEU-NJIKI, C. P.; NGAMENI, E.; HADJIEV, D.; DARCHEN, A. (2010) Treatment of dairy effluents by electrocoagulation using aluminium electrodes. **Science of Total Environment**, v.408, p.947-952, 2010.
- VALENTE, G. F. S.; MENDONÇA, R. C. S.; PEREIRA, J. A. M.; FELIX, L. B. The efficiency of electrocoagulation in treating wastewater from a dairy industry, Part I: Iron electrodes. **Journal Environmental Science Health B**, v.47, p.355-361, 2012.
-