

Área: Engenharia de Alimentos

REMOÇÃO DE POLUENTES DE EFLUENTE DE FRIGORÍFICO SUÍNO POR ELETROFLOCULAÇÃO

Eduardo Motin, Marcelo Hemkemeier*

*Laboratório de Operações Unitárias, Curso de Engenharia Ambiental, Faculdade de Engenharia e
Arquitetura, Universidade de Passo Fundo*

**E-mail: marceloh@upf.br*

RESUMO

Os efluentes líquidos, gerados por este tipo de indústria, são caracterizados principalmente por possuírem alta carga orgânica, alto conteúdo de gordura, flutuações de pH em função do uso de agentes de limpeza ácidos e básicos, altos teores de nitrogênio, fósforo e sais, bem como flutuações de temperatura devido ao uso de água quente e fria. A eletrofloculação possui algumas vantagens sobre os demais processos, tais como a utilização de uma pequena área para sua instalação, menor tempo de tratamento, equipamentos simples, maior liberação de agentes coagulantes, flocos formados mais estáveis, remoção de partículas coloidais menores e ainda elimina o uso de substâncias químicas. A amostra foi proveniente de um frigorífico de abate de suínos, da região de Passo Fundo/RS, após a passagem por processo físico-químico (floculação e flotação) e caracterizado através dos seguintes parâmetros: pH, condutividade elétrica, DQO, NTK e PT. Os experimentos de eletrofloculação foi conduzidos em reator em batelada, com capacidade para 2 litros e geometria circular. Utilizaram-se densidades de corrente de 50 A/m² e 100 A/m², com temperatura constante durante o experimento, nos tempos de 15 minutos e 45 minutos e eletrodos de aço carbono e alumínio. As variáveis que mais influenciaram o processo de tratamento foram o tempo de eletrólise e a densidade de corrente. Quanto aos diferentes tipos de eletrodos usados, o eletrodo de ferro foi o que obteve melhores resultados nas remoções, em relação à DQO, NTK e PT.

Palavras-chave: Tratamento eletrolítico; Abatedouro suíno, Eletrólise.

1 INTRODUÇÃO

A carne suína é a proteína mais consumida no mundo, com uma produção de 115 milhões de toneladas por ano, sendo quase a metade produzida na China e outro terço na União Européia (UE) e nos Estados Unidos da América (EUA). A participação do Brasil tem

crescido em importância no mercado mundial, sendo que o país é o quarto maior produtor, com 3% da produção e 11% das exportações.

O principal destaque dos últimos anos é o desempenho das vendas externas brasileiras, que em dez anos ampliaram sua participação nas exportações mundiais de 4% para 11%, mesmo com a imposição das barreiras sanitárias, com o aumento dos subsídios europeus e o crescimento da concorrência internacional. As exportações brasileiras cresceram acima da média dos competidores.

A obtenção de carne e derivados através das operações de abate origina vários subprodutos e/ou resíduos que devem sofrer processamentos específicos tais como couros, sangue, ossos, gorduras, aparas de carne, tripas, animais ou suas partes condenadas pela inspeção sanitária, etc.

Os efluentes líquidos, gerados por este tipo de indústria, são caracterizados principalmente por possuírem alta carga orgânica, alto conteúdo de gordura, flutuações de pH em função do uso de agentes de limpeza ácidos e básicos, altos teores de nitrogênio, fósforo e sais, bem como flutuações de temperatura devido ao uso de água quente e fria.

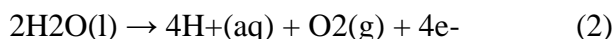
A alta variabilidade de carga orgânica pode tornar o tratamento biológico ineficiente e quando operado de forma inadequada pode vir a causar problemas com a população que reside próxima à indústria, devido à geração de odores, podendo arruinar a imagem da empresa.

Segundo Scott (1995), o processo eletrolítico é similar ao tratamento físico-químico tradicional, na qual os sais de alumínio e ferro estão representados por eletrodos, que atuam como fontes desses metais que irão formar hidróxidos insolúveis, promovendo a desestabilização dos colóides existente no efluente.

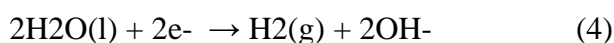
Várias pesquisas estão sendo desenvolvidas no tratamento com reatores eletroquímicos para a descontaminação de diversos tipos de efluentes industriais. O tratamento consiste num processo eletroquímico que ocorre através da passagem da corrente elétrica polarizada entre eletrodos, submersos em um meio aquoso, distribuídos no interior de um reator, gerando várias reações de oxi-redução. Por dissociação eletrolítica, ocorrem reações de coagulação, floculação, oxidação, flotação e decantação dos contaminantes, que são removidos com alta eficiência (CRESPILHO e REZENDE, 2004).

As principais reações com o metal M estão resumidas nas equações (1), (2), (3) e (4) (MOLLAH et al., 2004):

No ânodo:



No cátodo:



Segundo HOSNY et al. (1996), existem vários fatores que influenciam o tamanho das bolhas (gases hidrogênio e oxigênio) tais como densidade de corrente, temperatura e curvatura da superfície do eletrodo, mas os maiores efeitos ocorrem pelo material do eletrodo e pH do meio.

A seleção apropriada dos materiais é muito importante, e os mais comuns são alumínio e ferro, pois são baratos, eficazes e prontamente disponíveis (CRESPILHO; REZENDE, 2004).

Os poluentes precipitam-se como hidróxidos insolúveis, compostos orgânicos dissolvidos ou também podem sofrer dissociação e liberarem radicais que formam moléculas insolúveis, separando-se do meio aquoso por adsorção aos demais flocos. A eletrofloculação possui algumas vantagens sobre os demais processos, tais como a utilização de uma pequena área para sua instalação, menor tempo de tratamento, equipamentos simples, maior liberação de agentes coagulantes, flocos formados mais estáveis, remoção de partículas coloidais menores e ainda elimina o uso de substâncias químicas. A presença de matéria orgânica floclável contribui para a remoção ou equalização da carga poluidora.

O presente trabalho teve como objetivo principal:

a) A aplicação do processo eletrolítico, por eletrofloculação para o efluente de uma indústria de frigorífico suíno, na remoção da Demanda Química de Oxigênio (DQO), de nitrogênio (NTK) e de fósforo (PT).

Como objetivos específicos:

b) Caracterização do efluente em função de parâmetros como condutividade elétrica, pH, DQO, NTK, PT e sólidos suspensos totais;

- c) Avaliação da eficiência do processo na remoção de tais parâmetros em função do tipo de eletrodo, da densidade de corrente e do tempo;
- d) Contribuir para o entendimento desta tecnologia para o tratamento de efluentes.

2 DESENVOLVIMENTO

2.1 MATERIAL E MÉTODOS

2.1.1 Coleta e caracterização do efluente

A amostra foi proveniente de um frigorífico de abate de suínos, da região de Passo Fundo/RS, com vazão de efluentes líquidos entre 20 m³/dia e 100 m³/dia, após a passagem por processo físico-químico (floculação e flotação). Foram coletados 25 litros de amostra, acondicionadas e refrigeradas e posteriormente encaminhadas para a realização da pesquisa. A pesquisa foi realizada no Laboratório de Operações Unitárias do Curso de Engenharia de Alimentos, no campus I da Universidade de Passo Fundo. A amostra foi submetida à caracterização de parâmetros físico-químicos, com o propósito de obter o comportamento e a variação da característica do efluente no sistema de tratamento a que estava submetido. Os parâmetros analisados foram: pH, condutividade elétrica, DQO, NTK e PT.

2.1.2 Tratamento eletrolítico

Para realização dos experimentos de eletrofloculação foi utilizado um reator em batelada, com capacidade para 2 litros e geometria circular.

A fonte de corrente contínua utilizada foi o modelo FCC-5002D da New Dower, provida de controle independente de tensão e intensidade de corrente com duas saídas de energia elétrica.

A ligação entre a fonte de corrente contínua e os eletrodos foram feitas por fios de cobre de 4mm e 1,5m de comprimento para permitir que o reator pudesse ficar mergulhado no reator.

Foram utilizados eletrodos horizontais de aço carbono e de alumínio com dimensões de 8 cm de aresta, espessura de 2 mm, afastamento de 1 cm. O ânodo teve perfurações de 5 mm de diâmetro, eqüidistantes, para permitir o fluxo de gases gerados pelo cátodo e contribuir para a flotação da matéria orgânica.

Utilizaram-se densidades de corrente de 50 A/m² e 100 A/m², com temperatura constante durante o experimento, nos tempos de 15 minutos e 45 minutos.

2.1.3 Planejamento experimental

O trabalho investigou a relação de todas as variáveis que afetam significativamente a resposta, com a aplicação do planejamento fatorial completo 2³, sem ponto central. Os ensaios foram realizados em seqüência por ordem de sorteio, com duplicata do experimento e das análises.

Os dados analíticos, utilizando eletrodos de ferro e alumínio, realizados de acordo com as condições experimentais apresentadas no planejamento estatístico (Tabela 1 e Tabela 2). Foram introduzidos em um software free, para obtenção dos parâmetros significativos, principais efeitos e interações, e também modelos de correlação entre as variáveis experimentais e os parâmetros significativos, considerando um intervalo de confiança de 95% (p<0,05).

Tabela 1 Valores reais e valores codificados das variáveis tempo, densidade de corrente e tipo de eletrodos utilizados no planejamento estatístico

Variável	-1	+1
Tempo (min)	15	45
Densidade de corrente (A/m ²)	100	200
Eletrodo (tipo)	Fe	Al

Tabela 2 Matriz do Planejamento Fatorial Completo para as variáveis: tempo (x1), densidade de corrente (x2) e tipo de eletrodo (x3) para os ensaios de eletrofloculação e eletroflotação

Ensaio	Tempo	Densidade de corrente	Eletrodo
1	-1	-1	-1
2	-1	-1	+1
3	-1	+1	-1
4	-1	+1	+1
5	+1	+1	+1
6	+1	-1	+1
7	+1	+1	-1
8	+1	-1	-1

2.1.4 Parâmetros analisados

Nas determinações dos parâmetros físicos e químicos: DQO, NTK e PT, as análises foram realizadas em duplicata e utilizados os valores médios destas medidas.

Todas as metodologias utilizadas para realização das análises para os parâmetros físicos e químicos foram baseadas nos procedimentos descritos no Standard Methods for Examination of Water & Wastewater (APHA, 2000):

- a) DQO: Método do refluxo fechado colorimétrico.
- b) NTK: Método volumétrico.
- c) PT: Método colorimétrico.

2.2 RESULTADOS E DISCUSSÃO

A Tabela 3 apresenta a caracterização físico-química do efluente de frigorífico suíno utilizado para a realização dos experimentos de eletrofloculação. Silveira (1999), ao analisar as médias de efluentes brutos de frigoríficos da região central do Rio Grande do Sul, para efluentes de frigoríficos de abate de suínos, obteve valores médios para DQO de 3000 mg/L,

para NTK de 168 mg/L e para PT de 43,8 mg/L. Percebe-se a diferença de carga do efluente bruto para o efluente que passou por processo físico-químico (floculação e flotação).

Tabela 3: Caracterização físico-química do efluente

Parâmetro	Resultado
DQO (mg/L)	2549,2
Nitrogênio (mg/L)	127,96
Fósforo (mg/L)	21,2
pH	7,5
Condutividade elétrica ($\mu\text{S/cm}$)	910

As Tabelas 4, 5 e 6 apresentam a remoção dos poluentes para o planejamento experimental.

Tabela 4 Eficiência na remoção de DQO do tratamento eletrolítico, em relação ao tempo de tratamento, a densidade de corrente e o tipo de eletrodo

Experimento	Densidade de corrente (A/m^2)	Tempo (min)	Eletrodo (tipo)	C_{final} DQO (mg/L)	Eficiência remoção (%)
Bruto				2549,2	
1	100	15	Fe	574,1	77,5
2	100	15	Al	595,9	76,6
3	200	15	Fe	336,8	86,8
4	200	15	Al	413,8	83,7
5	200	45	Al	257,1	89,9
6	100	45	Al	329,0	87,0
7	200	45	Fe	228,7	91,0
8	100	45	Fe	320,5	87,4

Tabela 5 Eficiência na remoção de NTK do tratamento eletrolítico, em relação ao tempo de tratamento, a densidade de corrente e o tipo de eletrodo

Experimento	Densidade de corrente (A/m ²)	Tempo (min)	Eletrodo (tipo)	C _{final} NTK (mg/L)	Eficiência remoção (%)
Bruto				127,96	
1	100	15	Fe	91,7	28,3
2	100	15	Al	88,2	31
3	200	15	Fe	28,7	77,5
4	200	15	Al	36,8	71,2
5	200	45	Al	35,4	72,3
6	100	45	Al	49,9	60,9
7	200	45	Fe	21,7	83
8	100	45	Fe	52,3	59

Tabela 6 Eficiência na remoção de PT do tratamento eletrolítico, em relação ao tempo de tratamento, a densidade de corrente e o tipo de eletrodo

Experimento	Densidade de corrente (A/m ²)	Tempo (min)	Eletrodo (tipo)	C _{final} NTK (mg/l)	Eficiência remoção (%)
Bruto				21,2	
1	100	15	Fe	5,57	73,7
2	100	15	Al	5,48	73,6
3	200	15	Fe	2,73	87,1
4	200	15	Al	2,99	85,8
5	200	45	Al	1,82	91,3
6	100	45	Al	2,4	88,6
7	200	45	Fe	2,14	89,8
8	100	45	Fe	2,64	87,5

A eficiência máxima de remoção de DQO foi de 91%, utilizando densidade de corrente de 200 A/m², tempo de 45 minutos e eletrodo de ferro. A menor eficiência foi de 76,6 %, com a utilização de densidade de corrente de 100 A/m², tempo de 15 minutos e eletrodo de alumínio.

Comparando os resultados dos experimentos em termos de concentração final de DQO com a Resolução CONSEMA n° 128/2006, que fixa os limites máximos para o lançamento em corpos hídricos de 360 mg/L, somente os experimentos 1, 2 e 4 estão fora dos padrões de emissão exigidos.

Para a remoção de NTK, a maior eficiência de remoção foi de 83 %, quando se utilizou densidades de corrente de 200 A/m², tempo de 45 minutos e eletrodos de ferro.

Conforme a legislação, o limite máximo, na concentração final de NTK para lançamento é de 20 mg/L ou eficiência mínima de 75% no tratamento. Considerando as concentrações finais de lançamento nenhum dos experimentos está dentro dos padrões exigidos. Somente os experimentos 3 e 7 estariam dentro dos padrões em termos de eficiência de remoção.

Na remoção de PT, somente os experimentos 1 e 2 estão fora dos padrões estabelecidos em termos de concentração final, que é o no máximo de 4 mg/L ou de eficiência mínima de remoção no tratamento que é 75%.

Na remoção de DQO, as variáveis que tiveram significância ($p < 0,05$) no experimento foram o tempo e a densidade de corrente, independente do tipo de eletrodo.

Na remoção de NTK, todas as variáveis foram significativas ($p < 0,05$), inclusive os fatores tempo em função da densidade de corrente e densidade de corrente em função do tipo de eletrodo.

Na remoção de PT, somente as variáveis tempo, densidade de corrente tiveram significância ($p < 0,05$).

O tratamento eletrolítico mostrou-se eficiente na remoção de DQO, NTK e PT, quando utilizadas densidades de corrente maiores, evidenciando que quanto menor a densidade de corrente aplicada, maior será o tempo de tratamento.

3 CONCLUSÃO

As variáveis que mais influenciaram o processo de tratamento foram o tempo de eletrólise e a densidade de corrente. O eletrodo de ferro foi o que obteve melhores resultados nas remoções, em relação à DQO, NTK e PT.

Mediante esses fatos conclui-se que a técnica de eletrofloculação possui um grande potencial de aplicação para efluentes de frigoríficos suínos, principalmente na remoção de DQO e PT.

REFERÊNCIAS

APHA; AWWA; WPCF, Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater 20th Ed. American Public Health Association, Washington/USA, 2005.

CRESPILHO, Frank Nelson; RESENDE, Maria Olímpia Oliveira. *Eletroflotação: Princípios e Aplicações* São Carlos: Editora Rima, 2004.

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. B114, p. 199-210, 2004.

CONSELHO ESTADUAL DO MEIO AMBIENTE-Resolução Consema N° 128/2006: Dispõe sobre a fixação de padrões de emissão de efluentes líquidos para fontes de emissão que lancem seus efluentes em águas superficiais no Estado do Rio Grande do Sul. Rio Grande do Sul 2006.

SILVEIRA, Djalma Dias. Modelo para seleção de sistemas de tratamento de efluentes de indústria de carnes. Florianópolis: Universidade Federal de Santa Catarina, 1999. 286 p. Dissertação (Doutorado).

WIENDL, W.G. Processos Eletrolíticos no Tratamento de Esgotos Sanitários, ABES, RJ, 1998.