

TRATAMENTO DE EFLUENTE DE FRIGORÍFICO AVÍCOLA COM ELETROFLOTAÇÃO E ELETROCOAGULAÇÃO

LARISSA OLIVEIRA PAULISTA^{1*}, JOSEANE DEBORA PERUÇO THEODORO²; ALEXEI LORENZETTI
NOVAES PINHEIRO³; PAULO SERGIO THEODORO⁴

¹Discente de Engenharia Ambiental, UTFPR, Londrina-PR, larissa-paulista@hotmail.com.br

² Dr. Pesquisador, UTFPR, Londrina-PR, joseaneph@hotmail.com

³Dr. Pesquisador, UTFPR, Londrina-PR, alexeilnp@utfpr.edu.br

⁴Doutorando Engenharia Química, UEM, paulostho@hotmail.com

Apresentado no Congresso Técnico Científico da Engenharia e da Agronomia – CONTECC'2016
29 de agosto a 1 de setembro de 2016 – Foz do Iguaçu, Brasil

RESUMO: A proposta deste trabalho foi avaliar o tratamento do efluente do frigorífico de aves através dos processos de eletrocoagulação e eletroflotação. Para isso, realizou-se experimentos em escala laboratorial utilizando: eletrodo com uma área de 24 cm² e distância de 0,9 cm dos materiais de ferro e alumínio para eletrocoagulação e eletrodo de grafite para eletroflotação; os tempos de retenção de 10 e 15 minutos; com uma densidade de corrente igual a 10 mA/cm², o que exigiu uma voltagem próxima a 15 V; o volume de 350 mL de amostra em cada teste. Os parâmetros analisados foram: demanda química de oxigênio (DQO), pH, condutividade, cor, turbidez, desgaste do eletrodo e gasto energético. Os resultados demonstraram remoções de DQO superiores a 60% para ambos os tratamentos. Já a cor obteve melhores remoções na eletroflotação (grafite) e na eletrocoagulação (alumínio) de 91% e 96%, respectivamente. Em relação a turbidez houve 85% de remoção na eletroflotação e 94% na eletrocoagulação com eletrodo de alumínio. Sendo ineficiente na eletrocoagulação com ferro por causa da oxidação do ferro e liberação de cor. O gasto energético foi de R\$2,00/m³ de efluente tratado. O desgaste do eletrodo é maior para o eletrodo de alumínio e não há desgaste na eletroflotação.

PALAVRAS-CHAVE: Gasto energético, Eletrodo de Grafite, Eletrodo de Alumínio.

TREATMENT OF POULTRY SLAUGHTERHOUSE WASTEWATER WITH ELECTROCOAGULATION AND ELECTROCOAGULATION

ABSTRACT: The proposal of this paper was evaluate the treatment of birds' refrigerator effluent by the electrocoagulation and electrocoagulation process. For this, were performed experiments in laboratory scale using: electrode with an area of 24 cm² and distance of 0.9 cm of iron materials and aluminum for electrocoagulation and graphite electrodes for electrocoagulation; retention times of 10 and 15 minutes; at a current density of 10 mA/cm², which required a next voltage 15 V; the volume of 350 ml of sample in each test. The parameters analyzed were: chemical oxygen demand (COD), pH, conductivity, color, turbidity, and electrode wear and energy expenditure. The results showed higher COD removal of 60% for both treatments. Yet, the color obtained on removal best electrocoagulation (graphite) and electrocoagulation (aluminum) of 91% and 96%, respectively. Regarding the turbidity was 85% removal in electrocoagulation and 94% in the electrocoagulation with aluminum electrode. It is inefficient in electrocoagulation with iron because of iron oxidation and release of color. Energy expenditure was R \$ 2.00/m³ of treated effluent. The wear of the electrode is higher for the aluminum electrode and there is no wear on the electrocoagulation.

KEYWORDS: Energy Expenditure, Graphite Electrode, Aluminum Electrode.

INTRODUÇÃO

A produção de carne de frango no mundo em 2014 foi de 86.077 mil toneladas, o Brasil é o terceiro maior produtor com 12.691 mil toneladas, com maior produção no estado do Paraná (32,26%) (ABPA, 2015; Ministério Da Agricultura, 2016). A carne de frango gerou nos últimos anos grande crescimento econômico e social, entretanto essa grande produção acarreta em grande consumo de água para sustentá-la, assim como elevada geração de efluentes com alta carga poluidora (Mekonnen; Hoekstra, 2010).

Os sistemas mais comuns de tratamento se baseia na utilização de coagulante, passagem por um flutador, lagoas anaeróbias e facultativas. Esses sistemas ocupam uma grande área de tratamento e por possuir um valor de tempo de retenção maior gera mal cheiro, principalmente nas lagoas anaeróbias (Júnior; Mendes, 2016). O custo médio de um sistema convencional de tratamento é de R\$ 0,62/m³ de efluente tratado (Bortoloso, 2008). Um sistema de tratamento utilizando os processos de eletrocoagulação e eletroflotação vem sendo estudado e analisado para implementação industrial, pois envolvem instalações mais compactas, com menor tempo de retenção e consequentemente inodoras (Wiendl, 19998; Theodoro, 2010).

Dessa forma, o intuito desse trabalho é realizar testes em escala de bancada (batelada) baseado eletroflotação (eletrodo de grafite) e eletrocoagulação (eletrodo de alumínio e ferro) para o tratamento do efluente de um frigorífico avícola localizado no Paraná. O trabalho também busca avaliar a viabilidade econômica, desgaste do eletrodo e a qualidade do efluente tratado para possíveis meios de reúso e lançamento.

MATERIAIS E MÉTODOS

Foi realizado uma coleta no dia 23 de março de 2016 do efluente bruto, logo após a coleta a amostra foi congelada até o dia 29 de março de 2016, onde se realizou sua caracterização avaliando as variáveis de cor, turbidez, DQO, condutividade, pH (Tabela 1).

Tabela 1: Variáveis do efluente bruto.

Amostra	Variáveis analisados
Efluente bruto	pH - método 4500 H ⁺ B no Standard Methods (APHA, 2012).
	Cor - metodologia 2120 C recomendada no Standard Methods (APHA, 2012).
	Turbidez - metodologia 2130 B recomendada no Standard Methods (APHA, 2012).
	DQO - metodologia 5220 B do Standard Methods (APHA, 2012).
	Condutividade - metodologia 2510 B descrita no Standard Methods (APHA, 2012).

Para a realização dos testes utilizou-se: placas com uma área de 24 cm²; densidade de corrente igual a 10 mA/cm², o que exigiu uma voltagem próxima a 15 V; o volume de 350 mL de amostra em cada teste e uma distância de 0,9 cm entre os eletrodos.

No ensaio de eletrocoagulação utilizou-se primeiramente o eletrodo de ferro como ânodo de sacrifício e o grafite no cátodo com tempo de 15 minutos (Teste 1) e 10 minutos (Teste 2) de ensaio. Posteriormente houve a utilização do alumínio como ânodo de sacrifício e a permanência do grafite no cátodo e nesse caso também se avaliou nos tempos de 15 minutos (Teste 3) e 10 minutos (Teste 4). Por fim, analisou-se a eletroflotação invertendo a polaridade sendo o ânodo de grafite e o cátodo de alumínio durante 15 minutos (Teste 5) (Tabela 2).

Tabela 2: Análises realizadas nos testes.

Testes	Tipo de tratamento	Eletrodos (ânodo/cátodo)	Tempo (min)	Variáveis analisados
1	Eletrocoagulação	Ferro/grafite	10	pH - método 4500 H ⁺ B no Standard Methods (APHA, 2012). Cor - metodologia 2120 C recomendada no Standard Methods (APHA, 2012).
2	Eletrocoagulação	Ferro/grafite	15	Turbidez - metodologia 2130 B recomendada no Standard Methods

3	Eletrocoagulação	Alumínio/grafite	10	(APHA, 2012). DQO - metodologia 5220 B do Standard Methods (APHA, 2012).
4	Eletrocoagulação	Alumínio/grafite	15	Condutividade - metodologia 2510 B descrita no Standard Methods (APHA, 2012).
5	Eletroflotação	Grafite/alumínio	10	

De acordo com a corrente aplicada no sistema e com a tensão é possível calcular a potência dissipada no sistema pela Lei de Joule (Equação 1). E através da vazão é possível então chegar no valor de energia consumida em kWh/L.s⁻¹ (WIENDL, 1998).

$$P = V \cdot I \quad (1)$$

P = Potência dissipada (W)

V = Tensão aplicada (V)

I = Corrente aplicada (A)

A primeira Lei de Faraday é definida como: “A massa da substância desprendida em um eletrodo é diretamente proporcional à carga elétrica que atravessa a solução” (WINDEL, 1998). E através da Equação 2 é possível calcular o desgaste do eletrodo.

$$M = K^* \cdot E \quad (2)$$

M = massa da substância desprendida de um eletrodo (g).

K* = 1/F = 1/96.500 C.mol⁻¹.

E = equivalente grama (g).

RESULTADOS E DISCUSSÃO

O efluente bruto foi analisado no dia da realização dos testes (29/03/2016) após seu congelamento e descongelamento. Como o corpo hídrico receptor desse efluente se trata de Classe 2 percebe-se que o parâmetro de turbidez está elevado pois se encontra acima de 100 NTU (CONAMA 357/05). Pela Resolução SEMA nº 24/2008 os valores de DQO para o lançamento de efluentes líquidos de empreendimentos de avicultura em Corpos Hídricos ficam estabelecido em até 150 mg/L. Percebe-se que o efluente bruto necessita de tratamentos pois seu valor encontra-se oito vezes a cima do permitido. Os valores de cor e DQO altos indicam uma grande concentração de matéria orgânica e baixo teor de oxigênio. O valor de pH se enquadra na CONAMA 430/11 para lançamento de efluente. O efluente não possui uma condutividade elevada, mas é suficiente para ocorrer a eletrocoagulação e eletroflotação em um espaçamento de 1 cm (Tabela 3).

Tabela 3: Caracterização do efluente bruto de frigorífico avícola.

Amostra	Efluente bruto
Cor aparente (uH)	1000,0
Turbidez (UNT)	230,0
Condutividade (µS/cm)	504,0
pH	7,6
DQO (mg/L)	1210,1

As análises demonstraram melhores remoções em relação a turbidez nos testes envolvendo eletrocoagulação e eletroflotação com eletrodo de alumínio e grafite: Testes 3, Teste 4 e Teste 5. Os valores referentes aos Testes (1, 3, 4 e 5) foram menores que 100 UNT, estando dentro das variáveis exigidas pela CONAMA 357/05 na Classe 2 de águas doces. A cor se apresenta inferior a 75 uH nos Teste 3 e Teste 4 estando de acordo com o CONAMA 357/05 nas variáveis de Classe 2 de águas doces. O pH encontra-se também de acordo com a CONAMA 430/11 em relação ao padrão para lançamento de efluente, o qual é de 5 a 9.

Em relação a DQO, o Teste 2 se apresentou dentro das variáveis de lançamento de empreendimentos de avicultura determinados pelo Instituto Ambiental do Paraná (IAP) na Resolução

SEMA nº 24/2008 em até 150 mg/L. Percebe-se que o eletrodo de ferro liberou mais cor no sistema de eletrocoagulação o que resultou em um aumento da mesma. O clarificado de todos os Testes ainda apresentou cheiro o que significa que necessitaria de um pós-tratamento de desinfecção (Tabela 4).

Tabela 4: Resultado das variáveis encontrado nos testes.

Amostra	Teste 1	Teste 2	Teste 3	Teste 4	Teste 5
Cor (uH)	1100,0	1100,0	34,0	34,0	90,0
Turbidez (NTU)	64,3	225,0	13,8	13,8	35,0
Condutividade (µS/cm)	476,0	480,0	471,0	471,0	506,0
pH	7,4	6,9	7,9	7,9	8,1
DQO (mg/L)	478,0	99,0	305,3	232,1	211,2

Em relação a porcentagem de remoção percebe-se o que a eletrocoagulação com eletrodo de alumínio e grafite (Teste 3 e Teste 4) tiveram melhores resultados em relação a cor e turbidez. Em relação a DQO o Teste 2 (91,82%) e Teste 5 (82,55%) tiveram melhores resultados (Tabela 5). Testes descritos por Wiendl (1998) para tratamento de esgoto sanitário com calhas eletrolíticas demonstraram porcentagens médias de remoção de DQO de 58,5%.

Tabela 5: Porcentagem de remoção de cor, turbidez e DQO em relação aos respectivos testes.

Variáveis	Teste 1	Teste 2	Teste 3	Teste 4	Teste 5
Cor (uH)	-10,00%	-10,00%	96,60%	96,60%	91,00%
Turbidez (NTU)	72,04%	2,17%	94,00%	94,00%	84,78%
DQO (mg/L)	60,49%	91,82%	74,77%	80,82%	82,55%

Como ambos os Testes apresentaram as mesmas características de corrente (0,24 A) e voltagem (15 V), foi realizado o cálculo para determinar a potência aplicada o sistema e de acordo com a sua vazão foi possível determinar quanto de energia seria necessário para o tratamento de 1 m³ de esgoto tratado. Nesse caso, em que foi um teste primário sem aperfeiçoamento o custo seria aproximadamente 2 reais (considerando o custo de energia no ano de 2016 cobrado pela Copel em meios industriais).

Wiendl (1998) realiza esses cálculos chegando em um valor bastante otimista de 0,150 kWh/m³ de esgoto tratado com eletrocoagulação (o equivalente a R\$ 0,12/m³). Já Bortoloso (2008) diz que o custo médio para o sistema de tratamento convencional para efluente de frigorífico seria de R\$ 0,62/m³ de efluente tratado. Comparando com o valor de gasto energético gastos nos Testes preliminares (1, 2, 3, 4, 5) de 2,57 kWh/m³ de efluente de frigorífico tratado (R\$ 2,01/m³), esse apresenta um valor muito alto. Mas devido ao fato de ser uma escala pequena e também de ser um teste inicial esse valor pode diminuir de acordo com a otimização do processo (Tabela 6). Theodoro (2009) chega em um consumo de energia elétrica de 4,42 kWh/m³ para tratamento utilizando a eletrocoagulação em efluente de indústria galvânica e comprova que os gastos desse tipo de tratamento são inferiores ao tratamento convencional.

Tabela 6: Valores de custo energético baseado nos Testes (1, 2, 3, 4, 5) realizados.

Corrente (A)	0,24
Voltagem (V)	15,00
Potência aplicada (w)	3,60
Vazão (m ³ /h)	1,40. 10 ⁻⁰³
Densidade de corrente (A/m ²)	1,00.10 ⁻⁰⁶
Potência aplicada (kW/L/s)	9,26
Consumo de energia (kWh/m ³)	2,57
Custo energia (R\$/kWh)	0,78
Custo total em energia (R\$/m ³)	2,01

Através da primeira Lei de Faraday foi realizado os cálculos do gasto de ferro e alumínio em grama por litro ou metro cubico de efluente tratado. A eletroflotação não possui ânodo de sacrifício, nesse caso não haveria esse desgaste do eletrodo (Tabela 7).

Tabela 7: Desgaste do eletrodo na eletrocoagulação.

Teste	Eletrocoagulação	Tempo (min)	Desgaste (g/L)	Desgaste (g/m ³)
T1	Ferro/Grafite	15	0,09	86,34
T2	Ferro/Grafite	10	0,06	57,56
T3	Alumínio/Grafite	15	0,12	119,38
T4	Alumínio/Grafite	10	0,08	79,59
T5	Eletroflotação	15	-	-

CONCLUSÃO

A eletrocoagulação e eletroflotação com eletrodo de alumínio e grafite foram promissoras para a remoção dos parâmetros analisados, entretanto a utilização de ferro aumentou a cor devido sua oxidação. O custo energético para obter esses resultados foi alto, entretanto pode ser melhorado e diluído em sistemas em grande escala.

Uma das vantagens da eletroflotação é que não há desgaste do eletrodo e o tempo de retenção para o tratamento é rápido, dessa forma esse sólido retirado no tratamento pode utilizado como matéria prima de um produto terciário, podendo compensar o gasto energético.

AGRADECIMENTOS

A Universidade Tecnológica Federal do Paraná Campus Londrina por toda a estrutura.

REFERÊNCIAS

- APHA. Standard Methods For The Examination Of Water And Wastewater, 22nd Ed.: American Public Health Association. American Water Works Association, Water Environment Federation. Washington, DC. 2012.
- Associação Brasileira De Proteína Animal (ABPA). Relatório anual de 2014. Associação Brasileira de Proteína Animal, São Paulo-SP, p. 12-96, 2015.
- Bortoloso, A. P. Produção mais limpa em uma empresa agroindustrial do Centro – Oeste catarinense. Trabalho de conclusão de curso na Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, SC, 2008.
- Conselho Nacional Do Meio Ambiente – CONAMA (2005). Resolução nº 357 de 17 de março de 2005. Diário Oficial da República Federativa do Brasil. Poder Executivo, Brasília, DF, 17 mar. 2005. Disponível em:< <http://www.mma.gov.br>>. Acesso em: 22 mar. 2016.
- Conselho Nacional Do Meio Ambiente – CONAMA (2011). Resolução nº 430 de 13 de maio de 2011. Diário Oficial da República Federativa do Brasil. Poder Executivo, Brasília, DF, 13 mai. 2011. Disponível em:<<http://www.mma.gov.br>> Acesso em: 22 mar. 2016.
- Júnior, J. F. E Mendes, O. Gerenciamento de efluentes de abatedouros avícolas estudo de caso (Super Frango). Universidade Católica de Goiás. Disponível em: < <http://www.ucg.br>>. Acesso em 12 de abril de 2016.
- Mekonnen, M. M. E Hoektra, A.Y. The green, blue and grey water footprint of farm animals and animal products. UNESCO-IHE Institute for Water Education, v.1, 2010.
- Ministério da Agricultura. Aves. Disponível em: < <http://www.agricultura.gov.br>>. Acesso em: 02 de maio de 2016.
- Secretária De Meio Ambiente, E Recursos Hídricos - SEMA (2008). Resolução nº 024 de 14 de julho de 2008. Instituto Ambiental do Paraná. Estado do Paraná, 14 jul. 2008. Disponível em: < <http://www.iap.pr.gov.br>>.
- Theodoro, P. S. Utilização da eletrocoagulação no tratamento de efluentes da indústria galvânica. Toledo, PR. 2010.
- Wiendl, G. W. Processos eletrolíticos no tratamento de esgotos sanitários. Rio de Janeiro: ABES, 1998.