



## AVALIAÇÃO DA EFICIÊNCIA DE UM REATOR ELETROQUÍMICO DE ELETRODOS CILÍNDRICOS CONCÊNTRICOS NO TRATAMENTO DE EFLUENTES AGROINDUSTRIAIS

### EVALUATION OF THE EFFICIENCY OF AN ELECTROCHEMICAL REACTOR WITH CONCENTRIC CYLINDRICAL ELECTRODES IN THE TREATMENT OF AGRO-INDUSTRIAL EFFLUENTS

Gabriel de Lima da Silva<sup>1</sup>, Eduardo Eyng<sup>2</sup>

#### RESUMO

O Brasil é um dos maiores produtores globais de carne suína, e para suprir tal demanda são necessárias indústrias de grande porte, para atender tanto ao mercado interno quanto externo. O aumento na capacidade dessas indústrias resulta em um maior consumo de matérias-primas, incluindo a água, sendo ela necessária para vários processos dentro da indústria, desde limpeza até incorporação nos produtos. Após seu uso, a água se torna água residuária, exigindo tratamento, que pode ser físico-químico e/ou biológico. Neste estudo, utilizou-se um reator eletroquímico de eletrodos de alumínio, dispostos como cilíndricos concêntricos. Aplicou-se o tratamento ao efluente de abatedouro e frigorífico de suínos, sob escoamento contínuo de fluxo ascendente. O reator se mostrou eficiente em toda faixa de estudo para densidade de corrente elétrica e tempo de detenção hidráulica. Nas condições mínimas de operação (1 mA.cm<sup>-2</sup> e 20 min) o tratamento proporcionou remoções médias de 92,56% para DQO, 98,59% para Cor Aparente e 92,56% para Turbidez. Ainda, nessas condições o consumo energético foi de 279,78 Wh.m<sup>-3</sup> e 33,01 g.m<sup>-3</sup> de eletrodo de alumínio. **PALAVRAS-CHAVE:** eletrocoagulação; produção de carne suína; tratamento de água residuária.

#### ABSTRACT

Brazil is one of the largest global producers of pork, and to meet this demand large industries are needed to serve both the domestic and foreign markets. The increase in the capacity of these industries results in a greater consumption of raw materials, including water, which is necessary for various processes within the industry, from cleaning to incorporation into products. After its use, the water becomes wastewater, requiring treatment, which can be physical-chemical and/or biological. In this study, an electrochemical reactor with aluminum electrodes was used, arranged as concentric cylindrical electrodes. The treatment was applied to effluent from pig slaughterhouses, under continuous upward flow. The reactor proved to be efficient in the entire study range for electrical current density and hydraulic detention time. Under minimum operating conditions (1 mA.cm<sup>-2</sup> and 20 min) the treatment provided average removals of 92.56% for COD, 98.59% for Apparent Color and 92.56% for Turbidity. Furthermore, under these conditions the energy consumption was 279.78 Wh.m<sup>-3</sup> and 33.01 g.m<sup>-3</sup> of aluminum electrode.

**KEYWORDS:** electrocoagulation; pork production; wastewater treatment.

#### INTRODUÇÃO

A demanda crescente por indústrias mais robustas e produtivas, tanto para atender ao consumo interno como a exportação, tem levado a um aumento na geração de resíduos líquidos, sólidos e gasosos. Com o aumento da carga de efluente é uma consequência

<sup>1</sup> Bolsista da Fundação Araucária. Engenharia Ambiental. Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Medianeira, Paraná, Brasil. E-mail: silvag.2020@alunos.utfpr.edu.br. ID Lattes: 2233343787925594.

<sup>2</sup> Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Medianeira, Paraná, Brasil. E-mail: eduardoeyng@utfpr.edu.br. ID Lattes: 1101075438495044.



inevitável desse crescimento. Nos últimos anos, tem havido um aumento na busca por tratamento de água residuais, impulsionado pela crescente rigidez e exigência por parte das autoridades regulamentadoras em relação ao descarte de efluente líquido final.

Dentre a vasta gama de tratamento de efluentes, a eletrofloculação/eletrocoagulação constitui uma tecnologia de destaque (PASCHOAL; TREMILIOSI-FILHO, 2005 apud SANTOS, 2018).

A geração eletroquímica do agente coagulante acontece *in situ*, pela oxidação de um eletrodo de sacrifício, por consequência da diferença de potencial aplicado. Deste modo que os respectivos cátions são gerados na fase anódica, reagem com as moléculas de água formando hidróxidos e poli hidróxidos (coagulantes).

O presente trabalho tem como objetivo avaliar a eficiência de um reator eletroquímico de eletrodos cilíndricos de fluxo ascendente usando alumínio como agente coagulante na eletrocoagulação para o tratamento de efluente de um abatedouro de suínos.

## METODOLOGIA

Para a realização do presente estudo, foram realizadas duas coletas de efluente de frigorífico e abatedouro de suínos. Na primeira coleta, foram obtidos 150 litros de efluente, complementados com mais 100 litros na segunda coleta. Ambas as coletas foram de um frigorífico de suínos que fica situado no município de Medianeira, que se localiza no oeste do estado do Paraná.

A construção do reator foi feita usando um cano de policloreto de vinila (PVC) de 0,10 m de diâmetro e 0,72 m de comprimento, o reator tem uma capacidade de 4 litros e no seu interior estão os eletrodos de sacrifício de alumínio. São quatro eletrodos cilíndricos concêntricos, suas dimensões são: primeiro eletrodo com diâmetro de 0,075 m x 0,50 m, segundo eletrodo com 0,050 m x 0,50, terceiro eletrodo com 0,025 m x 0,50 m e um quarto eletrodo maciço de 0,010 m x 0,50 m no centro do reator.

O reator operou com fluxo ascendente, com auxílio de uma bomba peristáltica para fazer o bombeamento do efluente do reservatório até o reator. O ajuste da vazão fornecida pela bomba foi realizado por meio de uma curva de calibração, que relaciona a vazão fornecida de acordo com o percentual da potência nominal utilizada em cada ensaio. A alimentação de energia elétrica foi realizada conectando os eletrodos de sacrifício a duas fontes de corrente contínua.

Para o planejamento experimental foi a do Delineamento Composto Central Rotacional (DCCR). Por meio do DCCR, foi possível estabelecer relações entre as variáveis-resposta com as variáveis independentes. As variáveis-resposta investigadas incluem percentual de remoção da Demanda Química de Oxigênio - DQO, Remoção de Turbidez e Remoção de Cor. As variáveis independentes compreendem Densidade de Corrente Elétrica (x1) e Tempo de Detenção Hidráulica - TDH (x2). A matriz de delineamento correspondente pode ser observada na Tabela 1.

O desempenho do reator eletroquímico também foi avaliado por meio da análise do consumo de energia elétrica (Equação 1) e consumo de eletrodo (Equação 2). (BENER et al., 2019)



**Tabela 1 - Delineamento experimental e matriz de codificação**

Ensaio	X1	X2	d(mA.cm <sup>-2</sup> )	TDH (min)	Bomba (%)
1	-1	-1	1,58	22,9	69
2	1	-1	4,42	22,9	69
3	-1	1	1,58	37,1	45
4	1	1	4,42	37,1	45
5	0	0	3,00	30	54
6	0	0	3,00	30	54
7	0	0	3,00	30	54
8	0	0	3,00	30	54
9	0	1,41	3,00	40	42
10	0	-1,41	3,00	20	79
11	1,41	0	5,00	30	54
12	-1,41	0	1,00	30	54

**Autor:** autoria própria (2023).

$$C_{energia} = \frac{U \cdot t \cdot I}{V} \left( \frac{kWh}{m^3} \right) \quad (1)$$

$$C_{eletrodo} = \frac{I \cdot t \cdot MW}{Z \cdot F \cdot V} \left( \frac{g}{m^3} \right) \quad (2)$$

U = tensão aplicada (V)

I = corrente aplicada (A)

t= tempo (em “s” para Eq. 1; em “h” para Eq. 2)

V= volume de água residual (m<sup>3</sup>)

MW= peso molecular do Al (27 g. mol<sup>-1</sup>)

Z = número de mols (Al = 3)

F = constante de Faraday (96500 C. mol<sup>-1</sup>)

## RESULTADOS

Na Tabela 2 são apresentados os resultados da caracterização físico-química do efluente sem tratamento. Os resultados obtidos para a DQO neste estudo estão em consonância com achados em trabalhos anteriores na literatura, tais como Bocchi (2015), que reportou um valor de 13.452,5 mg. L<sup>-1</sup>.

**Tabela 2 – Caracterização do efluente sem tratamento.**

Parâmetros	Primeira Coleta	Segunda Coleta	Unidades
	Valores	Valores	
DQO	11.179,25	17.054,25	mg.L <sup>-1</sup>
Turbidez	1.480	1.270	NTU
Cor Aparente	6.900	6.600	Pt.Co <sup>-1</sup>

**Autor:** autoria própria (2023).



Os resultados da remoção de DQO, Cor Aparente e Turbidez logo após o tratamento eletroquímico estão expressos na Tabela 3. É possível perceber a alta eficiência do tratamento, e a baixa variabilidade para as condições operacionais de densidade de corrente e TDH estudadas. Executando-se a ANOVA constatou-se que nenhum dos fatores se mostrou significativo a 95% de confiança, o que inviabilizou o ajuste dos modelos matemáticos representativos das variáveis-resposta (remoção de DQO, Turbidez e Cor Aparente).

**Tabela 3 –** Porcentagem de remoção após a eletrocoagulação para os parâmetros DQO, Cor Aparente e Turbidez.

Ensaio	Remoção de DQO (%)	Remoção de Cor Aparente (%)	Remoção de Turbidez (%)
1	92,3	98,1	95,9
2	92,1	99,1	98,8
3	91,4	98,3	96,1
4	92,1	99,8	99,7
5	91,7	98,6	97,2
6	91,9	99,4	98,7
7	80,7	98,1	98,9
8	91,6	97,7	98,9
9	81,1	96,8	97,4
10	91,8	95,7	98,0
11	94,0	96,6	98,4
12	92,7	98,3	98,8

**Autor:** autoria própria (2023).

A análise dos eletrodos e do consumo de corrente elétrica é fundamental nos processos eletroquímicos, pois é a partir dessas informações calculadas que podemos estimar a vida útil dos eletrodos e a eficácia geral do processo. Na Tabela 4 pode-se visualizar os valores de consumo de corrente e eletrodo.

**Tabela 4 –** Consumo de Energia e Eletrodo de Alumínio

Ensaio	X1 (i)	X2 (TDH, Q)	Consumo de Energia (Wh.m <sup>-3</sup> )	Consumo de Eletrodo (g.m <sup>-3</sup> )
1	-1	-1	262,32	50,62
2	1	-1	783,67	113,09
3	-1	1	376,13	82,00
4	1	1	1298,72	146,57
5	0	0	802,70	107,23
6	0	0	811,21	107,23
7	0	0	779,28	107,23
8	0	0	779,28	107,23
9	0	1,41	1104,33	142,97
10	0	-1,41	660,04	71,49
11	1,41	0	1883,13	164,94
12	-1,41	0	395,30	49,52



Pode-se notar que nos ensaios 4,9 e 11 foram os ensaios que tiveram os maiores consumos tanto de energia quanto de eletrodos, onde os três ensaios sobressaíram os valores das médias de consumo de energia elétrica,  $828,01 \text{ Wh.m}^{-3}$  e eletrodo,  $104,18 \text{ g.m}^{-3}$ .

Os valores referentes a remoção de DQO, Cor Aparente e Turbidez imediatamente após a aplicação do tratamento eletroquímico, nas condições mínimas, estão apresentados na Tabela 5.

**Tabela 5** – Porcentagem de remoção após a eletrocoagulação, parâmetros DQO, Cor Aparente e Turbidez para condições mínimas de densidade de corrente elétrica e TDH

Ensaio	Remoção de DQO (%)	Remoção de Cor Aparente (%)	Remoção de Turbidez (%)
1	91,85	98,58	92,54
2	94,38	98,59	92,57
3	91,44	98,61	92,58
<b>Média</b>	<b>92,56</b>	<b>98,59</b>	<b>92,56</b>

**Autor:** autoria própria (2023).

Não foi empregado um teste estatístico de variância para esse tratamento, já que sua única finalidade é de caráter comparativo, a análise feita para esses ensaios é referente a aplicação das condições mínimas de tratamento para assim pode-se ter conhecimento se era possível ter eficiência de remoção mesmo com as menores condições de tratabilidade. Os resultados demonstraram que o sistema continuou se mostrando eficiente, mesmo sob condições mínimas de densidade de corrente e TDH.

Na Tabela 6 está expresso os valores calculados do consumo de energia e consumo de eletrodo.

**Tabela 6** – Consumo de Energia e Eletrodo de Alumínio para condições mínimas de densidade de corrente elétrica e TDH

Ensaio	X1 (i)	X2 (TDH)	Consumo de Energia (Wh. m <sup>-3</sup> )	Consumo de Eletrodo (g.m <sup>-3</sup> )
1			305,06	
2	-1,41	-1,41	313,19	<b>33,01</b>
3			221,08	
<b>Média</b>			<b>279,78</b>	

**Autor:** autoria própria (2023).

## CONCLUSÕES

Diante dos resultados apresentados, é possível concluir que o tratamento por eletrocoagulação possui uma notável eficiência de remoção tanto de DQO, Turbidez e Cor aparente. As suas médias de remoção respectivas foram 90,3%, 98,1% e 98,0%. Além



disso, toda a faixa de densidade de corrente e TDH proporcionou um tratamento eficiente, inclusive nas condições mínimas, nas quais as remoções médias foram de 92,56% para DQO, 98,59% para Cor Aparente e 92,56% para Turbidez. Ainda, nessas condições o consumo energético foi de 279,78 Wh.m<sup>-3</sup> e 33,01 g.m<sup>-3</sup> de eletrodo de alumínio.

## AGRADECIMENTOS

Os autores ficam por meio desse tópico agradecidos a fundação araucária pelo fomento de bolsa de iniciação científica para o desenvolvimento do trabalho realizado.

## CONFLITO DE INTERESSE

Não há conflito de interesse.

## REFERÊNCIAS

Confederação da Agricultura e Pecuária do Brasil. **CNA**, 2022. Disponível em: <https://www.cnabrazil.org.br>. Acesso em: 23 ago. 2023.

Central de Inteligência de Aves e Suínos. **Embrapa**, 2022. Disponível em: <https://www.embrapa.br/en/suinos-e-aves/cias/estatisticas/suinos/mundo>. Acesso em: 23 ago. 2023.

Ministério da Agricultura e Pecuária. Disponível em: <https://www.gov.br/agricultura/pt-br>. Acesso em: 23 ago. 2023

CARVALHO, B. Glossário de saneamento e ecologia. 1. ed. Rio de Janeiro: ABES, 1981.

MARIA, Ronaldo Rocha. **AVALIAÇÃO DA EFICÁCIA NO TRATAMENTO DE EFLUENTES LÍQUIDOS EM FRIGORÍFICOS**. Foz do Iguaçu - Paraná: UNIÃO DINÂMICA DE FACULDADE CATARATAS FACULDADE DINÂMICA DAS CATARATAS, 2008.

COMBATT, Maria Paulina Mendoza *et al.* **VALIDAÇÃO DO PROCESSO DE ELETROCOAGULAÇÃO E AVALIAÇÃO DA ELETRODISSOLUÇÃO DE ELETRODOS NO TRATAMENTO DE EFLUENTES DE ABATEDOUROS DE AVES**. 4. ed. Viçosa – MG: Universidade Federal de Viçosa, 2017. 447-453 p. v. 40.

SANTOS, Amaro Carlos. **TRATAMENTO DE EFLUENTES SINTÉTICOS DA INDÚSTRIA DE PETRÓLEO UTILIZANDO O MÉTODO DA ELETROFLOTAÇÃO**. Campinas: Editora, 2007. ISBN 6.2.0319-1 –2.

CRESPILHO E REZENDE, 2004 CRESPILO, F. N.; REZENDE, M. O. O. **ELETROFLOTAÇÃO: PRINCÍPIOS E APLICAÇÕES**. São Paulo, RiMa Editora. 2004.

BOCCHI, Ruan. **OTIMIZAÇÃO DO SISTEMA DE TRATAMENTO COMPOSTO POR REATOR ELETROQUÍMICO SEGUIDO POR FLOTAÇÃO POR AR DISSOLVIDO: APLICAÇÃO EM EFLUENTE DE FRIGORÍFICO E MATADOURO DE SUÍNOS**. MEDIANEIRA: Universidade Tecnológica Federal do Paraná – UTFPR, 2022.