

## DESENVOLVIMENTO DE ELETRODOS PARA APLICAÇÃO EM ELETROCOAGULAÇÃO PARA REMOÇÃO DE FÓSFORO E NITROGÊNIO DE ÁGUAS RESIDUÁRIAS DE AQUICULTURA

**BRUNO LODOVICO MENEGHEL<sup>1</sup>, ARIIVALDO JOSÉ DA SILVA<sup>2</sup>**

<sup>1</sup> Graduando em Engenharia Agrícola pela Universidade Estadual de Campinas, bruno.meneghel@feagri.unicamp.br

<sup>2</sup> Eng. Civil, Prof. Doutor, Depto. de Pós-graduação em Engenharia Agrícola da UNICAMP, arijs@unicamp.br

Apresentado no  
LI Congresso Brasileiro de Engenharia Agrícola - CONBEA 2022  
27 a 29 de outubro de 2022 - Pelotas - RS, Brasil

**RESUMO:** A tecnologia de eletrocoagulação é uma alternativa para o tratamento de efluentes de aquicultura, no entanto, alguns parâmetros interferem na eficiência do tratamento eletrolítico. Tais como: o material constituinte dos eletrodos, a existência ou não de orifícios nas placas, corrente elétrica, distância entre os eletrodos e tempo do tratamento. Portanto, o objetivo geral do projeto é confeccionar e aplicar eletrodos com orifícios visando melhorar a eficiência da técnica de eletrocoagulação realizada para o tratamento de água residuária de Aquicultura em sistema de recirculação. O equipamento utilizado para a realização da eletrocoagulação será um reator simples de batelada em escala laboratorial, constituído de um recipiente retangular de vidro transparente, tendo um par de eletrodos (ânodo e cátodo) de alumínio que serão arrançados de forma monopolar em paralelo. Serão feitos orifícios de 2,5 cm no ânodo e no cátodo, distribuídos na vertical, com espaçamento de 2 mm entre os orifícios, o desempenho desses eletrodos será avaliado em comparação com eletrodos isentos de orifícios. Para a alimentação elétrica se utilizará uma fonte chaveada estabilizada (30V 5A 120W) de corrente contínua.

**PALAVRAS-CHAVE:** Eletrocoagulação, Eletrodos, Aquicultura

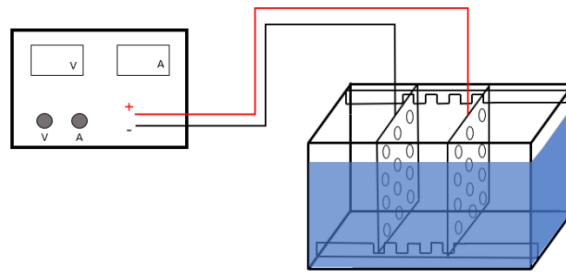
## DEVELOPMENT OF ELECTRODES FOR APPLICATION IN ELECTROCOAGULATION FOR PHOSPHORUS AND NITROGEN REMOVAL FROM AQUACULTURE WASTEWATER

**ABSTRACT:** Electrocoagulation technology is an alternative for the treatment of aquaculture effluents. However, some parameters interfere with the efficiency of electrolytic treatment. Such as: the constituent material of the electrodes, the existence or not of holes in the plates, electric current, distance between the electrodes and treatment time. Therefore, the general objective of the project is to manufacture and apply electrodes with holes in order to improve the efficiency of the electrocoagulation technique performed for the treatment of aquaculture wastewater in a recirculation system. The equipment used to carry out the electrocoagulation will be a simple batch reactor on a laboratory scale, consisting of a rectangular transparent glass container, with a pair of aluminum electrodes (anode and cathode) that will be arranged in a monopolar way in parallel. Holes of 2.5 cm will be made in the anode and cathode, distributed vertically, with a spacing of 2 cm between the holes, the performance of these electrodes will be evaluated in comparison with electrodes without holes. For the electrical supply, a stabilized switching source (30V 5A 120W) of direct current will be used.

**KEYWORDS:** Electrocoagulation, Electrodes, Aquaculture

**INTRODUÇÃO:** No cenário atual da agricultura e pecuária brasileira é inerente que o setor de aquicultura está assumindo um papel de suma importância, tanto para provimento de renda através da comercialização dos vários produtos oriundos dessa atividade quanto na geração de emprego para a população do país. O termo aquicultura refere-se ao cultivo de animais aquáticos, e se dá em quatro diferentes sistemas de criação, sendo eles: extensivo, semi-intensivo, intensivo e superintensivo. Cada sistema possui manejos próprios e a produtividade varia de acordo com a taxa de estocagem e a alimentação. A forma de recirculação pode ser manejada de acordo com o sistema de criação e, através da prática de recirculação é possível garantir uma aquicultura mais sustentável, visto que essa técnica economiza água e pode ser implementada em um sistema fechado. Todavia, os sistemas fechados concentram os nutrientes, principalmente fósforo e nitrogênio. Caso o efluente não seja tratado, pode ocorrer um processo conhecido como eutrofização de corpos hídricos, que por sua vez pode causar a morte dos animais, prejudicando assim a produção. Atualmente, para o tratamento do efluente de aquicultura de recirculação se utilizam sistemas biológicos, como por exemplo: sistemas de nitrificação e desnitrificação e *wetlands* construídos. São inúmeras técnicas utilizadas, no entanto, para isso, são necessários investimentos consideráveis, mão de obra, tempo, grandes áreas e, além do mais, não há a garantia que o tratamento será eficiente na eliminação total de nitrogênio, visto que muitos outros parâmetros físico-químicos são limitantes (GOMES, 2014). Portanto, esse estudo propõe o uso da tecnologia de eletrocoagulação, como uma alternativa para resolver esse problema, realizando de forma eficiente a remoção tanto de nitrogênio quanto de fósforo de efluentes de sistemas aquícolas, com a vantagem de ser uma tecnologia compacta em relação aos processos biológicos. Essa tecnologia se aplica a diferentes tipos de efluentes, fazendo uso de uma fonte de corrente contínua, onde determinada corrente elétrica é aplicada em placas (eletrodos), geralmente constituídos de ferro ou de alumínio (MORENO-CASILLAS et al., 2007). Essas placas são chamadas de eletrodos de sacrifício, usadas para liberar uma dose de agente coagulante e gases eletrolíticos na água poluída. Após o processo denominado de hidrólise que ocorre através da redução do cátodo, com a aproximação e colisão das partículas desestabilizadas, ocorre a formação dos flocos, os quais podem ser removidos por sedimentação, flotação e filtração. De acordo com Borba et al., (2010), que avaliou a eficiência do processo de eletrocoagulação utilizando eletrodos de alumínio, no tratamento de efluente de uma indústria avícola, a pesquisa mostrou que houve uma redução de 99,4% da cor e 97,6% da turbidez. A distância entre os eletrodos é um parâmetro importantíssimo para a eletrocoagulação, pois conforme se aumenta a distância entre as placas, é possível observar um pequeno aumento da remoção do poluente, e isto é observado para qualquer que seja o material constituinte do eletrodo (NANSEU-NJIKI et al., 2009). O tempo de funcionamento da tecnologia de eletrocoagulação também é um fator interferente, pois quanto menor o tempo gasto, menor será o gasto com energia elétrica. Entretanto esse tempo precisa estar atrelado à uma boa eficiência da limpeza do efluente. Geralmente, o tempo de tratamento varia entre 15 e 175 minutos para que se obtenha a máxima remoção possível (MURTHY e PARMAR, 2011).

## **MATERIAL E MÉTODOS:**



1. FIGURA 1. Modelo esquemático da montagem experimental. Fonte: Autores

O experimento será realizado no Laboratório de Meio Ambiente e Saneamento da Faculdade de Engenharia Agrícola (FEAGRI), na Universidade Estadual de Campinas (UNICAMP) no período de setembro de 2021 a agosto de 2022. Nesse experimento será utilizada água residuária de aquicultura, sintética, com composição apresentada na Tabela 1.

TABELA 1. Reagentes utilizados para o preparo da água residuária de aquicultura de recirculação sintética.

Reagente	Fórmula molecular	Componente	Concentração do componente (mg/L)
Bicarbonato de sódio	NaHCO <sub>3</sub>	Na <sup>+</sup>	246,4
Cloreto de amônio	NH <sub>4</sub> Cl	NH <sub>4</sub> <sup>+</sup>	23,5
Cloreto de amônio	NH <sub>4</sub> Cl	Cl <sup>-</sup>	46,3
Cloreto de cálcio	CaCl <sub>2</sub> .2H <sub>2</sub> O	Ca <sup>2+</sup>	57,1
Cloreto de cálcio	CaCl <sub>2</sub> .2H <sub>2</sub> O	Cl <sup>-</sup>	101,2
Sulfato de tripotássio	K <sub>3</sub> PO <sub>4</sub>	K <sup>+</sup>	19,9
Sulfato de tripotássio	K <sub>3</sub> PO <sub>4</sub>	PO <sub>4</sub> <sup>3-</sup>	16,1
Hidróxido de cálcio	Ca(OH) <sub>2</sub>	Ca <sup>2+</sup>	68,3
Nitrato de potássio	KNO <sub>3</sub>	K <sup>+</sup>	43,5
Nitrato de potássio	KNO <sub>3</sub>	NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	69
Sulfato de cálcio	CaSO <sub>4</sub> .2H <sub>2</sub> O	Ca <sup>2+</sup>	43,5
Sulfato de cálcio	CaSO <sub>4</sub> .2H <sub>2</sub> O	SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>	104,3
Sulfato de magnésio	MgSO <sub>4</sub> .7H <sub>2</sub> O	Mg <sup>2+</sup>	39,6
Sulfato de magnésio	MgSO <sub>4</sub> .7H <sub>2</sub> O	SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>	156,5
Sulfato de potássio	K <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>	K <sup>+</sup>	131,7
Sulfato de potássio	K <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>	SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>	159,8

Fonte: Adaptado de Lin et al. (2005); Fontenot et al. (2007); Sharrer et al. (2007); Sharrer, Rishel, Summerfelt (2010); Davidson et al. (2019); Tejido-Núñez et al. (2019).

O equipamento utilizado, esquematizado na figura 1, que será montado para a realização da eletrocoagulação será um reator simples de batelada em escala laboratorial, constituído de um recipiente retangular de vidro transparente, tendo um par de eletrodos (ânodo e cátodo) confeccionados com chapa de alumínio. Para a alimentação elétrica se utilizará uma fonte chaveada e estabilizada (30V 5A 120W) de corrente contínua. Para desenvolver eletrodos que sejam mais eficientes na eletrocoagulação para remoção de nitrogênio e fósforo de água residuária de aquicultura, será utilizado dois pares de eletrodos maciços (sem orifícios ou depressões em sua superfície) e dois pares de eletrodos com orifícios de 2,5 cm de diâmetro em toda a superfície de cada eletrodo, com espaçamento de 2 cm entre os orifícios. Em ambos os pares de eletrodos (maciço e com orifícios) será fixado alguns parâmetros de operação, já testados previamente: distância entre os eletrodos de 1cm e tempo de funcionamento do processo de 45 minutos. Como a corrente elétrica é um dos parâmetros que mais interfere na eficiência do tratamento eletroquímico e através dos estudos preliminares não foi possível identificar qual a corrente elétrica que promove mais eficiência de remoção de nitrogênio e fósforo, serão testados alguns tratamentos em diferentes correntes com os eletrodos com e sem

orifícios. Serão coletadas amostras antes e depois de cada ensaio experimental (amostra bruta e tratada) para medição dos parâmetros, tais como, pH, condutividade elétrica, fósforo total, nitrogênio amoniacal, nitrito e nitrato. As análises serão realizadas em triplicatas e com base nos procedimentos descritos no Standard Methods for Examination of Water and Wastewater 21th ed (AMERICAN PUBLIC HEALTH ASSOCIATION, 2005). Os tratamentos serão avaliados por meio do método ANOVA à 5% de significância, utilizando o software STATISTICA versão 7.0.

**RESULTADOS E DISCUSSÃO:** Considerando a pandemia do coronavírus declarada no dia 12/03/2020 pelo Diretor-geral da OMS; o número elevado de pessoas que circulam diariamente nos campi das universidades brasileiras, provenientes de diversos lugares do Brasil e do mundo; a necessidade de se evitar aglomerações, principalmente as atividades didáticas e eventos que reúnam grande número de pessoas e que a prevenção por meio do afastamento social é uma das medidas mais eficazes no combate à pandemia, todas as atividades laboratoriais de pesquisa, ensaios e análises foram suspensas na Universidade Estadual de Campinas – UNICAMP, em março de 2020 e continuaram suspensas até 2022. Entretanto, apesar da paralisação das atividades de cunho estritamente presencial, o projeto de pesquisa realizado na quota 2020/2021 caminhou em regime de trabalho remoto, com uma revisão de bibliografia profunda e ampla, a fim de criar bases de conhecimento sólidas sobre o sistema de tratamento estudado.

**CONCLUSÕES:** Por ser uma área de estudos relativamente nova, ainda há escassez de dados publicados sobre a tecnologia em questão, principalmente no que se refere à confecção de eletrodos para eletrocoagulação. Apesar da baixa quantidade de dados existentes sobre parâmetros operacionais e estruturais dos eletrodos utilizados nos processos de eletrocoagulação, foi possível encontrar informações de grande utilidade para o futuro desenvolvimento experimental da pesquisa, que está em andamento no presente momento e com previsão de conclusão em agosto de 2022, quota 2021/2022 do PIBITI.

**AGRADECIMENTOS:** À Kiane pelo incentivo constante e primordial, ao Ari pelos ensinamentos e compartilhamento de experiências, à equipe de pesquisa do LMAS, e ao Maiki pela dedicação e ajuda excepcionais.

#### **REFERÊNCIAS:**

AMERICAN PUBLIC HEALTH ASSOCIATION - APHA. Standard methods for the examination of water and wastewater. 21 th. ed. New York: APHA, AWWA, WPCR, 1.194 p., 2005.

GOMES, L. de M. et al. Development of a system for treatment of coconut industry wastewater using electrochemical processes followed by Fenton reaction. Water Science And Technology, [s.l.], v. 69, n. 11, p.2258-2264, 22 mar. 2014. IWA Publishing. <http://dx.doi.org/10.2166/wst.2014.129>.

MORENO-CASILLAS, H. A.; COCKE, D. L.; GOMES, J. A. G.; MORKOVSKY, P.; PARGA, J. R.; PETERSON, E. Electrocoagulation mechanism for COD removal. Separation and Purification, v.56, p. 204-211, 2007. Disponível em: <<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1383586607000846>>. Acesso em: 22 mai. 2019.

MURTHY, Z.V.P.; PARMAR, S. Removal of strontium by electrocoagulation using stainless steel and aluminum electrodes. Desalination, v. 282, p. 63-67, 2011. Disponível em: <<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0011916411007764>>. Acesso em: 22 mai. 2019.