

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

Palavras-Chave: Processos Eletroquímicos, Tratamento de efluente, Remoção de contaminantes

Autores:

Bruno Lodovico Meneghel - Universidade Estadual de Campinas

Kiane Cristina Leal Visconsin - Universidade Estadual de Campinas

Orientador:

Prof. Dr. Ariovaldo José da Silva - Universidade Estadual de Campinas

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 (íons metálicos trivalentes, por exemplo Fe^{3+} , e Al^{3+}) e gases eletrolíticos (principalmente hidrogênio no cátodo), na água poluída.

De acordo com Libânio (2010) a coagulação consiste na desestabilização das partículas coloidais e suspensas, realizada pela combinação de ações físicas (por exemplo, agitação) e reações químicas, entre o coagulante utilizado (proveniente da oxidação do ânodo), a água e os elementos presentes no meio. Após o processo denominado de hidrólise (quebra da molécula da água) que ocorre através da redução do cátodo, com a aproximação e colisão das partículas desestabilizadas, ocorre à formação dos flocos, os quais podem ser removidos por sedimentação, flotação e filtração.

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.

Os materiais mais utilizados na tecnologia de eletrocoagulação são alumínio, ferro e aço inox, isso porque são de fácil disponibilidade e baixo custo (SILVA, 2013). Geralmente são utilizados eletrodos de alumínio e aço inox para tratamento de água e eletrodos de ferro para o tratamento de esgoto (CHEN, 2004).

Quando se utiliza o eletrodo de alumínio, o efluente final apresenta aspecto claro, não deixando coloração residual. Contudo, quando se faz uso de eletrodos de ferro, a água tratada fica com uma cor verde ou amarela, durante e após o tratamento. Esta coloração é proveniente dos íons Fe^{2+} (cor verde) Fe^{3+} (cor amarela) gerados durante o tratamento (SILVA, 2013).

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).

Foi observado no estudo de Daneshvar et al., (2004) durante o tratamento de soluções de corante por eletrocoagulação, que a influência da distância entre os eletrodos sobre a eficiência do processo pode ser explicada pelo fato de que o campo elétrico, que depende da distância entre os eletrodos, diminui à medida que este parâmetro aumenta.

A densidade de corrente é um dos parâmetros mais importantes no processo de eletrólise, pois controla a velocidade da reação eletroquímica no interior do reator (MERZOUK et al., 2009). Ela afeta não só o tempo de resposta do sistema, mas também influencia na separação e remoção de poluentes (MOLLAH et al., 2001). É através da densidade de corrente que se controla a quantidade de agentes coagulantes e microbolhas geradas, influenciando fortemente tanto na solução, como na transferência de massa para os eletrodos (HOLKAR et al., 2016).

METODOLOGIA:

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 ₃	Na ⁺	246,4
Cloreto de amônio	NH ₄ Cl	NH ₄ ⁺	23,5
Cloreto de amônio	NH ₄ Cl	Cl ⁻	46,3
Cloreto de cálcio	CaCl ₂ .2H ₂ O	Ca ²⁺	57,1
Cloreto de cálcio	CaCl ₂ .2H ₂ O	Cl ⁻	101,2
Sulfato de tripotássio	K ₃ PO ₄	K ⁺	19,9
Sulfato de tripotássio	K ₃ PO ₄	PO ₄ ³⁻	16,1
Hidróxido de cálcio	Ca(OH) ₂	Ca ²⁺	68,3
Nitrato de potássio	KNO ₃	K ⁺	43,5
Nitrato de potássio	KNO ₃	NO ₃ ⁻	69
Sulfato de cálcio	CaSO ₄ .2H ₂ O	Ca ²⁺	43,5
Sulfato de cálcio	CaSO ₄ .2H ₂ O	SO ₄ ²⁻	104,3
Sulfato de magnésio	MgSO ₄ .7H ₂ O	Mg ²⁺	39,6
Sulfato de magnésio	MgSO ₄ .7H ₂ O	SO ₄ ²⁻	156,5
Sulfato de potássio	K ₂ SO ₄	K ⁺	131,7
Sulfato de potássio	K ₂ SO ₄	SO ₄ ²⁻	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 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 (Tabela 2) com os eletrodos com e sem orifícios. Os parâmetros de operação serão aplicados conforme a Tabela 2.

Tabela 2 – Tratamentos que serão aplicados no procedimento eletroquímico.

TRATAMENTO	CORRENTE ELÉTRICA (A)
T1	10
T2	20
T3	40

Fonte própria

O recipiente que será utilizado para o reator de eletrocoagulação terá as seguintes características dimensionais (Tabela 3).

Tabela 3 - Características dimensionais do recipiente.

CARACTERÍSTICAS DIMENSIONAIS DO REATOR	
Comprimento	15 cm
Largura	11 cm
Altura	16 cm
Volume tratado	1,5 L

Fonte própria

Os eletrodos de alumínio terão formato retangular, com as características apresentadas na Tabela 4.

CARACTERÍSTICAS DIMENSIONAIS DOS ELETRODOS	
Comprimento	9 cm
Altura	10 cm
Espessura	0,105 cm

Fonte própria

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 a 5% de significância, utilizando o software STATISTICA versão 7.0.

RESULTADOS E DISCUSSÃO:

Os experimentos foram suspensos, devido a pandemia de COVID-19, projeto em andamento na quota 2021-2022.

CONCLUSÕES:

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 continuam suspensas na presente data.

Portanto, levando em conta que o projeto de pesquisa tecnológica para o desenvolvimento de eletrodos com orifícios utilizados na eletrocoagulação para remoção de fósforo e nitrogênio de águas residuárias de aquicultura necessita de etapas de pesquisa laboratorial, os ensaios, testes, experimentos e demais dados que seriam obtidos através de trabalhos no laboratório foram completamente comprometidos pelo fechamento das instalações de pesquisa e

aguardam o retorno à normalidade para que sejam então completados.

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. Diversos artigos e publicações que envolvem o assunto eletrocoagulação como forma de tratamento de efluentes foram analisados visando extrair informações úteis ao desenvolvimento da pesquisa teórica do projeto.

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 se pretende realizar na quota 2021/2022 do PIBITI.

Por conta disso, é imprescindível que a pesquisa continue na quota de trabalhos 2021/2022, para que os ensaios e análises que não puderam ser realizados no período anterior, devido às questões de segurança sanitária, possam ser devidamente realizados nas instalações da universidade a fim de se obter os resultados que colaborarão para os objetivos da pesquisa tecnológica proposta.

BIBLIOGRAFIA

Principais fontes bibliográficas:

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.

SILVA, J. P. V. da. **Tratamento de efluentes de tanques de piscicultura aplicando a tecnologia de eletrocoagulação**. 2013. 91 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia Civil, Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, 2013. Disponível em: <http://www.repositorio.ufc.br/bitstream/riufc/7978/1/2013_dis_jpvsilva.pdf>. Acesso em: 01 mai 2019.

CHEN, G. **Electrochemical technologies in wastewater treatment. Separation and Purification Technology**, v. 38, p.11-41, 2004. Disponível em: <<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1383586603002636>>. Acesso em: 27 mai. 2019.

BORBA, F. H.; MANENTI, D. R.; MÓDENES, A.; NASCIMENTO, R. **Avaliação da eficiência da técnica de Eletro-floculação no tratamento de efluentes de indústrias de subprodutos avícolas**. Estudos Tecnológicos em Engenharia, [s.l.], v. 6, n. 1, p.36-47, 6 jul. 2010. UNISINOS - Universidade do Vale do Rio Dos Sinos. <http://dx.doi.org/10.4013/ete.2010.61.04>. Disponível em: <https://www.researchgate.net/publication/251066033_Avaliacao_da_eficiencia_da_tecnica_de_Eletrofloculacao_no_tratamento_de_efluentes_de_industrias_de_subprodutos_avicolas>. Acesso em: 22 mai. 2019.

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