

## Hortalças na biorremediação de compostos nitrogenados de efluentes de bioflocos

### *Vegetables in the bioremediation of nitrogen compounds from biofloc effluents*

Samantha Heiderscheidt <sup>1</sup>; Eduardo da Silva <sup>2\*</sup>; Manuela Grabowski de Souza <sup>3</sup>;  
 Vanessa Bertoldo Martins <sup>4</sup>; Adolfo Jatobá <sup>5</sup>.

<sup>1</sup>Discente, Laboratório de Aquicultura, Instituto Federal Catarinense, Araquari, Santa Catarina, e-mail: samanthaheiderscheidt@gmail.com. <sup>2</sup>Docente, Centro Universitário Avantis Balneário Camboriú, e-mail: eduardo.silva.pr.em@gmail.com. <sup>3</sup>Discente, Laboratório de Aquicultura, Instituto Federal Catarinense, Araquari, e-mail: manuelagrabowskidesouza@gmail.com. <sup>4</sup>Discente, Laboratório de Aquicultura, Instituto Federal Catarinense Araquari, e-mail: bertoldomartinsv@gmail.com. <sup>5</sup>Docente, Laboratório de Aquicultura, Instituto Federal Catarinense, Araquari, e-mail: jatobaadolfo@gmail.com. \*Autor correspondente.

#### NOTA

Recebido: 26/06/2023  
 Aprovado: 16/11/2023

#### Palavras-chave:

Amônia  
 Aquicultura  
 Nitrito  
 Nitrato  
 Nitrificação

#### RESUMO

Nosso trabalho tem o objetivo de avaliar as alterações nos parâmetros de qualidade de água do efluente de um sistema de bioflocos (BFT) após a inserção de hortalças. Foram utilizadas mudas de hortalças de três espécies: alface (*Lactuca sativa*), rúcula (*Eruca sativa*), e cebolinha verde (*Allium schoenoprasum*). Foram utilizadas 12 garrafas de politereftalato de etileno, divididas em quatro grupos (três diferentes hortalças e controle), em triplicata, equipadas com sistema de aeração (individualmente) para evitar a sedimentação do BFT. As garrafas foram mantidas em uma caixa de polietileno (180L). As garrafas foram preenchidas com 1 L de água do BFT utilizada como amostra inicial (tempo zero). O pH, amônia total, nitrito e nitrato foram mensurados em tempo zero, 24 horas e 72 horas após a inserção das diferentes hortalças no sistema experimental. Foi possível observar melhora nos níveis de amônia 24 h após a inserção das hortalças, pois os tratamentos (Alface, Cebolinha e Rúcula) reduziram a quantidade de amônia quando comparado ao grupo controle. Entretanto, houve pouca influência sobre o pH, nitrito e nitrato. Portanto, podemos concluir que a inserção das hortalças no efluente reduz os níveis de amônia, melhorando os parâmetros de qualidade de água e, portanto, podem reduzir o impacto ambiental ou atuar como biorremediadores do ambiente de cultivo.

#### ABSTRACT

Our work aims to evaluate the changes in the water quality parameters of the effluent of a biofloc system (BFT) after the insertion of vegetables. Vegetable seedlings of three species were used: lettuce (*Lactuca sativa*), arugula (*Eruca sativa*), and green onion (*Allium schoenoprasum*). Twelve polyethylene terephthalate bottles were used, divided into four groups (three different vegetables and control), in triplicate, equipped with an aeration system (individually) to avoid BFT sedimentation. The bottles were kept in a polyethylene box (180L). The bottles were filled with 1 L of BFT water used as the initial sample (zero time). The pH, total ammonia, nitrite and nitrate were measured at time zero, 24 hours and 72 hours after the insertion of the different vegetables in the experimental system. It was possible to observe improvements in the ammonia levels 24 h after the insertion of vegetables, as the treatments (Lettuce, Chives and Arugula) reduced the amount of ammonia when compared to the control group. However, there was little influence on pH, nitrite and nitrate. Therefore, we can conclude that the insertion of vegetables in the effluent reduces ammonia levels, improving water quality parameters and, therefore, can reduce the environmental impact or act as bioremediators of the cultivation environment.

#### INTRODUÇÃO

O crescimento da população global traz consigo a proeminência da escassez de recursos, mas também a deterioração ambiental (WU et al., 2022). Entre as proteínas de origem animal, os pescados têm um papel primordial no abastecimento da população mundial. No ano de 2020, o

consumo *per capita* de alimentos aquáticos foi de 20,5 kg/pessoa/ano e a aquicultura foi responsável pela produção de aproximadamente 120 milhões de toneladas (FAO, 2022). Na aquicultura foram empregadas tecnologias como o bioflocos (BFT, sigla em inglês de Biofloc Technology) para aumentar a produtividade com o objetivo de suprir essa demanda por proteína animal e com capacidade de reduzir

consideravelmente o uso de água, com pouca ou nenhuma renovação durante o ciclo de produção (JATOBÁ et al., 2019). O sistema BFT baseia-se na formação de agregados microbianos que são iniciados pela colonização de bactérias heterotróficas manipulando a relação carbono:nitrogênio da água do cultivo e podem ser utilizados como fonte de alimento suplementar aos peixes (EMERENCIANO et al., 2013; 2017; KOTZEN et al., 2019).

O avanço da aquicultura pode ser acompanhado do aumento do seu impacto ambiental, uma vez que a produção de peixes gera quantidades substanciais de águas residuais, contendo excretas e ração não consumidas (READ; FERNANDES, 2003). À guisa de exemplo, o sistema BFT gera sólidos ricos em nutrientes que ao serem degradados no ambiente de cultivo são transformados em diferentes compostos nitrogenados (amônia, nitrito e nitrato) que são resultantes do catabolismo das proteínas e potencialmente tóxico aos organismos aquáticos (VINATEA-ARANA, 1997) e o fósforo (SUMITRO et al., 2021). Com intuito de biorremediar este problema, os sólidos gerados no sistema BFT podem ser utilizados na produção de diferentes vegetais (ESTRADA-PEREZ et al., 2018; MARTINEZ-CORDOVA et al., 2020).

Sistemas de produção integrada entre organismos aquáticos e vegetais ganharam popularidade como forma de minimizar esses impactos através da biorremediação e otimização do uso destes nutrientes disponíveis. Como exemplo podemos citar os sistemas aquapônicos (WONGKIEW et al., 2017) e o FLOCponics, no qual utiliza os mesmos princípios da aquaponia, porém utilizando a água do BFT (PINHO et al., 2023). O sucesso desses sistemas depende, dentre outras aspectos, da capacidade de produção dos compostos nitrogenados por parte dos peixes para servirem de nutriente para as plantas, pois a produção insuficiente resulta em baixo crescimento, e da capacidade das plantas consumirem os compostos nitrogenados, uma vez que o acúmulo desses compostos pode ser tóxico aos peixes (ENDUT et al., 2011).

Portanto, toda tecnologia sustentável que objetive a redução do impacto ambiental ou biorremediar o ambiente de cultivo de peixes deve ser utilizado. Com base no exposto, esse trabalho tem o objetivo de contribuir com a produção sustentável de alimentos. O foco reside na otimização do uso dos compostos nitrogenados provenientes da aquicultura em sistemas de Bioflocos (BFT). Para atingir esse fim,

investigamos a capacidade de três diferentes tipos de hortaliças (alface, rúcula e cebolinha verde) em absorver e utilizar os compostos nitrogenados disponíveis na água do sistema de BFT.

## MATERIAL E MÉTODOS

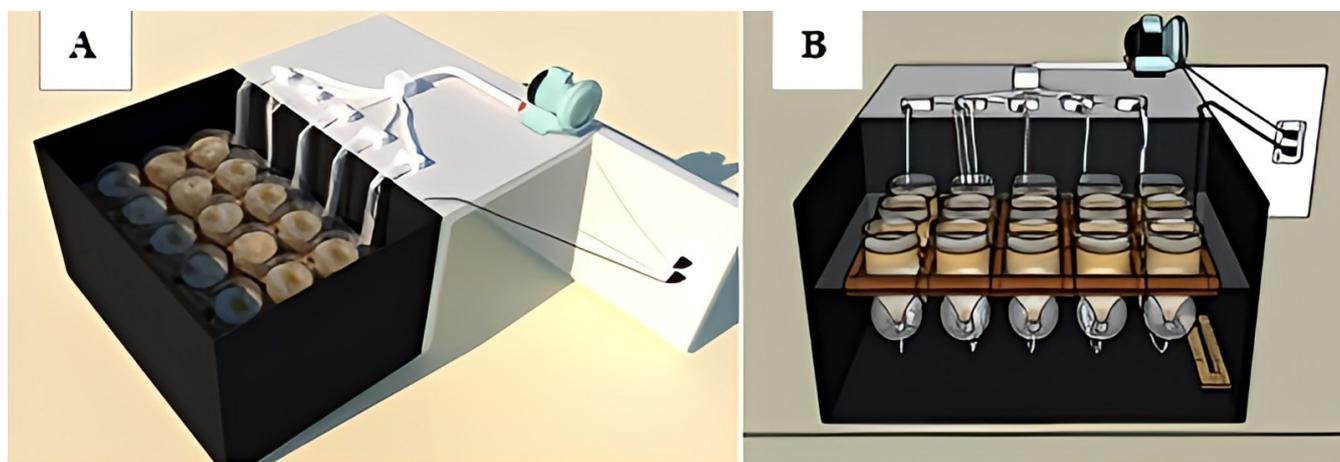
O trabalho foi realizado no Laboratório de Aquicultura localizado no Instituto Federal Catarinense, *campus* Araquari, na cidade de Araquari, Santa Catarina - Brasil. O experimento foi desenvolvido em setembro de 2022.

Foram utilizadas mudas de hortaliças de três espécies: alface (*Lactuca sativa* –  $2,17 \pm 0,69$  g), rúcula (*Eruca sativa* –  $1,31 \pm 0,35$  g), e cebolinha verde (*Allium schoenoprasum* –  $1,55 \pm 0,43$  g) adquiridas de um viveiro de mudas local.

O trabalho utilizou 12 garrafas (1,0 L útil) constituídas de politereftalato de etileno, equipadas com sistema de aeração constante (individualmente) através de pedras porosas inseridas na ponta das garrafas e ligadas na bomba (Potência 180 W e fluxo de ar -  $18 \text{ m}^3/\text{h}$ ) por meio de mangueiras, para evitar a sedimentação do BFT. O experimento foi mantido dentro de uma caixa de polietileno com capacidade de 180L, onde possuía água clara aquecida em uma temperatura média de  $28^\circ\text{C}$  a fim de manter as garrafas com água fertilizada aquecidas. Para permanecerem imóveis, as garrafas estavam apoiadas em um suporte de madeira (Figura 1).

As garrafas foram divididas em quatro grupos (três diferentes hortaliças e controle), em triplicata. As garrafas foram preenchidas com 1 L de água de BFT “maduro” utilizada como amostra inicial, sendo o momento do abastecimento das unidades experimentais denominada tempo zero. Os parâmetros de qualidade de água no início do experimento era de: amônia  $0,003896 \text{ mg L}^{-1}$ , nitrito  $1,0496 \text{ mg L}^{-1}$ , nitrato  $88,56 \text{ mg L}^{-1}$ , alcalinidade  $252 \text{ mg L}^{-1}$ , Sólidos Suspensos Totais (TSS)  $566,0 \text{ mg L}^{-1}$ , Condutividade  $460 \text{ uS cm}^{-1}$ , pH de 7,02, temperatura  $28,2^\circ\text{C}$  e oxigênio dissolvido  $5,86 \text{ mg L}^{-1}$ .

Oxigênio dissolvido e temperatura (YSI55; YSI Incorporated, Yellow Springs, OH, USA) foram monitorados diariamente. Amônia total, nitrito, nitrato (Fotocolorímetro AT-100P, marca ALFAKIT®, Florianópolis – SC, Brasil) e pH (PHMETRO AT355, marca ALFAKIT®, Florianópolis – SC, Brasil) foram mensurados no momento de abastecimento das unidades experimentais (tempo zero), 24 horas e 72 horas após a inserção das diferentes hortaliças no sistema experimental.



**Figura 1.** Estrutura utilizada para a realização do ensaio dose-resposta. Vista em perspectiva aérea (A) e vista lateral direita (B).

A eficácia na retenção da amônia foi determinada como “ $E = \text{TANC} - \text{TANT} \times 100 / \text{TANC}$ ”, onde “E” é a eficácia, “TANC” é a concentração de amônia no grupo controle e “TANT” é a concentração de amônia nos grupos experimentais (adaptado de JATOBÁ et al., 2023).

As hortaliças foram mantidas durante quatro dias nas garrafas para avaliar sua sobrevivência no efluente de BFT.

Os dados obtidos foram submetidos ao teste de Kolmogorov-Smirnov, para avaliar se a distribuição de dados está dentro da curva de normalidade, e ao teste de Levene, para verificar sua homoscedasticidade, seguido da análise de variância (ANOVA) e o teste SNK de separação de médias. Para todas as avaliações foi utilizado um nível de significância de 5%.

## RESULTADOS E DISCUSSÃO

O oxigênio da água se manteve acima de  $5,92 \text{ mg L}^{-1}$  e a temperatura variou entre  $28,1$  e  $28,6$  °C, sendo considerado adequado para a principal espécie cultivada no Brasil, a tilápia-do-nylo (*Oreochromis niloticus*). O sucesso da aquicultura depende, principalmente, da qualidade da água do cultivo (WU et al., 2022), haja visto que alterações nesses parâmetros afetam diretamente o crescimento normal dos peixes (ZHOU et al., 2022).

Neste experimento, após a inserção das hortaliças na água do efluente do BFT foi possível observar melhorias significativas nos níveis de amônia na água em 24 h (Tabela 1), pois os tratamentos (Alface, Cebolinha e Rúcula) reduziram os níveis de amônia quando comparado ao grupo controle ( $P < 0,05$ ). Resultado semelhante foi observado por Endut et al. (2011), os quais observaram redução de amônia, nitrito e nitrato em efluente de um sistema de recirculação, após uma semana, utilizando *Ipomoea aquatica* e *Brassica juncea*.

O acúmulo da amônia, nitrito e nitrato, que são produtos do catabolismo da proteína ingerida através da alimentação, podem ser tóxicos aos peixes quando em excesso, todavia, a amônia, principalmente em ambientes mais alcalinos e de maior temperatura, é o mais tóxico dos três elementos, isto é, uma menor quantidade é muito mais letal do que os demais (VINATEA-ARANA, 1997). Portanto devem ser retirados do ambiente de cultivo, principalmente a amônia. Existem vários mecanismos para a remoção da amônia das águas residuais da aquicultura: filtração pelas raízes das plantas, assimilado por

microrganismos e convertido novamente em matéria orgânica ou pelo processo de nitrificação (ENDUT et al.; 2011; VINATEA-ARANA, 1997). Este fato justifica a alta eficácia na retenção do total de amônia pelas hortaliças 24 horas após a inclusão no experimento, prova disto que após 72 horas só foi possível mensurar amônia no grupo controle (Tabela 1).

Na natureza e nos sistemas de cultivo, a amônia excretada pelos organismos aquáticos sofre dois processos de oxidação que se inicia por bactérias do gênero *Nitrossomas* (transforma a amônia em nitrito) e seguido pelas bactérias do gênero *Nitrobacter* (transforma o nitrito em nitrato), sendo que esse segundo processo inicia muito rapidamente e por isso não é comum encontrar o acúmulo de nitrito em condições ótimas (BOYD, 2019; ENDUT et al.; 2011; VINATEA-ARANA, 1997). E, portanto, em situações naturais, a amônia e o nitrato são as principais fontes de nitrogênio para as plantas (OLSSON; FALKENGREN, 2000). Isso pode justificar a redução significativa que observamos nos níveis de amônia quando inserimos as hortaliças na água do efluente, uma vez que a amônia é uma importante fonte de nitrogênio para a planta.

Durante o período experimental, observamos que o oxigênio se manteve acima de  $5,92 \text{ mg L}^{-1}$ , a temperatura variou entre  $28,1$  e  $28,6$  °C e o pH entre  $7,57$  e  $8,12$ . Resultados semelhantes foram observados por Estrada-Perez et al. (2018), cujos observaram temperatura de  $27,89 \pm 2,77$  °C e pH levemente alcalino ( $8,26 \pm 0,30$ ) utilizando como modelos experimentais a tilápia-do-nylo e alface. Esses indicadores são importantes para o processo de nitrificação, pois ocorre mais rapidamente em temperaturas entre  $25$  e  $35$  °C, pH entre  $7$  e  $8$  e na presença de oxigênio (BOYD, 2019). Em nosso experimento não observamos variação do pH entre os tratamentos em 24 h, mas em 72 h o pH do controle estava estatisticamente maior do que os tratamentos ( $P < 0,05$ ) (Tabela 1). As plantas, durante a respiração, assim como a degradação da matéria orgânica, produzem gás carbônico que é responsável por acidificar o ambiente aquático (VINATEA-ARANA, 1997). A redução no pH também é um fator muito importante para a sanidade dos organismos aquáticos e pode ser usada estrategicamente, pois a amônia é mais tóxica em ambientes com pH mais alcalino (há mais amônia não ionizada), portanto, pode ser uma estratégia a ser utilizada (VINATEA-ARANA, 1997).

**Tabela 1.** Média ( $\pm$  desvio padrão) dos níveis de amônia, pH, Nitrito e Nitrato 24 e 72 h após a adição de alface, cebolinha e rúcula na água do efluente de bioflocos. Letras diferentes indicam diferença estatística entre os grupos dentro de um mesmo tempo ( $P < 0,05$ ).

	Amônia ( $\text{mg L}^{-1}$ )	pH	Nitrito ( $\text{mg L}^{-1}$ )	Nitrato ( $\text{mg L}^{-1}$ )	
24 h	Controle	$0,01842 \pm 0,006198a$	$8,05 \pm 0,06ab$	$0,363 \pm 0,027b$	$581,2 \pm 304,4a$
	Alface	$0,00012 \pm 0,000087b$	$8,12 \pm 0,03a$	$0,330 \pm 0,030b$	$1387,4 \pm 325,6a$
	Cebolinha	$0,00000 \pm 0,000000c$	$7,94 \pm 0,03b$	$0,514 \pm 0,015a$	$970,5 \pm 487,1a$
	Rúcula	$0,00000 \pm 0,000000c$	$7,93 \pm 0,06b$	$0,317 \pm 0,016b$	$679,0 \pm 102,8a$
72 h	Controle	$0,00094 \pm 0,000000a$	$7,89 \pm 0,08a$	$0,426 \pm 0,142a$	$450,2 \pm 104,8bc$
	Alface	$0,00000 \pm 0,000000a$	$7,60 \pm 0,03c$	$0,251 \pm 0,015a$	$413,3 \pm 34,2c$
	Cebolinha	$0,00000 \pm 0,000000a$	$7,68 \pm 0,03b$	$0,262 \pm 0,054a$	$616,2 \pm 91,4b$
	Rúcula	$0,00000 \pm 0,000000a$	$7,57 \pm 0,00c$	$0,350 \pm 0,082a$	$929,9 \pm 32,6a$

No que concerne ao nitrito e nitrato, não foram observadas reduções significativas entre os tratamentos e o grupo controle, inclusive observou-se que o nitrito da cebolinha em 24 h e o nitrato da rúcula em 72 h foram maiores que o grupo controle (Tabela 1). Isto pode estar relacionado com a maior degradação da amônia (Tabela 1) nos grupos de tratamento, onde as plantas extraíram o nitrogênio necessário da amônia para seu crescimento. Em contrapartida, Endut et al. (2011) observaram uma redução dos níveis de nitrito e nitrato, entretanto, a primeira análise da água aconteceu sete dias após a exposição das hortaliças, enquanto em nosso experimento, as análises ocorreram até três dias. Apesar de absorverem nitrato como principal fonte de nitrogênio, a preferência por outra fonte, como a amônia, depende da concentração do elemento no meio, dos estágios de crescimento e fatores genéticos das plantas (FINK; FELLER, 1998; HU et al., 2015).

No que se refere às hortaliças utilizadas, durante todo o experimento, não houve mortalidade. Outro ponto é que de uma forma geral houve um aumento de biomassa de 23,9%, 49,6 e 65,6 % para alface cebolinha e rúcula respectivamente, entretanto este período é curto e não representa uma melhora no cultivo. Com isso, mais estudos são necessários para validar a forma de absorção e a necessidade das plantas para sistemas de BFT.

## CONCLUSÕES

A inserção de hortaliças (alface, cebolinha e rúcula) no efluente do sistema de BFT reduz os níveis de amônia, tornando o ambiente menos tóxico aos organismos aquáticos. Dessa forma, melhora os parâmetros de qualidade de água, atuando como biorremediadores.

## AGRADECIMENTOS

Ao CNPq e FAPESC (2021TR000638) pelas bolsas e recurso financeiro para execução da pesquisa.

## REFERÊNCIAS

- BOYD, C. E. Water quality: an introduction. Springer Nature, 2019.
- EMERENCIANO, M.; GAXIOLA, G.; CUZON, G. Biofloc technology (BFT): a review for aquaculture application and animal food industry. Biomass Now-Cultivation and Utilization. Miodrag Darko Matovi Intech Open. InTech, Croatia, 2013.
- EMERENCIANO, M.; MARTÍNEZ-CÓRDOVA, L. R.; MARTÍNEZ-PORCHAS, M.; MIRANDA-BAEZA, A. Biofloc technology (BFT): a tool for water quality management in aquaculture. In: Tutu H, editor. Water Quality. London (UK). [10.5772/66416](https://doi.org/10.5772/66416)
- ESTRADA-PEREZ, N.; HERNANDEZ-LLAMAS, A.; RUIZ-VELAZCO, J. M. J.; ZAVALA-LEAL, I.; ROMERO-BAÑUELOS, C. A.; CRUZ-CRESPO, E.; JUÁREZ-ROSSETTE, C.; DOMÍNGUEZ-OJEDA, D.; CAMPOS-MENDOZA, A. Stochastic modelling of aquaponic production of tilapia (*Oreochromis niloticus*) with lettuce (*Lactuca sativa*) and cucumber (*Cucumis sativus*). Aquaculture Research, v. 49, n. 12, p. 3723-3734, 2018. [10.1111/are.13840](https://doi.org/10.1111/are.13840)
- ENDUT, A.; JUSOH, A.; ALI, N. A.; WAN NIK, W. B. Nutrient removal from aquaculture wastewater by vegetable production in aquaponics recirculation system. Desalination and water treatment, v. 32, n. 1-3, p. 422-430, 2011. [10.5004/dwt.2011.2761](https://doi.org/10.5004/dwt.2011.2761)
- FINK, M.; FELLER, C. An empirical model for describing growth and nitrogen uptake of white cabbage (*Brassica oleracea* var. *capitata*). Scientia horticulturae, v. 73, n. 2-3, p. 75-88, 1998. [10.1016/S0304-4238\(97\)00154-4](https://doi.org/10.1016/S0304-4238(97)00154-4)
- HU, Z.; LEE, J. W.; CHANDRAN, K.; KIM, S.; BROTTTO, A. C.; KHANAL, S. K. Effect of plant species on nitrogen recovery in aquaponics. Bioresource technology, v. 188, p. 92-98, 2015. [10.1016/j.biortech.2015.01.013](https://doi.org/10.1016/j.biortech.2015.01.013)
- JATOBÁ, A.; BORGES, Y.V.; SILVA, F.A. BIOFLOC: sustainable alternative for water use in fishculture. Arquivo Brasileiro de Medicina Veterinária e Zootecnia, 71, 3, 1076-1080, 2019. [10.1590/1678-4162-10309](https://doi.org/10.1590/1678-4162-10309)
- JATOBÁ, A.; STOCKHAUSEN, L.; SILVA, L. R.; ANDRADE, J. I. A. Therapeutic bath of mint hydrolate in the control of monogenea for four tilapia species. Boletim do Instituto de Pesca, v. 49, 2023. [10.20950/1678-2305/bip.2023.49.e706](https://doi.org/10.20950/1678-2305/bip.2023.49.e706)
- KOTZEN, B.; EMERENCIANO, M.; MOHEIMANI, N.; BURNELL, G. M. Aquaponics: Alternative types and approaches. Aquaponics food production systems: Combined aquaculture and hydroponic production technologies for the future, p. 301-330, 2019. [10.1007/978-3-030-15943-6\\_12](https://doi.org/10.1007/978-3-030-15943-6_12)
- MARTINEZ-CORDOVA, L. R.; LÓPEZ-ELÍAS, J.; MARTINEZ-PORCHAS, M.; BRINGAS-BURGOS, B.; NARANJO-PARAMO, J. A preliminary evaluation of an integrated aquaculture-agriculture systems (tilapia and peppers) at mesocosm scale. J Aquac Mar Biol, v. 9, n. 1, p. 19-22, 2020. [10.15406/jamb.2020.09.00272](https://doi.org/10.15406/jamb.2020.09.00272)
- OLSSON, M. O.; FALKENGREN, U. G. Potential nitrification as an indicator of preferential uptake of ammonium or nitrate by plants in an oak woodland understorey. Annals of Botany, v. 85, n. 3, p. 299-305, 2000. [10.1006/anbo.1999.1075](https://doi.org/10.1006/anbo.1999.1075)
- PINHO, S. M.; DE LIMA, J. P.; TARIGAN, N. B.; DAVID, L. H.; PORTELLA, M. C.; KEESMAN, K. J. Modelling FLOCponics systems: Towards improved water and nitrogen use efficiency in biofloc-based fish culture. Biosystems Engineering, v. 229, p. 96-115, 2023. [10.1016/j.biosystemseng.2023.03.022](https://doi.org/10.1016/j.biosystemseng.2023.03.022)
- READ, P.; FERNANDES, T. Management of environmental impacts of marine aquaculture in Europe. Aquaculture, v. 226, n. 1-4, p. 139-163, 2003. [10.1016/S0044-8486\(03\)00474-5](https://doi.org/10.1016/S0044-8486(03)00474-5)
- SUMITRO, T. B.; FAUZI, H.; EKASARI, J. Production performance and nitrogen and phosphorus mass balance in

biofloc-based African catfish intensive culture at different densities. *Jurnal Akuakultur Indonesia*, v. 20, n. 1, p. 82-92, 2021. [10.19027/jai.20.1.82-92](https://doi.org/10.19027/jai.20.1.82-92)

VINATEA-ARANA, L. *Princípios químicos de qualidade da água em aquicultura*. Florianópolis: Editora da UFSC, 1997.

WU, Y.; DUAN, Y.; WEI, Y.; AN, D.; LIU, J. Application of intelligent and unmanned equipment in aquaculture: A review. *Computers and Electronics in Agriculture*, v. 199, p. 107201, 2022. [10.1016/j.compag.2022.107201](https://doi.org/10.1016/j.compag.2022.107201)

ZHOU, X.; WANG, J.; HUANG, L.; LI, D.; DUAN, Q. Modelling and controlling dissolved oxygen in recirculating aquaculture systems based on mechanism analysis and an adaptive PID controller. *Computers and Electronics in Agriculture*, v. 192, p. 106583, 2022. [10.1016/j.compag.2021.106583](https://doi.org/10.1016/j.compag.2021.106583)