

Universidade Federal do Amazonas-UFAM
Instituto de Ciências Exatas e Tecnologia-ICET
Programa de Pós-Graduação em Ciência e Tecnologia para Recursos Amazônicos-PPGCTRA

**Análise da presença de possíveis poluentes nos viveiros para manutenção dos
reprodutores e engorda de tambaqui (*Colossoma macropomum*) em sistema de água
estática**

Manoel Henrique de Souza Neto

Itacoatiara-Am

2025

Universidade Federal do Amazonas-UFAM
Instituto de Ciências Exatas e Tecnologia-ICET
Programa de Pós-Graduação em Ciência e Tecnologia para Recursos Amazônicos-PPGCTRA

Manoel Henrique de Souza Neto

**Análise da presença de possíveis poluentes nos viveiros para manutenção dos
reprodutores e engorda de tambaqui (*Colossoma macropomum*) em sistema de água
estática**

Dissertação apresentado ao Programa de Pós-Graduação em Ciências e Tecnologia para Recursos Amazônicos (PPGCTRA), como requisito para obtenção do título de mestre em Ciências Ambientais.

Orientador: Prof. Dr. Rafael Yutaka Kuradomi

Itacoatiara-Am
2025

Ficha Catalográfica

Elaborada automaticamente de acordo com os dados fornecidos pelo(a) autor(a).

-
- S729a Souza Neto, Manoel Henrique de
Análise da presença de possíveis poluentes nos viveiros para manutenção dos reprodutores e engorda de tambaqui (*Colossoma macropomum*) em sistema de água estática / Manoel Henrique de Souza Neto. - 2025.
51 f. : il., color. ; 31 cm.
- Orientador(a): Rafael Yutaka Kuradomi.
Dissertação (mestrado) - Universidade Federal do Amazonas, Programa de Pós-Graduação em Ciência e Tecnologia para Recursos Amazônicos, Itacoatiara, 2025.
1. Qualidade da água. 2. Sedimento. 3. *Colossoma macropomum*. 4. Impacto Ambiental. 5. Manejo sustentável. I. Kuradomi, Rafael Yutaka. II. Universidade Federal do Amazonas. Programa de Pós-Graduação em Ciência e Tecnologia para Recursos Amazônicos. III. Título
-



Poder Executivo
Ministério da Educação
Universidade Federal do Amazonas
Programa de Pós-Graduação em Ciência e Tecnologia
para Recursos Amazônicos - PPGCTRA



MANOEL HENRIQUE DE SOUZA NETO

**Análise da presença de possíveis poluentes
nos viveiros para manutenção dos
reprodutores e engorda de tambaqui
(*Colossoma macropomum*) em sistema de
água estática**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Ciência e Tecnologia para Recursos Amazônicos da Universidade Federal do Amazonas, como parte do requisito para obtenção do título de Mestre em Ciência e Tecnologia para Recursos Amazônicos, área de concentração Desenvolvimento Científico e Tecnológico em Recursos Amazônicos.

Aprovado(a) em 30.07.25.

BANCA EXAMINADORA

Prof. Dr. Prof. Dr. Rafael Yutaka Kuradomi

Profa. Dra. Mariana Medeiros Batista

Profa. Dra. Adriana Ferreira da Silva

Rua Nossa Senhora do Rosário, 3863, Tiradentes. CEP: 69103-128 – Itacoatiara/AM

Telefone: (92) 99271-8661 e-mail: secretariappgctra@ufam.edu.br

À minha família, especialmente aos meus pais Glorinha Castro e Antônio Negreiros pelo incentivo e por sempre acreditarem na minha capacidade. A eles dedico esta dissertação e minha conquista.

Agradecimentos

Agradeço, primeiramente a Deus, por ter me dado saúde, coragem, paciência e sabedoria no decorrer dos dois anos de mestrado.

À minha família, em especial aos meus pais Glorinha Castro e Antônio Negreiros.

Ao Diego Roque, por toda parceria, ajuda e incentivo no decorrer de todos esses anos.

Ao meu orientador Professor Dr. Rafael Yutaka Kuradomi, pela oportunidade, paciência, confiança e contribuições que ajudaram nas melhorias do trabalho.

Ao meu ex-orientador de PIBIC Professor Dr. Gustavo Yomar Hattori, pelas ajudas financeiras para realizações das coletas.

Agradeço ao Philip Castro, Giorgio Albuquerque, Wallace Ennio, Alcione Castro, Adriane Fernandes e Rainara Soares, pela disponibilidade e ajuda nas coletas de campo.

A Universidade Federal do Amazonas-UFAM, por disponibilizar condições de ensino e oportunidade para a formação acadêmica.

A Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado do Amazonas (FAPEAM), pela bolsa concedida.

Resumo

A qualidade da água na piscicultura é comprometida pelo acúmulo de resíduos como ração não consumida, excrementos dos peixes e fertilizantes. Apenas 20 a 40% da ração é aproveitada pelos peixes; o restante se transforma em resíduos metabólicos. Esses resíduos liberam compostos como amônia, nitrito, nitrato e fósforo, que afetam negativamente os organismos aquáticos. O objetivo do presente estudo foi analisar a presença de poluentes em viveiros destinados a engorda e reprodutores de tambaqui (*Colossoma macropomum*). Foram coletadas amostras de água e sedimentos dos viveiros, para avaliar e quantificar os poluentes como amônia total, amônia tóxica, nitrito, nitrato, fósforo, sólidos suspensos totais, sólidos dissolvidos totais e sólidos totais. Os resultados indicaram a presença desses poluentes na água e no sedimento apresentando concentrações de amônia total, fósforo total e sólidos dissolvidos totais acima dos padrões estabelecidos pelas normativas ambientais relacionadas à qualidade das águas e lançamento de efluentes. A Análise de Componentes Principais (PCA) revelou distinções entre viveiros de engorda (FFF) e reprodutores (FHA). Viveiros FFF apresentaram elevadas correlações com amônia total, nitrito e fósforo na água, o que pode refletir acúmulo de matéria orgânica, restos de rações, fezes e urina dos peixes. Nos viveiros FHA, apresentaram menores correlações como nitrato e amônia total na água e fósforo no sedimento, indicando baixa carga orgânica acumulada, refletindo práticas de manejo menos intensivas e maior estabilidade química. Portanto, essas informações são importantes para adoção de boas práticas de manejo, visando a melhoria da qualidade da água e dos sedimentos e a minimização de impactos ambientais.

Palavras-chave: Resíduos; Qualidade da água; Compostos nitrogenados; Fósforo; Piscicultura.

Abstract

Water quality in fish farming is compromised by the accumulation of waste such as uneaten feed, fish excrement, and fertilizers. Only 20 to 40% of the feed is absorbed by the fish; the remainder becomes metabolic waste. This waste releases compounds such as ammonia, nitrite, nitrate, and phosphorus, which negatively affect aquatic organisms. The objective of this study was to analyze the presence of pollutants in ponds used for fattening and breeding tambaqui (*Colossoma macropomum*). Water and sediment samples were collected from the ponds to evaluate and quantify pollutants such as total ammonia, toxic ammonia, nitrite, nitrate, phosphorus, total suspended solids, total dissolved solids, and total solids. The results indicated the presence of these pollutants in the water and sediment, with concentrations of total ammonia, total phosphorus, and total dissolved solids above the standards established by environmental regulations related to water quality and effluent discharge. Principal Component Analysis (PCA) revealed distinctions between grow-out ponds (FFF) and breeder ponds (FHA). FFF ponds showed high correlations with total ammonia, nitrite, and phosphorus in the water, which may reflect the accumulation of organic matter, feed residues, feces, and fish urine. FHA ponds showed lower correlations with nitrate and total ammonia in the water and phosphorus in the sediment, indicating a low accumulated organic load, reflecting less intensive management practices and greater chemical stability. Therefore, this information is important for adopting good management practices, aiming to improve water and sediment quality and minimize environmental impacts.

Keywords: Waste; Water quality; Nitrogen compounds; Phosphorus; Fish farming.

Lista de Tabelas

Tabela 1- Concentrações de poluentes em água dos viveiros na 1º Coleta*	48
Tabela 2- Concentrações de poluentes em água dos viveiros na 2º Coleta* e seus respectivos padrões de qualidade estabelecidos em normativas nacionais e estaduais.....	49
Tabela 3- Concentrações de poluentes em sedimento dos viveiros 1º Coleta*	50
Tabela 4- Concentrações de poluentes em sedimento dos viveiros 2º Coleta*	50
Tabela 5- Síntese Comparativa entre os viveiros de engorda (FFF) vs. manutenção de reprodutores (FHA) quanto ao manejo, características ambientais e sedimentos e geração de poluentes (nutrientes) na água.	51

Lista de Siglas

SST	Sólidos em Suspensão Total
SDT	Sólidos Dissolvidos Total
ST	Sólidos Totais
PCA	Análise de Componentes Principais
FHA	Viveiros de Reprodutores
FFF	Viveiros de Engorda
DP	Desvio Padrão
TotPrec	Precipitação Total
MaxPrec	Precipitação Máxima
AvePrec	Precipitação Média
MinTemp	Temperatura Mínima
MaxTemp	Temperatura Máxima
AveTemp	Temperatura Média

Lista de Figuras

Figura 1- Biplot da análise de componentes principais (PCA)	52
--	----

Sumário

1.Introdução Geral	13
2. Referências Bibliográficas	15
3.CAPÍTULO 1	20
Análise multivariada da geração de poluentes em viveiros escavados em sistema de água estática para tambaqui (<i>Colossoma macropomum</i>) na Amazônia: comparação entre viveiros para engorda e manutenção de reprodutores	20
Resumo	22
3.1.Introdução	23
3.2. Material e Métodos	25
3.2.1 Área de estudo	25
3.2.2 Caracterização das áreas de estudo.....	25
3.2.3 Levantamento de dados climáticos das áreas de estudo	25
3.2.4 Coletas e análises das amostras de água.....	26
3.2.5 Coletas e análises das amostras de sedimentos	27
3.2.6 Enquadramento Legal.....	27
3.2.7 Análise dos Dados	28
3.3. Resultado	29
3.3.1 A presença de poluentes em água e sedimentos dos viveiros de engorda e reprodutores.....	29
3.3.2 Enquadramento Legal.....	30
3.3.3 Análise de Componentes Principais (PCA)	31
3.4 Discussão	33
3.5. Conclusão	37
Declaração de Interesse Conflitantes	37
Disponibilidade de dados	37
Agradecimentos	37
Referências	38

1.Introdução Geral

A degradação da qualidade da água em sistemas aquícolas ocorre, principalmente, pelo acúmulo de resíduos derivados da ração não consumida, fertilizantes e excrementos dos peixes, os quais incluem nutrientes dissolvidos e particulados, poluentes químicos e patógenos (Ahmad et al., 2021; Gao et al., 2020; Hesni et al., 2020; Rosa et al., 2020; Akinwole et al., 2016; Dauda et al., 2019).

Na piscicultura, os peixes dependem de fontes externas de alimentos, principalmente rações comerciais (Pahlow et al., 2015). Parte significativa dessa ração pode se transformar em poluente no sistema de cultivo, uma vez que apenas 20 a 40% do alimento ingerido é convertido em biomassa corporal, os 60 a 80% restantes são excretados. Esses valores, no entanto, variam conforme a espécie cultivada, a formulação da ração, a estratégia alimentar adotada e as condições ambientais (Tucker; Agreaves, 2003; Brinker, 2009; Bureau; Hua, 2010; Baskaya et al., 2023; Yang et al., 2021). Schenome et al. (2011) relataram que efluentes de piscicultura apresentaram concentrações altas de amônia, nitrito, nitrato, condutividade e pH devido à alimentação dos peixes adicionada aos viveiros e talvez devido altos níveis de proteínas nas dietas. A decomposição microbiana dos restos das rações e fezes dos peixes usa oxigênio na respiração e emite dióxido de carbono, nitrogênio, fosfato e outras substâncias inorgânicas na água, podendo promover a eutrofização (Boyd, 2017).

Em viveiros escavados com sistema de água estática utilizados na piscicultura, é comum a aplicação de fertilizantes para estimular a produção primária e promover o desenvolvimento dos peixes (Emmanuel et al., 2014; Boyd, 2017; Wang et al., 2020). Tanto os fertilizantes quanto as rações possuem altos teores de nitrogênio e fósforo (Hejazy et al., 2023; Bernadi et al., 2016; Wang et al., 2020; Wang et al. 2013). Quando esses nutrientes são liberados em altas concentrações, podem ser considerados como poluentes, podendo aumentar os níveis de sólidos dissolvidos e sólidos totais na água do sistema. Além disso, o descarte desses poluentes, especialmente nitrogênio e fósforo, em corpos d'água naturais pode ocasionar impactos negativos aos organismos aquáticos ao degradar a qualidade da água (Boyd et al., 2000; Amirkolaie, 2011; Akinnawo, 2023).

A geração de poluentes em viveiros de engorda pode apresentar características distintas em relação aos viveiros destinados à manutenção de reprodutores. Nos viveiros de engorda, observa-se uma maior carga orgânica, resultante da elevada densidade de estocagem e da intensificação alimentar (Stanivuk et al., 2024). Já nos viveiros de reprodutores, apesar da

menor densidade populacional (Hainfellner et al., 2012), a produção de poluentes pode ocorrer, principalmente devido à utilização de rações com alto teor proteico e às exigências metabólicas associadas ao ciclo reprodutivo, embora em menor magnitude (Hamed et al., 2021; Ochokwu et al., 2015).

O nitrogênio é introduzido nos sistemas aquícolas predominantemente na forma de amônia ($\text{NH}_3 + \text{NH}_4^+$), que se apresenta em duas formas químicas na água: a não ionizada (NH_3) e a ionizada (NH_4^+) (Lananan et al., 2014; Rommozzi et al., 2020; Xue et al., 2021). A proporção da NH_3 e NH_4^+ é influenciada pelo valor de pH, e pela temperatura da água. O NH_3 , com forte solubilidade lipídica, pode-se difundir facilmente no sangue e nos tecidos dos peixes através das membranas celulares, apresentando maior toxicidade do que o NH_4^+ (Mangang; Pandey, 2021). A amônia na água da aquicultura se origina principalmente do metabolismo proteico dos organismos cultivados, restos de rações e excretas (Godoy et al., 2021; Wu et al., 2022; Edwards et al., 2024). Altas concentrações de amônia apresentam toxicidade significativa para os animais aquáticos, podendo interromper os sistemas antioxidantes e induzir estresse oxidativo (Zhang et al., 2018; Ching et al., 2009). Esse processo compromete a função imunológica dos organismos, aumentando sua suscetibilidade a doenças (Xiao et al., 2024; Li et al., 2014). Além disso, a amônia pode causar danos diretos a órgãos vitais, como o fígado, o baço e as guelras dos peixes, resultando em disfunções fisiológicas e, em casos mais graves, na mortalidade dos organismos (Wang et al., 2024).

Durante o processo de nitrificação, a amônia é oxidada por bactérias autotróficas, sendo convertida inicialmente em nitrito (NO_2^-) e, posteriormente, em nitrato (NO_3^-) (Kroupová et al., 2018). O NO_2^- atua como um composto intermediário no ciclo do nitrogênio, podendo interferir na atividade de enzimas antioxidantes em organismos aquáticos e comprometer suas funções imunológicas (Gao et al., 2020; Lin et al., 2018). Além disso, o NO_2^- pode converter a hemoglobina presente no sangue de animais aquáticos em metemoglobina, o que reduz sua capacidade de transportar oxigênio, resultando em hipoxia tecidual (Kroupová et al., 2018). A exposição a elevadas concentrações de NO_2^- pode enfraquecer o sistema imunológico, diminuir a resistência a doenças e prejudicar o crescimento e o desenvolvimento dos peixes (Miao et al., 2018; Gao et al., 2019). Na piscicultura, é recomendado que os níveis de NO_2^- se mantenham abaixo de 0,5 mg/L, a fim de evitar efeitos tóxicos e garantir o bem-estar e o desempenho produtivo da espécie (Junior et al., 2021).

O NO_3^- é o produto final da nitrificação, sendo a forma mais estável de nitrogênio inorgânico. Sua toxicidade para animais aquáticos geralmente é considerada baixa em comparação à amônia e ao nitrito (Van Bussel et al., 2012). No entanto, o NO_3^- representa uma

preocupação para a gestão da qualidade da água em sistemas de aquicultura (Rigin, 2013). A exposição crônica a concentrações elevadas ou mesmo moderadas de NO_3^- pode aumentar a vulnerabilidade dos peixes ao estresse por hipóxia, provocando alterações histopatológicas nas brânquias que comprometem a absorção de oxigênio (Davidson et al., 2011; Isaza et al., 2021; Rodgers et al., 2021).

Embora o fósforo (P) não apresente toxicidade direta aos peixes, pode afetá-los indiretamente ao comprometer a qualidade da água. Em concentrações elevadas, atua como agente eutrofizante, promovendo o crescimento excessivo de algas e cianobactérias. Esse processo reduz a transparência da água, prejudica a fotossíntese de macrófitas submersas e altera o equilíbrio ecológico (Silva et al., 2013). A decomposição da biomassa algal consome oxigênio dissolvido, podendo causar zonas hipóxicas, que dificultam a respiração dos peixes. Além disso, os íons fosfato (H_2PO_4^- e HPO_4^{2-}) afetam o equilíbrio ácido-base da água, reduzindo a alcalinidade e a capacidade tamponante, o que torna o sistema de cultivo mais vulnerável a variações de pH (Qiu et al., 2024; Mavraganis et al., 2020; Varol; Balci, 2020).

No contexto dos impactos ambientais, a liberação de efluentes da piscicultura, caracterizados por elevadas concentrações de nutrientes, sem tratamento prévio, intensifica o processo de eutrofização em corpos receptores naturais. Essa condição contribui para a redução dos níveis de oxigênio dissolvido, comprometendo a sobrevivência de peixes e demais organismos aquáticos (Li et al., 2011). Além disso, essa forma de poluição altera as propriedades físico-químicas da água, reduz a diversidade microbiana e estimula o crescimento excessivo da vegetação aquática, agravando a ocorrência de episódios de hipóxia (Kemp et al., 2009).

2. Referências Bibliográficas

- Ahmad, A.; Abdullah, S. R. S.; Hasan, H. A.; Othman, A. R.; Ismail, N. I. Aquaculture industry: Suplly and demand, best pratices, effluent and its current issues and treatment technology. **Journal of Environmental Managment**, v. 287, n. 112271, 2021.
- Amirkolai, A. K. Reduction in the environmental impacto f waste discharged by fish farms through feed and feeding. **Reviews in Aquaculture**, v.3, p. 19-26, 2011.
- Akinwole, A. O.; Dauda, A. B.; Olade, A. O. Haematological response of *Clarias gariepinus* juveniles reared in treated wastewater after waste solids removal using alum or *Moringa oleífera* seed powder. **International Journal of Acarology**, v. 6, p. 1-8, 2016.

Akinnwo, S. O. Eutrophication: Causes, consequences, physical, Chemical and biological techniques for mitigation strategies. **Environmental Challenges**, v. 12, n. 100733, 2023.

Boyd, C. E.; Queiroz, J.; LEE, J.; Rowan, M.; Whitis, G.; Bruto, A. Environmental assessment of channel catfish *Ictalurus punctatus* farming in Alabama (Article). **Journal of the World Aquaculture Society**, v. 31, p. 511-544, 2000.

Boyd, C. E. General Relationship Between Water Quality and Aquaculture Performance in Ponds. **Fish Diseases**, p. 147-166, 2017.

Brinker, A. Improving the mechanical characteristics of faecal waste in rainbow trout: the influence of fish size and treatment with a non-starch polysaccharide (guar gum). **Aquaculture Nutrition**, v. 15, p. 229-240, 2009.

Bureau, D.; Hua, K. Towards effective nutritional management of waste outputs in aquaculture, with particular reference to salmonid aquaculture operations. **Aquaculture Research**, v. 5, p. 777-792, 2010.

Dauda, A. B.; Ajadi, A.; Tola-Fabunmi, A. S.; Akinwole, A. O. Waste production in aquaculture: Sources, componentes and managements in diferente culture systems. **Aquaculture and Fisheries**, v. 4, p. 81-88, 2019.

Davidson, J.; Good, C.; Welsh, C.; Summerffelt, S. T. Abnormal swimming behavior and increased deformities in rainbow trout *Oncorhynchus mykiss* cultured in low exchange water recirculating aquaculture systems. **Aquacultural Engineering**, v. 45, p. 109-117, 2011.

Emmanuel, O.; Chinenye, A.; Oluwatobi, A.; Peter, K. Review of Aquaculture Production and Management in Nigeria. **American Journal of Experimental Agriculture**, v. 10, p. 1137-1151, 2014.

Dauda, A. B.; Akinwole, A. O. Evaluation of polypropylene and palm kernel shell as biofilter media for denitrification of fish culture wastewater. **NSUK JST**, v. 5, p. 207-213, 2015.

Dauda, A. B.; Akinwole, A. O.; Olatinwo, L. K. Biotenitrification of Aquaculture Wastewater at Different Drying Times in Water Reuse System. **Journal of Agriculture and Food Tecnology**, v. 4, p. 6-12, 2014.

Gao, X, Q.; FEI, F.; HUO, H. H.; HUANG, B.; MENG, X. S.; ZHANG, T.; LIU, B. Impact of nitrite exposure on plasma biochemical parameters and immune-related responses in *Takifugu rubripes*. **Aquatic Toxicology**, v. 218, n. 105362, 2020.

Hainfellner, P.; Souza, T. G.; Moreira, R. G.; Nakaghi, L. S. O.; Batlouni, S. R. Gonadal steroids levels and vitellogenesis in the formation of oocytes in *Prochilodus lineatus* (Valenciennes) (Teleostei: Characiformes). **Neotropical Ichthyology**, v. 10, p. 601-612, 2012.

Godoy, A. C.; Chiavelli, L. U. R.; Oxford, J. H.; Rodrigues, R. B.; Ferreira, I. O.; Marcondes, A. S.; Silva, C. A. H.; Neu, D. Evaluation of limnological dynamics in Nile tilapia farming tank. **Aquaculture and Fisheries**, v. 6, p. 485-494, 2021.

Hesni, M. A.; Hedayati, A.; Qadermarzi, A.; Pouladi, M.; Zangiabadi, S.; Naqshbandi, N. Using *Chlorella vulgaris* and iron oxide nanoparticles in a designed bioreactor for aquaculture effluents purification. **Aquacultural Engineering**, v. 90, n. 102069, 2020.

Jasmin, M. Y.; Isa, N. M.; Kamarudin, M. S.; Lim, K. C.; Karim, M. Evaluating *Bacillus flexus* as bioremediators for ammonia removal in shrimp culture water and wastewater and characterizing microbial communities in shrimp pond sludge. **Brazilian Journal of Microbiology**, v. 55, p. 529-536, 2024.

Kemp, W. M.; Testa, J. M.; Conley, D. J.; Gilbert, D.; Hagy, J. D. Keywords: Waste; Water quality; nitrogen compounds; Phosphorus; Environmental impacts. **Biogeosciences**, v. 6, p. 2985-3008, 2009.

Kroupová, H.; K.; Valentová, O.; Svobodová, Z.; Sauer, P.; Machová, J. Toxic effects of nitrite on freshwater organisms: a review. **Reviews in Aquaculture**, v. 10, p. 525-542, 2018.

Jenny, J. P.; Francisco, P.; Normandeau, A.; Lapointe, F.; Perga, M. E.; Ojala, A.; Schimmelmann, A.; Zolitschka, B. Global spread of hypoxia in freshwater ecosystems during the last three centuries is caused by rising local human pressure. **Global Change Biology**, v. 22, p. 1481-1489, 2016.

Junior, H.; L.; Gonçalves, V.; G.; F.; Nunes, V.; S.; Caldeira, T. M.; Maciel, C. V. L. Qualidade da água em produções de pescados da espécie tambaqui na agricultura familiar em Jaru/RO. **South American Sciences**, v. 1, p.1-17, 2021.

Lananan, F.; Hamid, S. H. A.; Din, W. N. S.; Ali, N.; Khatoon, H.; Jusoh, A.; Endut, A. Symbiotic bioremediation of aquaculture wastewater in reducing ammonia and phosphorus utilizing Effective Microorganism (EM-1) and microalgae (*Chlorella* sp.). **International Biodeterioration & Biodegradation**, v. 95, p. 127-134, 2014.

Mavraganis, T.; Constantina, C.; Kolygas, M.; Vidalis, K.; Nathanailides, C. Environmental issues of Aquaculture development. **Egyptian Journal of Aquatic Biology & Fisheries**, v. 24, p. 441-450, 2020.

Miao, L.; Lin, Y.; Pan, W. J.; Huang, X.; Ge, X. P.; Zhou, Q. L. Comparative transcriptome analysis reveals the gene expression profiling in bighead carp (*Aristichthys nobilis*) in response to acute nitrite toxicity. **Fish & Shellfish Immunology**, v. 79, p. 244-255, 2018.

Ochokwu, I. J.; Apollos, T. G.; Oshoke, J. O. Effect of Egg and Sperm Quality in Successful Fish Breeding. **Journal of Agriculture and Veterinary Science**, v. 8, p. 48-57, 2015.

Pahlow, M.; Oel, P. R.; Mekonnen, M. M.; Hoekstra, A. Y. Increasing pressure on freshwater resources due to terrestrial feed ingredients for aquaculture production. **Science of the total environment**, v. 536, p. 847-857, 2015.

Qiu, J.; Zhang, C.; LV, Z.; Zhang, Z.; Chu, Y.; Shang, D.; Chen, Y.; Chen, C. Analysis of changes in nutrient salts and other water quality indexes in the pond water for largemouth bass (*micropterus salmoides*) farming. **Heliyon**, v. 10, 2024.

Rijn, J. V. Waste treatment in recirculating aquaculture systems. **Aquacultural Engineering**, v. 53, p. 49-56, 2013.

Rosa, J.; Lemos, M. F. L.; Crespo, D.; Nunes, M.; Freitas, A.; Ramos, F.; Pardal, M. A.; Leston, S. Integrated multitrophic aquaculture systems – Potential risks for food safety. **Trends in Food Science & Technology**, v. 96, p. 79-90, 2020.

Romano, N.; Zeng, C. Toxic Effects of Ammonia, Nitrite, and Nitrate to Decapod Crustaceans: A Review on Factors Influencing their Toxicity, Physiological Consequences, and Coping Mechanisms. **Reviews in Fisheries Science**, v. 21, p. 1-21, 2013.

Rommozzi, E.; Giannakis, S.; Giovannetti, R.; Vione, D.; Pulgarin, C. Detrimental vs. beneficial influence of ions during solar (SODIS) and photo-Fenton disinfection of *E. coli* in water: (Bi)carbonate, chloride, nitrate and nitrite effects. **Applied Catalysis B: Environmental**, v. 270, n. 118877, 2020.

Rodgers, E.; M.; Opinion, A. G. R.; Isaza, D.; F.; G.; Raskovic, B. Double whammy: Nitrate pollution heightens susceptibility to both hypoxia and heat in a freshwater salmonid. **Science of the Total Environment**, v. 765, n° 142777, 2021.

Schenome, N. F.; Vackova, L.; Cirelli, A. F. Fish-farming water quality and environmental concerns in Argentina: a regional approach. **Aquaculture International**, v. 19, p. 855-863, 2011.

Stanivuk, J.; Nagy, L. B.; Gyalog, G.; Ardó, L.; Vitál, Z.; Plavsa, N.; Krstovic, S.; Fazekas, G. L.; Horvath, A.; Ljubobratovic, U. The rank of intensification factors strength in intensive pond production of common carp (*Cyprinus carpio* L.) **Aquaculture**, v. 583, n° 740584, 2024.

Van Bussel, C. G. J.; Schroeder, J. P.; Wuertz, S.; Schulz, C. The chronic effect of nitrate on production performance and health status of juvenile turbot (*Psetta maxima*). **Aquaculture**, v. 326-329, p. 163-167, 2012.

Xu, Z.; Cao, J.; Qin, W.; Mei, J.; X, J. Toxic Effects on Bioaccumulation, Hematological Parameters, Oxidative Stress, Immune Responses and Tissue Structure in Fish Exposed to Ammonia Nitrogen: A Review. **Animals**, v. 11, p. 1-19, 2021.

Varol, M.; Balci, M. Characteristics of effluents from trout farms and their impact on water quality and benthic algal assemblages of the receiving stream. **Environmental Pollution**, v. 266, n. 115101, 2020.

Wang, X.; Andresen, K.; Handá, A.; Jensen, B.; Reitan, K. I.; Olsen, Y. Chemical composition and release rate of waste discharge from a Atlantic salmon farm with an evaluation of IMTA feasibility. **Aquaculture Environment Interactions**, v. 4, p. 147-162, 2013.

Wang, X.; Cuthbertson, A.; Gualtieri C.; Shao, D. A Review on Mariculture Effluent: Characterization and Management Tools. **Water**, v. 12, p. 1-24, 2020.

Wang, S.; Lia, X.; Zhangb, M.; Qian, Y.; Li, E. miR-199-5p mediates the regulation of autophagy by targeting mTOR signaling and involvement in ammonia detoxification under ammonia stress in yellow catfish (*Pelteobagrus fulvidraco*). **Aquaculture**, v. 589, n° 740977, 2024.

WU, Y.; MA, H.; FU, D.; ZHU, H.; WANG, X.; REN, X. Growth, Nutrient Retention, Waste Output, and Antioxidant Capacity of Juvenile Triangular Bream (*Megalobrama terminalis*) in Response to Dietary Selenium Yeast Concentration. **Aquaculture Nutrition**, v.8, p. 1-8, 2022.

Yang, P.; Zhao, G.; Tong, C.; Tang, K. W.; Lai, D. Y. Assessing nutrient budgets and environmental impacts of coastal land-based aquaculture system in southeastern China. **Agriculture, Ecosystems & Environment**, v. 322, n. 107662, 2021.

3.CAPÍTULO 1

**Análise multivariada da geração de poluentes em viveiros escavados em sistema de água
estática para tambaqui (*Colossoma macropomum*) na Amazônia: comparação entre
viveiros para engorda e manutenção de reprodutores**

Segundo normas da revista “Aquaculture”

Análise multivariada da geração de poluentes em viveiros escavados em sistema de água estática para tambaqui (*Colossoma macropomum*) na Amazônia: comparação entre viveiros para engorda e manutenção de reprodutores

Manoel Henrique de Souza Neto^{a,b}, Gustavo Yomar Hattori^{b,c}, Rafael Yutaka Kuradomi^{a,b,c,*}

^a Programa de Pós-Graduação em Ciência e Tecnologia para Recursos Amazônicos, Instituto de Ciências Exatas e Tecnologia (ICET), Universidade Federal do Amazonas (UFAM), Itacoatiara, Amazonas, 69103-128, Brazil.

^b Instituto de Ciências Exatas e Tecnologia (ICET), Universidade Federal do Amazonas (UFAM), Itacoatiara, Amazonas, 69103-128, Brazil.

^c Programa de Pós-graduação em Ciência Animal e Recursos Pesqueiros (PPGCARP), Universidade Federal do Amazonas (UFAM), Manaus, Amazonas, 69067-005, Brazil.

*Corresponding author: Kuradomi, R.Y., e-mail: rkuradomi@ufam.edu.br

Resumo

Este estudo avaliou a qualidade da água e do sedimento de viveiros escavados em sistemas de água estática utilizados para a criação de tambaqui (*Colossoma macropomum*) nas fases de engorda e para manutenção de reprodutores na Região Metropolitana de Manaus. Amostras de água e sedimento foram coletadas em viveiros de engorda e de reprodutores para análise dos parâmetros: amônia total, amônia tóxica, nitrito, nitrato, fósforo, sólidos em suspensão totais, sólidos dissolvidos totais e sólidos totais. Os viveiros de engorda caracterizados por alta densidade de peixes e elevados níveis de ração, apresentaram concentrações de amônia total, fósforo total e sólidos dissolvidos totais acima dos limites regulamentares, indicando um acúmulo substancial de nutrientes no sedimento e na água. Em contraste, os viveiros de reprodutores, com densidades de peixes mais baixas e melhor manejo da alimentação, demonstraram maior estabilidade química da água e menor acúmulo de matéria orgânica. A Análise de Componentes Principais confirmou diferenças significativas entre os viveiros de engorda e manutenção dos reprodutores, revelando que práticas de manejo distintas impactam o ambiente de maneiras diferentes. Os resultados destacam a necessidade de adotar práticas de manejo sustentáveis na piscicultura para equilibrar a produtividade com a proteção ambiental. Recomenda-se o monitoramento contínuo da qualidade da água, a otimização das estratégias de alimentação, a implementação de sistemas biofiltração e o tratamento adequado de efluentes, a fim de mitigar os impactos negativos e promover uma produção aquícola mais responsável e ecologicamente correta. O estudo conclui que o aumento da produção de peixes em sistemas intensivos pode exacerbar esses desafios, exigindo soluções inovadoras para mitigar os impactos adversos no ambiente aquático e garantir a sustentabilidade a longo prazo.

Palavras-chave: Qualidade da água; Sedimento; Aquicultura; *Colossoma macropomum*; Impacto ambiental; Manejo sustentável

3.1.Introdução

A piscicultura é uma atividade econômica que tem crescido nos últimos anos em todo o mundo (Abdel-Hady et al., 2024; Ceballos-Conha et al., 2024; Dantas et al., 2022). No Brasil, de acordo com a Associação Brasileira de Piscicultura (PEIXE BR), no ano de 2024, a produção de peixes cultiváveis no país atingiu a marca de 968.745 toneladas, o que equivale um aumento de 9,21% em relação ao ano anterior (887.029 toneladas) (PEIXE BR, 2025). Além disso, a Organização das Nações Unidas para Agricultura e Alimentação-FAO (2024), preveem que a produção global de pescado pela aquicultura atinja a marca de 205 milhões de toneladas até o ano de 2032.

O tambaqui (*Colossoma macropomum*) é uma espécie de peixe de água doce, nativa da região amazônica, e está entre as espécies nativas mais cultivadas no Brasil (PEIXE BR, 2025). Seu destaque na piscicultura se deve a diversas características produtivas favoráveis, como o rápido crescimento, a capacidade de adaptação fisiológica e anatômica a ambientes com baixa concentração de oxigênio, a alta tolerância a densidades elevadas de estocagem e a forte aceitação no mercado, especialmente na região Norte, onde o consumo é tradicional e culturalmente consolidado (Castro et al., 2020; López et al., 2013; Assis et al., 2020). Além disso, trata-se de uma espécie onívora, o que favorece sua criação em diferentes sistemas de cultivo (Garcez et al., 2020).

Apesar do rápido crescimento da piscicultura como uma das principais atividades de produção animal, o setor ainda enfrenta desafios relacionados à poluição, que afetam a qualidade da água, a saúde dos peixes e a sustentabilidade do sistema (Henriksson et al., 2021). Na piscicultura, a liberação de excretas de peixes (urina, fezes e subprodutos metabólicos), restos de rações, peixes mortos, além de produtos químicos e medicamentos, podem contribuir para a alteração da qualidade da água e sedimentos do sistema de criação (Lallo et al., 2007; Hlordzi et al., 2020; Drózd et al., 2020; Ogunbanwo, 2022).

Os resíduos metabólicos dos peixes e os nutrientes exógenos provenientes da alimentação na piscicultura podem aumentar a carga de matéria orgânica, nitrogênio e fósforo na água (Zhang et al., 2025; Macedo & Sipaúba-Tavares, 2010; Rabassó & Hernández, 2015; Schenome, Vackova & Cirelli, 2011). Esse acúmulo compromete a qualidade da água, favorecendo o estresse e a ocorrência de doenças nos peixes. Além disso, quando as águas dos viveiros forem descartadas em corpos hídricos naturais, podem intensificar o processo de eutrofização e causar desequilíbrios ecológicos (Zhang et al., 2022; Henriksson et al., 2021; Ahmed & Turchini, 2021; Silva et al., 2023).

Na piscicultura, o sistema de água estática é caracterizado pela ausência de renovação contínua da água, ocorrendo apenas reposições ocasionais para compensar perdas por evaporação ou infiltração. A troca de água é realizada apenas em momentos específicos, para realizações de manutenções ou na despesca. Por não haver fluxo constante, há acúmulo de fezes, restos de ração e matéria orgânica. Assim, a manutenção da qualidade da água depende principalmente de processos naturais, como a fotossíntese, sedimentação e decomposição microbiana (Soderberg, 2017; Boyd; Tucker, 2014; Abdulkair et al., 2024). No entanto, a ausência de renovação da água pode levar ao acúmulo de matéria orgânica e nutrientes, comprometendo a qualidade do ambiente aquático e a saúde dos peixes.

A geração de poluentes nesses sistemas pode variar conforme o tipo de manejo adotado. Nos viveiros de engorda, a biomassa dos organismos aumenta gradualmente ao longo do tempo, o que leva a uma maior demanda por alimento e maiores densidades de estocagem são práticas comuns (Henares et al., 2011; Hossain et al., 2020; Silva; Fujimoto, 2015; Cecarrelí et al., 2000). A densidade de estocagem é um dos principais fatores do manejo que influenciam a qualidade da água (Oliveira et al., 2020). Com o aumento da densidade de peixes, os parâmetros da qualidade da água podem ser alterados de forma significativa, resultando em níveis mais baixos de oxigênio dissolvido, elevação nos níveis de CO₂ e amônia, além da redução do pH (Sundh et al., 2019). Em contrapartida, nos viveiros destinados à manutenção de reprodutores, a biomassa dos peixes permanece relativamente constante, assim como a quantidade de alimento fornecida, porém demandam dietas mais proteicas e energéticas. Além disso, nestes viveiros, são utilizadas baixas densidades de estocagem para garantir o bem-estar dos reprodutores (Batlouni et al., 2024). Devido às características de manejo serem diferentes entre esses viveiros, a geração de poluentes pode ser distinta.

Em ambos os sistemas de produção, a qualidade da água desempenha um papel fundamental no desempenho zootécnico e na sustentabilidade da atividade (Jaramillo et al., 2020; Salin, Ataguba, 2018). O acúmulo de poluentes como amônia, nitrito e fósforo pode causar estresse nos peixes, aumentar a susceptibilidade a doenças e até mesmo levar à mortalidade (Yussof et al., 2024; Zou et al., 2023; Strauch et al., 2019). Além disso, o lançamento de efluentes com alta carga de nutrientes pode causar a eutrofização de corpos hídricos receptores, comprometendo a biodiversidade e o ecossistema como um todo (Zhang et al., 2022; Riza et al., 2023). Diante desse cenário, torna-se imprescindível pesquisas e o monitoramento constante dos poluentes gerados em viveiros de engorda e manutenção de reprodutores em água estática. A identificação e a quantificação desses poluentes permitem a

adoção de medidas de manejo adequadas para mitigar os impactos negativos da atividade e garantir a sustentabilidade a longo prazo (Valenti et al., 2018).

O presente estudo teve como objetivo analisar a qualidade da água e o sedimento em viveiros escavados para piscicultura de água estática, comparando propriedades de produção de formas jovens (pós-larvas e juvenis) e de engorda de tambaqui. Através da aplicação de métodos adequado, busca-se identificar os principais fatores que influenciam a qualidade da água e o sedimento nesses sistemas e avaliar os riscos ambientais associados ao lançamento de efluentes. Os resultados deste estudo podem fornecer informações relevantes para as práticas de manejo mais sustentáveis e para a formulação de políticas públicas que visem a proteção dos recursos hídricos e o desenvolvimento da piscicultura nacional.

3.2. Material e Métodos

3.2.1 Área de estudo

O presente estudo foi realizado em fazendas de piscicultura situadas na Região Metropolitana de Manaus, no estado do Amazonas-Brasil, abrangendo especificamente os municípios de Itacoatiara, Rio Preto da Eva e Iranduba.

3.2.2 Caracterização das áreas de estudo

Neste estudo, foram analisados 10 viveiros, dos quais 5 destinados à manutenção de reprodutores (FHA) e 5 à engorda (FFF) de tambaqui (*Colossoma macropomum*). A seleção dos viveiros considerou o fato de que, durante o período de observação, não haveria entrada de pessoas nos tanques, evitando a suspensão de sedimentos e garantindo que a densidade de peixes permanecesse constante do início ao fim do estudo. Informações adicionais relacionadas ao manejo dos viveiros como área, densidade de estocagem, frequência alimentar, nível proteico da ração e renovação hídrica, foram obtidas com o objetivo de verificar se as concentrações de poluentes apresentam relação com essas variáveis estruturais e de produção.

3.2.3 Levantamento de dados climáticos das áreas de estudo

Os dados de temperatura mínima, média e máxima foram obtidos junto ao Instituto Nacional de Meteorologia (INMET). As temperaturas registradas na cidade de Manaus foram

utilizadas como referência para as fazendas situadas nos municípios de Rio Preto da Eva e Iranduba, devido à ausência de registros meteorológicos nessas localidades e à proximidade geográfica de Manaus em relação a elas.

Os dados de precipitação (média, máxima, precipitação total durante o experimento, quantidade de dias com precipitação durante o experimento) foram obtidos pelo INMET e pelo Mapa Interativo da Rede Observacional para Monitoramento de Risco de Desastres Naturais de Cemaden.

3.2.4 Coletas e análises das amostras de água

Para avaliar a presença de poluentes, foram realizadas duas coletas de água nos viveiros, com o objetivo de analisar os padrões temporais dos poluentes em um intervalo de 150 dias entre a primeira e a segunda coleta.

As amostras de água foram obtidas em um único ponto por viveiro, localizado próximo à margem, a uma profundidade de 5 cm, utilizando garrafas PET de 600 mL. Todas as coletas foram realizadas no mesmo horário, às 10h, e posteriormente transportadas em caixas térmicas com gelo reciclável para o Laboratório de Biologia e Produção de Organismos Aquáticos Amazônicos (LaBPOAA) do Instituto de Ciências Exatas e Tecnologia (ICET) para realização das análises. Os poluentes analisados foram: Amônia Total (TAN) mg/L, Amônia Tóxica (NH_3) mg/L, Nitrito (NO_2^-) mg/L, Nitrato (NO_3^-) mg/L, Fósforo Total (PT) mg/L, Sólidos Suspensos Totais (SST) mg/L, Sólidos Dissolvidos Totais (SDT) mg/L e Sólidos Totais (ST) mg/L. Além desses poluentes, as variáveis/condições ambientais como: Alcalinidade (CaCO_3) mg CaCO_3 /L, pH, Temperatura ($^{\circ}\text{C}$), Oxigênio Dissolvido (OD) mg/L e Condutividade Elétrica (CE) $\mu\text{S}/\text{cm}$ foram mensuradas.

Os poluentes como TAN, NH_3 , NO_2 e NO_3^- e PT foram identificados por meio do método fotolorimétrico, utilizando um fotolorímetro digital Acqua, da empresa Alfakit, e seguindo os procedimentos padrão descritos no manual do equipamento. Para cada análise, foram realizadas triplicadas, utilizando 5mL da amostra em cada replicata. Já os SST, SDT e ST foram determinados por gravimetria, conforme metodologia descrita por Standard Methods for the Examination of water and wastewater (APHA, AWWA; WEF, 2017).

A determinação da CaCO_3 foi realizada por meio de titulação, utilizando seringas previamente calibradas. As análises foram realizadas em triplicata para cada amostra,

utilizando-se 10 mL de amostra em cada ensaio, conforme as instruções descritas no manual da Alfakit.

O pH, temperatura, OD e CE foram aferidos *in loco* no horário das 10 horas da manhã em todos os viveiros, por meio de Sonda Multiparâmetros da marca AKSO, modelo AK88, pois concentrações elevadas de poluentes (nitrogênio, fósforo, material em suspensão, dissolvidos e totais) interferem nessas variáveis da água.

3.2.5 Coletas e análises das amostras de sedimentos

Para avaliar a presença de poluentes, foram realizadas duas coletas de sedimentos do fundo dos viveiros, com o objetivo de analisar os padrões temporais dos poluentes em um intervalo de 150 dias entre a primeira e a segunda coleta.

A coleta de sedimentos de cada viveiro foi realizada utilizando um coletor simplificado (Tubo de PVC com 1,0 m de comprimento e 70 cm de diâmetro) conforme metodologia adaptada de Boyd et al (1999). Uma amostra composta foi obtida por coletas de seis amostras únicas na área do fundo do viveiro (Coldebella et al., 2020). Para cada amostra foram coletados 100g de sedimento, totalizando 600g por viveiro, onde foram homogeneizadas e colocados em sacos plásticos. No laboratório as amostras foram armazenadas em congelador.

Para realizar as análises dos sedimentos foi utilizado a metodologia proposta por Zhao et al. (2018) com adaptações. As amostras de sedimentos foram secas em estufa a uma temperatura entre 50 a 65°C por 1 hora. Em seguida, foram retirados 3g de sedimento seco de cada amostra e adicionado 300mL de água deionizada, realizando-se as análises em triplicata para cada amostra (3g/amostra, totalizando 9g por viveiro). Após agitação manual por 1 minuto e sedimentação por 5 minutos, a sobrenadante foi transferida cuidadosamente para outro béquer. A sobrenadante foi analisada utilizando o mesmo método empregado na análise da água. Para determinar as concentrações de TAN (mg/kg), NO_2^- (mg/kg), NO_3^- (mg/kg), PT (mg/kg), foi utilizado um fotocolorímetro digital Acqua da empresa Alfakit. Em cada análise, 5 mL da sobrenadante foram analisados, conforme especificações descritas no manual do fabricante. A preparação das amostras seguiu rigorosamente os procedimentos descritos pelo fabricante.

3.2.6 Enquadramento Legal

Os resultados da segunda amostragem, referentes aos poluentes TAN, NO_2^- , NO_3^- , PT e SDT, foram comparados com os valores de referência estabelecidos pelas resoluções do

Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA) nº 357/2005 e nº 430/2011 e pelas Resoluções Estaduais como a SEDEST nº 42/2021, do estado do Paraná, e COEMA nº 09/2021, do estado do Ceará. Os resultados da segunda amostragem foram utilizados para comparação, pois, após essa coleta, estava prevista a retirada dos peixes. Nesse processo, conforme os piscicultores locais, uma pequena parte da água é removida intencionalmente para facilitar a captura dos animais, o que resulta no lançamento dessa água no meio ambiente.

A Resolução CONAMA nº 357/2005 estabelece a classificação dos corpos hídricos, define diretrizes para seu enquadramento e determina os padrões de qualidade da água. Essa resolução foi adotada no presente estudo por estabelecer parâmetros de qualidade da água aplicáveis a cursos d'água de classe II, os quais podem ser destinados a atividades de aquicultura.

Já a Resolução CONAMA nº 430/2011, foi utilizada por dispor, no âmbito nacional, sobre as condições e padrões de lançamento de efluentes. Dentre os padrões estabelecidos, a referida resolução limita apenas a concentração máxima de TAN, sem abordar os demais poluentes analisados no presente estudo.

Em contrapartida, a Resolução COEMA nº 09/2021 estabelece as condições e padrões para o lançamento de efluentes da atividade de aquicultura no estado do Ceará, além de outras providências. Já a Resolução SEDEST nº 42/2021 define normas, critérios e diretrizes para o licenciamento ambiental e a outorga de uso de recursos hídricos em empreendimentos e atividades de aquicultura e maricultura no estado do Paraná. Ambas oferecem uma abordagem mais específica sobre efluentes de tanques de criação de peixes e, por isso, foram utilizadas para fins comparativos com os resultados do presente estudo. Vale destacar que a escolha dessas resoluções estaduais se justifica pela ausência de uma legislação específica no estado do Amazonas sobre lançamentos de efluentes da aquicultura, sendo as resoluções estaduais as únicas que tratam do tema de forma específica no Brasil.

3.2.7 Análise dos Dados

Para investigar os padrões multivariados, foi realizada uma Análise de Componentes Principais (PCA). Essa abordagem estatística multivariada permite a redução da dimensionalidade dos dados de qualidade da água, sedimentos, ambientais, produtivos e climáticos, identificar os eixos principais de variação e as correlações entre as variáveis envolvidas no sistema aquícola.

A matriz de dados utilizada na PCA foi composta por variáveis contínuas obtidas nas duas campanhas de amostragem realizadas em viveiros FFF e FHA. Para os poluentes e variáveis da qualidade da água e do sedimento foram utilizados os valores de diferença (delta) entre as duas coletas, de modo a evidenciar a variação temporal de cada variável em resposta ao manejo e às condições ambientais. Entre os poluentes e variáveis/condições ambientais incluídas na análise, destacaram-se as concentrações diferenciais de TAN (para água e sedimento), NH_3 (água), NO_2^- (água e sedimento), NO_3^- (água e sedimento), PT (água e sedimento), SST, SDT e ST (água), pH, CaCO_3 , OD e CE (água). Variáveis produtivas foram ainda consideradas, como densidade de estocagem (indivíduos/m²), quantidade total de ração fornecida (kg), teor de proteína bruta da ração (%), além da área útil dos viveiros (m²) e dados climáticos, incluindo temperatura mínima, média e máxima (°C), bem como a precipitação total acumulada (mm) e o número de dias com precipitação (dias) durante o intervalo entre as amostragens. A seleção dos componentes principais foi baseada no critério de Kaiser, considerando-se apenas aqueles com autovalores superiores a 1, e a interpretação foi fundamentada nas cargas fatoriais (coeficientes de correlação das variáveis com os componentes).

Todas as análises estatísticas foram conduzidas utilizando o R (versão 4.5.0 - R Core Team, 2025) no ambiente R Studio. Em todas as análises, $P < 0,05$ foi considerado significativo.

3.3. Resultado

3.3.1 A presença de poluentes em água e sedimentos dos viveiros de engorda e reprodutores

As análises realizadas nas águas dos FFF e FHA foram identificados a presença de TAN, NH_3 , NO_2^- , NO_3^- , PT, SST, SDT e ST em ambas as campanhas amostrais (Tabela 1 e 2).

Nas duas campanhas de coleta foi possível identificar variações expressivas nas concentrações dos poluentes entre os viveiros de FFF e de FHA. No FFF, observou-se incremento de TAN, cuja média passou de 0,83 mg/L na primeira coleta para 2,45 mg/L na segunda, acompanhado de um aumento significativo da NH_3 , que variou de 0,03 mg/L para 1,05 mg/L. Nos FHA, TAN apresentou redução (3,69 - 1,57 mg/L), entretanto, NH_3 também se elevou de forma consistente (0,19 - 0,73 mg/L). Paralelamente, os compostos nitrogenados como NO_2^- e NO_3^- , apresentaram elevação em ambos os sistemas. O PT apresentou comportamento contrastante, com aumento médio no FFF (0,26 - 0,53 mg/L) e redução no FHA (0,22 - 0,09 mg/L) (Tabela 1 e 2).

No que se refere aos sólidos, verificou-se acréscimo substancial, sobretudo nos FFF. Os SST apresentaram aumento expressivo nos FFF, elevando-se de 466 mg/L para 1058 mg/L, enquanto no FHA a variação, embora menos acentuada, também foi relevante (93,4 - 493 mg/L). Tendência semelhante foi observada SDT e ST, os quais se mostraram mais elevados na segunda coleta. Já os FHA, também apresentaram aumento de SDT e ST na segunda amostragem (Tabela 1 e 2).

As amostras de sedimento dos fundos dos viveiros também apresentaram a presença de TAN, NO_2^- e NO_3^- , PT (Tabela 3 e 4).

Nos sedimentos observou-se que houve variações relevantes nas concentrações médias dos poluentes analisados. A TAN, por exemplo, apresentou um aumento expressivo nos FFF entre a primeira e a segunda coleta, passando de 732,9 g/kg para 1789 g/kg, enquanto nos FHA ocorreu o inverso, com redução de 1636 g/kg para 1176 g/kg. O NO_2^- também mostrou variações amplas, especialmente nos FFF, onde os valores médios saltaram de 83,3 g/kg para 240,5 g/kg (Tabela 3 e 4).

No caso do NO_3^- , observou-se tendência de redução nos FFF, com valores médios passando de 1723 g/kg na primeira coleta para 1592 g/kg na segunda, ao passo que nos FHA as concentrações mantiveram-se relativamente estáveis, variando de 1737 g/kg para 1689 g/kg. O PT também apresentou oscilações relevantes entre as coletas, com aumento médio nos FFF (de 71,0 g/kg para 88,6 g/kg) e redução nos FHA (de 134 g/kg para 107,3 g/kg) (Tabela 3 e 4).

3.3.2 Enquadramento Legal

As análises realizadas nos viveiros FFF e FHA indicaram concentrações de TAN superiores aos limites estabelecidos pela Resolução nº 357/2005 para padrões de qualidade da água para corpos d'água da Classe II. De acordo com a resolução, a concentração máxima permitida de TAN para corpos d'água com pH superior a 8,5 é de 0,5 mg/L. Nos viveiros FFF, foi registrada uma concentração média de 2,45 mg/L, enquanto nos viveiros FHA a média foi de 1,57 mg/L (Tabela 2).

Quanto ao NO_2^- , as concentrações médias nos viveiros FFF e FHA estavam dentro dos limites estabelecidos pela Resolução CONAMA 357/2005, que define um valor máximo de 1,0 mg/L para esse poluente. Nos viveiros FFF, a concentração média foi de 0,15 mg/L, e nos FHA, 0,29 mg/L (Tabela 2).

No entanto, as concentrações médias de SDT ultrapassaram o limite de 500 mg/L estabelecido pela mesma resolução. Nos viveiros FFF, a concentração média foi de 1580 mg/L, enquanto nos FHA foi de 606 mg/L (Tabela 2).

Em relação ao PT, os viveiros FFF e FHA apresentaram valores médios acima do limite recomendado para ambientes lênticos, que é de 0,030 mg/L. Nos viveiros FFF, a concentração média foi de 0,53 mg/L, e nos FHA, de 0,09 mg/L (Tabela 2).

Em relação ao lançamento de efluentes, a concentração média de TAN nos viveiros FFF e FHA ficou abaixo do limite máximo estabelecido pelas Resoluções nº 430/2011, SEDEST nº 42/2021 e COEMA nº 09/2021, que é de 20 mg/L. Por outro lado, no caso do PT, a concentração média nos FFF superou o limite recomendado pela SEDEST nº 42/2021, que é de 0,50 mg/L. As demais resoluções não estabelecem padrão para PT. Em contrapartida, as concentrações médias de NO_2^- e NO_3^- nos viveiros FHA e FFF ficaram abaixo dos valores máximos estipulados pela COEMA nº 09/2021, que são 10 mg/L para NO_2^- e 1 mg/L para NO_3^- .

Por fim, ressalta-se que outros parâmetros, como aqueles relacionados à matéria orgânica, sólidos, metais, óleos e graxas, além de indicadores de contaminação de origem fecal, também possuem limites definidos pelas normativas estaduais. Contudo, tais parâmetros não foram objeto do presente estudo.

3.3.3 Análise de Componentes Principais (PCA)

A PCA foi aplicada a um conjunto de 29 variáveis, resultando em nove componentes, dos quais sete apresentaram autovalores superiores a 1, explicando 96,2% da variância total. As análises focaram nesses sete componentes, especialmente nos cinco primeiros (PC1 a PC5), que representaram 85,8% da variância e foram usados nos biplots e no heatmap das cargas fatoriais.

Os biplots da Figura 1 evidenciam a separação entre os grupos FFF e FHA, com maior distinção ao longo do PC1, responsável por 36,9% da variância. Foram analisadas quatro combinações entre os cinco primeiros componentes (PC1 vs. PC2, PC3, PC4 e PC5), embora o número limitado de unidades por grupo possa limitar a generalização dos padrões observados.

Neste sentido, no PC1 vs. PC2, no quadrante superior-esquerdo ($\text{PC1} < 0$, $\text{PC2} > 0$), destacam-se valores elevados de MaxPrec (-0,9741), AvePrec (-0,9678), TotPrec (-0,9697), Número_de_Dias_de_Prec (-0,9805), $\Delta_{\text{TAN_Ag}}$ (-0,6896), $\Delta_{\text{NO}_3^-_{\text{Ag}}}$ (-0,8747), $\Delta_{\text{PT_Ag}}$ (-0,7695) e Densidade_de_estocagem (-0,6077), negativos em PC1, e de $\Delta_{\text{NO}_3^-_{\text{Sed}}}$ (0,7651), $\Delta_{\text{TAN_Sed}}$ (0,7269), Δ_{CE} (0,7880) e Área_viveiro (0,7802), positivos em PC2.

No quadrante superior-direito ($PC1 > 0$, $PC2 > 0$) predominam MinTemp (0,9441), MaxTemp (0,9013), Δ _Temperatura (0,5910) e Proteína_Bruta (0,6630), positivos em PC1, mantendo as correlações positivas em PC2. No inferior-esquerdo ($PC1 < 0$, $PC2 < 0$), destacam-se Δ _pH (-0,6892) e Δ _NH₃_Ag (-0,6220) como negativos em PC2. No inferior-direito ($PC1 > 0$, $PC2 < 0$), os valores seguem os padrões descritos para PC1 e PC2.

Quanto à dispersão, os viveiros FFF concentram-se em PC1 negativo, indicando maior precipitação, densidade de estocagem e nutrientes na água. Há dispersão moderada em PC2, mostrando variação em Δ _NO₃⁻_Sed, Δ _TAN_Sed, Δ _CE, Área_viveiro, Δ _pH e Δ _NH₃_Ag. Já os viveiros FHA se agrupam em PC1 positivo, exceto um que ficou negativo junto aos FFF, com maior MinTemp, MaxTemp, Δ _Temperatura e Proteína_Bruta. A dispersão em PC2 é mais compacta, sugerindo homogeneidade em nutrientes e área de viveiro.

No PC1 vs. PC3, no quadrante inferior-esquerdo ($PC1 < 0$, $PC3 < 0$) destaca-se Δ _ST (-0,4816) negativo em PC3, junto aos valores negativos em PC1. No superior-esquerdo ($PC1 < 0$, $PC3 > 0$) aparecem Δ _SST (0,9469), Δ _NO₂⁻_Ag (0,6668), Δ _SDT (0,5752), Δ _OD (0,5755) e Densidade_de_estocagem (0,5425) positivos em PC3, além dos negativos em PC1. Os quadrantes direito seguem os padrões já descritos.

A dispersão mostra FFF distribuídos amplamente em PC3, principalmente em negativos, refletindo variações em Δ _SST, Δ _NO₂⁻_Ag, Δ _SDT, Δ _OD e Densidade_de_estocagem, enquanto a maioria apresenta Δ _ST elevado. Os FHA ficam próximos a zero em PC3, indicando menor variabilidade interna.

No PC1 vs. PC4, no quadrante inferior-esquerdo ($PC1 < 0$, $PC4 < 0$) destacam-se Δ _CaCO₃ (-0,7410) e Tempo_sem_renovação (-0,7662) negativos em PC4. No superior-esquerdo ($PC1 < 0$, $PC4 > 0$) aparecem Δ _PT_Sed (0,7086) e Δ _TAN_Sed (0,4969) positivos em PC4, junto aos negativos de PC1. Os quadrantes direito seguem os padrões descritos.

A dispersão evidencia FFF distribuídos simetricamente em PC4 próximo a zero, mostrando equilíbrio em Δ _CaCO₃, Tempo_sem_renovação, Δ _PT_Sed e Δ _TAN_Sed. Já os FHA se concentram mais em PC4 negativo, com maior Δ _CaCO₃ e Tempo_sem_renovação.

No PC1 vs. PC5, no quadrante inferior-esquerdo ($PC1 < 0$, $PC5 < 0$) sobressaem Δ _NO₂⁻_Sed (-0,4395) negativos em PC5. No superior-esquerdo ($PC1 < 0$, $PC5 > 0$) aparecem AveTemp (0,7816) e Δ _ST (0,4316) positivos em PC5. Os quadrantes direito mantêm os padrões já descritos.

A dispersão mantém a separação em PC1. Os FFF apresentam ampla variação em PC5, principalmente negativa, refletindo maior temperatura média, ST e NO₂⁻ no sedimento. Os FHA se concentram em PC5 negativo, mas com valores positivos menores que os FFF.

O heatmap de cargas fatoriais (Figura 1) mostra as correlações entre 29 variáveis e os cinco primeiros componentes principais (PC1 a PC5). As correlações variam de -1 (forte negativa) a +1 (forte positiva), sendo valores próximos a 0 indicativos de pouca ou nenhuma associação. A escala de cores vai de vermelho (correlações negativas) a azul (correlações positivas), com branco representando correlações próximas de zero.

Por fim, a PCA permitiu identificar diferenças claras entre os sistemas FFF e FHA quanto às condições ambientais, operacionais e ao desempenho produtivo. Essas distinções estão sintetizadas na Tabela 5.

3.4 Discussão

A aquicultura tem apresentado crescimento significativo impulsionado pela crescente demanda por pescado (Bjorndal; Dey; Tusvik, 2024). No entanto, a intensificação dessa atividade pode gerar impactos ambientais, como poluição hídrica e degradação de ecossistemas aquáticos (Ahmad et al., 2021; Ahmad et al., 2022). A descarga de efluentes não tratados contribui para eutrofização, desequilíbrios ecológicos e riscos à saúde humana (Kotta et al., 2020; Wang et al., 2021). Nesse cenário, os resultados obtidos no presente estudo, realizados em viveiros de tambaqui sob sistema de água estática na Região Metropolitana de Manaus, confirmam a tendência de acúmulo de compostos nitrogenados, fósforo e sólidos, um padrão já descrito na literatura para sistemas de aquicultura sem renovação hídrica (Barroncas et al., 2015; Hargreaves; Tucker, 2003; Diana, 2009; Turlybek et al., 2025). Esses achados reforçam a urgência de se implementar estratégias de mitigação ambiental adaptadas às condições específicas da região.

A PCA evidenciou padrões de associação entre as variáveis ambientais e os poluentes na água e nos sedimentos, possibilitando a diferenciação clara entre os sistemas produtivos FFF e FHA. Essa abordagem multivariada permitiu identificar as variáveis mais influentes, ressaltando a importância de uma avaliação integrada na gestão da sustentabilidade aquícola.

As 29 variáveis selecionadas para a análise foram escolhidas com base em sua relevância ecológica, operacional e ambiental, buscando representar os principais fatores físico-químicos, climáticos e de manejo que influenciam a qualidade ambiental dos viveiros. A inclusão de variáveis foi fundamentada em evidências da literatura que associam as variáveis selecionadas à produtividade e os impactos ambientais (Boyd et al., 2017; Diana, 2009; Hargreaves; Tucker, 2003).

Sendo assim, os viveiros FFF apresentaram um perfil intensivo e heterogêneo, justificado por terem agrupados predominantemente no quadrante negativo de PC1, indicando forte associação com um conjunto de variáveis indicativas de sistemas de produção intensiva, com maior sensibilidade ambiental e heterogeneidade operacional. Em relação ao clima e precipitação: altos valores de MaxPrec, AvePrec, TotPrec e número de dias com precipitação, todos fortemente correlacionados negativamente com PC1, sugerem que os viveiros FFF operam em ambientes sujeitos a maior pluviosidade, o que pode intensificar o aporte de nutrientes por meio da lixiviação e do escoamento superficial (Tabrett et al., 2024; Barbosa et al., 2024; Karmakar et al., 2022).

Por outro lado, viveiros FHA agruparam-se majoritariamente no quadrante positivo de PC1, caracterizando um perfil mais estável, extensivo e homogêneo. Em relação ao clima e precipitação, tiveram correlações positivas com MinTemp, MaxTemp, AveTemp e Δ _Temperatura, indicando viveiros expostos a maior regime térmico, mas com padrão climático mais uniforme e previsível, sugerindo localização em regiões mais quentes e menor influência de precipitação (input de água mais gelada).

Em relação a qualidade da água nos viveiros FFF, apresentaram elevadas correlações negativas com Δ _Amônia_total, Δ _Nitrato_Ag e Δ _Fósforo_Ag, que indicam aumento desses nutrientes na água ao longo do ciclo, o que pode refletir acúmulo de matéria orgânica, resíduos alimentares e excretas dos peixes (Yang et al., 2024; Yusoff et al., 2024; Yang et al., 2021).

Nos viveiros FHA, alta alcalinidade (Δ _Alcalinidade), longo tempo sem renovação (Tempo_sem_renovação) e menor correlação com variáveis como Δ _Nitrato_Ag, Δ _Amônia_Total e Δ _Fósforo_Sed indicam baixa carga orgânica acumulada, refletindo práticas de manejo menos intensivas e maior estabilidade química (Mansour et al., 2022; Tawaha et al., 2021; Yildiz et al., 2017). Isso sugere um sistema de água mais estável quimicamente, com menor renovação hídrica e tendência à estabilização do ambiente bentônico, o que é desejável para a manutenção de reprodutores sensíveis a flutuações ambientais (Victoriano et al., 2025; Mingaud et al., 2013). Além disso, a alta alcalinidade presente nos viveiros FHA confere à água uma maior capacidade de tamponamento, contribuindo para essa estabilidade química (Bhat et al., 2025).

Corroborando esse cenário, a menor variabilidade em sólidos (Δ _SST, Δ _SDT) e oxigênio dissolvido (Δ _Oxigênio_Dissolvido) nos viveiros FHA indica condições mais controladas (Boyd et al., 2017; Zhang et al., 2011). Essas condições são essenciais para reprodutores, pois altas concentrações de SST podem prejudicar o desenvolvimento das

gônadas e interromper as funções endócrinas dos peixes, levando à redução da fecundidade e a anomalias reprodutivas (Bhat et al., 2025; Wei et al., 2021).

Menores concentrações de compostos nitrogenados em sistemas com menor renovação hídrica, como os viveiros FHA, também foram observados por Abdulkadir et al. (2024), que relataram que a permanência prolongada da água favorece o crescimento de comunidades bacterianas, que utilizam o nitrogênio presente nos resíduos, convertendo-o e mantendo suas concentrações em níveis reduzidos.

Já em relação ao manejo e produção nos viveiros FFF, a associação com alta densidade de estocagem e variabilidade em Δ _Oxigênio_Dissolvido, Δ _Nitrito_Ag, Δ _SDT e Δ _SST sugere um manejo intensivo, com possíveis impactos como estresse, o que leva a uma diminuição na taxa de crescimento dos peixes e na utilização de alimentos, devido à flutuação da qualidade da água e elevadas densidades de estocagem (Ali et al., 2022; Lehto, 2023; Chambel et al., 2015).

Maiores densidades de estocagem em viveiros apresentam reduções de oxigênio dissolvido, o que pode ser atribuído ao aumento do consumo de oxigênio pela biomassa dos peixes para processos metabólicos, além de maior carga orgânica, que demanda oxigênio para os processos de oxidação (Ananias et al., 2025; Liu et al., 2016; Maucieri et al., 2019).

Quanto ao manejo nutricional nos FHA, com dietas ricas em proteína bruta (Proteína_Bruta), atende as exigências dos reprodutores, no qual é essencial para a saúde reprodutiva e a qualidade dos gametas e proles (Xiong et al., 2022; Engdaw; Geremew, 2024; Oliveira et al., 2014). As baixas densidades de estocagem adotadas nos FHA, é crucial para o bem-estar dos reprodutores, como já observados na literatura (Henares et al., 2011; Hainfellner et al., 2012).

A ampla dispersão dos FFF entre os eixos PC2 a PC5 indica elevada heterogeneidade intra-grupo, o que pode estar relacionado a diferenças na área dos viveiros, condutividade da água, tempo sem renovação, alcalinidade e condições do sedimento (Δ _Nitrito_Sed, Δ _Amônia_Total_Sed, Δ _Fósforo_Sed), possivelmente decorrentes de infraestruturas distintas e práticas de manejo variadas (Hlavac et al., 2014; Nathanailides et al., 2023; Silva et al., 2023).

As variações nos níveis de nitrogênio e fósforo nos sedimentos também podem ser atribuídas às diferentes densidades de estocagem e à oferta de ração entre os FFF. Viveiros com maior número de peixes e alimentação intensiva acumulam mais resíduos orgânicos, como fezes e sobras de ração, elevando as concentrações desses nutrientes no fundo (El-Hack et al., 2022; Wanja et al., 2020). Além disso, o tamanho dos viveiros influencia diretamente essa dinâmica: estudos apontam que viveiros maiores tendem a apresentar maiores concentrações

de nutrientes no sedimento devido ao aumento da escala produtiva e da carga orgânica gerada (Coldebella et al., 2020).

Altas concentrações de fósforo e amônia comprometem a qualidade da água, afetando a saúde dos peixes e contribuindo para a eutrofização e o crescimento excessivo de algas e plantas aquáticas. Isso reduz o oxigênio dissolvido, podendo levar à morte de organismos (Demeke et al., 2016; Lia et al., 2023; Haque et al., 2021). A amônia, em níveis elevados, é tóxica para os peixes, prejudicando seus sistemas respiratório e imunológico, tornando-os mais vulneráveis a doenças e parasitas (Sun et al., 2024; Cao et al., 2024). A Resolução CONAMA nº 357/2005 estabelece os padrões de qualidade da água conforme a classe dos corpos hídricos, e as águas dos viveiros de piscicultura são classificados como classe II (destinados a aquicultura). No entanto, é importante destacar que a água dos viveiros já sofre a influência do manejo adotado, o que pode comprometer sua qualidade. Assim, os resultados deste estudo apontam que as águas dos viveiros não atendem aos padrões de qualidade de água podendo ocasionar possíveis impactos negativos aos peixes. Além disso, as Resoluções CONAMA nº 430/2011, SEDEST nº 42/2021 e COEMA nº 09/2021 impõem limites para o lançamento de efluentes em corpos hídricos, visando proteger a qualidade da água e os ecossistemas aquáticos. Contudo, os viveiros de engorda de tambaqui na Região Metropolitana de Manaus ultrapassaram o valor de referência para fósforo total, não estando em conformidade com a resolução SEDEST nº 42/2021, o que pode representar riscos para o meio ambiente, especificamente quando se trata do processo de eutrofização (Vries et al., 2021).

Diante disso, é importante destacar algumas limitações do estudo, que pode influenciar principalmente as interpretações da PCA. O número limitado de amostras por grupo pode restringir a generalização dos padrões observados, e a variabilidade climática durante o período de coleta não foi controlada, o que pode ter impactado as concentrações de poluentes e outras variáveis ambientais, como oxigênio dissolvido e pH. Além disso, a ausência de monitoramento contínuo pode ter deixado de registrar flutuações diárias importantes. A heterogeneidade observada entre os viveiros também pode ser atribuída a diferenças nas estruturas e práticas de manejo, incluindo o tamanho dos viveiros, tempo de renovação da água e densidade de estocagem, especialmente nos sistemas mais intensivos. Contudo, esses achados refletem as condições reais das pisciculturas em operação na região Amazônica.

3.5. Conclusão

A Análise de Componentes principais revelou diferenças importantes entre os viveiros FFF e FHA. Essas diferenças estão associadas às distintas práticas de manejo adotadas, que podem influenciar diretamente na geração de poluentes e os impactos ambientais gerados por cada sistema. Os viveiros de FFF apresentaram concentrações elevadas de fósforo total acima do permitido pela legislação, exigindo o tratamento prévio dos efluentes, a fim de evitar a degradação dos corpos hídricos receptores. No entanto, os viveiros FHA apresentaram maior estabilidade química e menor acúmulo de nutrientes, em razão do manejo voltado à manutenção de reprodutores e da menor densidade de estocagem. Diante disso, recomenda-se o monitoramento contínuo da qualidade da água, o uso de rações de alta digestibilidade, a implementação de sistemas de aeração e biofiltração, além da adoção de tecnologias de tratamento de efluentes, como tanques de sedimentação e filtros biológicos. Tais medidas são fundamentais para mitigação dos efeitos ambientais e promover uma aquicultura mais responsável e sustentável. Essa necessidade se intensifica com o avanço dos sistemas intensivos de produção, que podem ampliar os problemas ambientais caso não sejam adotadas soluções eficazes de mitigação.

Declaração de Interesse Conflitantes

Os autores declaram que não houve conflitos de interesse que pudessem prejudicar a imparcialidade da pesquisa relatada.

Disponibilidade de dados

Todos os dados estão disponíveis mediante solicitação dos autores.

Agradecimentos

This study was supported by the Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES) grant number finance code 001 and Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado do Amazonas (FAPEAM). The Neto-Souza, M.H. acknowledges FAPEAM for awarding scholarship, and the Kuradomi, R.Y. for the research productivity grant awarded. The Instituto de Ciências Exatas e Tecnologia (ICET) from the Universidade Federal do Amazonas (UFAM).

Programa de Pós-Graduação em Ciências e Tecnologia para Recursos Amazônicos (PPGCTRA) do ICET da UFAM.

Referências

Ahmed, P.; Turchini, G. M. Recirculating aquaculture systems (RAS): Environmental solution and climate change adaptation. **Journal of Cleaner Production**, v. 297, n. 126604, 2021.

Ahmad, A.; L.; Chin, J. Y.; Harun, M. H. Z.; Low, S. C. Environmental impacts and imperative technologies towards sustainable treatment of aquaculture wastewater: A review. **Journal of Water Process Engineering**, v. 46, n. 102553, 2022.

Adedeji, A. A. Effects of Aquacultural Practices on the Sediment Characteristics of Certain Type of Earthen Fishponds. **Journal of Limnology and Freshwater Fisheries Research**, v.7, p. 138, 149, 2021.

Amirkolaie, A. K. Reduction in the environmental impact of waste discharged by fish farms through feed and feeding. **Reviews in Aquaculture**, v.3, p. 19-26, 2011.

Ahmad, A.; Abdullah, S. R. S.; Hasan, H. A.; Othman, A. R.; Ismail, N. I. Aquaculture industry: Supply and demand, best practices, effluent and its current issues and treatment technology. **Journal of Environmental Management**, v. 287, n. 112271, 2021.

Akinnawo, S. O. Eutrophication: Causes, consequences, physical, chemical and biological techniques for mitigation strategies. **Environmental Challenges**, v. 12, n. 100733, 2023.

Abdel-Hady, M. M.; El-Karashily, A. F.; Salem, A. M.; Haggag, S. Sustainable fish production in Egypt: towards strategic management for capture-based aquaculture. **Aquaculture International**, v. 32, p. 6381-6406, 2024.

Abdulkadir, A.; Abubakar, M. I.; Abdulkadir, O. J.; Fawole, F. J.; Temporal patterns of physicochemical and bacteria profiles of static aquaculture systems: insights into health hazards for fish and the public. **Ecological Frontiers**, v. 44, p. 54-59, 2024.

Ananias, I. M. C.; Silva, S. S.; Souza, A. S.; Santos, F. A. C.; Magalhães, T. B.; Martins, W. J. F.; Fávero, G. C.; Luz, R. K. Effects of Stocking Densities on the Growth Performance and Physiology of Juvenile *Piaractus brachipomus* in Recirculating Aquaculture System. **Fishes**, v. 10, p. 1-15, 2025.

Assis, Y. P. A. S.; Porto, L. A.; Melo, N. F. A. C.; Palheta, G. D. A.; Luz, R. K.; Favero, G. C. Feed restriction as a feeding management strategy in *Colossoma macropomum* juveniles under recirculating aquaculture system (RAS). **Aquaculture**, v. 529, n° 735689, 2020.

Ali, B.; Mishra, A. A. Effects of dissolved oxygen concentration on freshwater fish: A review. **International Journal of Fisheries and Aquatic Studies**, v. 10, p. 113-127, 2022.

Barbosa, A. P. D.; Sarian, C.; Muniz, C.C. From Feed to Fish—Nutrients' Fate in Aquaculture Systems. **Applied Sciences**, v. 14, p. 1-22, 2024.

Barroncas, M. F.; Pereira-Filho, M.; Gomes, L. C.; Roubach, R.; Ono, E. A. Efeitos da troca de água sobre os índices zootécnicos e qualidade dos efluentes na criação intensiva do tambaqui (*Colossoma macropomum*) em viveiros escavados. **Rev. Bras. Eng. Pesca**, v. 8, n.1, p. 49-71, 2015.

CONAMA – CONSELHO NACIONAL DO MEIO AMBIENTE. Resolução n° 430, de 16 de maio de 2011. Dispõe sobre condições e padrões de lançamento de efluentes, complementa e altera a Resolução no 357, de 17 de março de 2005, do Conselho Nacional do Meio Ambiente. Brasília, DF: [2011].

CONAMA – CONSELHO NACIONAL DO MEIO AMBIENTE. Resolução n° 357, de 17 de março de 2005. Dispõe sobre a classificação dos corpos de água e diretrizes ambientais para o seu enquadramento, bem como estabelece as condições e padrões de lançamento de efluentes, e dá outras providências. Brasília, DF: [2005].

Batlouni, S. R.; Correa Filho, R. A. C.; Kuradomi, R. Y.; Spica, L. N.; Abreu, M. R.; Brasileiro, L. O.; Motta, N. C.; Jesus-Silva, L. M.; Teixeira, S. A.; Povh, J. A. **Maintenance and Management of Breeders of Neotropical South American Species in Laboratories**. In: Danilo P. Streit Jr.; Tiantian Zhang; Estefania Paredes. (Org.). Cryobiology for South American Neotropical Fish Species. 1 eded. Boca Raton: CRC Press, 2024, v., p. 141-170.

Bai, D.; Li, X.; Liu, Z.; Wan, L.; Song, C.; Zhou, Y.; Cao, X. Nitrogen and phosphorus turnover and coupling in ponds with different aquaculture species. **Aquaculture**, v. 563, n. 738997, 2023.

Bjorndal, T.; Dey, M.; Tusvik, A. Economic analysis of aquaculture's contributions to future food security. **Aquaculture**, v. 578, n. 740071, 2024.

Boyd, C. E.; Torrans, E. L.; Tucker, C. S. Dissolved Oxygen and Aeration in Ictalurid Catfish. **Aquaculture. Journal of the world aquaculture Society**, p. 7-70, 2017.

Boyd, CE.;Tucker, CS 2014. **Manual de Qualidade da Água para Aquicultura**. Manual de Qualidade da Água para Aquicultura. p. 439.

Bhat, I. A.; Rather, M. A.; Ahmad, I.; Ahmad, I.; Mir, I. N.; Hussana. Impact of shifting abiotic factors in aquaculture on fish breeding and reproduction: a review. **Blue Biotechnology**, v. 2, n. 3, p. 1-14, 2025.

Cao, J.; Mei, J.; Xie, J. Combined effects of hypoxia and ammonia-N exposure on immune response, oxidative stress, tissue injury and apoptosis of hybrid grouper (*Epimetheus fuscoguttatus* x *E. lanceolatus*). *Environmental Science and Pollution Research*, v. 31, p. 845-856, 2024.

CEARÁ. Resolução COEMA, n.º 9, de 05 de agosto de 2021. Dispõe sobre as condições e padrões de lançamento de efluentes para a atividade de aquicultura no estado do Ceará. Fortaleza, CE: [2021].

Castro, D. R. C.; Brabo, M. F.; Rocha, R. M.; Campelo, D. A. V.; Veras, G. C.; Rodrigues, R. P. Production cost and profitability of the creation of tambaqui *Colossoma macropomum* in the state of Pará, Amazon, Brazil. **Research, Society and Development**, v. 9, n.9, p. 1-16, 2020.

Chambel, J.; Severiano, V.; Baptista, T.; Mendes, S.; Pedrosa, R. Effect of stocking density and different diets on growth of *Percula Clownfish*, *Amphiprion percula* (Lacepede, 1802). **Springer Plus**, v. 183, p.1-7, 2015.

Coldebella, A.; Godoy, A. C.; Gentelini, A. L.; Piana, P. A.; Coldebella, P. F.; Boscolo, W. R.; Feiden, A. Nitrogen and phosphorus dynamics in Nile tilapia farming in excavated rearing ponds. **Research, Society and Development**, v. 9, n. 11, p. 1-29, 2020.

Coldebella, A.; Gentelini, A. L.; Piana, P. A.; Coldebella, P. F.; Boscolo, W. R.; Feiden, A. Effluents from Fish Farming Ponds: A View from the Perspective of Its Main Components. **Sustainability**, v. 10, p. 1-16, 2018.

Dantas, D. P.; Flickinger, D. L.; Costa, G. A.; Valenti, P. M.; Valenti, W. C. Economic effects of production scale, use of agricultural greenhouses, and integration of tropical aquaculture species when farming in a subtropical climate. **Aquaculture International**, v. 30, p. 547-579, 2022.

Diana, J. S. Aquaculture Production and Biodiversity Conservation. **Bio Science**, v.59, p. 27-38, 2009.

Drózd, D.; Malinska, K.; Mazurkiewicz, J.; Kacprzak, M.; Mrowiec, M.; Szczypior, A.; Postawa, P.; Stachowiak, T. Fish pond sediment from aquaculture production-current practices and the potential for nutriente recovery: a Review. **International Agrophysics**, v. 34, p. 33-41, 2020.

Demeke, A.; Tassew, A. A.; A review on water quality and its impact on Fish health. **International Journal of Fauna and Biological Studies**, v. 3, n.1, p. 21-31, 2016.

El-Hack, M. E.; El-Saadony, M. T.; Nader, M. M.; Salem, H.; M.; El-Taham, A.; M.; Soliman, S. M.; Khafaga, A.F. Efect of environmental factors on growth performance of Nile tilapia (*Oreochromis niloticus*). **International Journal of Biometeorology**, v. 66, p. 2183-2194, 2022.

Engdaw, F.; Geremew, A. Broodstock nutrition in Nile tilapia and its implications on reproductive efficiency. **Frontiers in Aquaculture**, p. 1-14, 2024.

FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION (FAO). **The State of World Fisheries and Aquaculture: Sustaina bilityinaction**. Rome, Italy: FAO. v. 2024, p.1-244, 2024.

Garcez, J. R.; Nóbrega, V. S. L.; Torres, T. P.; Signor, A. A. Cultivo de tambaqui (*Colossoma macropomum*) em tanques-rede: Aspectos técnicos. **Research, Society and Development**, v. 10, n. 8, p. 1-16, 2020.

Hargreaves, J. A.; Tucker, C. S. Defining loading limits of static ponds for catfish aquaculture. **Aquacultural Engineering**, v. 28, p. 47-63, 2003.

Haque, S. E. How effective are existing phosphorus management strategies in mitigating surface water quality problems in the US?. **Sustainability**, v. 13, p. 1-13, 2021.

Hamed, S.A.; Elnaga, A. A.; Salah, A. S.; Zayed, M. M. Effect of water temperature, feeding frequency, and protein percent in the diet on water quality, growth and behavior of Nile tilapia *Oreochromis niloticus* (Linnaeus, 1758). **Journal of Applied Ichthyology**, p. 1-12, 2021.

Hainfellner, P.; De Souza, T. G.; Moreira, R. G.; Nakaghi, L, S. O.; Batlouni, S.R. Gonadal steroids levels and vitellogenesis in the formation of oocytes in *Prochilodus lineatus* (Valenciennes) (Teleostei: Characiformes). **Neotropical Ichthyology**, v. 10, p. 601-612, 2012.

- Hlavac, D.; Adámek, Z.; Hartaman, P.; Jan, M. Effects of supplementary feeding in carp ponds on discharge water quality: a review. **Aquaculture International**, v. 22, p. 299-320. 2014.
- Henriksson, P. J. G.; Troell, M.; Bancos, L. K.; Pelletier, N.; Phillips, M. J.; Tran, N. Interventions for improving the productivity and environmental performance of global aquaculture for future food security. **One Earth** 4, p. 1220-1232, 2021.
- Henares, M. N. P.; Camargo, A. F. M., Biudes, J. F. V.; Valenti, W. C. IMPACTO DA MANUTENÇÃO DE REPRODUTORES DE *Macrobrachium rosenbergii* NA QUALIDADE DA ÁGUA. **Boletim Instituto de Pesca**, v. 37, n. 2, p. 183-190, 2011.
- Hlorzi, V.; Kuebutornye, F. K. A.; Afriyie, G.; Abarike, E. D.; Lu, Y.; Chi, S.; Anokyewaa. The use of Bacillus in maintenance of water quality in aquaculture: A review. **Aquaculture Reports**, v.18, n. 100503, 2020.
- Hossain, M.A.; Hossain, M. A.; Haque, A.; Mondol, M. R.; Rashid, H. U. Determination of suitable species combination for good aquaculture practice-based carp fattening in ponds under drought prone barind area of Bangladesh. **Archives of Agriculture and Environmental Science**, v. 5, p. 114-122, 2020.
- Karmakar, A. R.; Ullah, M. A.; Hasan, M. M.; Akter, L.; Sarker, M. M.; Arai, T.; Sikder, M. N. A.; Albeshr, M. F.; Hossain, M. B. Sedimentary nutrient dynamics in homestead fishpond systems from a subtropical coastal Area. **Agriculture**, v. 12, p. 1-14, 2022.
- Kotta, J.; Futter, M.; Kaasik, A.; Liversage, K.; Ratsep, M.; Barboza, F. R.; Bergstrom, L.; Bergstrom, P.; Bobsien, I.; Díaz, E. Cleaning up seas using blue growth initiatives: Mussel farming for eutrophication control in the Baltic Sea. **Science of the Total Environment**, v. 709, n. 136144, 2020.
- Jaramillo, M. G.; Beaver, L. M.; Truong, L.; Axton, E. R.; Keller, R. M.; Prater, M. C.; Magnusson, K. K.; Tanguay, R. L.; Stevens, J. F.; Hord, N. G. Nitrate and nitrite exposure leads to mild anxiogenic-like behavior and alters brain metabolomic profile in zebrafish. **Plos One**, v.15, p. 1-21, 2020.
- Lallo, R.; Ramchuran, S.; Ramduth, D.; Gorgens, J.; Gardiner, N. Isolation and selection of Bacillus spp. As potential biological agents for enhancement of water quality in culture of ornamental fish. **Journal of Applied microbiology**, v. 103, p. 1471-1479, 2007.

Lehto, P. L. Water quality monitoring in recirculating aquaculture systems. **Aquaculture Fish and Fisheries**, p. 113-131, 2023.

Liu, Q.; Hou, Z.; Wen, H.; Li, J.; He, F.; Wang, J.; Guan, B.; Wang, Q. Effect of stocking density on water quality and (Growth, Body Composition and Plasma Cortisol Content) performance of pen-reared rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*). **Journal of Ocean University of China**, v. 15, p. 667-675, 2016.

López, P.; Anzóategui, D. Fattening of cachama tambaqui (*Colossoma macropomum*, Cuvier, 1816) cultivated in a circulating water system. **Zootecnia Tropical**, v. 31, p. 271-277, 2013.

Macedo, C. F.; Sipaúba-Tavares, L. H. Eutrofização e qualidade da água na piscicultura: consequências e recomendações. **Boletim do Instituto de Pesca**, v. 36, n. 2, p. 149-163, 2010.

Mansour, A. T.; Fayed, W. M.; Alsaqufi, A. S.; Aly, H. A.; Alkhamis, Y. A.; Sallam, G. R. Ameliorative effects of zeolite and yucca extract on water quality, growth performance, feed utilization, and hematobiochemical parameters of European seabass reared at high stocking densities. **Aquaculture Reports**, v. 16, n°101321, 2022.

Maucieri, C.; Nicoletto, C.; Zanin, G.; Birolo, M.; Trocino, A.; Sambo, P.; Borin, M.; Xiccato, G. Effect of stocking density of fish on water quality and growth performance of European Carp and leafy vegetables in a low-tech aquaponic system. **Plos One**, p. 1-15, 2019.

Mingaud, H.; Bell, G.; Cabrita, E.; McAndrew, B.; Davie, A.; Bobe, J.; Herráez, D.; Carrillo, M. Gamete quality and broodstock management in temperate fish, **Reviews in Aquaculture**, v. 5, p. 194- 223, 2013.

Munguti, J. M.; Kirimi, J. G.; Obiero, K. O.; Ogello, E. O.; Kyule, D. N.; Liti, D. M.; Musalia, L. M. Aqua-Feed Wates: Impact on Natural Systems and Practical Mitigations-A Reviw. **Journal of Agricultural Science**, v. 13, p. 1-11, 2021.

Nathanailides, C.; Kolygas, M.; Tsoumani, M.; Gouva, E.; Mavraganis, T.; Karayanni, H. Addressing Phosphorus Waste in Open Flow Freshwater Fish Farms: Challenges and Solutions. **Fishes**, v. 8, n. 442, 2023.

Núñez, J.; Koo, F. C.; Berland, M.; Arévalo, L.; Ribeyro, O.; Duponchelle, F.; Renno, J. F. Reproductive success and fry production of the paiche or pirarucu, *Arapaima gigas* (Schinz), in the region of Iquitos, Peru. **Aquaculture Research**, v. 42, p. 815-822, 2011.

Ogunbanwo, O. M.; Comparative Study of Water Quality Parameters of Two Fish Farm Estate in Ikorodu, Lagos State, Southwest Nigéria. **African Shocolar Publications e Research International**, v. 25, n.9, p. 13-22, 2022.

Oliveira, M.M.; Ribeiro, T.; Orlando, T.M.; Oliveira, D. G. S.; Drumond, M. M.; Freitas, R. T. F.; Rosa, P. V. Effects crude protein levels on female Nile tilapia (*Oreochromis niloticus*) reproductive performance parameters. **Animal Reproduction Science**, v 150, p. 62-69, 2014.

PEIXEBR. Associação Brasileira da Piscicultura. **Anuário 2025**, São Paulo: Peixe BR p. 65, 2025.

Rabassó, M.; Hernández, J. M. Bioeconomic analysis of the environmental impact of a marine fish farm. **Journal of Environmental Management**, v. 158, p. 24-35, 2015.

Riza, M.; Ehsan, M. N.; Pervez, M. N.; Khyum, O.; Cai, Y.; Naddeo, V. Controlo f eutrophication in aquatic ecosystems by sustainable dredging: Effectiveness, environmental impacts, and implications. **Case Studies in Chemical and Environmental Engineering**, v.7, n. 100297, 2023.

Salin, K, R.; Ataguba, G. A. Aquaculture and the Environment: Towards Sustainability. In: Hai, F., Visvanathan, C., Boopathy, R. (eds) Sustainable Aquaculture. Applied Environmental Science and Engineering for a Sustainable Future. Springer, Cham.

Schenome, N. F.; Vackova, L.; Cirelli, A. F. Fish-farming water quality and environmental concerns in Argentina: a regional approach. **Aquaculture International**, v. 19, p. 855-863, 2011.

Soderberg, R. W. **Aquaculture Technology: Flowing water and static water fish culture**, CRC Press, 2017.

Schamaltz, E. M.; Peham, E.; Forsthuber, H.; Konzett, M.; Brunner, T.; Ramler, D.; Strauss, P.; Buer, C. Investigating the storage of organic carbon, nitrogen and phosphorus in pond sediment. **Journal of Soils and Sediments**, v. 25, p. 1422-1436, 2022.

Strauch, S. M.; Bahr, J.; Babmann, B.; Bischoff, A.; A.; Palm, H. W. Effects of Ortho-Phosphate on Growth Performance, Welfare and Product Quality of Juvenile African Catfish (*Clarias gariepinus*). **Fishes**, v. 4, p. 1-17, 2019.

SEDEST. Secretaria Estadual de Desenvolvimento Sustentável e do Turismo. Estabelece normas, critérios e diretrizes para o licenciamento ambiental e a outorga de uso de recursos

hídricos de empreendimentos e atividades de aquicultura e maricultura. Resolução SEDEST, nº 042, de 30 de agosto de 2021.

Sundh, H.; Fridell, F. F.; Ellis, T.; Taranger, G. L.; Niklasson, L.; Pettersen, E. F.; Wergeland, H. I.; Sundell, K. Reduced water quality associated with higher stocking density disturbs the intestinal barrier functions of Atlantic salmon (*Salmo salar* L.). **Aquaculture**, v. 512, n. 734356, 2019.

Sun, Y.; Fu, Z.; Liu, X.; Ma, Z. The Impact of Acute Ammonia Nitrogen Stress on the Gill Tissue Structure and Antioxidant Ability of Gills and Red and White Muscle in Juvenile Yellowfin Tuna (*Thunnus albacares*). **Antioxidants**, v. 13, p. 1-15, 2024.

Silva, C. A.; Fujimoto, R. Y. Crescimento de tambaqui em resposta a densidade de estocagem em tanques-rede. **Acta Amazonica**, v. 45, p. 323-332, 2015.

Trabrett, S.; Ramsay, I.; Paterson, B.; Burford, M. C. A review of the benefits and limitations of waste nutrient treatment in aquaculture pond facilities. **Reviews in Aquaculture**, v. 16, p. 1766, 1786, 2024.

Tawaha, A.; R.; A.; Wahab, P.; E.; M.; Jaafar.; H. B.; Zuan, A.; T.; K.; Hassan, M.; Z. Effects of Fish Stocking Density on Water Quality, Growth Performance of Tilapia and Yield of Butterhead Lettuce Grown in Decoupled Recirculation Aquaponic Systems. **Journal of Ecological Engineering**, v. 22, p. 8-19, 2021.

Turlybek, N.; Nurbekowa, Z.; Mukhamejanova, A.; Baimurzina, B. **Sustainable Aquaculture Systems and Their Impact on Fish Nutritional Quality**. *Fishes*, v. 10, p. 1-25, 2025.

Victoriano, R. P.; Vargas, P. P.; Huanacuni, J. I.; Ambrosetti, H. A.; Cantillano, G. O.; Abarca, F. M.; Méndez, S.; Ramos, L. E. Conditioning of Rainbow Trout (*Oncorhynchus mykiss*) Broodstock in a High-Altitude Recirculating Aquaculture System: First Spawning at 3000 m.a.s.l. in Northern Chile. **Animals**, v. 15, nº 1506, 2025.

Valenti, W. C.; Kimpara, J. M.; Preto, B. L.; Valenti, P. M. Indicators of sustainability to assess aquaculture systems. **Ecological Indicators**, v. 88, p. 402-413, 2018.

Yang, P.; Zhao, G.; Tong, C.; Tang, K. W.; Lai, D. Y. F.; Li, L.; Tang, C. Assessing nutrient budgets and environmental impacts of coastal land-based aquaculture system in southeastern China. **Agriculture, Ecosystems and Environment**, v. 322, nº 107662, 2021.

Yildiz, H. Y.; Robaina, L.; Pirhonen, J.; Mente, E.; Domínguez, D.; Parisi, G. Fish Welfare in Aquaponic Systems: Its Relation to Water Quality with an Emphasis on Feed and Faeces—A Review. **Water**, v. 9, p. 1- 17, 2017.

Yusoff, F. M.; Umi, W. A. D.; Ramli, N.M.; Harun, R. Water quality management in aquaculture. **CambridgePrisms:Water**, v. 2, p. 1-22, 2024.

Xu, J.; Qiu, T.; Chen, F.; Zhou, L.; Sun. J.; Du, Y. Construction and application of an electrocoagulation and filtration linkage control system in a recirculating aquaculture system. **Journal of Water Process Engineering**, v. 44, n. 102379, 2021.

Xiong, Y.; Yu, G.; Wang, J.; Wu, J.; Wang, D.; He, Y.; Mei, J. Effects of feeding rate and dietary protein levels on the breeding performance of female yellow catfish (*Pelteobagrus fulvidraco*). **Aquaculture Research**, v. 53, p. 243, 254, 2022.

Wanja, D. W.; Mbuthia, P. G.; Waruiru, R. M.; Mwadiame, J. M.; Bebor, L. C.; Nyaga, P. N.; Ngowi, H. A. Fish Husbandry Practices and Water Quality in Central Kenya: Potential Risk Factors for Fish Mortality and Infectious Diseases. **Veterinary Medicine International**, p. 1-10, 2020.

Wang, C.; Liu, X.; Yang, Y.; Wang, Z. Antibiotic and antibiotic resistance genes in freshwater aquaculture ponds in China: A meta-analysis and assessment. **Journal of Cleaner Production**, v. 329, n. 129719, 2021.

Wei, K.; Cossey, H. L.; Ulrich, A. C. Effects of Calcium and Aluminum on Particle Settling in an Oil Sands End Pit Lake. **Mine Water and the Environment**, v. 40, p. 1025-1036, 2021.

Zou Y.; Chen, W.; Xia, B.; Xiang, Y.; Shen, Z.; Han, Y.; Xue, S. Ammonia toxicity in the bighead carp (*aristichthys nobilis*): Hematolox, antixiodation, immunity, inflammation and stress. **Toxics**, v. 11, n. 243, 2023.

Zhang, S. Y.; Li, G.; Wu, H. B.; Liu, X. G.; Yao, Y. H.; Tao, L.; Liu, H. An integrated recirculating aquaculture system (RAS) for land-based fish farming: The effects on water quality and fish production. **Aquacultural Engineering**, v. 45, p. 93-102, 2011.

Zhang, Y.; Tang, K. W.; Yang, P.; Yang, H.; Tong, C.; Changchun, C.; Tan, L.; Zhao, G.; Zhouj, X.; Sun, D. Assessing carbon greenhouse gas emissions from aquaculture in China based on aquaculture system types, species, environmental conditions and management practices. **Agriculture, Ecosystems & Environment**, v. 338, n° 108110, 2022.

Zhang, C.; Wang, D.; He, W.; Liu, H.; Chen, J.; Wei, X.; Mu, J. Sesuvium portulacastrum-Mediated Removal of Nitrogen and Phosphorus Affected by Sulfadiazine in Aquaculture Wastewater. **Antibiotics**, v.11, p. 1-14, 2022. ¹

Tabela 1: Concentrações de poluentes em água dos viveiros na 1º Coleta*.

Concentrações de poluentes em água dos viveiros na 1º Coleta		
Poluentes	Média (FFF) $\pm$ DP	Média (FHA) $\pm$ DP
TAN (mg/L)	0,83 $\pm$ 0,32	3,69 $\pm$ 3,81
NH ₃ (mg/L)	0,03 $\pm$ 0,04	0,19 $\pm$ 0,18
NO ₂ ⁻ (mg/L)	0,06 $\pm$ 0,02	0,12 $\pm$ 0,06
NO ₃ ⁻ (mg/L)	1,52 $\pm$ 0,66	3,35 $\pm$ 3,6
PT (mg/L)	0,26 $\pm$ 0,49	0,22 $\pm$ 0,16
SST (mg/L)	466 $\pm$ 86,7	93,4 $\pm$ 167
SDT (mg/L)	37,6 $\pm$ 17,4	11,6 $\pm$ 9,52
ST (mg/L)	70,8 $\pm$ 33,3	57,8 $\pm$ 37,9

*Resultados expresso pela Média dos cinco viveiros de engorda (FFF) e reprodutores (FHA) $\pm$ Desvio Padrão (DP). Sendo que, Amônia Total (TAN); Amônia Tóxica (NH₃); Nitrito (NO₂); Nitrato (NO₃⁻); Fósforo Total (PT); Sólidos Suspensos Totais (SST); Sólidos Dissolvidos Totais (SDT) e Sólidos Totais (ST).

Tabela 2- Concentrações de poluentes em água dos viveiros na 2ª Coleta* e seus respectivos padrões de qualidade estabelecidos em normativas nacionais e estaduais.

Concentrações de Poluentes em água dos viveiros na 2ª Coleta						
Poluentes	Média (FFF) $\pm$ DP	Média (FHA) $\pm$ DP	CONAMA 357/2005 ¹	CONAMA 430/11 ²	COEMA 09/21 ²	SEDEST 42/21 ²
TAN (mg/L)	2,45 $\pm$ 2,19	1,57 $\pm$ 1,14	0,5	20	20	20
NH ₃ (mg/L)	1,05 $\pm$ 1,03	0,73 $\pm$ 0,54	—	—	—	—
NO ₂ - (mg/L)	0,15 $\pm$ 0,11	0,29 $\pm$ 0,32	1	—	1	—
NO ₃ - (mg/L)	3,42 $\pm$ 1,71	2,45 $\pm$ 1,50	10	—	10	—
PT (mg/L)	0,53 $\pm$ 0,80	0,09 $\pm$ 0,06	0,03	—	—	0,5
SST (mg/L)	1058 $\pm$ 1576	493 $\pm$ 485	—	—	—	—
SDT (mg/L)	1580 $\pm$ 446	606 $\pm$ 410	500	—	—	—
ST (mg/L)	1202 $\pm$ 302	988 $\pm$ 485	—	—	—	—

*Resultados expresso pela Média dos cinco viveiros de engorda (FFF) e reprodutores (FHA) $\pm$ Desvio Padrão (DP). Sendo que, Amônia Total (TAN); Amônia Tóxica (NH₃); Nitrito (NO₂); Nitrato (NO₃⁻); Fósforo Total (PT); Sólidos Suspensos Totais (SST); Sólidos Dissolvidos Totais (SDT) e Sólidos Totais (ST). ¹ Valor máximo permitido e -: não especificado pela Resolução CONAMA 357/2005 para qualidade da água em corpos d'água classe II. ² Valor máximo permitido e -: não especificado pela Resolução CONAMA 430/2011; Resolução COEMA 09/21 e Resolução SEDEST 42/21 que tratam sobre o lançamento de efluentes de atividade de aquicultura.

Tabela 3- Concentrações de poluentes em sedimento dos viveiros 1° Coleta*

Concentrações de poluentes em sedimentos dos viveiros na 1° Coleta		
Poluentes	Média (FFF) $\pm$ DP	Média (FHA) $\pm$ DP
TAN (g/kg)	732,9 $\pm$ 479	1636 $\pm$ 1052
NO ₂ ⁻ (g/kg)	83,3 $\pm$ 15,8	97,7 $\pm$ 50,0
NO ₃ ⁻ (g/kg)	1723 $\pm$ 342	1737 $\pm$ 587
PT (g/kg)	71,0 $\pm$ 23,1	134 $\pm$ 47,9

*Resultados expresso pela Média dos cinco viveiros de engorda (FFF) e reprodutores (FHA) $\pm$ Desvio Padrão (DP). Sendo que, Amônia Total (TAN); Amônia Tóxica (NH₃); Nitrito (NO₂); Nitrato (NO₃⁻); Fósforo Total (PT); Sólidos Suspensos Totais (SST); Sólidos Dissolvidos Totais (SDT) e Sólidos Totais (ST).

Tabela 4- Concentrações de poluentes em sedimento dos viveiros 2° Coleta*

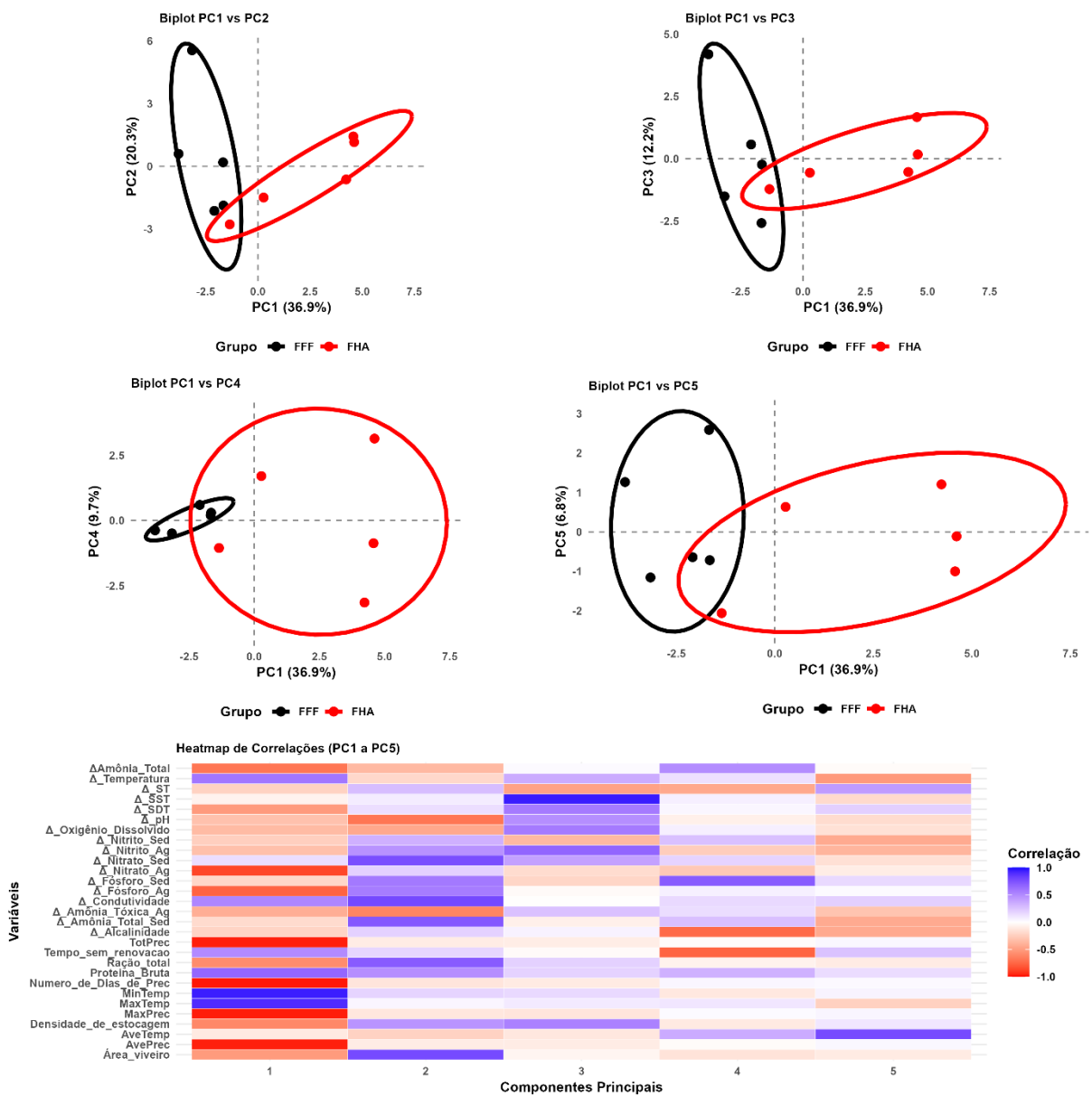
Concentrações de poluentes em sedimentos dos viveiros na 2° Coleta		
Poluentes	Média (FFF) $\pm$ DP	Média (FHA) $\pm$ DP
TAN (g/kg)	1789 $\pm$ 1059	1176 $\pm$ 635
NO ₂ ⁻ (g/kg)	240,5 $\pm$ 243	150,2 $\pm$ 89,8
NO ₃ ⁻ (g/kg)	1592 $\pm$ 671	1689 $\pm$ 489
PT (g/kg)	88,62 $\pm$ 63,6	107,3 $\pm$ 107

*Resultados expresso pela Média dos cinco viveiros de engorda (FFF) e reprodutores (FHA) $\pm$ Desvio Padrão (DP). Sendo que, Amônia Total (TAN); Amônia Tóxica (NH₃); Nitrito (NO₂); Nitrato (NO₃⁻); Fósforo Total (PT); Sólidos Suspensos Totais (SST); Sólidos Dissolvidos Totais (SDT) e Sólidos Totais (ST).

Tabela 5- Síntese Comparativa entre os viveiros de engorda (FFF) vs. manutenção de reprodutores (FHA) quanto ao manejo, características ambientais e sedimentos e geração de poluentes (nutrientes) na água.

Características	Viveiros FFF	Viveiros FHA
		Manutenção reprodutiva
Tipo de produção	Engorda Intensiva	extensiva
Precipitação	Alta	Moderada a baixa
	Elevada (amônia, nitrato e	
Nutrientes (água)	fósforo)	Baixa
Densidade de estocagem	Alta	Baixa a moderada
Temperatura	Menor e variável	Maior e estável
Proteína bruta	Menor	Maior
Características do sedimento	Variável	Mais estável
Renovação de água	Mais frequente	Menos frequente
Heterogeneidade	Alta	Baixa

Figura 1- Biplot da análise de componentes principais (PCA)



Sólidos Totais (ST); sólidos em Suspensão Totais (SST); Sólidos Dissolvidos Totais (SDT); Sedimento (Sed); Água (Ag); Precipitação Total (Tot Prec); Temperatura Mínima (Min Temp); Temperatura Máxima (Max Temp); Precipitação Máxima (Max Prec); Temperatura Média (Ave Temp); Precipitação Média (Ave Prec); Viveiros Engorda (FFF); Viveiros Reprodutores (FHA).