




CAPÍTULO 1

Qualidade da Água e Soluções de Saneamento Ambiental na Piscicultura de Tilápia-do-Nilo

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.812112512081>

Laís Fernanda Juchem do Nascimento

Federal University of Paraná, Department of Engineering
and Exact Sciences, Palotina, Brazil

Joel Gustavo Teleken

Federal University of Paraná, Department of Engineering
and Exact Sciences, Palotina, Brazil

Fabiano Bisinella Scheufele

Federal University of Technology – Paraná, Department of
Bioprocess and Biotechnology Engineering, Toledo, Brazil

Thompson Ricardo Weiser Meier

Federal University of Paraná, Department of Engineering
and Exact Sciences, Palotina, Brazil

Paulo André Cremonez

Federal University of Technology – Paraná, Department of Chemical Processes, Toledo, Brazil

Adriane Cristina Mattjie

Federal University of Paraná, Department of Engineering
and Exact Sciences, Palotina, Brazil

RESUMO: A piscicultura, especialmente voltada à produção de Tilápia-do-Nilo (*Oreochromis niloticus*), representa um importante setor da aquicultura brasileira. Apesar do avanço tecnológico e produtivo, a atividade é responsável pela geração de volumes significativos de águas residuárias com elevada carga orgânica e

concentração de nutrientes, como nitrogênio e fósforo. O presente estudo objetiva discutir os parâmetros críticos de qualidade da água e os efeitos ambientais associados ao descarte de efluentes aquícolas, com base na literatura científica e diretrizes normativas. Os resultados apontam que desequilíbrios em variáveis como pH, oxigênio dissolvido, temperatura e amônia afetam diretamente o desempenho zootécnico da tilápia, além de contribuírem para processos de eutrofização e acidificação dos corpos hídricos. A adequação dos sistemas de tratamento de efluentes, aliados ao manejo nutricional eficiente, é essencial para garantir a sustentabilidade da atividade.

PALAVRAS-CHAVE: Piscicultura; Tilápia-do-Nilo; Águas residuárias; Qualidade da água; Sustentabilidade ambiental.

Water Quality and Environmental Sanitation Solutions in Nile Tilapia Fish Farming

ABSTRACT: Intensive fish farming, especially focused on the production of Nile Tilapia (*Oreochromis niloticus*), represents a significant sector within Brazilian aquaculture. Despite technological and productivity advancements, the activity generates considerable volumes of wastewater with high organic load and nutrient concentrations, such as nitrogen and phosphorus. This study aims to discuss the critical water quality parameters and the environmental effects associated with the discharge of aquaculture effluents, based on scientific literature and regulatory guidelines. The findings indicate that imbalances in variables such as pH, dissolved oxygen, temperature, and ammonia directly affect the zootechnical performance of tilapia and contribute to eutrophication and acidification of aquatic ecosystems. The implementation of appropriate wastewater treatment systems, combined with efficient nutritional management, is essential to ensure the sustainability of the activity.

KEYWORDS: Intensive fish farming; Nile Tilapia; Wastewater; Water quality; Environmental sustainability.

INTRODUÇÃO

A piscicultura é uma prática amplamente difundida em diversas regiões do mundo, com destaque para os países asiáticos, onde tem papel fundamental na oferta de alimentos. Em 2020, a produção global de organismos aquáticos atingiu aproximadamente 178 milhões de toneladas, sendo que cerca de 89% desse volume foi destinado ao consumo humano direto (FAO, 2022). Esse cenário reflete o crescimento contínuo da demanda por proteína animal, impulsionando o consumo de peixes e seus derivados e, consequentemente, incentivando a expansão da atividade aquícola (El-Hack et al., 2022).

No Brasil, a piscicultura tem se desenvolvido de forma significativa, especialmente em resposta ao aumento do consumo interno de pescado (Embrapa, 2020). Dentro desse contexto, a Tilápia-do-Nilo (*Oreochromis niloticus*) destaca-se como a principal espécie cultivada no país (IBGE, 2019), além de figurar entre as mais populares na aquicultura mundial (FAO, 2023), graças à sua adaptabilidade, crescimento rápido e aceitação no mercado.

Na piscicultura, o metabolismo dos peixes e os resíduos oriundos da alimentação podem elevar significativamente as concentrações de nutrientes nos corpos hídricos, especialmente compostos de carbono (C), nitrogênio (N) e fósforo (P). Esse excesso de nutrientes pode provocar processos de eutrofização nas áreas ao redor dos cultivos. Embora, em um primeiro momento, esse fenômeno possa favorecer a produção primária, ele tende a impactar negativamente a qualidade da água e, consequentemente, o desempenho zootécnico dos peixes e a estabilidade ambiental do ecossistema (Echaniz; Vignatti, 2009; Freitas et al., 2011; Bueno et al., 2013). Nesse cenário, o monitoramento sistemático da qualidade da água constitui uma estratégia fundamental para a gestão sustentável dos recursos hídricos, especialmente em bacias hidrográficas impactadas por sistemas de produção em tanques-rede. A análise da qualidade da água tem sido, portanto, um dos principais indicadores ambientais utilizados para assegurar a continuidade e a sustentabilidade das atividades aquícolas.

As águas residuais geradas pela aquicultura, quando descartadas sem tratamento adequado, podem provocar uma série de impactos negativos ao meio ambiente. Entre os principais problemas estão a eutrofização de corpos d'água, a redução dos níveis de oxigênio dissolvido, o desequilíbrio nos ecossistemas aquáticos, a morte de organismos e a contaminação de águas subterrâneas (Hlordzi et al., 2020; Ni et al., 2020). No interior dos tanques de cultivo, o acúmulo de nutrientes e matéria orgânica residual cria condições propícias à proliferação de patógenos, o que compromete diretamente a sanidade dos peixes e camarões. Como consequência, são observadas perdas de peso, intoxicações, deformações morfológicas, estresse e até mortalidade dos animais cultivados (Song et al., 2011; Zoppas et al., 2016).

Além dos efeitos ambientais e produtivos, os efluentes aquícolas podem conter contaminantes emergentes, como metais pesados, antibióticos e hormônios sintéticos. Esses compostos representam um risco potencial à saúde humana, caso não sejam removidos adequadamente antes do lançamento no ambiente (Chatla et al., 2020; Turcios; Papenbrock, 2014).

Diante desse cenário, o tratamento das águas residuais provenientes da piscicultura e da carcinicultura torna-se uma etapa fundamental para mitigar os impactos negativos sobre os ecossistemas aquáticos e sobre a saúde pública. Além disso, o uso de tecnologias de tratamento adequadas contribui para a sustentabilidade

da cadeia produtiva, aproximando a aquicultura de um modelo mais responsável e ambientalmente equilibrado. Assim, o presente artigo tem como objetivo revisar criticamente as principais técnicas atualmente empregadas no tratamento de efluentes aquícolas, com foco na promoção de práticas sustentáveis e na redução de passivos ambientais associados à atividade.

ÁGUA RESIDUÁRIA DA PISCICULTURA

Características da espécie *Oreochromis Niloticus*

A piscicultura é uma área da aquicultura que desenvolve o cultivo de peixes e outras espécies aquáticas através da criação, acompanhamento e controle das espécies desde o início da vida até a sua maturidade e comercialização.

A níveis mundiais, o Brasil, representa o quarto lugar, atrás de China, Indonésia e Egito, na produção de Tilápia, na qual esta espécie representa 64% da produção total do país. A níveis estaduais o Paraná lidera o cultivo no país, com 209.500 toneladas (FIGURA 1). A produção no estado cresceu 11,5% em relação a 2022 (187.800 toneladas) (Peixes BR, 2024).

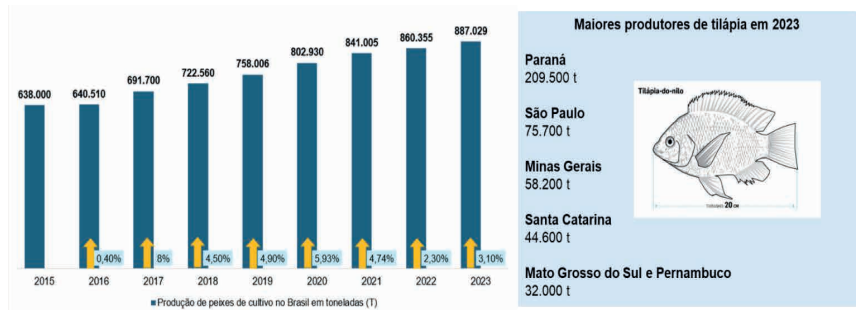


FIGURA 1- PARÂMETROS DE PRODUÇÃO DE PEIXES DE CULTIVO NO BRASIL A) E A NÍVEIS ESTADUAIS B)

FONTE: Peixe BR (2024); Organizado pela Autores (2025).

A Tilápia-do-Nilo, *Oreochromis niloticus*, da família dos ciclídeos (Cichlidae), espécie de peixe mais produzida no mundo (FAO, 2022), possui boas características nutricionais de sua carne, ausência de espinhas em forma de "Y" facilitando o processo de industrialização e consumo. Também, se reproduz facilmente em cativeiro, apresenta boas taxas de sobrevivência e crescimento, é resistente ao manejo, às variações ambientais e às enfermidades, possui alta produtividade, boa taxa de conversão alimentar (Abdel-Fattah; El-Sayed, 2020).

No QUADRO 1 estão os dados gerais da espécie Tilápia-do-Nilo em relação a: região, adaptação, hábito alimentar, reprodução e habitat, respectivamente. Estudos afirmam que a espécie da Tilápia-do-Nilo possui resistência a tolerância e estresse à qualidade da água abaixo do ideal (Wardani *et al.*, 2021). No entanto, as recomendações técnicas para a recirculação de água e conforto para a espécie possui menores limites de concentração de poluentes, quando comparados com os parâmetros mínimos para lançamento de águas em corpos hídricos de águas residuárias da piscicultura.

Características gerais	Especificações
Região	Proveniente da Costa do Marfim no Oeste africano. Em que no território brasileiro foi introduzida no Nordeste em 1971 e, então, distribuída pelo país -desde a bacia do rio Amazonas até o Rio Grande de Sul (Boscolo <i>et al.</i> , 2001).
Adaptação	Rusticidade, crescimento rápido e adaptação ao confinamento (Castagnoll, 2000). Tem uma alta tolerância às variações de oxigênio dissolvido na água (Hilsdorf, 1995)
Hábito alimentar	Onívoro, aceitação de rações com grande facilidade (desde o período de pós-larva até a fase de terminação) (Boscolo <i>et al.</i> , 2004).
Reprodução	Boa capacidade de reprodução em cativeiro sem indução hormonal (Bomfim <i>et al.</i> , 2008). Reprodz o ano todo, porém precisa de condições adequadas. As fêmeas atingem maturação sexual com 3 a 4 meses ou quando alcançam 100 gramas (Lima <i>et al.</i> , 2013). Entretanto, para que a desova ocorra a temperatura deve estar acima de 21°C, sendo a faixa ideal de 27 a 29°C (SENAR, 2017).
Habitat	Cultivada em ambientes abertos e fechados assim como, águas lânticas de lagoas e represas, de água doce, salobra ou adaptável a salgada, com diferentes níveis tecnológicos com profundidade média de 5 metros (Pezzato, 2001; Kamal <i>et al.</i> , 2005). Também podendo ser cultivados em aquicultura recirculantes, particularmente em Europa, Israel e América do Norte (Goddek <i>et al.</i> , 2016).

QUADRO 1- CARACTERÍSTICA GERAIS DA TILÁPIA-DO-NILO

FONTE: Organizado pela Autores (2025).

Parâmetros de água piscicultura para espécie *Oreochromis Niloticus*

As informações do QUADRO 2 especificam valores recomendados para a ambientação da espécie Tilápia-do-Nilo das principais variáveis de qualidade de água, recomendados para a produção de peixes (Boyd; Tucker, 1998) em comparativo aos parâmetros de lançamento em corpos hídricos pelo CONAMA- Conselho Nacional do Meio Ambiente. Resolução nº 357, de 17 de março de 2005.

Variável	Unidade	Parâmetros Recomendados para espécie Tilápia- do – Nilo (Reuso da água)	Parâmetros para lançamento em corpos hídricos- CONAMA n. 357
Temperatura	°C	26 até 28	inferior a 40°C, receptor não deverá exceder a 3°C na zona de mistura;
pH	pH	6,0 até 9	5 até 9
Oxigênio Dissolvido	mg/L	3 até 7	Classe Especial- Não são permitidos lançamento; Classe 1- 6,0 mg/L; Classe 2- 5,0 mg/L; Classe 3-4,0 mg/L; Classe 4-2,0 mg/l
N-amoniacal	mg/L	0,6 acima 2,5 é letal	Até 20,0 mg/L
Fósforo Total	mg/L	Até 0,5	Ambientes lênticos, o fósforo total pode ser encontrado em até 0,030 mg/L, e em ambientes intermediários até 0,050 mg/L.
Cloreto	mg/L	Até 250	Até 250
Cloro	mg/L	Até 0,02	Água salobra até 0,01; Água Salobra 19,0 µg/L
Amônia Total	mg/L	0,6 – 2	Até 20,0
Ferro dissolvido	mg/L	0,3 até 1,0	Até 15,0

QUADRO 02- VALORES RECOMENDADOS PARA A TILÁPIA-DO-NILO
VERSUS PARÂMETROS PARA LANÇAMENTO EM CORPOS HÍDRICOS

FONTE: Oliveira (2000); (Brasil, 2005); (Boyd; Tucker, 1998).

É inegável que os limites são mais críticos para o conforto e desenvolvimento para a espécie, seja na criação ou no sistema de retorno de águas na piscicultura. Os parâmetros essenciais para o controle da qualidade da água na piscicultura incluem aspectos físicos (como temperatura, cor, turbidez, visibilidade e transparência), químicos (tais como pH, alcalinidade, dureza, oxigênio dissolvido e amônia) e biológicos. O desequilíbrio dessas concentrações, FIGURA 3, pode perturbar o sistema de homeostase, levando ao estresse e resultando em complicações como alterações reprodutivas, atraso no crescimento e mortalidade dos peixes. A relação entre o pH, a alcalinidade e a amônia (NH_3) geralmente se inicia com o acúmulo de matéria orgânica nos tanques e viveiros, uma ocorrência praticamente inevitável na maioria dos sistemas de criação empregados na piscicultura (Vidal; Nakao, 2021).

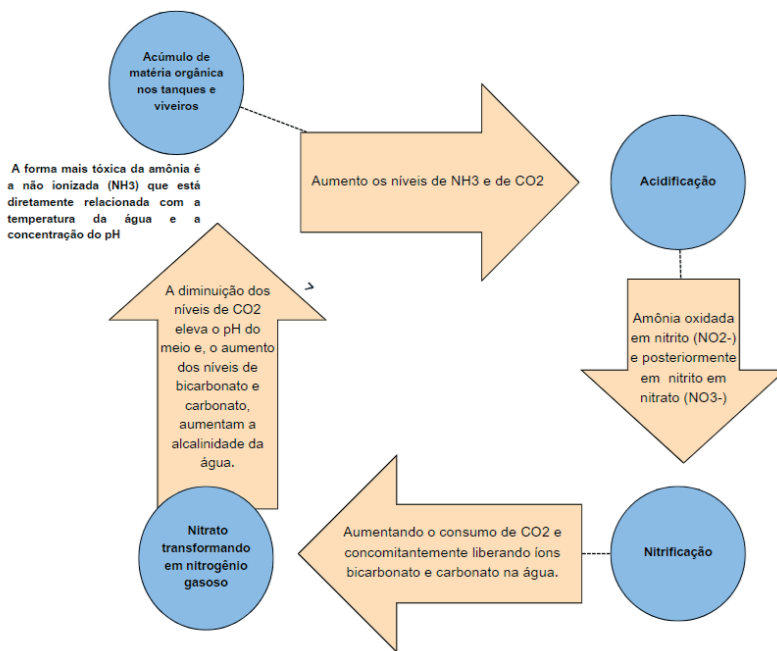


FIGURA 3-RESUMO DAS INTERAÇÕES DOS PARÂMETROS PH, ALCALINIDADE, TEMPERATURA E NH_3 EM MEIO AQUOSO

FONTE: Autores (2024).

Dessa maneira, o controle destes indicadores de potencial poluidor do efluente é importante na manutenção deste sistema, como por exemplo do nitrogênio amoniacal e do fósforo, assim como oxigênio dissolvido, pH, temperatura e turbidez. Os dados do QUADRO 3 resumem a importância dos parâmetros abióticos da água para o pescado.

Oxigênio Dissolvido	Em baixas concentrações causam declínio no crescimento, redução na eficiência alimentar dos peixes e produtividade, aumento na ocorrência de doenças e na mortalidade dos peixes (Kubitza, 2011)
pH	Grandes alterações deste parâmetro influenciam no funcionamento branquial, prejudicando equilíbrio osmótico e a respiração. Valores extremos influenciam no crescimento e a reprodução dos peixes (Kubitza, 2003).
Temperatura	Por serem seres pecilotérmicos, isto é, regulam sua temperatura corporal de acordo com a temperatura do ambiente, são mais suscetíveis à variação lenta da temperatura do ambiente em que estão inseridos. Temperaturas abaixo ou acima dos limites de conforto térmico influenciam na redução de apetite, crescimento e alterações no sistema imunológico aumentando o risco de doenças (Duarte <i>et al.</i> , 2014).
Turbidez	Grandes volumes de partículas em suspensão dificultam a visualização dos alimentos podendo levar o animal a morte, também por dificultar o processo de trocas gasosas ao aderir partículas ao ovo ou obstruir as brânquias (Baldisserotto, 2002).
Nitrogênio amoniacal	Pode afetar na homeostase de organismos como os peixes induzindo o estresse oxidativo, modificando a atividade de enzimas antioxidantes (Zhang <i>et al.</i> , 2019), assim como na imunossupressão, inflamação e apoptose (Li <i>et al.</i> , 2020). Além do mais, a amônia é capaz de causar histopatologias associadas as brânquias e ao fígado (Silva <i>et al.</i> , 2017).
Fósforo	O fósforo é um dos macrominerais importante na nutrição animal, visto que contribui para manutenção normal das funções metabólicas e fisiológicas (Diemer <i>et al.</i> , 2011).

QUADRO 3- PARÂMETROS ABIÓTICOS DA ÁGUA E A SUA RESPECTIVA INFLUÊNCIA NA TILÁPIA-DO-NILO.

FONTE: Autores (2025).

Os valores físico-químicos do efluente dos pescados estão relacionados diretamente aos níveis de produção, composição da matéria-prima, etapa do processo e FONTE da água utilizada no abastecimento (Muthukumaran, Baskaran, 2013). Os dados do QUADRO 4 apresentam a faixa dos valores físico-químicos encontrados na literatura das águas residuárias já estudadas da indústria do pescado.

Parâmetros	Porta (2016)	Pires (2017)	Bourscheidt (2014)	Campos (2020)
DQO (mg L ⁻¹)	9.708	1.854,7	1.460	455±32
SST (mg L ⁻¹)	1.040	1,18	2.656	757±4
Óleos de Graxas (mg L ⁻¹)	-	0,46	-	799±10
pH	6,3	7,27	7,68	6,5
Fósforo Total (mg L ⁻¹)	4,7	-	13,9	13,8±0,4
Nitrogênio Total (mg L ⁻¹)	45,6	1,06	86,10	160±3
Turbidez (NTU)	390	-	295	459±26

QUADRO 4-CARACTERÍSTICAS FÍSICO-QUÍMICAS DO EFLUENTE PROVENIENTE DO PROCESSAMENTO DO PESCADO.

FONTE: Organizado pela Autores (2025).

Altas quantidades de resíduos orgânicos são geradas em sistemas de piscicultura, sobretudo devido a compostos químicos ricos em fósforo e nitrogênio (Yang *et al.* 2021). Cerca de 30% do N e P fornecidos nas dietas são convertidos em biomassa animal (Casillas-Hernández *et al.*, 2006). Assim, um grande orçamento de nutrientes é retido nos tanques ou eliminado como efluente (González-Gaya *et al.*, 2022).

As variáveis críticas para a produção de Tilápia-do Nilo são os impactos da acidificação (FIGURA 2) e da eutrofização. Uma ração balanceada em nutrientes fornecida em quantidade adequada para as espécies produzidas reduz as perdas de ração e as emissões de nutrientes das excretas dos peixes, principalmente nitrogênio e fósforo para a água (Pelletier;Tyedmers, 2010).

Diante de tantas variáveis envolvidas em seu cultivo a piscicultura torna-se um potencial fonte de poluidora de N – P capaz de comprometer a agricultura sistemas, ou ecossistemas, quando liberados no meio ambiente. Este potencial impacto ambiental também influencia em muitas outras áreas, não só no da indústria, como também na agricultura, pesca e turismo, além de representar uma grande ameaça para higiene da água potável e segurança alimentar. Então, será aprofundado sobre o tema nitrogênio amoniacal e fósforo.

PROCESSOS DE REMOÇÃO DE AMÔNIA E FÓSFORO

Métodos biológicos, químicos e/ou físicos têm sido utilizados para reduzir os impactos ambientais causados na remoção de amônia e fósforo. Isso inclui a implementação de *wetlands*, reatores aeróbicos, anaeróbicos e anóxicos, lagoas de estabilização, cristalização, adsorção, osmose reversa, eletrodialise, separação magnética e microfiltração, entre outros.

A escolha da tecnologia para a remoção de poluentes depende de aspectos econômicos, como grau exigido de tratamento, condições do ambiente, limitação da área, custos de capital e operação (Carvalho, 2021). Cada um desses processos tem vantagens e desvantagens (QUADRO 5), sendo que qualquer processo biológico de tratamento é considerado econômico se houver possibilidade de ser operado em baixos tempos de retenção hidráulica e tempos de retenção de sólidos suficientemente longo para permitir o crescimento de micro-organismos (Chernicharo, 1997).

No entanto, o tratamento biológico pode ser empregado em poluentes orgânicos, mas não todos em todos os tipos de poluentes. Um processo lento e requer uma grande área para tratar e armazenar água, o que acarreta aumento de custos de capital e operacionais, produz alguns microrganismos indesejados que produzem gases e mau odor (Hussain *et al.*, 2021).

Com isso, é importante o estudo específico para o tipo de poluente que se quer reduzir no meio aquoso *versus* as condições operacionais e econômicas disponíveis de implementação, isto é, as vantagens em detrimento das desvantagens de cada método tecnológico (QUADRO 5).

É perceptível que cada tecnologia possui suas limitações e que o projetista deve as questões específicas de qualidade da água, os objetivos de tratamento e os requisitos legais influenciam a escolha e combinação de abordagens de tratamento. Ao planejar e instalar sistemas de tratamento de água, é importante ter em conta aspectos como custo, utilização de energia, necessidades operacionais e consequências ambientais (Kumar *et al.*, 2024).

Dentre os métodos demonstrados o processo de adsorção é o que possui maior simplicidade seja pela sua operação ou *design* e que permite a regeneração e reutilização do adsorvente, reduzindo assim os custos do tratamento além de remoção de poluentes de alta eficiência (Sheikhmohammad; Asgari; Yeganeh, 2021; Rasoulzadeh *et al.* (2023). A eficiência depende da natureza do adsorvente aplicado e do processo condições, como pH, temperatura, concentração de adsorbato, massa curvada do adsorvente, tempo de contato, entre outros fatores. Por outro lado, o alto custos de produção e aquisição de adsorventes são fatores limitantes de sua aplicação (Gasparotto, 2022).

No entanto, de acordo Li *et al.* (2023) quando analisado em relação a simultânea remoção de fosfato e a amônia adsorvidos podem ser desorbados e liberados, e os adsorventes saturados podem ser reutilizados. O que explica o aumento de pesquisas científicas de novos adsorventes alternativos, ou também denominados como não convencionais, com o objetivo de baixo custo e alta eficiência (Silva *et al.*, 2024). Ainda a adsorção também não resulta na formação de substâncias nocivas (Crini, 2006). Sendo assim, sendo um processo de tratamento de água residuária válido quando verificado diferentes tipos concomitantes de poluentes emergentes que será especificado nos capítulos a seguir.

Processo de tratamento de água residuária	Vantagens	Limitações	Pesquisas científicas
Wetlands	Baixo custos de construção e operação; Fácil operação; Não requer o uso de energia elétrica; Redução da matéria orgânica, dos sólidos sedimentáveis e nitrogênio e fósforo; Possibilidade de reciclagem, reutilização e a valorização dos efluentes. Produção de biomassa com potencial de reaproveitamento;	Podem causar problemas com insetos; Necessidade de caracterizações precisas para mitigar a colmatação e acumulação de sedimentos; Depende do tempo de crescimento da vegetação; Eficiências sazonais.	Szota <i>et al.</i> (2024); Shang, <i>et al.</i> (2022); Gao <i>et al.</i> (2024)
Reatores aeróbicos, anaeróbicos e anóxicos,	Simplicidade de implantação e operação; Menores custos de implantação; Baixa demanda de área, energia e sólidos; Baixo tempo de detenção hidráulica; Possibilidade de uso para fins energéticos; Tolerância a elevadas cargas orgânicas; Rápido reinício após períodos de paralisação e elevada vida útil.	Lentidão de start do processo e sensível a variação de temperatura; Produção de gás Sulfídrico; Bactérias são suscetíveis à inibição; Baixa remoção de nitrogênio, fósforo e patógenos; Pós-tratamento usualmente necessário; Possibilidade de presença de compostos tóxicos	Gu <i>et al.</i> (2024); Zhang <i>et al.</i> (2024); Chegn <i>et al.</i> (2023)
Lagoas de estabilização	Eficiente na remoção de patogênicos; Construção, operação e manutenção simples; Reduzidos custos de implantação e operação; Ausência de equipamentos mecânicos; Satisfatória resistência a variações de carga; Elevada vida útil (20 anos).	Elevados requisitos de área; Crescimento de vegetação de algas no efluente; Performance variável com as condições climáticas; Possibilidade de maus odores e crescimento de insetos Necessidade de um afastamento razoável às residências circunvizinhas	Liu <i>et al.</i> (2022); Mahapatra e Samal (2022)
Osmose reversa	Capacidade de remover eficientemente bem muitas substâncias dissolvidas e contaminantes; Não adiciona nenhum outro produto químico a água; Manutenção mínima; Baixo consumo de energia elétrica; Retém compostos não iônicos, bactérias, vírus, pirogênio e muitos compostos orgânicos	Alto consumo de água; Equipamento mais caro; Pode eliminar minerais benéficos da água; Alta manutenção para evitar a formação de depósitos ou incrustações.	Chen <i>et al.</i> (2023);

Eletrodiálise	Não geração de odores; Menor área; Facilidade e flexibilidade no controle do processo de tratamento; Menor quantidade de lodo; Remoção significativa de macronutrientes; Baixo custo de implantação; Ideal para pequenas vazões.	Custo de tratamento (alto consumo de energia e de eletrodos); Dificuldade de remover DQO/DBO solúvel	Cao, Li, Zhang (2023); Liu et al. (2023); Wang et al. (2023)
Adsorção	Diversos tipos de adsorventes; Baixo custo energético e implementação ;Menor área de projeto; Permite a reutilização e sorção do adsorvente;Flexibilidade na sua aplicação, desempenho versátil.	Materiais precisam estar sujeitos a modificações e ou ativação elevando o custo; Pequena eficácia em soluções muito diluídas; Eficiência depende da vazão; Quando todos os sítios estão ocupados, estabelece-se o equilíbrio e os orgânicos são liberados;	Li et al. (2023); Lu et al. (2023); Jia et al. (2024); Tang, Wen, Chen (2023); Li et al. (2023)

QUADRO 5- VANTAGENS E DESVANTAGENS DOS PRINCIPAIS MÉTODOS DE REMOÇÃO DE FÓSFORO E AMÔNIA SIMULTANEAMENTE.

FONTE: Autores (2025).

CONCLUSÃO

A intensificação da piscicultura, notadamente da criação de *Oreochromis niloticus*, impõe crescentes exigências quanto à gestão ambiental dos sistemas produtivos, com ênfase na mitigação dos impactos associados à geração e descarte de águas residuárias. Os resultados discutidos evidenciam que variáveis físico-químicas como pH, temperatura, oxigênio dissolvido, nitrogênio amoniacal e fósforo total desempenham papel determinante tanto na homeostase dos organismos cultivados quanto na integridade dos ecossistemas aquáticos receptores.

A elevada carga orgânica e nutricional presente nos efluentes aquícolas, quando não submetida a processos de tratamento adequados, contribui de forma significativa para a eutrofização, a degradação da qualidade da água e a alteração das dinâmicas ecológicas locais.

Nesse sentido, a adoção de tecnologias de tratamento eficientes, aliada ao monitoramento sistemático e a estratégias de manejo nutricional, constitui premissa fundamental para a sustentabilidade da atividade aquícola.

Portanto, a piscicultura somente poderá ser consolidada como sistema produtivo ambientalmente sustentável mediante a articulação entre fundamentos técnico-científicos, inovação tecnológica e cumprimento das normativas ambientais, promovendo assim o equilíbrio entre eficiência produtiva e conservação dos recursos hídricos.

REFERÊNCIAS

- ABDEL-FATTAH M. EL-SAYED. *Tilapia Culture*. 2nd ed. Massachusetts: Academic Press, 2020.
- BALDISSEROTTO, B. **Fisiologia de peixes aplicada a piscicultura**. 1a.ed. Santa Maria: EdUFSM, 2002. 212 p.
- BOMFIM, M. A. D. et al. Redução de proteína bruta com suplementação de aminoácidos, com base no conceito de proteína ideal, em rações para alevinos de tilápia-do-nilo. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v.37, p. 1713-1720, 2008.
- BOSCOLO, Wilson Rogério et al. Desempenho e características de carcaça de machos revertidos de tilápias do Nilo (*Oreochromis niloticus*), linhagens tailandesa e comum, nas fases inicial e de crescimento. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v. 30, p. 1391-1396, 2001.
- BOURSCHEIDT, C. T. **Estudo do processo de coagulação/floculação utilizando Moringa Oleifera Lam para tratabilidade de efluentes líquidos do processamento de pescados**. 110 f. Dissertação (Mestrado). Universidade Estadual do Oeste do Paraná. Programa de Pós-graduação em Engenharia Química, 2014.
- BOYD, C. E.; TUCKER, C. S. **Pond aquaculture water quality management**. Boston: Kluwer Academic Publishers, 1998. 700 p.
- BRASIL. CONSELHO NACIONAL DE MEIO AMBIENTE. Estabelece diretrizes, critérios e procedimentos para a gestão de resíduos da construção civil .Resolução CONAMA nº. 307, de 5 de julho de 2002. **Diário Oficial da República Federativa do Brasil**.2002.
- BUENO, G.W.,OSTRENSKY, A.,CANZI, C., MATOS, F.T.,ROUBACH, R.,2013. Implementation of aquaculture parks in Federal Government waters in Brazil. Reviews in Aquaculture 7. Disponível: <https://doi.org/10.1111/raq.12045>.
- CAMPOS, E. G.P. **Tratamento de efluente do processamento de peixe utilizando coagulação/sedimentação e flotação**. 2020. 93 f. Dissertação (Mestrando em Engenharia Química) - Universidade Estadual do Oeste do Paraná, Toledo, 2020.
- CAO, Y.; LI, X.; ZHANG, L. Construction of bipolar membrane electrodialysis reactor for removal and recovery of nitrogen and phosphorus from wastewater. **International Journal of Electrochemical Science**, v. 18, n. 3, p. 100051, 2023.
- CASILLAS-HERNÁNDEZ, R. et al. Nutrient mass balances in semi-intensive shrimp ponds from Sonora, Mexico using two feeding strategies: Trays and mechanical dispersal. **Aquaculture**, v. 258, n. 1-4, p. 289-298, 2006.

CASTAGNOLLI, N. Piscicultura intensiva e sustentável. In: Valenti, W. C. (ed.). Aquicultura no Brasil: Bases para um desenvolvimento sustentável, Brasília: CNPq/ Ministério da Ciência e Tecnologia, 2000. 399 p.

CHEN, Siyi et al. Integrating anaerobic acidification with two-stage forward osmosis concentration for simultaneously recovering organic matter, nitrogen and phosphorus from municipal wastewater. **Water Research**, v. 245, p. 120595, 2023.

CHENG, Wei et al. Effect of influent ammonia nitrogen concentration on the phosphorus removal process in the aerobic granular sludge reactor. **Journal of Environmental Chemical Engineering**, v. 11, n. 5, p. 110476, 2023.

CHERNICHARO C.A.L., 1997. Principios do tratamento biológico de águas residuárias. v.5. **Reatores anaeróbios**, 1ª edição, DESA-UFMG, Minas Gerais.

CRINI, G. Non-conventional low-cost adsorbents for dye removal: A review. **Bioresource Technology**, v.97, p.1061–1085, 2006.

DIEMER, O. et al. Níveis de fósforo total na alimentação de juvenis de jundiá criados em tanques-rede. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, v. 41, p. 559-563, 2011.

DUARTE, E.; MOREIRA, E. C.; PEDREIRA, M. M.; PIRES, A. V. Parâmetros físico-químicos da água para cultivo de tilápia do Nilo em sistemas de biofiltros. **Boletim Técnico**. Programa de Pós-Graduação em Zootecnia – PPGZOO. UFVJM, v.2, nº3, Junho/2014

ECHANIZ, S., VIGNATTI, A., 2009. Determinación del estado trófico y de la capacidad de carga de embalse casa de piedra. BioScriba2. Disponível: <http://www.bioscriba.org.ar/volumenes/v2n1/Echaniz2009.pdf>

EL-HACK, M.E.A., EL-SAADONY, M.T., NADER, M.M., SALEM, H.M., EL-TAHAN, A.M., SOLIMAN, S.M., & KHAFAGA, A.F., 2022. Effect of environmental factors on growth performance of Nile tilapia (*Oreochromis niloticus*). **Int. J. Biometeorol.** 66(11), 2183-2194. PMID:36044083. <http://dx.doi.org/10.1007/s00484-022-02347-6>.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA – Embrapa, 2020. O mercado de peixes da piscicultura no Brasil: estudo do segmento de supermercados. Palmas: Embrapa Pesca e Aquicultura, 38 p., Boletim de Pesquisa e Desenvolvimento, no. 25

FAO. The State of World Fisheries and Aquaculture 2022: Towards Blue Transformation. Rome: FAO, 2022.

FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION OF THE UNITED NATIONS – FAO, 2022. The state of world fisheries and aquaculture [online]. Rome. Retrieved in 2023, March 20, from <https://www.fao.org/3/cc0461en/online/cc0461en.html>

FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION OF THE UNITED NATIONS – FAO, 2023. *Oreochromis niloticus* [online]. Rome: Fisheries and Aquaculture. Retrieved in 2023, March 20, from <https://www.fao.org/fishery/en/introsp/3399/em>

FREITAS, F.C., SILVA, E.N.S., DARWICH, A.J., 2011. Influência do cultivo de peixes em tanque-rede nos teores de nitrogênio e fósforo no lago Tupé, Manaus-AM. In: Santos-Silva, E.N., Scudeller, V.V., Cavalcanti, M.J. (Orgs.). *BioTupé: Meio Físico, Diversidade Biológica e Sociocultural do Baixo Rio Negro, Amazônia Central*. Manaus: INPA, 53-59

GAO, X. et al. Unveiling the nitrogen and phosphorus removal potential: Comparative analysis of three coastal wetland plant species in lab-scale constructed wetlands. **Journal of Environmental Management**, v. 351, p. 119864, 2024.

GASPAROTTO, J. M. et al. **Adsorventes compostos de ferro, alumínio e lantânio: síntese, caracterização e aplicação na remoção de fluoretos**. 2022. Tese (Doutorado em Engenharia Química) – Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2022.

GODDEK, S. et al. Navigating towards decoupled aquaponic systems: A system dynamics design approach. **Water**, v. 8, n. 7, p. 303, 2016.

GONZÁLEZ-GAYA, B. et al. Effects of aquaculture waste feeds and antibiotics on marine benthic ecosystems in the Mediterranean Sea. **Science of The Total Environment**, v. 806, p. 151190, 2022.

GU, C. et al. Advanced nitrogen and phosphorus removal in pilot-scale anaerobic/aerobic/anoxic system for municipal wastewater in Northern China. **Bioresource Technology**, v. 399, p. 130616, 2024.

HILSDORF, A. W. S. Genética e cultivo de tilápias vermelhas - uma revisão. **Boletim do Instituto de Pesca São Paulo**, v. 22, p. 199-205, 1995.

HUSSAIN, Ahmed et al. Biological wastewater treatment technology: Advancement and drawbacks. In: **Microbial Ecology of Wastewater Treatment Plants**. Elsevier, 2021. p. 175-192.

Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística – IBGE, 2019. Pecuária. Retrieved in 2021, March 20, from <https://cidade>

JIA, Mengke et al. Effect of Calcium and Phosphorus on Ammonium and Nitrate Nitrogen Adsorption onto Iron (Hydr) oxides Surfaces: CD-MUSIC Model and DFT Computation. *Chemosphere*, p. <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2024.142070>

KUBITZA, F. **Qualidade da água na produção de peixes**. CIP – USP, 1999.

KUBITZA, F. **Qualidade da água no cultivo de peixes e camarões**. São Paulo, 2003.

KUBITZA, F. Tilápia: **Tecnologia e planejamento na produção comercial**. 2 ed. Jundiaí: F. Kubitza, 316p. 2011.

KUMAR, M. et al. **Electrocoagulation Based Treatment of Water And Wastewater: Overview and Applications**. Elsevier-Health Science, 2024.

LI, H. et al. Efficient simultaneous phosphate and ammonia adsorption using magnesium-modified biochar beads and their recovery performance. **Journal of Environmental Chemical Engineering**, v. 11, n. 5, p. 110875, 2023. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jece.2023.110875>

LI, M. et al. Ammonia toxicity in the yellow catfish (*Pelteobagrus fulvidraco*): The mechanistic insight from physiological detoxification to poisoning. **Fish & shellfish immunology**, v. 102, p. 195-202, 2020.

LIMA, A.F. et al. Reprodução, larvicultura e alevinagem de peixes. Piscicultura de água doce: multiplicando conhecimentos. **Brasília-DF. EMBRAPA**, p. 301-322, 2013.

LIU, Y. et al. Recovery of nickel, phosphorus and nitrogen from electroless nickel plating wastewater using bipolar membrane electrodialysis. **Journal of Cleaner Production**, v. 382, p. 135326, 2023b.

LIU, Z. et al. Microalgae-bacteria tandem-type ponds simultaneously removing ammonia nitrogen and phosphorus towards municipal wastewater advanced treatment. **Environmental Research**, v. 214, p. 114076, 2022.

LU, Z. et al. Simultaneous recovery of ammonium and phosphate from aqueous solutions using Mg/Fe modified NaY zeolite: Integration between adsorption and struvite precipitation. **Separation and Purification Technology**, v. 299, p. 121713, 2022. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.seppur.2022.121713>

MAHAPATRA, Saswat; SAMAL, Kundan; DASH, Rajesh Roshan. Waste Stabilization Pond (WSP) for wastewater treatment: A review on factors, modelling and cost analysis. **Journal of Environmental Management**, v. 308, p. 114668, 2022.

MUTHUKUMARAN, S.; BASKARAN, K. Organic and nutrient reduction in a fish processing facility - a case study. **International Biodeterioration & Biodegradation**, v. 85, p. 563-570, 2013.

NI, S.-Q.; AHMAD, H. A.; AHMAD, S. Immobilization of anaerobic ammonium oxidation bacteria for nitrogen-rich wastewater treatment. In: SHAH, P.; RODRIGUEZ-COUTO, S.; ŞENGÖR, S. S. **Emerging Technologies in Environmental Bioremediation**. Elsevier, 2020. <https://doi.org/10.1016/b978-0-12-819860-5.00001-8>

OLIVEIRA, Léo de. **Manual de qualidade da água para aquicultura**. Florianópolis-SC:[sn], 2000.

PEIXES BR. Anuário Brasileiro da Piscicultura Peixes BR 2024. Associação Brasileira da Piscicultura, 2024. <https://www.peixebr.com.br/anuario-2024/>

PELLETIER, N. E TYEDMERS, P. Life Cycle Assessment of Frozen Tilapia Fillets From Indonesian Lake-Based and Pond-Based Intensive Aquaculture Systems. **Journal of Industrial Ecology**, v. 14, n. 3, 2010.

PIRES, H. A. **Tratamento de efluente da industrialização de pescado com sistema de ultrafiltração**. 2017. Dissertação (Mestrado em ciência Animal) - Universidade Estadual Paulista (Unesp), Faculdade de Medicina Veterinária, Araçatuba, 2017.

PORTA, M. G. D. **Avaliação da eletrocoagulação no tratamento de efluentes líquidos da indústria de processamento de pescado**. Florianópolis-SC. UFSC. 2016, 89 p. Dissertação (Mestrado).

RASOULZADEH, H. et al. Predicting the capability of diatomite magnano composite boosted with polymer extracted from brown seaweeds for the adsorption of cyanide from water solutions using the response surface methodology: modelling and optimisation. **International Journal of Environmental Analytical Chemistry**, v. 103, n. 16, p. 4702-4715, 2023.

SENAR. Coleção SENAR reprodução, larvicultura e alevinagem de tilápias 2017. Disponível em: <<https://www.cnabrazil.org.br/assets/arquivos/197-TILAPIAS-NOVO.pdf>> Acesso em: 20/06/2022

SHANG, Z. et al. Enhanced phosphorus removal of constructed wetland modified with novel Lanthanum-ammonia-modified hydrothermal biochar: Performance and mechanism. **Chemical Engineering Journal**, v. 449, p. 137818, 2022.

SHEIKHMOHAMMADI, A et al. Application of Fe₃O₄@ activated carbon magnetic nanoparticles for the adsorption of metronidazole from wastewater: optimization, kinetics, thermodynamics and equilibrium studies. **Desalination and Water Treatment**, vol. 222, 354-365, 2021.

SILVA, F. A. et al. Adsorção de azul de metileno utilizando carvão ativado preparado a partir da casca do tamboril (*Enterolobium contortisiliquum*). **Química Nova**, v. 47, p. e-20230106, 2024.DOI: <https://doi.org/10.21577/0100-4042.20230106>

SILVA, M. J. et al. Biological responses of Neotropical freshwater fish *Lophiosilurus alexandri* exposed to ammonia and nitrite. **Science of the Total Environment**, v. 616, p. 1566-1575, 2018.

SONG, Z. F.; AN, J.; FU, G. H.; YANG, X. L. Isolation and characterization of an aerobic denitrifying *Bacillus* sp. YX-6 from shrimp culture ponds. **Aquaculture**, v. 319, n. 1–2, p. 188–193, 2011. <https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2011.06.018>

SOUTO, G. A. B. **Lixiviado de aterros sanitários brasileiros - estudo de remoção do nitrogênio amoniacal por processo de arraste com ar ("stripping")**. Tese (Doutorado)–Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, 371p. São Carlos. 2009.

SZOTA, C. et al. Developing simple indicators of nitrogen and phosphorus removal in constructed stormwater wetlands. **Science of The Total Environment**, p. 172192, 2024.

TANG, Y.; WEN, Q.; CHEN, Z. Simultaneous removal of nitrogen and phosphorus nutrients from secondary effluent by magnetic resin containing two types of quaternary ammonium adsorption sites: Preparation, characterization, and application. **Chemical Engineering Journal**, v. 477, p. 147137, 2023.

VIDAL, F. S., NAKAO, C. J. H. **A relação entre o pH, a alcalinidade e a amônia na piscicultura**. Divulgação científica. GIA – Grupo Integrado de Aquicultura e Estudos Ambientais. 20 abr. 2021.

WANG, Dianzhan et al. A novel bio-flocculation combined with electrodialysis process: Efficient removal of pollutants and sustainable resource recovery from swine wastewater. **Separation and Purification Technology**, v. 304, p. 122330, 2023.

WARDANI, W.W. et al. Growth performance, robustness against stress, serum insulin, IGF-1 and GLUT4 gene expression of red tilapia (*Oreochromis* sp.) fed diet containing graded levels of creatine. **Aquaculture Nutrition**, v. 27, n. 1, p. 274-286, 2021.DOI: <https://doi.org/10.1111/anu.13184>

YANG, P. *et al.* Assessing nutrient budgets and environmental impacts of coastal land-based aquaculture system in southeastern China. **Agriculture, Ecosystems & Environment**, v. 322, p. 107662, 2021.

ZHANG, W. *et al.* Growth performance, physiological response and histology changes of juvenile blunt snout bream, *Megalobrama amblycephala* exposed to chronic ammonia. **Aquaculture**, v. 506, p. 424-436, 2019.

ZHANG, Y. *et al.* Effect of Cement-Based Composite Pellets on Phosphorus Removal and Microbial Community Structure in Eutrophic Water. **Environmental Technology & Innovation**, 2024. DOI: 10.1016/j.eti.2024.103631.

ZOPPAS, F. M.; BERNARDES, A. M.; MENEGUZZI, Á. Parâmetros operacionais na remoção biológica de nitrogênio de águas por nitrificação e desnitrificação simultânea. **Engenharia Sanitaria e Ambiental**, v. 21, n. 1, p. 29–42, 2016. <https://doi.org/10.1590/S1413-41520201600100134682>, n. 1, p. 29–42, 2016. <https://doi.org/10.1590/S1413-41520201600100134682>