

1307 - PROPOSTA DE PROJETO PARA O REÚSO DO EFLUENTE TRATADO DE RANÁRIO EM CRIAÇÃO DE TILÁPIA

Pedro Arthur de Assis Ribeiro⁽¹⁾

Graduando em Engenharia Ambiental (UFV). Diretor de Projetos da Liga Acadêmica de Qualidade da Água e Saneamento (LAQUAS). Bolsista da Pró-Reitoria de Administração (UFV), Divisão de Água e Esgoto, Diretoria de Meio Ambiente.

Mariana Marinho Viana⁽²⁾

Graduanda em Engenharia Ambiental (UFV). Bolsista da Pró-Reitoria de Administração (UFV), Divisão de Água e Esgoto, Diretoria de Meio Ambiente.

Thaís da Silva Alves⁽³⁾

Graduanda em Engenharia Ambiental (UFV). Bolsista da Pró-Reitoria de Administração (UFV), Divisão de Água e Esgoto, Diretoria de Meio Ambiente.

Guilherme Mateus Bousada⁽⁴⁾

Engenheiro Químico (UFV) e mestre em Agroquímica (UFV). Doutorando no Programa de Pós-Graduação Multicêntrico em Química de Minas Gerais (UFV), com realização de doutorado sanduíche na Universidade de Bordeaux, no *Institut des Sciences Moléculaires* (Talence), França. Chefe do Serviço de Tratamento de Água e Esgoto (UFV).

João Francisco de Paula Pimenta⁽⁵⁾

Engenheiro Ambiental (UFV), Mestre e Doutor em Saneamento Ambiental pelo Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil (UFV). Chefe da Divisão de Água e Esgotos da UFV.

Endereço⁽⁵⁾: Avenida P. H. Rolfs, s/n - *Campus* Universitário - Viçosa - Minas Gerais - 36570-900 - Brasil - Tel: +55 (31) 3612-1534 - e-mail: agua@ufv.br

RESUMO

Este estudo propõe um sistema integrado e sustentável para o tratamento e reúso de efluentes de ranicultura de rã-touro (*Rana catesbeiana*) visando a criação de tilápias (*Oreochromis niloticus*). O sistema de tratamento de efluentes (ETE) para o ranário experimental da Universidade Federal de Viçosa foi dimensionado iniciando por um tratamento preliminar (gradeamento e desarenador), seguido por um sistema de lagoas (uma facultativa e duas de maturação em série) com um filtro de pedra ao final, demonstrando viabilidade técnica e ambiental para o tratamento eficaz dos efluentes característicos da ranicultura. A integração com a piscicultura, utilizando microalgas do efluente tratado como alimento para alevinos de tilápia GIFT em um tanque complementar com renovação diária de 5% e baixa densidade de estocagem, projeta uma produção anual de pescado em uma faixa de 152,76 kg e 320,58 kg, promovendo a economia circular ao reutilizar nutrientes do efluente e reduzir a demanda por recursos externos. Recomenda-se o monitoramento contínuo da qualidade do efluente, além do incentivo à replicação do modelo como referência para a aquicultura sustentável.

PALAVRAS-CHAVE: Economia Circular, Lagoa de Estabilização, Lagoa de Maturação, Ranicultura, Piscicultura.

INTRODUÇÃO

Nos últimos anos, a ranicultura tem enfrentado um cenário marcado por desafios e oportunidades em escala global, apresentando crescimento expressivo. Segundo a Spherical Insights (2023), países como China, Taiwan, Equador e México lideram as exportações, impulsionados pelo aumento da demanda por proteína alternativa e pela insustentabilidade da coleta de rãs silvestres. A criação controlada em ranários surge, assim, como uma resposta mais adequada à conservação de espécies e ao fornecimento regular de carne de rã. No Brasil, a ranicultura apresenta um cenário único, posicionando o país entre os líderes na produção mundial. Com produção concentrada principalmente na região Sudeste (responsável por quase 80% do total), o setor demonstra características peculiares tanto no aspecto mercadológico quanto ambiental (RIBEIRO; TOLEDO, 2022).

No âmbito mercadológico, a carne de rã destaca-se por seu alto valor nutricional, com baixo teor de lipídeos e aminograma completo (RIBEIRO; TOLEDO, 2022). Apesar da produção de carne de rã ter registrado queda no país, a demanda mantém-se alta (MAGAZINE AGROFEST, 2023). Seu consumo, no entanto, apesar de também envolver algumas comunidades rurais, ainda está restrito sobretudo a nichos gastronômicos como restaurantes franceses e asiáticos, envolvendo algumas resistências culturais (RIBEIRO; TOLEDO, 2022). As exportações permanecem incipientes, enfrentando obstáculos envolvendo licenciamento ambiental, o que dificulta a penetração em mercados mais exigentes como EUA e Europa (RIBEIRO; TOLEDO, 2022). Apesar da retração observada no consumo, ainda há espaço para expansão da atividade, desde que aliada a técnicas de manejo eficiente, qualidade sanitária e práticas sustentáveis (RIBEIRO; TOLEDO, 2022; MAGAZINE AGROFEST, 2023).

Neste contexto, a adoção de sistemas de tratamento de efluentes torna-se um componente estratégico, tanto do ponto de vista técnico quanto mercadológico. Do ponto de vista acadêmico, o tratamento de efluentes gerados na ranicultura constitui uma área promissora para o desenvolvimento de pesquisas aplicadas. A atividade envolve desafios específicos relacionados à alta carga de nutrientes como nitrogênio e fósforo. Isso abre espaço para o estudo de tecnologias de tratamento adaptadas à escala de produção, bem como para soluções integradas como o reúso agrícola (fertilirrigação) ou o uso em piscicultura. Nesse sentido, tecnologias baseadas em processos naturais, vêm ganhando destaque por aliar eficiência no tratamento de efluentes à recuperação de recursos, sendo compatíveis com estratégias circulares em sistemas de saneamento descentralizados (BRAGA et al. 2022).

O presente estudo propõe uma solução de tratamento para o efluente de uma ranicultura de rãs-touro (*Rana catesbeiana*), incluindo o reúso do efluente tratado. A proposta incorpora o fitoplâncton presente no efluente de lagoas de maturação como único alimento de tilápias GIFT (*Oreochromis niloticus*) em etapa de recria, que abrange o desenvolvimento inicial dos alevinos de 0,5 g a 30 g. Esta linhagem é conhecida pelo seu crescimento rápido e alta tolerância à amônia livre (ORTIZ et al. 2022). Esta estratégia reduz custos operacionais (como água e ração) e promove a economia circular na aquicultura.

Do ponto de vista sanitário, o uso de efluente tratado na criação de tilápias impõe uma preocupação central: garantir que o pescado produzido esteja dentro dos limites microbiológicos estabelecidos pela legislação vigente, especialmente no que se refere à presença de microrganismos patogênicos. Nesse sentido, o estudo de Santos et al. (2015) fornece uma importante base para considerar a viabilidade da piscicultura como etapa complementar ao sistema de lagoas de tratamento. Os autores realizaram análises microbiológicas nos peixes cultivados, demonstrando a ausência de *Salmonella* spp. e conformidade com os parâmetros estabelecidos pela RDC n.º 12/2001 da ANVISA e pelas diretrizes da FDA e da Comissão Internacional de Especificações Microbiológicas para Alimentos. Além disso, os efluentes de lagoas de estabilização são ricos em fitoplâncton e zooplâncton, sendo capazes de suprir as exigências nutricionais de tilápias juvenis sem suplementação artificial (SANTOS et al. 2009). Isso possibilita uma produção de baixo custo, reforçando os princípios da sustentabilidade e da economia circular na aquicultura integrada ao tratamento de efluentes.

OBJETIVOS

Este estudo propõe o desenvolvimento de um sistema integrado de tratamento e reúso de efluentes de ranicultura de rã-touro (*Rana catesbeiana*) para a recria de tilápias (*Oreochromis niloticus*), visando otimizar recursos hídricos, reutilizar nutrientes, reduzir impactos ambientais e promover a sustentabilidade econômica da cadeia produtiva.

METODOLOGIA UTILIZADA

Descrição do empreendimento

O ranário objeto deste estudo localiza-se no campus Viçosa-MG da Universidade Federal de Viçosa, em uma Unidade de Ensino, Pesquisa e Extensão (UEPE). Instalado com fins acadêmicos e comerciais, o Ranário Experimental realiza a criação da rã-touro (*Rana catesbeiana*), gerando receita para sua própria manutenção. O sistema de produção adotado é do tipo semi-seco, que alterna ambientes alagados e secos conforme o estágio de desenvolvimento dos animais, totalizando 55.570 indivíduos. A Tabela 1 apresenta a capacidade produtiva por unidade.

Tabela 1: Capacidade produtiva do Ranário Experimental da UFV

Etapas	Número de unidades	Animais por unidade	Número total de animais
Caixas de girinos	45	400	18.000
Tanques de girinos	14	1.800	25.200
Baias de engorda	14	700	9.800
Baias alagadas	8	320	2.560
Setor de reprodução	1	10	10
TOTAL	82	-	55.570

A produção inicia-se com a fase de girinagem, na qual os ovos eclodem em girinos e permanecem em tanques até atingirem a fase de imago. Durante essa etapa, utiliza-se uma proporção de 2 L de água por girino. O ranário conta com uma estufa equipada com 20 caixas de 800 L, além de 25 caixas de mesma capacidade em ambiente aberto. Complementam essa infraestrutura quatro tanques circulares e dez tanques retangulares, cada um com capacidade de 3.600 L.

Os imagos são transferidos para bancadas nas caixas de 800 L ou para a área seca dos tanques de 3.600 L, onde se desenvolvem até atingirem entre 10 e 40 gramas. Posteriormente, são alocados nas baias de engorda, onde chegam com aproximadamente 50 g e permanecem até atingirem cerca de 380 g, momento em que são destinados ao abate. O ranário conta com 12 baias de engorda, cada uma com uma área seca e dois canais de água, totalizando uma área de 17,4 m², com densidade média de 50 animais por metro quadrado.

Há também um setor de reprodução, localizado em uma área de 45 m², onde ocorre a seleção de rãs adultas para perpetuação do plantel. Além disso, o ranário possui 8 baias alagadas de 2 m x 2 m, com capacidade de 80 animais/m², as quais estão atualmente desativadas, sem previsão de retorno ao funcionamento.

A alimentação das rãs consiste principalmente em ração "Total Alimentar (Pescado)" da NEOVIA, com 42% de proteína para engorda e 32% para girinos, complementada por plâncton e, ocasionalmente, larvas de moscas. A taxa de alimentação é de aproximadamente 5% do peso corporal dos animais por dia, variando conforme as condições ambientais. Durante a fase de engorda, a ração é fornecida duas vezes ao dia, enquanto na girinagem são realizadas seis alimentações diárias. A eficiência alimentar esperada é de 1 kg de ração para 1,8 kg de rãs na fase de engorda e 25 kg de ração para cada 10.000 girinos produzidos.

Na mesma área funciona a Unidade de Ensino, Pesquisa e Extensão (UEPE) em Piscicultura, que conta com 36 tanques de peixes, dos quais o maior estava em desuso e foi destinado ao tratamento dos efluentes do Ranário (Figura 1). As espécies de peixe criadas na piscicultura da UFV são: tilápia, carpa, lambari, entre outras.

O projeto da Estação de Tratamento de Efluentes (ETE) do Ranário Experimental da UFV, originalmente proposto por De Jesus e Marino (2023), foi desenvolvido com foco na sustentabilidade e na otimização de recursos, priorizando o aproveitamento de estruturas existentes, como a lagoa previamente escavada com dimensões de 70,5 m de comprimento e 28,9 m de largura (área de 2037,45 m² e perímetro de 198,8 m), o que contribuiu para a redução dos custos de implantação (Figura 1).

Lagoa preexistente na UEPE Ranário Experimental UFV

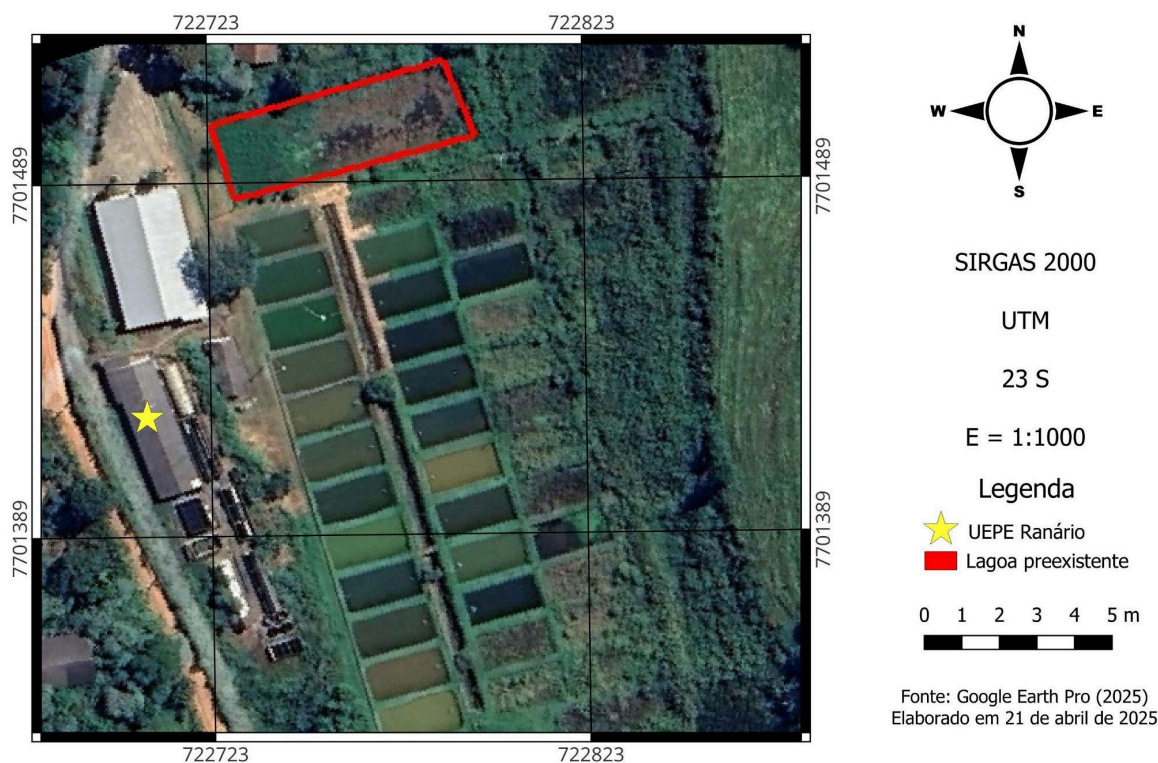


Figura 1. Lagoa preexistente na UEPE Ranário Experimental.

Diagnóstico e Caracterização dos Efluentes

Inicialmente, realizou-se um levantamento operacional detalhado para identificar as fontes geradoras de efluentes, incluindo caixas de girinos, tanques, baias de engorda e esgoto doméstico. Foram consideradas as variações sazonais (período quente e frio) na frequência de geração de efluentes, com medições diretas de vazão em campo.

A coleta de efluentes (provenientes da limpeza das baias e da caixa de girinos) foi realizada em uma campanha única, abrangendo um ciclo produtivo completo. As amostras foram armazenadas em bombonas de polietileno de 5 L, previamente descontaminadas com solução de ácido clorídrico 1:1 (v:v) e enxaguadas sequencialmente com água comum e com o próprio efluente.

Todos os ensaios foram conduzidos em duplicata, seguindo os procedimentos indicados no *Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater* (SMEWW), 24ª edição (APHA, AWWA e WEF, 2022), (Tabela 2). As curvas de calibração para os métodos espectrofotométricos foram validadas mediante: análise de homocedasticidade dos resíduos da regressão linear; verificação do ajuste do modelo com coeficientes de correlação (R^2) superiores a 0,998 e determinação das figuras de mérito, incluindo: limites de detecção (LD) e quantificação (LQ); resolução analítica (ReAn) e exatidão do método, avaliada por meio da recuperação analítica.

Tabela 2: Parâmetros e Técnicas Analíticas Utilizadas.

Métodos espectroscópicos						
Parâmetro	Procedimento	LD / mg L ⁻¹	LQ / mg L ⁻¹	ReAn / mg L ⁻¹	Exatidão	R ²
DQO	SMEWW 5220 D	10	33	20	98,8%	0,9996
P Total	SMEWW 4500-P D	0,01	0,02	0,01	100,4%	0,9987
Métodos volumétricos, gravimétricos, potenciométricos e cromogênicos						
Parâmetro			Procedimento			
Nitrogênio Amoniacal Total -N-NH ₃			SMEWW 4500 B e C			
Demanda Bioquímica de Oxigênio - DBO ₅			SMEWW 5210 B e SMEWW 4500-O C			
Sólidos Suspensos Totais - SST			SMEWW 2540 D			

Coliformes totais e <i>Escherichia coli</i>	SMEWW 9223
Potencial Hidrogeniônico - pH	SMEWW 4500-H+ B

Legenda: LD - Limite de Detecção; LQ - Limite de Quantificação; ReAn - Resolução Analítica; R² - Coeficientes de Correlação; DQO – Demanda Química de Oxigênio; P Total – fósforo total; SMEWW - Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater 24ª edição (APHA, AWWA e WEF, 2022).

Além desses parâmetros foi também considerada para o dimensionamento a estimativa de amônia livre, levando em consideração os dados de temperatura do líquido, pH da solução e concentração de nitrogênio amoniacal total conforme a equação 1 (LIU et al., 2019):

$$C_{\text{NH}_3} = (1,214 \times C_{\text{N-NH}_3} \times 10^{\text{pH}}) / [\exp(6344/T) + 10^{\text{pH}}] \quad \text{Equação (1)}$$

Em que:

C_{NH_3} : Concentração de amônia livre (mg L⁻¹)

$C_{\text{N-NH}_3}$: Concentração de nitrogênio amoniacal (mg L⁻¹)

pH: Potencial hidrogeniônico (adimensional)

T: Temperatura do líquido em Kelvin

As condições climáticas de Viçosa-MG, especialmente a temperatura média de 16,7 °C no mês mais frio, foram consideradas.

Metodologia de dimensionamento

O dimensionamento da Estação de Tratamento de Efluentes (ETE) baseou-se em metodologias amplamente reconhecidas na literatura técnica, priorizando sistemas naturais de baixo custo operacional e com eficiência em climas tropicais, em consonância com as diretrizes de Von Sperling (2014) e Jordão e Pessoa (2011), e incorporando princípios da aquicultura de acordo com Santos (2015), Ortiz (2018 e 2022) e Freitas (2023).

A determinação da vazão de projeto considerou as seguintes parcelas, calculadas de forma integrada:

1. Vazão de lavagem das Baías: A medição direta da vazão durante a lavagem das baías de engorda serviu como referência para as baías de teste e reprodução, dada a dificuldade de medição individual nestas últimas. Considerou-se a lavagem de apenas uma baía por vez, refletindo a operação sequencial.
2. Descarte das Caixas e Tanques de Girinos: Calculou-se o volume descartado a partir da taxa de 10% do volume total, com um tempo de descarte fixado em 0,032 h.
3. Vazão Doméstica: Estimada em função de 10 pessoas (funcionários e alunos), conforme a NBR 17076, por analogia a uma unidade escolar.

A vazão total média de projeto foi obtida pela soma dessas três contribuições, assegurando um dimensionamento da ETE adequado às condições operacionais específicas.

Definição do Sistema de Tratamento

Optou-se por um sistema em quatro etapas principais, priorizando simplicidade, sustentabilidade e atendimento aos padrões legais (CONAMA 430/2011 e DN COPAM-CERH 08/22). A sequência incluiu: tratamento preliminar (grade e desarenador), tratamento secundário (lagoa facultativa), tratamento terciário (duas lagoas de maturação em série) e pós-tratamento (filtro de pedra).

Detalhamento das Unidades - Lagoas Facultativa

A etapa de tratamento secundário do sistema proposto foi concebida com base na implantação de uma lagoa facultativa (LF), dimensionada de acordo com as diretrizes técnicas para sistemas de lagoas em regiões tropicais, conforme Von Sperling (2014). A unidade foi projetada com chicanas internas, com o objetivo de favorecer o escoamento hidráulico próximo ao regime de pistão, promovendo maior eficiência na remoção de matéria orgânica.

O dimensionamento da lagoa facultativa considerou como critério principal a carga orgânica superficial (Ls), expressa em kgDBO/ha.dia. Essa variável foi calculada a partir da vazão média do sistema e da carga de demanda

bioquímica de oxigênio (DBO) no afluente da unidade, sendo fundamental para definir a área superficial da lagoa. O tempo de detenção hidráulica (TDH) e demais parâmetros operacionais foram estimados com base em fórmulas empíricas e orientações técnicas presentes na literatura especializada. Apenas a profundidade da lagoa que devido a aspectos construtivos e proximidade do lençol freático foi adotada um pouco menor que a recomendada.

A concepção hidráulica da lagoa incluiu a consideração dos processos biológicos que ocorrem em diferentes zonas da coluna d'água: processos aeróbios predominando na zona superior, favorecidos pela presença de algas fotossintetizantes, e anaeróbios atuando nas camadas mais profundas, onde ocorre o acúmulo de sólidos sedimentáveis.

O projeto foi ajustado para atender às condições locais do terreno, incluindo limitações relacionadas ao lençol freático, que influenciaram diretamente na definição da profundidade da lagoa. Todos os parâmetros estimados foram comparados com os valores recomendados na literatura, garantindo a adequação do sistema às condições típicas de operação para lagoas facultativas.

Lagoas de Maturação

O tratamento terciário do sistema proposto foi concebido por meio da implantação de duas lagoas de maturação em série, com o objetivo de promover a remoção de patógenos, em especial *Escherichia coli*, e de amônia, a fim de elevar a eficiência sanitária do efluente tratado e possibilitar o reúso na piscicultura. O projeto foi orientado pelas diretrizes de qualidade exigidas para o lançamento em corpo hídrico classificado como Classe 2, conforme o enquadramento estabelecido pela Deliberação Normativa Conjunta COPAM-CERH/MG nº 08/2022.

Para o dimensionamento das lagoas, utilizou-se o modelo de fluxo disperso (VON SPERLING, 2014), aplicando o conceito de tanques em série com dispersão longitudinal para estimar o comportamento hidráulico e a remoção microbiológica, considerando as limitações topográficas do terreno. Adotou-se ainda um modelo cinético de primeira ordem, com taxa de decaimento bacteriano (K_b) ajustada à temperatura local, para determinar o tempo de detenção hidráulica (TDH) e distribuí-lo igualmente entre as unidades, garantindo eficiência no processo de desinfecção natural.

Todos os parâmetros adotados no dimensionamento foram verificados quanto à conformidade com os valores recomendados para sistemas de lagoas de maturação, assegurando a eficácia, viabilidade técnica e atendimento aos padrões legais e ambientais vigentes no Estado de Minas Gerais.

Tanque de Peixes

O estudo foi desenvolvido com base em uma análise comparativa de dados experimentais extraídos de pesquisas publicadas entre 2007 e 2023, com ênfase na integração entre sistemas de tratamento de efluentes e piscicultura extensiva. A metodologia adotada dividiu-se em etapas específicas, descritas a seguir.

Inicialmente, realizou-se uma seleção criteriosa de estudos científicos que abordassem o uso de efluentes tratados em lagoas de estabilização para cultivo de tilápias. Foram priorizados trabalhos como os de Santos et al. (2007, 2009, 2015), Freitas et al. (2023) e Braga et al. (2022), além de diretrizes técnicas da Embrapa (2021, 2022). Os critérios de inclusão consideraram variáveis como desempenho zootécnico (ganho de peso diário, taxa de conversão alimentar, sobrevivência), parâmetros de qualidade da água e viabilidade econômica.

A esses estudos foram incorporados estudos que avaliaram a fração de amônia e sua influência na criação de tilápias. A concentração de amônia foi calculada a partir do nitrogênio amoniacal total, utilizando equações de equilíbrio químico que consideram pH e temperatura da água (LIU et al. 2019). Adotaram-se dados médios de pH (8,7) e temperatura (21,4 °C) do efluente pós-lagoas de polimento para estimar a fração tóxica, comparando-a ao limite máximo seguro de 0,48 mg/L estabelecido para tilápias GIFT (ORTIZ et al., 2022).

Em seguida, definiram-se os sistemas de tratamento de efluentes a serem comparados: (i) um sistema composto por reator UASB seguido de lagoas de polimento, com reposição diária de 5% do volume do tanque, conforme Freitas et al. (2023); e (ii) um sistema em série com lagoas anaeróbia, facultativa e duas de maturação, sem reposição diária declarada, conforme Santos et al. (2015). Para ambos os modelos, estabeleceram-se os parâmetros de análise, incluindo densidade de estocagem, coeficiente de conversão alimentar (CCA), protocolos de alimentação e critérios de sustentabilidade.

Os indicadores zootécnicos foram calculados com base nas diretrizes da (EMBRAPA 2021 e 2022), considerando teores de proteína bruta adequados a cada fase de crescimento dos peixes e o CCA médio recomendado. As projeções de consumo de ração e custos foram padronizadas para um tanque de 226 m³, conforme descrito nos estudos selecionados, para garantir comparabilidade. Adicionalmente, incorporou-se uma avaliação qualitativa dos princípios de economia circular, com foco na redução de insumos artificiais e eficiência energética (BRAGA et al. (2022).

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Caracterização dos Efluentes

A caracterização dos efluentes do ranário experimental revelou distintas contribuições de carga poluente entre as baias de engorda, os tanques de girinos e esgoto sanitário (Tabela 3). Como esperado, a maior parte da carga se concentra no efluente das baias, com exceção do parâmetro Sólidos Suspensos Totais (SST), que apresentou uma concentração surpreendentemente elevada nos efluentes dos girinos.

Tabela 3: Caracterização dos efluentes gerados no Ranário Experimental

Parâmetro	Fonte			Média	Carga /kg d ⁻¹	Equivalente Populacional / hab. ^a
	Baias	Girinos	Sanitários ^a			
Vazão / m ³ .d ⁻¹	10,69	0,16	0,5	11,30	-	76
pH	7,7	9,8	7	8,7	-	-
DBO ₅ / mg L ⁻¹	275	3,8	400	276,7	3,14	58
DQO / mg L ⁻¹	876	180,0	800	862,8	9,79	89
SST / mg L ⁻¹	121	642,0	300	136,2	1,55	22
P Total / mg L ⁻¹	13,93	1,89	8	13,5	0,15	50
N-NH ₃ / mg L ⁻¹	11,6	<5,0	35	12,5	0,14	28

Legenda: ^a Estimados para valores típicos de efluente doméstico (VON SPERLING *et al.* 2014); DBO₅ - Demanda Bioquímica de Oxigênio; DQO - Demanda Química de Oxigênio; SST - Sólidos Suspensos Totais; P Total - fósforo total; N-NH₃ - Nitrogênio Amoniacal Total; Média - Concentração média ponderada das fontes geradoras.

No que concerne à Demanda Bioquímica de Oxigênio (DBO₅), a concentração média ponderada foi de 276,6 mg L⁻¹, com uma carga total de 3,14 kg.d⁻¹. A principal contribuição provém das baias devido a alta geração de efluentes dessa fase. A baixa concentração de DBO₅ nos girinos (3,8 mg L⁻¹) indica uma menor produção de matéria orgânica biodegradável nessa fase.

A Demanda Química de Oxigênio (DQO) seguiu um padrão semelhante ao da DBO₅, com uma média ponderada de 862,8 mg L⁻¹ e uma carga total de 9,79 kg.d⁻¹. As baias apresentaram a maior concentração (876 mg L⁻¹), seguidas pelo efluente doméstico (800 mg L⁻¹). A relação DQO/DBO para as baias (aproximadamente 3,19) sugere a presença de uma fração significativa de matéria orgânica não facilmente biodegradável, o que pode influenciar na escolha dos processos de tratamento biológico.

De forma notável, os Sólidos Suspensos Totais (SST) apresentaram a maior concentração nos efluentes dos girinos (642 mg L⁻¹), contrastando com a concentração nas baias (121 mg L⁻¹). Essa alta concentração nos girinos pode ser atribuída à ressuspensão de partículas no sistema de criação, à produção de fezes ou à alimentação específica dessa fase. A média ponderada de SST foi de 136,2 mg L⁻¹, com uma carga total de 1,55 kg.d⁻¹. Todavia, devido às diferenças de vazão, a contribuição dos SST das baias continua sendo a mais importante, correspondendo a cerca de 84% da carga.

Em relação ao Fósforo Total (P Total), a concentração média ponderada foi de 13,5 mg L⁻¹, com uma carga total de 0,15 kg d⁻¹. As baias apresentaram a maior concentração (13,93 mg L⁻¹). A concentração nos girinos foi relativamente baixa (1,89 mg L⁻¹). A carga de fósforo proveniente das baias é, portanto, a mais relevante para o dimensionamento de sistemas de remoção desse nutriente (97% da carga total), visando prevenir a eutrofização em corpos hídricos receptores.

O Nitrogênio Amoniacal Total (N-NH₃) apresentou uma concentração média ponderada de 12,5 mg L⁻¹, com uma carga total de 0,14 kg d⁻¹. A maior concentração esperada seria para o efluente sanitário (35 mg L⁻¹), seguido pelas baias (11,6 mg L⁻¹). Devido às diferenças de vazão, no entanto, as baias continuam a ser a fonte mais importante, correspondendo a cerca de 87% da carga total para esse parâmetro. A concentração de N-NH₃ nos

girinos estava abaixo do limite de detecção ($<5,0 \text{ mg L}^{-1}$), demonstrando uma baixa contribuição.

O pH variou entre as fontes, com valores de 7,7 nas baías, 9,8 nos girinos e 7 no efluente doméstico, resultando em um valor de 8,7 do efluente combinado. O pH mais alcalino nos tanques de girinos pode estar relacionado a processos biológicos específicos (maior presença de fitoplâncton, por exemplo) ou à qualidade da água de abastecimento utilizada nessa etapa.

Considerando o Equivalente Populacional (EP), calculado com base na carga de DBO_5 (58 habitantes), e considerando a carga total de outros parâmetros, constata-se que a carga poluente gerada pela atividade de ranicultura é significativamente maior do que a esperada para o número de funcionários e alunos presentes no local (10 pessoas). Essa disparidade sublinha a necessidade de um sistema de tratamento dimensionado especificamente para as características desse tipo de efluente, que se distingue consideravelmente do esgoto sanitário típico.

Eficiência Estimada do Sistema de Tratamento

Foi proposto um sistema de tratamento composto por múltiplas etapas, organizadas conforme o fluxo do efluente:

- **Tratamento preliminar:** grade e desarenador;
- **Medição de vazão:** calha Parshall;
- **Tratamento secundário:** lagoa facultativa;
- **Tratamento terciário:** duas lagoas de maturação em série;
- **Etapa de Reúso:** Tanque de peixes (polimento biológico), com tilápias em fase de recria;
- **Pós-tratamento:** Filtro de pedra.

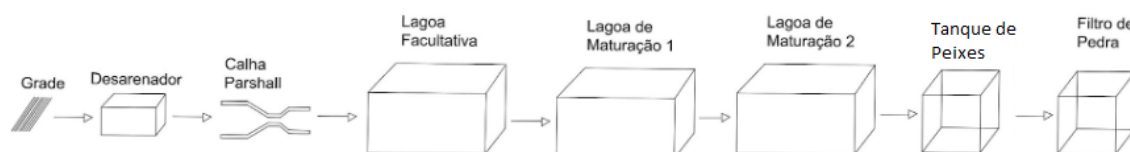


Figura 2. Esquema do sistema de tratamento de efluentes. Fonte: Autoria própria, 2025.

Tratamento preliminar

O efluente passa inicialmente por uma etapa de remoção de sólidos grosseiros, composta por uma unidade de gradeamento fino (GD). O gradeamento foi dimensionado com barras paralelas de 6,4 mm de espessura e espaçamento de 10 mm entre elas, dispostas com inclinação de 60° em relação à jusante do canal, conforme recomendações técnicas. Esse arranjo garante a retenção de sólidos grosseiros. A unidade será instalada respeitando os critérios mínimos da NBR 12209/2011, que estabelece largura mínima de 0,30 m e profundidade mínima de 0,20 m, com taxa de aplicação superficial (TAS) entre 600 e $1000 \text{ m}^3 \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{dia}^{-1}$.

Na sequência, o efluente segue para a remoção de areia por meio de uma unidade de desarenador do tipo canal de fluxo horizontal, projetado para operar com velocidade horizontal constante de $0,3 \text{ m s}^{-1}$, assegurando a sedimentação de partículas minerais abrasivas. O desarenador foi dimensionado com largura de 0,30 m, profundidade de 0,30 m e taxa de aplicação superficial de $279,1 \text{ m}^3 \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{dia}^{-1}$. Embora as dimensões geométricas atendam aos critérios mínimos da NBR 12209/2011, a TAS encontra-se abaixo da faixa recomendada pela norma, devido à baixa vazão do sistema. A comparação entre os parâmetros adotados e os valores normativos está apresentada na Tabela 4, abaixo.

Devido à baixa velocidade de escoamento e à reduzida taxa de aplicação superficial desta unidade, espera-se remoção de matéria orgânica, o que pode resultar na formação de maus odores. Diante disso, recomenda-se que a limpeza do desarenador seja realizada quinzenalmente, como medida preventiva.

Tabela 4 – Comparação dos parâmetros adotados com a norma (NBR 12209/2011)

	Parâmetro		
	Profundidade /m	Largura /m	Taxa de aplicação superficial / m ³ .m ² .dia ⁻¹
Faixa recomendada	≥0,3	≥0,2	600-1000
Valor adotado	0,3	0,3	279

Tratamento Secundário - Lagoa Facultativa

A etapa de tratamento secundário proposta para o sistema baseia-se na implantação de uma unidade de lagoa facultativa (LF), dotada de chicanas internas com o objetivo de favorecer o escoamento próximo ao regime de pistão. Essa configuração hidráulica permite melhorar o desempenho do sistema, promovendo maior eficiência na remoção de matéria orgânica, especialmente da demanda bioquímica de oxigênio (DBO).

As lagoas facultativas operam por meio da interação de processos aeróbios e anaeróbios, distribuídos em diferentes zonas verticais. Na região superficial, a presença de luz solar favorece o crescimento de algas, que realizam fotossíntese e liberam oxigênio, criando um ambiente propício à oxidação aeróbia da matéria orgânica. Já nas camadas mais profundas, onde a luz não penetra e ocorre acúmulo de sólidos sedimentáveis, predominam processos anaeróbios, responsáveis pela digestão da matéria orgânica depositada no fundo da lagoa (VON SPERLING, 2014).

O dimensionamento da lagoa facultativa adotou como parâmetro principal a carga orgânica superficial (Ls), conforme recomendado por Von Sperling (2014) para sistemas de tratamento por lagoas em regiões tropicais. Essa variável representa a taxa de aplicação de matéria orgânica por unidade de área da lagoa, sendo determinante para o correto dimensionamento da unidade.

Os principais parâmetros hidráulicos e operacionais obtidos foram comparados com os intervalos recomendados por Von Sperling (2014), conforme apresentado na Tabela 5. A carga orgânica superficial adotada (119,11 kg ha⁻¹d⁻¹) encontra-se dentro da faixa típica recomendada (100–350 kg ha⁻¹d⁻¹), bem como o tempo de detenção hidráulica (30,43 dias). Entretanto, a profundidade de projeto (1,0 m) está ligeiramente abaixo da faixa usualmente recomendada (1,5 a 2,0 m), justificando-se por restrições construtivas locais, uma vez que o lençol freático se encontra muito próximo à superfície, o que inviabilizou escavações mais profundas.

Tabela 5 – Comparação dos parâmetros adotados com a literatura (VON SPERLING, 2014)

	Parâmetro				
	Profundidade (m)	TDH (dias)	Carga orgânica (kg/ha.d)	Relação comprimento/largura	Número de dispersão (d)
Faixa recomendada	1,5 – 2,0	15 – 45	100 – 350 (194,1) ^a	2 – 4	0,25 – 0,5
Valor adotado	1,0	30,43	119,11	8,4	0,12

^a Valor calculado em função da temperatura média local (VON SPERLING et al., 2014).

Tratamento Terciário – Lagoas de Maturação

O tratamento terciário do efluente será composto por duas lagoas de maturação em série, com o objetivo de promover a remoção de patógenos e amônia, aumentando a eficiência sanitária do sistema e adequando ao objetivo de reúso em piscicultura. O critério adotado foi a obtenção de uma concentração final de *E. coli* inferior a 1.000 NMP/100 mL (COPAM-CERH/MG nº 08/2022) e amônia não ionizada (NH₃) inferior a 0,48 mg L⁻¹ (ORTIZ et al., 2022).

A primeira lagoa foi dimensionada com profundidade de 0,9 m e comprimento de 23,0 m, respeitando-se as limitações espaciais do terreno. Para essa unidade, adotou-se o regime hidráulico de fluxo disperso, obtendo-se um número de dispersão d = 0,18 e, após correção para temperatura, um coeficiente de decaimento bacteriano Kb = 0,552 d⁻¹.

Na segunda lagoa de maturação, com as mesmas dimensões longitudinais (L = 23,0 m) e profundidade de 0,8 m, aplicaram-se novamente os modelos para fluxo disperso, resultando em d = 0,16 e Kb = 0,641 d⁻¹.

A partir desses dados, o tempo de detenção hidráulica (TDH) total necessário para atingir os objetivos de qualidade final foi estimado em 14 dias. Considerando as lagoas em série e visando um projeto equilibrado, esse

tempo foi dividido igualmente entre as duas unidades, adotando-se 7 dias para cada lagoa.

Os principais parâmetros adotados para o projeto foram comparados com as faixas recomendadas pela literatura (VON SPERLING, 2014). Essa comparação está sintetizada na Tabela 6.

Tabela 6 – Comparação dos parâmetros adotados com a literatura (VON SPERLING, 2014)

		Parâmetro			
		Comprimento (m)	Profundidade (m)	TDH (dias)	Área (m²)
Faixa recomendada		—	0,8 – 1,0	>5	—
Valores adotados	Lagoa de Maturação 1	23,00	0,90	7,0	3,65
	Lagoa de Maturação 2	23,00	0,80	7,0	4,11

Após essas etapas, o efluente tratado será destinado ao tanque de peixes, com o objetivo de utilizar o fitoplâncton (principalmente microalgas) gerado nessa etapa como fonte de alimentos. A Figura 2 apresenta, de forma esquemática, o arranjo das unidades de tratamento e o fluxo do efluente ao longo do processo.

Reúso na Piscicultura: Fundamentação e Aplicabilidade

O tanque de peixes, posicionado após as lagoas de maturação, atua como uma unidade de polimento biológico, contribuindo para a remoção complementar de nutrientes, principalmente por meio da assimilação pelos organismos aquáticos. Essa unidade também oferece um indicativo visual de qualidade da água tratada, podendo servir como uma etapa educativa e de monitoramento da eficiência do sistema.

Do ponto de vista sanitário, o uso de efluente tratado na criação de tilápias impõe uma preocupação central: garantir que o pescado produzido esteja dentro dos limites microbiológicos estabelecidos pela legislação vigente, especialmente no que se refere à presença de microrganismos patogênicos. Nesse sentido, o estudo de Santos *et al.* (2015) fornece uma importante base para considerar a viabilidade da piscicultura como etapa complementar ao sistema de lagoas de tratamento.

Por ser tóxica aos peixes, a concentração máxima recomendada de amônia não ionizada (NH_3) para o cultivo seguro de alevinos de tilápia GIFT é de $0,48 \text{ mg L}^{-1}$ (ORTIZ *et al.*, 2022). Acima desse limite, observa-se aumento significativo na mortalidade dos peixes e ocorrência de alterações histopatológicas severas nas brânquias, como fusão lamelar, hemorragias e aneurismas (ORTIZ *et al.*, 2022).

Considerando os dados da ETE do ranário da UFV, tem-se uma concentração média de nitrogênio amoniacal total no efluente tratado de $1,8 \text{ mg L}^{-1}$. Para uma avaliação adequada, é necessário converter esse valor para a fração não ionizada (NH_3), que é a forma tóxica para os peixes.

A fração de NH_3 depende criticamente do pH e da temperatura. No projeto da ETE, após passagem pelas lagoas de polimento, o pH médio do efluente é estimado em 8,7 (condição alcalina típica desse estágio de tratamento). Combinado com a temperatura média do líquido de $21,4^\circ\text{C}$, aproximadamente $0,39 \text{ mg L}^{-1}$ do nitrogênio amoniacal total estará na forma de NH_3 (LIU *et al.*, 2019). Uma vez que o limite seguro para a amônia é de $0,48 \text{ mg L}^{-1}$, a concentração estimada de $0,39 \text{ mg L}^{-1}$ de NH_3 no efluente tratado está dentro da faixa indicada (ORTIZ *et al.*, 2022).

Com base no dimensionamento técnico e nas eficiências médias típicas das unidades utilizadas, foram obtidas as estimativas de remoção para os principais parâmetros de qualidade do efluente. A Tabela 7 apresenta os valores de eficiência estimada de remoção para cada etapa do tratamento.

Tabela 7: Eficiências estimadas de remoção para os principais parâmetros e os limites considerados.

Parâmetro	Limite	Concentração Inicial Mensurada	Concentração Final Estimada	Eficiência de Remoção Estimada
$\text{DBO}_5/\text{mg L}^{-1}$	Remoção $\geq 75\%$ ^a	278,8	36,9	86,80%
<i>E. coli</i> /NMP. 100 mL^{-1}	$\leq 1.10^3$ ^{ab}	$1,3.10^6$	$4,7.10^{-1}$	6,1 log
$\text{N-NH}_3/\text{mg L}^{-1}$	< 20 ^a	33 ^d	1,8	94,3%
pH	Entre 5 e 9 ^a	8,7	8,7	-
Amônia Livre $\text{NH}_3/\text{mg L}^{-1}$	0,48 ^{c,d}	7,2 ^c	0,39 ^c	94,54%

Legenda ^aCOPAM-CERH/MG nº 08/2022 e nº 01/2008; ^{ab}Referente ao limite de classe 2 do corpo receptor, necessário estudo

de autodepuração; °Ortiz *et al.*, 2022 ° Calculado conforme Liu *et al.* (2019) °Estimado conforme Von Sperling *et al.* (2014) considerando esgoto sanitário.

Criação de Alevinos em Tanque de Pós-Tratamento – Viabilidade Técnica e Estimativas de Produção

Para o tanque de peixes em estudo, foi adotado um sistema com reposição diária de 5% do volume total, equivalente a 11,29 m³ por dia, em um tanque com volume de 226 m³. De acordo com Freitas *et al.* (2023), o aumento desse volume de reposição não impacta diretamente os resultados zootécnicos. Nesse experimento, foi utilizado efluente tratado proveniente de um sistema composto por reator UASB seguido por lagoas de polimento. O melhor desempenho zootécnico observado neste estudo foi com uma densidade de estocagem (DE) de 10 alevinos/m³, resultando em um ganho de peso diário (GDP) de 0,24 g dia⁻¹. Considerando um ciclo de cultivo de 45 dias, o peso final por peixe foi de 11,3 g, com uma produção total de 25,54 kg, correspondendo a uma biomassa de 113 g m⁻³ (FREITAS *et al.*, 2023).

Com base nas diretrizes técnicas da Embrapa (2021), a alimentação de tilápias deve respeitar diferentes teores de proteína bruta (PB) conforme o estágio de crescimento dos peixes. Abaixo de 1 g, recomenda-se o uso de rações com mais de 40% de PB; entre 1 g e 8 g, rações com 40% de PB; e para peixes entre 8 g e 15 g, rações com 36% de PB, e acima de 15 g, 32%. Para fins de estimativa de consumo e custo de ração, considerou-se um coeficiente de conversão alimentar (CCA) médio de 1,7, conforme sugerido pela Embrapa (2022).

Em outro estudo, Santos *et al.* (2015) observaram um GDP significativamente superior, de 1,74 g dia⁻¹, utilizando efluente tratado em um sistema composto por quatro lagoas: uma anaeróbia, uma facultativa e duas de maturação, sem reposição diária declarada. A densidade de estocagem utilizada foi de 3 alevinos/m³.

Foram então realizadas estimativas para a capacidade de produção de peixes, para o consumo e custo de ração no tanque aqui proposto, com 226 m³, com diferentes parâmetros zootécnicos (SANTOS *et al.*, 2015 e FREITAS *et al.*, 2023). Foram considerados a produção total de biomassa e o respectivo ganho de peso dos alevinos em 45 dias, adotando-se o preço médio da ração correspondente a cada fase de desenvolvimento dos peixes. Ambos os estudos reportaram mortalidade de 0% durante os períodos avaliados. A comparação das estimativas utilizando os dois estudos é apresentada na Tabela 8.

Tabela 8: Comparativo das estimativas de resultados da produção de peixes por ciclo de 45 dias segundo diferentes parâmetros zootécnicos.

Parâmetro	Freitas <i>et al.</i> (2023)	Santos <i>et al.</i> (2015)
Tipo de tratamento	UASB + lagoas de polimento	Série de Lagoas (1 anaeróbia, 1 facultativa, 2 maturação)
Densidade alevinos.m ⁻³	10	3
Ganho de Peso g.d ⁻¹	0,24	1,74
Peso final dos peixes	11,3	78,8
Produção total em 45 dias (kg)	25,54	53,43
Ração Necessária (kg)	43,42	90,83
Preço por kg de ração (R\$)	10,94 ^a	11,00 ^a
Custo Total (R\$)	481,96	993,67

Legenda: ^aPreço médio das diferentes rações utilizadas nessa faixa de peso

Com isso, supondo 6 ciclos de 45 dias cada, por ano, tem-se uma produção estimada entre 152,76 kg e 320,58 kg kg de crescimento de alevinos no ano, com uma economia em ração estimada de R\$ 2.891,76 a R\$ 5.962,02 por ano. Considerando os tanques de piscicultura em atividade ao lado, os alevinos podem ser facilmente transferidos para os tanques ao lado e entrarem na fase de engorda, onde sairão com um peso de em torno de 800g, a maior densidade de estocagem, apesar de proporcionar menor crescimento, poderia ser mais viável economicamente para o empreendimento por gerar mais alevinos para os tanques de engorda.

Após o tanque de peixes, com o objetivo de melhorar a qualidade do efluente lançado no corpo receptor e seguindo recomendações de Von Sperling (2014), foi dimensionado um filtro de pedra adotando uma Taxa de aplicação volumétrica de 1 m³ por m³ de filtro de pedra.

CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES

O projeto da Estação de Tratamento de Efluentes (ETE) do ranário experimental da Universidade Federal de Viçosa com uma série de lagoas e reúso na criação de tilápias demonstrou viabilidade técnica e ambiental, sendo uma solução eficaz para o tratamento desses efluentes. A configuração com lagoa facultativa seguida por duas lagoas de polimento, mostrou-se adequada às condições locais, respeitando as limitações do lençol freático, atendendo aos padrões estabelecidos pelas Deliberações Normativas COPAM de Minas Gerais e aos critérios zootécnicos para a criação de tilápias em fase de recria.

A proposta de utilização do tanque complementar para a criação de alevinos de tilápia com efluente tratado revelou-se viável. Com renovação diária de 5% do volume e densidades de estocagem e desempenhos zootécnicos baseados em diferentes estudos, estimou-se uma produção anual entre 152,76 kg e 320,58 kg de biomassa, considerando 6 ciclos de 45 dias. A prática ainda permite uma significativa economia no custo de ração, reforçando o potencial produtivo e econômico da integração com os sistemas já existentes.

Essa proposta enquadra-se na Economia Circular, pois busca reintegrar os resíduos do processo produtivo (efluente do ranário) a um novo ciclo de uso, neste caso, por meio do reúso em sistemas aquícolas. Em vez de serem descartados, os nutrientes presentes no efluente tratado — especialmente nitrogênio e fósforo — são aproveitados como insumos para a criação de organismos aquáticos, como a tilápia, reduzindo a demanda por água doce e nutrientes adicionais.

Com o objetivo de garantir a produtividade e os padrões sanitários do pescado, sugere-se a implementação de rotina de monitoramento do pescado e do efluente tratado. Esses dados podem auxiliar em uma maior compreensão deste tipo de reúso e em futuras aplicações desta solução. Solução que demonstra ser promissora em termos de viabilidade técnico-econômica e ambiental e pode servir como alternativa para a integração de ranicultura com aquicultura de forma sustentável.

REFERÊNCIAS

- AMERICAN PUBLIC HEALTH ASSOCIATION (APHA); AMERICAN WATER WORKS ASSOCIATION (AWWA); WATER ENVIRONMENT FEDERATION (WEF). *Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater*. 24th ed. Washington, D.C.: APHA, 2022. 1516 p. ISBN 978-0875532998.
- CHERNICHARO, C. A. de L. Reatores anaeróbios. 2. ed. Belo Horizonte: Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental, Universidade Federal de Minas Gerais, 2016.
- FRANÇA, J. L.; VASCONCELOS, A. C. Manual para normalização de publicações técnico-científicas. 8. ed. Belo Horizonte: UFMG, 2007. 255 p.
- FREITAS, A. S.; LANNA, E. A. T.; BASTOS, R. K. X.; DORNELAS, F. L.; BOMFIM, M. A. D.; RIBEIRO, F. B.; SÁNCHEZ-ORTIZ, I. A. Utilização de esgotos sanitários tratados em lagoas de polimento para criação de alevinos de tilápia do Nilo. *Livestock Research for Rural Development*, v. 35, 46, 2023.
- JORDÃO, E. P.; PESSOA, C. A. Tratamento de águas residuárias. Rio de Janeiro: ABES, 1995.
- LIU, Y.; NGO, H. H.; GUO, W.; PENG, L.; WANG, D.; NI, B. The roles of free ammonia (FA) in biological wastewater treatment processes: A review. *Environment International*, v. 123, p. 10-19, 2019. <https://doi.org/10.1016/j.envint.2018.11.039>.
- MAGAZINE AGROFEST. Ranicultura cresce no país e impulsiona setor. Magazine Agrofest, 2023. Disponível em: <https://magazineagrofest.com.br/2023/03/01/ranicultura-cresce-no-pais-e-impulsiona-setor/>. Acesso em: 14 abr. 2025.
- MARINO, G. L.; JESUS, C. O. Proposta de projeto de tratamento de efluentes para o ranário da Universidade Federal de Viçosa. 2023. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia) - Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 2023.
- MATOS, F. T. de; MATAVELI, M.; PEDROZA FILHO, M. X.; MUÑOZ, A. E. P.; BARROS, L. C. de; SOUSA, C. W. A. de; VOGADO, G. R.; ROCHA, H. S.; MESSIAS, J. A.; ROCHA, L. M. P. Aspectos técnicos e econômicos da produção de tilápias em tanques-rede no Lago de Palmas-TO, Parque Aquícola Brejinho II. Palmas: Embrapa Pesca e Aquicultura, 2022. 52 p. (Documentos, 52). Disponível em: <https://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/infoteca/bitstream/doc/1146882/1/doc-52-2022.pdf>. Acesso em: 15 mar. 2025.
- ORTIZ, I. A. S. Criação de tilápia com efluente de lagoa de alta taxa: avaliação de taxas de aplicação superficial de nitrogênio e sustentabilidade da produção pelo fornecimento de alimento natural (plâncton). 2018. 238 f. Tese (Doutorado em Engenharia Civil) - Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 2018.
- RIBEIRO, L. P.; TOLEDO, L. F. An overview of the Brazilian frog farming. *Aquaculture*, v. 548, 737623, 2022. <https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2021.737623>.
- QUEIROZ, J. F. de; ALVES, J. M. C.; LOSEKANN, M. E.; FRASCA-SCORVO, C. M. D.; SCORVO FILHO, J.

D.; FERRI, G. H.; ISHIKAWA, M. M. Manejo alimentar e da qualidade da água na produção de tilápia-do-nilo (*Oreochromis niloticus*). Jaguariúna: Embrapa Meio Ambiente, 2021. 130 p. (Documentos, 130). ISSN 1516-4691. Disponível em:

<https://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/infoteca/bitstream/doc/1131706/1/SERIE-DOCUMENTOS-130-JULIO-06-05-21.pdf>. Acesso em: 15 mar. 2025.

SANTOS, E. S.; FONTENELE, R. M. M.; MOTA, F. S. B.; SANTOS, A. B.; CARVALHO, R. M. Avaliação técnica econômica de tilápias cultivadas com diferentes taxas de alimentação em esgoto doméstico tratado. *Conexões: Ciência e Tecnologia*, Fortaleza, v. 9, n. 3, p. 34-40, 2015.

SPHERICAL INSIGHTS. Frog Farming Market, 2023. Disponível em: <https://www.sphericalinsights.com/reports/frog-farming-market>. Acesso em: 15 jul. 2025.

VON SPERLING, M. Introdução à qualidade das águas e ao tratamento de esgotos. 4. ed. Belo Horizonte: UFMG, 2014.