

GOVERNO DO ESTADO DE SÃO PAULO
SECRETARIA DE AGRICULTURA E ABASTECIMENTO
AGÊNCIA PAULISTA DE TECNOLOGIA DOS AGRONEGÓCIOS
INSTITUTO DE PESCA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM AQUICULTURA E PESCA

**EFEITOS DE FERTIRRIGAÇÃO COM NPK, EFLUENTE DE TILÁPIA E UREIA
NA PRODUÇÃO DE RÚCULA**

Elder Samuel Lopes Martins

Orientador: Dr. Edison Barbieri

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-graduação em Aquicultura e Pesca do Instituto de Pesca – APTA – SAA, como parte dos requisitos para obtenção do título de Mestre em Aquicultura e Pesca.

São Paulo
Setembro – 2024

GOVERNO DO ESTADO DE SÃO PAULO
SECRETARIA DE AGRICULTURA E ABASTECIMENTO
AGÊNCIA PAULISTA DE TECNOLOGIA DOS AGRONEGÓCIOS
INSTITUTO DE PESCA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM AQUICULTURA E PESCA

**EFEITOS DE FERTIRRIGAÇÃO COM NPK, EFLUENTE DE TILÁPIA E UREIA
NA PRODUÇÃO DE RÚCULA**

Elder Samuel Lopes Martins

Orientador: Dr. Edison Barbieri

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-graduação em Aquicultura e Pesca do Instituto de Pesca – APTA – SAA, como parte dos requisitos para obtenção do título de Mestre em Aquicultura e Pesca.

São Paulo
Setembro - 2024

M341E Martins, Elder Samuel Lopes

Efeitos de fertirrigação com NPK, efluente de tilapia e ureia na produção de rúcula/Elder Samuel
Lopes Martins– São Paulo, 2024
vii, 40f. ; fig . ; tab..

Dissertação (mestrado) apresentada ao Programa de Pós-graduação em Aquicultura e Pesca do
Instituto de Pesca – APTA - Secretaria de Agricultura e Abastecimento.

Orientador: Edison Barbieri

1. Piscicultura. 2. *Oreochromis niloticus*. 3. Eutrofização. 4. Agricultura sustentável
I. Barbieri, Edison. II. Título.

CDD 574

DEDICATÓRIA

Dedico esta dissertação ao Mestre dos Mestres e Rei dos Reis, aquele que possui toda sabedoria do universo e além, o grandioso DEUS e Arquiteto do Mundo. Sou eternamente grato por não ter trilhado esse caminho sozinho.

AGRADECIMENTOS

Primeiramente, agradeço a Deus pela força, sabedoria e saúde para concluir essa etapa tão importante para minha vida acadêmica. Sua presença constante me guiou e sustentou em cada momento de dificuldade e superação, permitindo que eu chegasse até aqui com a fé renovada e propósito firme. No entanto não posso esquecer da minha querida esposa Sara e minha amada filha Esther, agradeço de todo meu coração pelo que vocês duas fizeram por mim. Indubitavelmente, vocês foram a fonte de motivação e força nos momentos mais difíceis, me apoiando com paciência. O sacrifício e a compreensão de vocês foram essenciais para que eu pudesse dedicar o tempo e esforço necessário a este trabalho.

Aos meus pais, minha eterna gratidão pelo amor incondicional, apoio financeiro e paciência ao longo desta jornada. Vocês foram meu alicerce em tempos difíceis e a minha inspiração para continuar progredindo na vida acadêmica. Agradeço as minhas irmãs, meus avós e amigos pela motivação em tempos de dificuldades, aprendi muito com vocês. Gratidão.

Sinceramente agradeço ao meu orientador, professor Dr. Edison Barbieri, por sua orientação, paciência e valiosas contribuições. Sua dedicação e comprometimento foram fundamentais para o desenvolvimento deste trabalho. Sou grato por cada conselho, cada correção e cada palavra de incentivo, que foram essenciais para a conclusão dessa dissertação.

Quero também expressar minha gratidão ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq) pelo apoio financeiro concedido por meio da bolsa de estudos. Essa ajuda foi necessária para a realização desta pesquisa, permitindo que eu me dedicasse integralmente aos estudos.

Aos membros da banca examinadora na qualificação, agradeço pelas valiosas sugestões e críticas construtivas que enriqueceram este trabalho. Suas considerações foram essenciais para o aprimoramento desta dissertação, contribuindo para meu crescimento. E por fim, agradeço a todos que contribuíram de alguma forma para que a realização desse trabalho fosse possível. Gratidão.

SUMÁRIO

DEDICATÓRIA	i
AGRADECIMENTOS	ii
SUMÁRIO	iii
LISTA DE ABREVIATURAS E SÍMBOLOS	iv
RESUMO GERAL	v
GENERAL ABSTRACT	vi
1. INTRODUÇÃO GERAL	1
1.1. Criação de Tilápia em Tanque Elevado e Dados de Pesquisas	1
1.2. Efluentes Tilápia e Eutrofização do Meio Ambiente.....	2
1.3. Manejo Sustentável de Efluentes de Piscicultura na Agricultura	2
1.4. Justificativa	3
1.5. Objetivo geral	3
1.6. Objetivos específicos	3
2. REFERÊNCIAS	4

CAPÍTULO ÚNICO

EFEITOS DE FERTIRRIGAÇÃO COM NPK, EFLUENTE DE TILÁPIA E UREIA NA PRODUÇÃO DE RÚCULA

RESUMO	8
INTRODUÇÃO	9
MÉTODOS	11
Área do experimento	11
Organização dos tratamentos.....	11
Sistema aberto de tratamento e reutilização de efluente de tilápia do Nilo.....	11
Sistema de capitação e tratamento de efluente.....	12
Controle da temperatura, pH e turbidez do tanque elevado	12
Montagem dos tanques de fertirrigação.....	12
Plantio da rúcula.....	13
Delineamento das fertirrigações nos tratamentos.....	13
Análise das fertirrigações e análise foliar.....	14
Análise foliar.....	14
Procedimento de análise do solo e do precipitado.....	14
Análise do precipitado.....	14
Análise do solo.....	15
RESULTADOS	15
pH entre os tratamentos.....	15
Matéria orgânica entre os tratamentos.....	16
Concentração de fósforo entre os tratamentos.....	17
Concentração de potássio entre os tratamentos.....	18
Análise foliar da rúcula entre os tratamentos.....	19
Monitoramento do crescimento da rúcula.....	20
Produção de rúcula entre os tratamentos.....	20
Produção de tilápia do Nilo.....	21
DISCUSSÃO	21
CONCLUSÃO	22
Agradecimentos.....	23
7. REFERÊNCIAS	23
ANEXOS	27

LISTA DE ABREVIATURAS E SÍMBOLOS

C	Tratamento Controle
E	Tratamento com efluente de tilápia
N	Tratamento com fertirrigação de NPK 10.10.10
U	Tratamento com efluente de tilápia e ureia
CalMag+S	Produto Corretor de solo (Hidróxido de Cálcio e gesso agrícola)
N ₂	Nitrogênio
P	Fósforo
K	Potássio
M.O.	Matéria Orgânica
P ₂ O ₅	Pentóxido de fosforo
K ₂ O	Oxido de Potássio
Al	Alumínio
pH	Potencial de Hidrogênio (escala de acidez)
Kg	Quilograma
W	Watts
C°	graus Celsius
g	Gramas
L	Litro
dm ³	Decímetro cúbico
m ²	Metro quadro
g/L	Gramas por Litro
g/dm ³	Gramas por decímetro cúbico
ANOVA	Análise de Variância
(NH ₂) ₂ CO	Ureia

EFEITOS DE FERTIRRIGAÇÃO COM NPK, EFLUENTE DE TILÁPIA E UREIA NA PRODUÇÃO DE RÚCULA

RESUMO GERAL

A intensificação da piscicultura, especialmente na criação de tilápia do Nilo (*Oreochromis niloticus*), tem impulsionado o crescimento da aquicultura global, colocando o Brasil como o quarto maior produtor mundial. Contudo, essa intensificação, particularmente em sistemas de tanque elevado, gera efluentes ricos em nutrientes como nitrogênio e fósforo, que podem causar a eutrofização dos corpos d'água se não forem gerenciados adequadamente. Nesse contexto, a reutilização desses efluentes na agricultura, por meio da fertirrigação, surge como uma solução promissora para mitigar impactos ambientais e aumentar a sustentabilidade agrícola. Este estudo em andamento na fazenda Sonho Meu em Jacupiranga/SP, busca avaliar os efeitos da fertirrigação utilizando diferentes fontes de nutrientes, sendo elas efluente tilápia, NPK e uma combinação de efluentes de tilápia com ureia em aplicação de fertirrigação no cultivo de rúcula (*Eruca sativa*), qualidade Gigante Folha Larga ISLAPRO. A produção da rúcula em solo argiloso previamente corrigido composto orgânico e CalMag+S, o que resulta em melhorias na acidez do solo e na redução dos níveis de alumínio. Os tratamentos de fertirrigações denominados C, E, N e U estão sendo aplicados para observar suas influências na disponibilidade de nutrientes no desenvolvimento da cultura. Resultados preliminares indicam que o efluente de tilápia (E) contribui para o aumento de matéria orgânica, fósforo e potássio no solo, enquanto os tratamentos com NPK (N) e a combinação de efluente com ureia (U) podem oferecer resultados promissores para o crescimento da rúcula. A pesquisas busca contribuir para o desenvolvimento de estratégias integradas entre a aquicultura e agricultura, promovendo um uso mais eficiente de recursos naturais e reduzindo o impacto ambiental da piscicultura.

Palavra-Chave: Piscicultura: *Oreochromis niloticus*: Eutrofização: Agricultura: Sustentável.

GENERAL ABSTRACT

The intensification of fish farming, especially in the breeding of Nile tilapia (*Oreochromis niloticus*), has driven the growth of global aquaculture, marking Brazil the world's fourth largest producer. However, this intensification, particularly in elevated tank systems, generates effluents rich in nutrients such as nitrogen and phosphorus, which can cause eutrophication of water bodies if not managed properly. In this context the reuse of effluents in agriculture, through fertigation, is a promising solution for mitigating environmental impacts and increasing agricultural sustainability. This study is underway at the My Drean farm in Jacupiranga/SP, seeks to evaluate the effects of fertigation using different nutrient sources, including tilapia effluent, NPK and combination of tilapia effluent and urea in fertigation applications for growing arugula (*Eruca sativa*) of ISLAPRO Gigante Broadleaf quality. Arugula production in clay soil previously corrected with organic fertilizer and CalMag+S, resulting in improvements in soil acidity and a reduction in aluminium levels. Fertigation treatments called C, E,N and U are being applied to assess their tilapia effluent (E) contributes to the increase of organic matter, phosphorus and potassium in the soil, while treatments with NPK(N) and the combination of Effluent with urea (U) may offer promising results for rocket growth. The research aims to contribute to the development of integrated strategies between aquaculture and agriculture, promoting a more efficient use of natural resources and reducing the environmental impact of fish farming.

Keyword: Fish farming: *Oreochromis niloticus*: Eutrophication: Agriculture : Sustainable.

1. INTRODUÇÃO GERAL

1.1. Criação de tilápia em tanque elevado e dados de pesquisas

A criação de tilápia (*Oreochromis niloticus*) em sistema de tanque elevado começou a ganhar destaque nas últimas décadas como uma resposta á necessidade de produção sustentável de proteínas aquáticas. De acordo com Figueredo *et al.*, (2023) a tilápia do Nilo (*Oreochromis niloticus*) é originária da África. Devido á sua adaptabilidade, rápido crescimento e resistência a doenças foi introduzida em várias partes do mundo (Braúna *et al.*, 2022). No Brasil, a criação em tanques elevados se consolidou como uma prática comum, especialmente em regiões onde a escassez de água e a necessidade de manejo eficiente são fundamentais para a sustentabilidade da produção aquícola (Marinho *et al.*, 2022).

A criação de tilápia em tanques elevados tornou-se uma prática comum em várias regiões do Brasil, incluindo o estado de São Paulo, onde as condições climáticas são favoráveis para a produção durante todo ano (De Brito & Costa, 2023). Esse Sistema de produção é valorizado por sua eficiência, permitindo maior controle sobre as condições ambientais, o que resulta em uma produção mais estável e de alta qualidade (Pinto *et al.*, 2023).

De acordo com o relatório de 2024 da Organização das Nações Unidas para Alimentação e Agricultura (FAO), a aquicultura mundial atingiu um novo recorde de produção destacando-se como uma das atividades de maior crescimento no setor agroalimentar. A tilápia, em particular, continua sendo uma das espécies mais produzidas globalmente, contribuindo significativamente para a segurança alimentar e a economia de países em desenvolvimento (FAO, 2024).

Conforme relatório PEIXE BR 2024, o Brasil consolidou-se como o quarto maior produtor de tilápia do mundo, com uma produção anual que continua a crescer. Esse crescimento é impulsionado pela expansão das exportações que tornaram um líder no mercado internacional de tilápia, destacando o potencial econômico da aquicultura para o país (Peixe Br, 2024).

1.2. Efluentes de tilápia e eutrofização do meio ambiente

A produção intensiva de tilápia em tanques elevados gera uma quantidade significativa de efluentes ricos em nutrientes como nitrogênio e fósforo (Sátiro *et al.*, 2022). Esses resíduos, se não forem adequadamente manejados, podem levar à eutrofização dos corpos d'água, um processo que resulta no crescimento excessivo de algas e plantas aquáticas devido à alta concentração de nutrientes, especialmente nitrogênio e fósforo, que são introduzidos nos ecossistemas aquáticos, promovendo o crescimento descontrolado desses organismos (Carvalho *et al.*, 2024). Esse processo resulta na diminuição dos níveis de oxigênio dissolvido da água, o que pode levar a morte de organismos aquáticos e a perda total ou parcial da biodiversidade (Bacelar *et al.*, 2020; Moreira *et al.*, 2023). Além disso, a eutrofização contribui para degradação da qualidade da água tornando inadequada para o consumo humanos e outros usos (Lima *et al.*, 2021). O manejo sustentável dos efluentes é essencial para mitigar esses impactos causados ao meio ambiente (Silva *et al.*, 2022).

1.3. Manejo sustentável de efluentes de piscicultura na agricultura

O uso de efluentes de piscicultura na agricultura surge com uma alternativa viável para o manejo sustentável desses resíduos (Jeronimo *et al.*, 2022). Estudos têm demonstrado que efluentes ricos em nutrientes podem substituir parcial ou completamente fertilizantes químicos como o NPK na produção de hortaliças, como a rúcula (*Eruca sativa*) (Baioni *et al.*, 2017). A fertirrigação com efluentes de tilápia tem o potencial de reduzir os custos de produção, aumentar a eficiência do uso dos recursos hídricos e melhorar a sustentabilidade das práticas agrícolas (Saraiva & Lima Preto, 2023).

Além disso, a combinação de efluentes de tilápia com ureia pode potencializar a produção de rúcula reduzindo o uso de NPK. A ureia, quando aplicada juntamente com efluentes, fornece uma fonte adicional de nitrogênio essencial para crescimento das plantas (Baumgartner *et al.*, 2023). Enquanto os efluentes contribuem com outros nutrientes e matéria orgânica, melhorando a estrutura do solo e sua capacidade de retenção de água (Lima *et al.*, 2024).

Esse método integrado além de aumentar a produtividade da rúcula nos solos degradados (solos com baixa concentração nutricional), minimizam os impactos ambientais associados ao uso excessivo de fertilizantes químicos. (Oliveira *et al.*, 2024). O desenvolvimento de técnicas que aproveitem o potencial dos efluentes de piscicultura,

aliado ao uso eficiente de fertilizantes, como a ureia, representa um avanço significativo em direção a uma agricultura mais sustentável e resiliente (Ceccherini *et al.*, 2022).

1.4. Justificativa

A crescente pressão por aumentar a produção de alimentos de forma sustentável em resposta ao aumento populacional e a demanda global por recursos, impulsiona a busca por práticas agrícolas mais eficientes. Desta forma, a fertirrigação, combinada ao uso de efluentes da piscicultura, representa uma alternativa promissora para reduzir a dependência de fertilizantes químicos, minimiza impactos ambientais e promove o reaproveitamento de nutrientes.

No Brasil, onde a produção de tilápia tem se destacado mundialmente, a gestão adequada dos efluentes é crucial para evitar a eutrofização dos corpos hídricos e potencializar sua utilização como insumo agrícola.

A rúcula (*Eruca sativa*), é uma hortaliça de alto valor comercial, que na sua produção depende de uma nutrição equilibrada para alcançar seu pleno desenvolvimento. Estudar os efeitos do efluente de tilápia da fertirrigação com NPK e da combinação do efluente de tilápia com ureia em solos argilosos, oferece a oportunidade de desenvolver práticas agrícolas mais sustentáveis. Esse estudo pode otimizar a fertilização e promover a integração entre agricultura e piscicultura, melhorando de forma eficiente a produção agrícola e diminuindo o custo de produção.

1.5. Objetivo geral

Avaliar os efeitos da fertirrigação com NPK, ureia e efluente de tilápia no crescimento e desenvolvimento da rúcula (*Eruca sativa*) em solos argiloso visando a promoção de práticas agrícolas mais sustentáveis e eficientes.

1.6. Objetivo específicos

- Avaliar a fixação de nutrientes nos tratamentos: C, E, N e U.
- Realizar análise de solo nos canteiros para quantificar pH, matéria orgânica (M.O), fósforo (P) e potássio (K).
- Analisar a composição nutricional foliar das plantas nos quatro tratamentos.

- Determinar a concentração de nutrientes presente no precipitado do efluente, analisar os nutrientes dissolvidos em líquido, determinando a concentração de matéria orgânica (M.O) nitrogênio (N₂), fósforo (P) e potássio (K) no efluente.
- Desenvolver uma forma sustentável para reutilização de efluentes de tanque elevado de piscicultura.

REFERÊNCIAS

Bacelar, R. G. A; Muratori, M. C. S. (2020). Utilização de resíduos de filetagem de tilápia na tecnologia de alimentos: uma revisão. *Revista Científica Rural*, v. 22, n. 2, p. 263-278.

Baioni, J. C., Squassoni, G. H., De Souza Cultri, G. R., Da Silva, J. D. T., & Dias, L. T. S. (2017). Efluente de piscicultura na produção consorciada de cebolinha e coentro. *Nucleus Animalium*, 9(1), 143-150.

Braúna, F. J. F. (2022). Revisão sistemática: impacto do licenciamento ambiental para a aquicultura de peixes exóticos nas áreas continentais do nordeste do Brasil.

Baumgartner, T. S. (2023). Uso do vegetal *azolla caroliniana* para adubação e fixação de nutrientes em meios aquapônicos: uma revisão bibliográfica.

Carvalho, A. A; M.; De Sousa Vidal, C. M. (2024). Português Piscicultura uma Revisão Bibliográfica: Avaliação dos Aspectos Ambientais e Propostas de Mitigação. *Revista De Engenharia E Tecnologia*, v. 16, n. 1.

Ceccherini, G. J. (2022). Biofortificação agrônômica de rúcula (*Eruca sativa* Miller.) com ferro em cultivo hidropônico.

De Brito, R. G; Da Costa, C. P. (2023). Cultivo da tilápia do nilo (*Oreochromis niloticus*) em tanques-rede: uma revisão de literatura. *Revista JRG de Estudos Acadêmicos*, v. 6, n. 13, p. 783-797.

FAO - Organização das Nações Unidas para a Alimentação e a Agricultura (2024) <https://www.fao.org/brasil/noticias/detail-events/pt/c/1696371/>

Figueredo, A. (2023). Helminthos em peixes provenientes de pisciculturas: revisão de literatura: Helminths in fish from fish farms: literature review. *Brazilian Journal of Animal and Environmental Research*, v. 6, n. 4, p. 3300-3310.

Jeronimo, O. (2022). Reúso de águas residuais na agricultura: revisão sistemática. https://ri.ufs.br/jspui/bitstream/riufs/17149/2/Olivia_Jeronimo.pdf

Lima, F. R. Dos S. (2021). Qualidade de água e desempenho zootécnico de juvenis de tilápia do Nilo (*Oreochromis niloticus*) cultivados em sistema de bioflocos, com restrição de dieta comercial, suplementado com metionina sintética e óleo de soja. https://repositorio.ufc.br/bitstream/riufc/62248/5/2021_tese_frslima.pdf

Marinho, J. S. F. (2022). Integração piscicultura-agricultura como alternativa para o Nordeste: uma revisão de literatura.

Moreira, C. V. M; Costa, M. R. A. da; Becker, V. (2023). Impactos de eventos extremos de precipitação na qualidade da água: uma análise cienciométrica em escala global. *Acta Limnologica Brasiliensia*, v. 35, p. e17.

Oliveira, D. C. F. (2024). Aquaponia: a integração entre peixes e plantas: revisão de literatura. *Brazilian Journal of Animal and Environmental Research*, v. 7, n. 3, p. e71372-e71372.

Peixe, B. R. (2024). Anuário brasileiro da piscicultura. São Paulo: Associação Brasileira de Piscicultura. <https://www.peixebr.com.br/anuario-2024/>

Pinto, A. R. F; Galvão, O. M. (2023). Uma revisão da literatura brasileira sobre os métodos de custeio aplicados à piscicultura no Brasil. *Organizações Rurais & Agroindustriais*, v. 25, p. e1914-e1914.

Saraiva, V. S.; De Lima Preto, B. (2023). Uso de efluentes da piscicultura na agricultura irrigada. *Observatório de la economía latinoamericana*, 21(12), 26505-26518. <https://doi.org/10.55905/oelv21n12-164>

Sátiro, T. M., Zacardi, D. M., & De Almeida Neto, O. B. (2022). Reutilização do efluente de piscicultura para fertirrigação: uma alternativa ambiental e economicamente rentável. *Boletim do Observatório Ambiental Alberto Ribeiro Lamego*, 16(1), 161-180. <https://doi.org/10.19180/2177-4560.v16n12022p161-180>

Silva, A. R. (2022). Uso de água residuária tratada na agricultura no contexto da economia circular: uma revisão sistemática da literatura.

CAPÍTULO ÚNICO

EFEITOS DE FERTIRRIGAÇÃO COM NPK, EFLUENTE DE TILÁPIA E UREIA NA PRODUÇÃO DE RÚCULA

Autores: Elder Samuel Lopes Martins (a), Edison Barbieri (b)*

(a) Programa de Pós-graduação do Instituto de Pesca - APTA- SAA/SP, Caixa Postal 157, 11990-000, Cananéia, São Paulo, Brasil.

(b) Laboratório Nacional de Nanotecnologia (LNNano), Centro Nacional de Pesquisa em Energia e Materiais (CNPEM), Campinas, São Paulo, Brasil.

(c) Instituto de Pesca – APTA SAA/SP, Caixa Postal 157, 11990-000 Cananeia, SP, Brasil.

* Autor Correspondente: Instituto de Pesca-APTA-SAA/SP, Caixa Postal 157, 11990-000,

Cananeia/SP, Brasil. E-mail:edisonbarbieri@yahoo.com.br

(Artigo está redigido nas normas da Revista Científica digital).

**FERTIRRIGAÇÃO COM NPK, EFLUENTE DE TILAPIA E UREIA NO
CULTIVO DE RÚCULA EM SOLO**

Elder Samuel Lopes Martins

Programa de pós graduação do Instituto de Pesca

Ana Lúzia de Souza Araújo

Programa de pós graduação do Instituto de Pesca

Edison Barbieri

Instituto de Pesca – Governo do Estado de São Paulo

RESUMO

Objetivo: o presente estudo avaliou os efeitos da fertirrigação com efluentes de tilápia, fertilizantes NPK e ureia em combinação com efluente de tilápia no crescimento da rúcula em solo. **Métodos:** a pesquisa foi conduzida na Fazenda Sonho Meu, localizada em Jacupiranga, SP. Foram aplicados diferentes tratamentos de fertirrigação, denominados controle, efluente, NPK e ureia/efluente. **Resultados:** a aplicação de efluente de tilápia com tratamento efluente aumentou a concentração de matéria orgânica, fósforo e potássio no solo. No entanto, os tratamentos ureia/efluente e NPK demonstraram resultados superiores no desenvolvimento da rúcula. A produção de rúcula no tratamento ureia/efluente atingiu maior produção em relação ao tratamento NPK. Os resultados sugerem que o NPK é eficaz, porém necessita de matéria orgânica, enquanto no tratamento ureia/efluente revela-se promissor, promovendo o crescimento da rúcula superior ao tratamento com NPK. **Conclusão:** a tilápia mostrou resistente em tanque de sistema intensivo com ganho de peso diário de 1,6 g. Assim, estratégias integradas entre agricultura e piscicultura emergem como uma abordagem sustentável e eficiente para a produção agrícola.

Palavras-chave: *Eruca sativa*, eutrofização, *Oreochromis niloticus*, piscicultura, sustentável.

INTRODUÇÃO

A produção agrícola é essencial para suprir as demandas alimentares da crescente população mundial (Beltran-Peña et al., 2020). Dentro desse contexto, a atenção tem voltado cada vez mais para o uso de técnicas de fertirrigações e a valorização de resíduos orgânicos na agricultura. A utilização de materiais orgânicos e efluentes de piscicultura promove uma prática sustentável, a fim de contribuir para a redução de impactos ambientais em produções agrícolas (Marinho, 2022).

Nos últimos anos, houve crescimento significativo na produção aquícola. Segundo dados da Peixe BR, (2024), a produção do terceiro trimestre subiu 72% em relação ao ano de 2023. Em 2024, o Brasil consolidou-se como quarto maior produtor de tilápia, destacando-se como líder em exportações, com 92% de participação no mercado internacional.

A tilápia do Nilo (*Oreochromis niloticus*), pertencente à ordem Cichliformes, família Cichlidae, e gênero *Oreochromis*, é originária do continente africano, e tem sido reproduzida com sucesso, trazendo benefícios econômicos, sociais e ambientais atrativos. (Urías-Sotomayor; Maeda-Martínez, 2023).

O cultivo de tilápia em tanques circulares com o sistema de produção aberto é uma estrutura projetada para facilitar o armazenamento e a distribuição de água, geralmente utilizando a gravidade para controlar o fluxo e a liberação de efluentes (De Brito; Costa, 2023). Esses tanques são amplamente utilizados na aquicultura, especialmente em sistemas que exigem ambientes controlados para o desenvolvimento da vida aquática (Kiener et al., 2023).

O efluente da piscicultura é rico em nitrogênio, fósforo e matéria orgânica (Saraiva; Lima, 2023). A quantidade de nutrientes excretados, especialmente amônia, depende de fatores como densidade de peixes, biomassa e a quantidade de alimento administrado (Medeiros et al., 2022). Para cada tonelada de tilápias produzida, estima-se que aproximadamente 1.040,63 kg de matéria orgânica, 44,95 kg de nitrogênio e 14,26 kg de fósforo sejam liberados no ambiente (Sátiro et al., 2022). Conforme observado por Lima et al (2021), os peixes cultivados assimilam entre 20% e 50% do nitrogênio e entre 15% e 65% do fósforo presente na ração, enquanto o restante é excretado.

A amônia constitui o subproduto metabólico nitrogenado primordial resultante do catabolismo proteico. A maioria dos peixes ósseos exibe uma estratégia de excreção

monotélica, o que significa que eliminam principalmente a amônia tóxica por meio das brânquias e estruturas tegumentares. Após a difusão do gás amônia (NH_3) do epitélio branquial, envolve-se em uma reação com íons H^+ para gerar NH_4^+ iônico, desse modo o processo de retenção de ácido serve para manter um gradiente de concentração favorável, facilitando a difusão do NH_3 (Lin; Horng, 2023).

A ureia $(\text{NH}_2)_2\text{CO}$ é o principal produto final do processo metabólico, mais amplamente utilizado no mundo, é preferido pela alta concentração de nitrogênio 46% o que ajuda no desenvolvimento foliar das plantas (Da Costa et al., 2020). Desta forma, a ureia é o fertilizante nitrogenado ideal para fertirrigação, pois permite otimizar o uso sincronizado e a aplicação do adubo como as necessidades das hortaliças (Lima et al., 2024).

A rúcula (*Eruca sativa*) é uma hortaliça folhosa apreciada como salada no Brasil. As folhas têm sabor levemente picante, que pode variar conforme a espécie e o ambiente de cultivo. Assim, nos últimos anos observou-se aumento notável no cultivo e consumo da rúcula em comparação com outras hortaliças folhosas (Ceccherini et al., 2022). Originária da região mediterrânea, a rúcula destaca-se pelos benefícios à saúde, sendo rica em vitaminas A, C e K, além de outros minerais como cálcio e ferro (De Oliveira et al., 2021).

O cultivo da rúcula demanda nutrição adequada, com destaque para os macronutrientes nitrogênio, fósforo e potássio (NPK) que são essenciais para o desenvolvimento vigoroso das hortaliças (Lopes et al., 2021). Além disso, a presença de matéria orgânica em alta concentração é fundamental, pois melhora a retenção de umidade no solo e facilita a absorção de nutrientes, contribuindo para o crescimento saudável das hortaliças (Pereira et al., 2021).

A utilização do efluente gerado na produção de tilápia em taques circulares contém alta concentração de fósforo, e pode ser uma alternativa sustentável e eficiente para o cultivo de hortaliças como a rúcula, reduzindo o impacto ambiental e os custos com fertilizantes químicos (Baioni et al., 2017). O uso de efluentes de pisciculturas contribui para a redução do risco de eutrofização de rios e represas (Carvalho et al., 2024).

Desta forma, este estudo fornece informações relevantes sobre a eficiência no manejo de efluentes da piscicultura, avaliando os efeitos da fertirrigação com NPK, efluente de tilápia do Nilo com ureia no crescimento da rúcula (*Eruca sativa*) em solo.

MÉTODOS

Área do experimento

O experimento foi realizado em uma área localizada no Vale do Ribeira, município de Jacupiranga-SP, bairro Rio Turvo, Fazenda Sonho Meu (24°39'34.77"S e 48°02'32.01"O).

Organização dos tratamentos

A área onde foram realizados os experimentos possui 120 m², onde foram adicionados corretivos ½ tonelada de matéria orgânica e 40 kg CalMag+S para corrigir pH e alumínio no solo, em seguida foi realizada a montagem de 16 canteiros com 2,5 m² cada. Após o período para correção de pH e alumínio (60 dias) foi realizado amostragem de solo (0 – 20 cm) para determinar o pH, matéria orgânica, fósforo, potássio e alumínio de cada tratamento. Foram separadas quatro réplicas (canteiros) para cada tratamento, e nomeados os tratamentos da seguinte forma: controle (1, 2, 3 e 4), efluente (1, 2, 3 e 4), NPK (1, 2, 3 e 4) e ureia/efluente (1, 2, 3, e 4) e 4).

Sistema aberto de tratamento e reutilização de efluente de tilápia do Nilo

A montagem do sistema aberto de tratamento e reutilização de efluentes foi realizada de acordo com as diretrizes estabelecidas pela cartilha de aquaponia do SENAR (2022), sendo retirada a recirculação e adicionada a captação de efluentes. O sistema inclui um tanque circular com capacidade de 1 m³ para criação de tilápias do Nilo, com uma bomba oxigenadora de 2.000 L, um termostato 500 W regulado para 30°C e um termômetro aqualimpe. O tanque biodigestor tem 100 L, no interior possui uma tela e 120 biomídias para filtro biológico e um tanque de armazenagem de efluente com capacidade máxima de 1.000 L.

Foram introduzidas 50 tilápias juvenis, com peso variando entre 35 g e 45 g no tanque. A alimentação da tilápia foi realizada duas vezes ao dia, totalizando 150 g/dia de ração com 32% de proteína. Durante as primeiras quatro semanas foi utilizado ração de 4 mm, que posteriormente foi substituída por uma granulometria de 6 mm.

Sistema de captação e tratamento de efluente

A tilápia excreta amônia e fezes contendo material orgânico, que decanta no fundo do tanque. Após 15 dias de funcionamento o filtro biológico estava ativo realizando a quebra eficiente do efluente. A cada três dias, o tanque de tilápia gera uma nova carga de efluente com alto potencial nutritivo, contendo macro e micronutrientes. Nesse processo, é coletado 100 L de água de fundo do tanque de tilápia (efluente) e direcionadas por gravidade, para o tanque de biodigestor onde as. O efluente ao entrar no tanque biodigestor passa pelo filtro biológico e inicia-se o processo de volatilização do nitrogênio devido as bactérias nitrificadoras presente no tanque biodigestor. Com a entrada de 100 L de efluente, no tanque biodigestor é liberado e conduzido o por gravidade 100 L de efluente para o tanque de armazenagem de efluente. No qual ocorre uma nova etapa de volatilização do nitrogênio para atmosfera. Após 1.000 L de efluente armazenado, foram coletadas amostras para realizar a análise físico-química.

Controle da temperatura, pH e turbidez do tanque elevado

A temperatura do tanque de tilápia foi controlada por termostato de 500 W com variação de temperatura entre 27°C a 30°C. As aferições de temperatura e pH foram realizadas a cada três dias com auxílio de um pH metro manual (INCOTERM). Os dados de temperatura e pH foram conferidos com termômetro boia (POOLTEC) e fita de pH universal (MQUANT). As medições de turbidez foram efetuadas com Turbidímetro portátil (WATERPROOF), mantendo o mesmo procedimento das aferições de temperatura e pH.

Montagem dos tanques de fertirrigação

Foram instalados quatro tanques circulares 2 com capacidade máxima de 1.000 L e dois com 500 L de armazenagem. O tanque (1) tratamento controle (1.000 L de água de poço pH 6,5), tanque (2) tratamento efluente (1.000 L de efluente de tilápia pH 6,5), tanque (3) tratamento NPK (423 L da fertirrigação de NPK 2,9 g/L pH 6,5) e tanque (4) tratamento ureia/efluente na montagem do tanque (4) foram coletados 423 L do efluente de tilápia do tanque (2) e adicionado no tanque (4), em seguida foram diluídos 533 g de ureia 46%, em 423 L de efluente o pH da diluição foi ajustado para 6,5.

Plantio da rúcula

Antes do plantio da rúcula foi realizada a correção de solo, ajustando o pH para condições ideais para o cultivo da rúcula, em seguida foram montados os canteiros com 20 cm de altura, 2,5 m de comprimento e com 60 cm de largura; após a montagem dos canteiros foi efetuado o plantio das sementes de rúcula gigante, folha larga em sulcos de plantio. Em cada tratamento, foram semeados 10 g de semente de rúcula totalizando 40 g distribuídos em 16 canteiros em sulcos de plantio. Durante os primeiros sete dias, os canteiros foram irrigados com água, aplicando-se 80 L para cada tratamento. Observou-se a germinação em todos os tratamentos. Com a confirmação da germinação, iniciaram-se as medições durante o crescimento entre os tratamentos sendo de três em três dias, seguindo até o final do experimento, em que foi efetuada a colheita da rúcula e pesagem para determinar a quantidade de produção de cada tratamento.

Delineamento das fertirrigações nos tratamentos

O delineamento experimental contou com quatro tratamentos (tipo de fertirrigação) e quatro repetições (canteiros de rúcula). Os tratamentos foram (1) tratamento controle (irrigação com água) canteiros: C1, C2, C3, C4; (2) tratamento efluente (fertirrigação com efluente de piscicultura) canteiros: E1, E2, E3, E4; (3) tratamento com NPK (fertirrigação com NPK) canteiros: N1, N2, N3, N4 e (4) tratamento ureia/efluente (fertirrigação com efluente de piscicultura adicionado de ureia) canteiros: U1, U2, U3, U4. O procedimento de irrigação teve o intuito de padronizar a quantidade de água presente em canteiros, mantendo a mesma aplicação com porções iguais para todos os tratamentos. As fertirrigações efluente, NPK e ureia/efluente foram ajustadas para mesma concentração de fósforo (P_2O_5) 0,09 g/L e a mesma concentração de nitrogênio 2,46 g/L em tratamentos NPK e ureia/efluente. Utilizaram-se 423 L de líquidos para cada tratamento, dividido em quatro seções de 105,75 L (26,440 L para cada réplica). As aplicações foram realizadas com regadores de 5 L com medição aferida por proveta graduada de 1.000 mL de plástico.

Análise das fertirrigações e análise foliar

As análises foliar e das fertirrigações seguiram os parâmetros metodológicos recomendados pelo Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento (Brasil, 2014).

Análise das fertirrigações

Após a montagem das fertirrigações foram coletados 200 mL de cada uma das fertirrigações e, em seguida, foi procedida a análise no laboratório de solos da UNESP - Registro-SP. Foram realizados dois procedimentos analíticos para determinar a concentração real de nutrientes e análise físico-química das propriedades solúveis e análise do precipitado presente na amostra de efluente. Com base nas concentrações de efluente solúvel e efluente precipitado, foi calculada a concentração de nitrogênio (N_2), fósforo (P_2O_5) e potássio (K_2O) em gramas por litro.

Análise foliar

Na análise foliar, foram coletados 200 g de amostra de cada tratamento e levado para secar em uma estufa durante 72 h a 65°C. Após a secagem, o material foi moído e foram coletadas 40 g de amostra para realizar análise foliar a fim de determinar a concentração nitrogênio (N_2), fósforo (P_2O_5) e potássio (K_2O) em gramas por litro.

Procedimento de análise do solo e do precipitado

As análises de solo e precipitado seguiram os parâmetros metodológicos do Manual (Teixeira et al., 2017).

Análise do precipitado

Para coletar uma amostra homogênea do efluente, agitou-se o efluente durante 5 minutos, e coletou-se 1 litro da amostra homogeneizada com um becker de vidro. Para determinar os sólidos presentes em g/L, pesaram-se dez beckers de 20 mL, anotando o peso de cada um. Agitou-se a amostra e adicionaram-se 10 mL em cada becker de vidro. Os beckers foram secos por 36 h a 105°C, e após esfriarem no desumidificador, pesou-se

novamente para obter o peso do precipitado. Calculou-se a média de peso referente a oito beakers que tiverem o peso mais próximos para obter o peso real do precipitado em g/L.

Em seguida foram coletados 50 L do efluente homogeneizado para realizar a coleta de precipitado. Os 50 litros de efluente foram adicionados em um decantador de 80 litros e resfriado com bolsas de gelo 3 a 5°C por 24 horas, em que ocorreu a decantação total do sólido presente no efluente (1,2 kg de lodo). O lodo do efluente foi seco durante 72 h a 80°C, que após a secagem foi moído e homogeneizado; após coletaram-se 100 g para analisar e determinar a matéria orgânica (M.O), o fósforo (P₂O₅) e o potássio (K₂O).

Análise do solo

A análise de solo foi realizada pelas amostras coletadas antes da aplicação das fertirrigações e após a aplicação em cada tratamento. A amostragem realizada foi de 0-20 cm de profundidade. Em seguida, o solo foi levado para a secagem a 80°C por 72h e, posteriormente, realizada a moagem para homogeneização. Após moagem, foram coletados 100 g de cada amostra para realizar análises; pH, matéria orgânica (M.O), fósforo (P₂O₅) e potássio (K₂O).

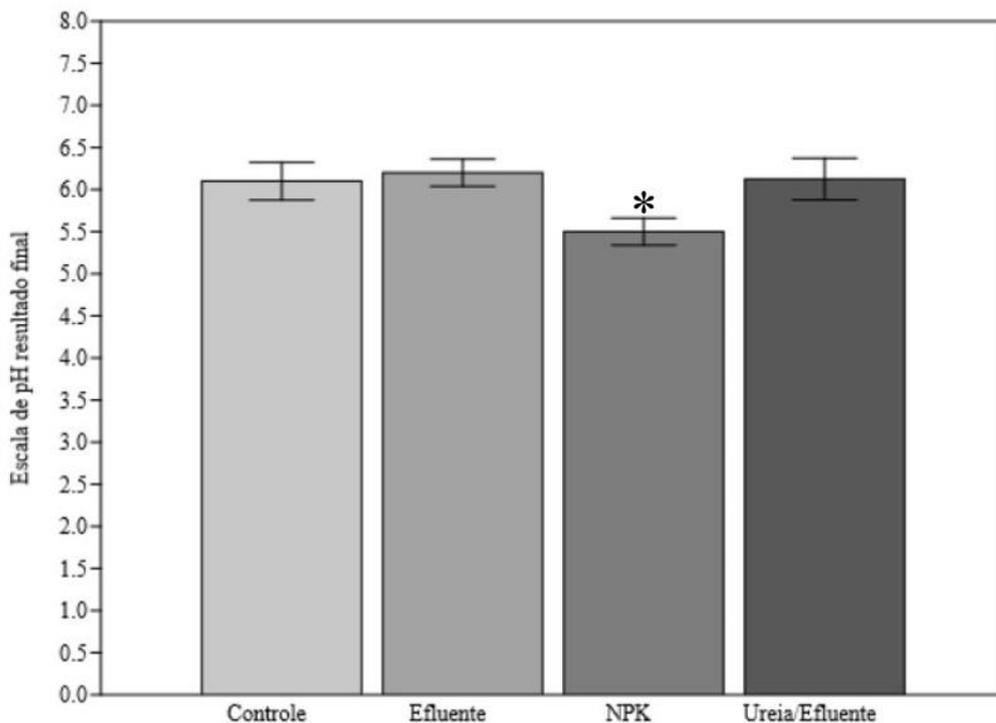
RESULTADOS

Os resultados obtidos no experimento foram alcançados após a realização de análises de solo, sendo antes e depois da aplicação das fertirrigações nos diferentes tratamentos (Controle, Efluente, NPK e Ureia). As análises de solo e foliar foram coletadas para comparar pH, matéria orgânica (M.O), fósforo (P₂O₅) e potássio (K₂O).

pH entre os tratamentos

O pH do solo foi ajustado inicialmente para 6,5 entre todos os tratamentos, conforme a faixa ideal de 5,5 a 6,5 estipulada para produção de hortaliças. Após a aplicação dos tratamentos, verificou-se leve redução no pH: o tratamento controle apresentou pH de 6,1; o tratamento efluente, 6,2; o tratamento NPK, 5,5, possivelmente pela acidificação causada pela ureia [(NH₂)₂CO], um componente do NPK, conforme descrito por Vieira et al. (2021). No tratamento ureia/efluente, a combinação de efluente com ureia aparentemente mitigou a acidificação causada pelo uso de ureia, mantendo o pH na faixa ideal para o cultivo de rúcula.

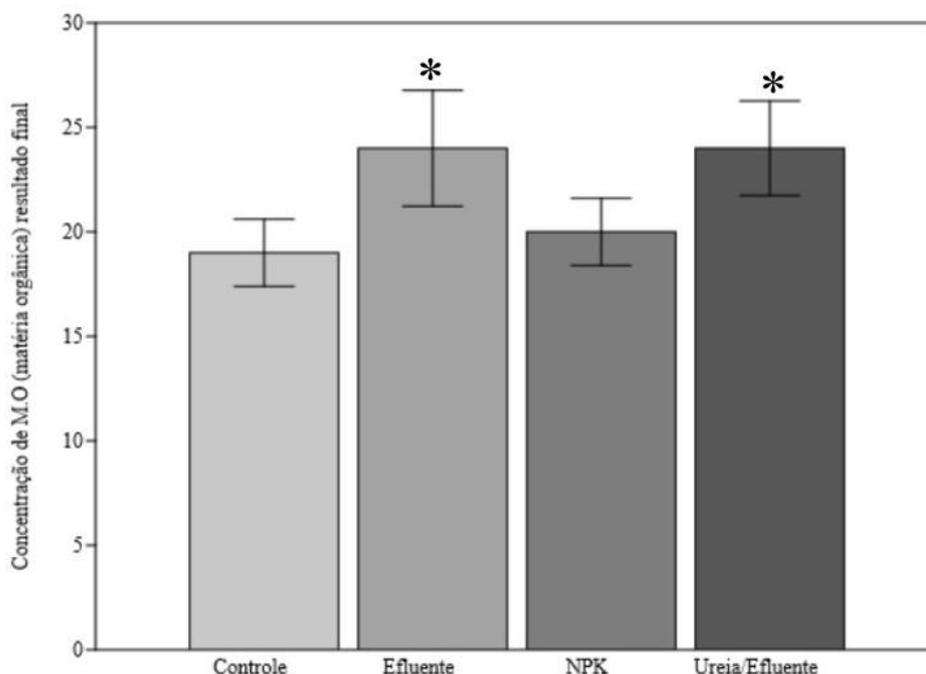
Figura 1 – Demonstra a escala de pH entre os tratamentos, após a aplicação das fertirrigações nos tratamentos controle, efluente, NPK e ureia/efluente. As barras correspondem aos desvios-padrão (n=4). A análise estatística indica ($p < 0,05$) e os (*) indica que há diferença estatística nos tratamentos em relação ao NPK.



Matéria orgânica entre os tratamentos

A matéria orgânica inicial foi ajustada para 21 g/dm^3 , dentro da concentração ideal para produção agrícola 16 a 30 g/dm^3 (IAC, 2024). O tratamento controle mostrou leve redução da matéria orgânica de 21 g/dm^3 para 19 g/dm^3 . No tratamento com efluente, houve aumento significativo de 20 g/dm^3 para 24 g/dm^3 , possivelmente pela adição de componentes orgânicos presentes no efluente. Já o tratamento NPK apresentou redução de matéria orgânica de 22 g/dm^3 para 20 g/dm^3 o que atribui à ausência de insumos orgânicos no NPK. No tratamento ureia/efluente, a matéria orgânica aumentou de 22 g/dm^3 para 24 g/dm^3 , indicando que a combinação de efluente com ureia foi eficaz na manutenção da matéria orgânica do solo.

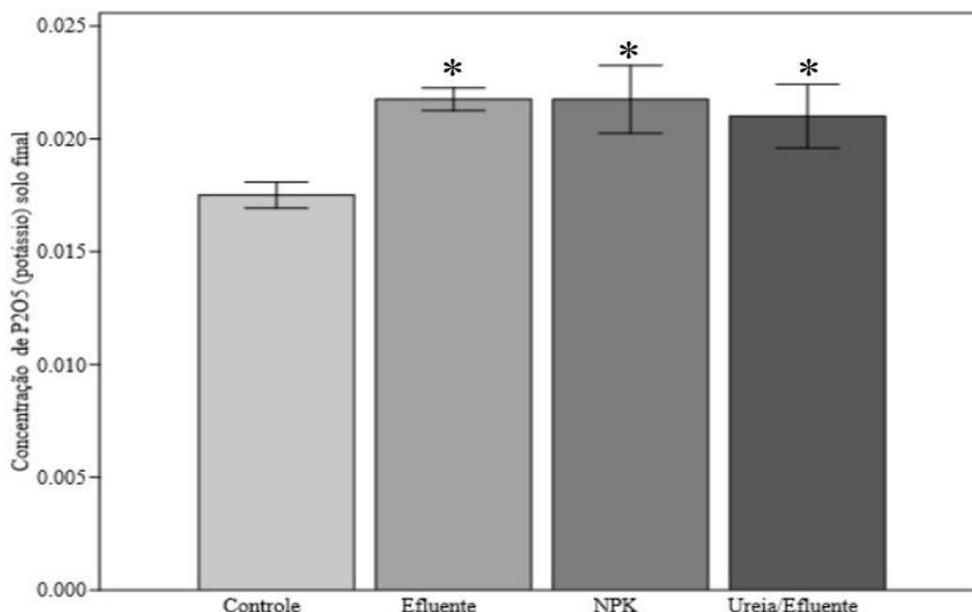
Figura 2 - Concentrações médias de matéria orgânica (M.O) no solo após a aplicação das fertirrigações nos tratamentos controle, efluente, NPK e ureia/efluente. As barras correspondem aos desvios-padrão (n=4). A análise estatística indicou ($p < 0,05$) e os (*) indica que há diferença estatística entre os tratamentos controle e NPK em relação aos tratamentos efluente e ureia/efluente.



Concentração de fósforo entre os tratamentos

A concentração de fósforo (P_2O_5) antes da aplicação dos tratamentos se encontrava: tratamento controle $0,021 \text{ g/dm}^3$; o tratamento efluente $0,020 \text{ g/dm}^3$; no tratamento NPK $0,022 \text{ g/dm}^3$ e no tratamento ureia/efluente $0,020 \text{ g/dm}^3$. Após as fertirrigações (Figura 3), a análise de variância (ANOVA) indicou diferença estatística significativa ($p < 0,05$) entre o tratamento controle em relação aos demais. No tratamento controle, a redução do fósforo foi influenciada pelo consumo das plantas e lixiviação ocasionada pela irrigação de água sem entrada de nutrientes. Neste contexto, os tratamentos efluente e ureia/efluente, o fósforo aumentou consideravelmente pela presença desse elemento no efluente. No entanto, como discutido por Oliveira et al. (2024), o fósforo pode tornar-se menos disponível no solo. Já o tratamento com NPK não apresentou variação expressiva na fixação de fósforo.

Figura 3- Concentrações médias de fósforo (P_2O_5) do solo após a aplicação das fertirrigações e água nos tratamentos controle, efluente, NPK e ureia/efluente. As barras correspondem aos desvios-padrão (n=4). A análise estatística indicou ($p < 0,05$) e os (*) indica que há diferença estatística nos tratamentos em relação ao controle.

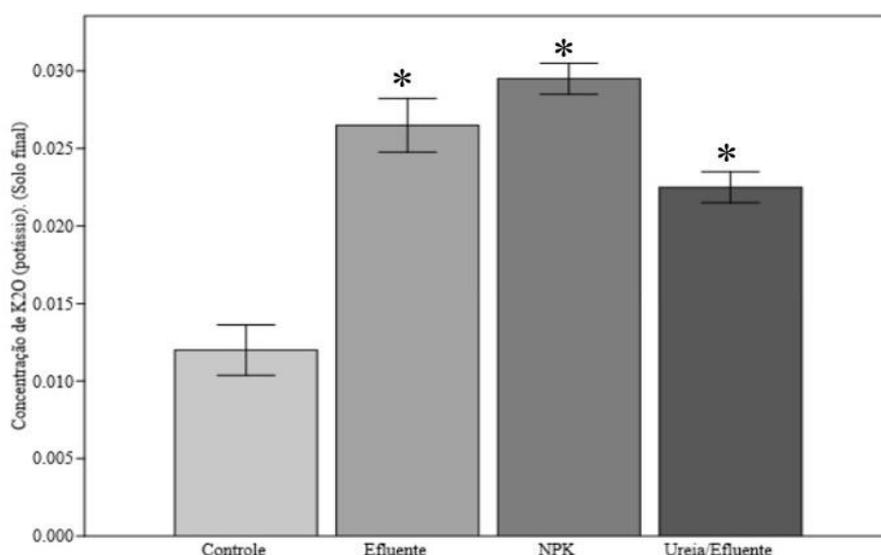


Concentração de potássio entre os tratamentos

A concentração de potássio (K_2O_5) em solo antes da realização dos tratamentos se encontrava: tratamento controle $0,024 \text{ g/dm}^3$; o tratamento efluente $0,022 \text{ g/dm}^3$; no tratamento NPK $0,023 \text{ g/dm}^3$ e no tratamento ureia/efluente $0,020 \text{ g/dm}^3$. No entanto, a Figura 4 representa a análise final após a realização das irrigações e fertirrigações nos tratamentos. Foi realizada análise estatística ANOVA o que revelou diferença estatística ($p < 0,05$) entre o tratamento controle em comparação aos demais tratamentos, indicando que o potássio foi consumido e lixiviado pela irrigação contínua. Desta forma, os tratamentos efluente, a concentração de potássio aumentou, porém o pH levemente elevado (6,5) do efluente dificultou a absorção desse nutriente pelas plantas. No tratamento NPK, a concentração foi maior que os demais, mas o pH 5,5 pode ter reduzido a absorção de potássio pelas plantas, o que está de acordo com as observações de Santos et al. (2021). Sobre a influência do pH na disponibilidade de nutrientes, no tratamento

ureia/efluente, o pH ajustado em 6,1 favoreceu a absorção de potássio, beneficiando o crescimento da rúcula.

Figura 4 - Concentrações médias de potássio (K_2O) do solo após a aplicação das fertirrigações e água nos tratamentos controle, efluente, NPK e ureia/efluente. As barras correspondem aos desvios-padrão (n=4). A análise estatística indicou ($p < 0,05$) e os (*) indica que há diferença estatística nos tratamentos em relação ao controle.



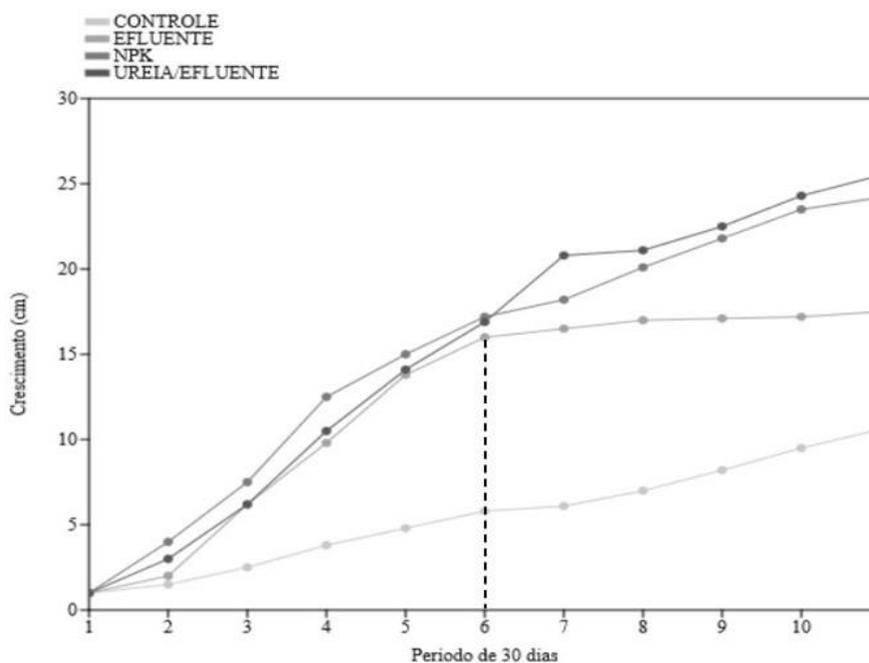
Análise foliar da rúcula entre os tratamentos

A análise foliar ao final dos tratamentos revelou-se que o tratamento ureia/efluente proporcionou maior absorção de nitrogênio sendo 42 g/kg, fósforo 2,7 g/kg e potássio com 25 g/kg superando o tratamento NPK apenas em valores de nitrogênio. O tratamento NPK absorção de 41g/kg de nitrogênio, 2,7 g/kg de fósforo e 26, g/kg de potássio. O tratamento controle apresentou os menores níveis de absorção: 26 g/kg de nitrogênio, 1,3 g/kg de fósforo e 14 g/kg de potássio, o que demonstra a deficiente formação da rúcula no tratamento controle especificado na Figura 5 (gráfico de crescimento). Porém, na análise foliar do tratamento efluente foi encontrado com 33 g/kg de nitrogênio, 2,7 g/kg de fósforo e 23 g/kg de potássio, teve valores inferiores ao tratamento ureia/efluente, que indica a superioridade do efluente em combinação com a ureia $(NH_2)_2CO$.

Monitoramento do crescimento da rúcula

A Figura 5 representa o gráfico de crescimento das rúculas ao longo dos 30 dias de experimento, com medições a cada três dias. A altura média final de cada tratamento foi de 10,6 cm no tratamento controle, 17,5 cm no tratamento efluente, 24,2 cm no tratamento NPK e 25,5 cm, no tratamento ureia/efluente. Pedó et al. (2014) destacam que o nitrogênio é essencial para o desenvolvimento foliar. Assim, explica o melhor desempenho dos tratamentos NPK e ureia/efluente. Porém, nota-se que as plantas no tratamento efluente tiveram crescimento normal e depois estagnou o crescimento pela baixa concentração de nitrogênio no efluente.

Figura 5 - Medições das rúculas durante o período de 30 dias. Foram realizadas medições de três em três dias nos tratamentos controle, efluente, NPK e ureia/efluente. (n=4). A análise estatística indicou ($p < 0,05$) e os (*) indica que há diferença estatística nos tratamentos em relação ao controle.



Produção de rúcula entre os tratamentos

A produção final de rúcula foi de 0,512 kg no tratamento controle, 6,7 kg no efluente, 10,5 kg, NPK e 11,5 kg no ureia/efluente. Ao pesar a produção entre os tratamentos foi realizada a análise estatística. Desta forma, a análise mostrou que a produção dos tratamentos NPK e ureia/efluente foi significativamente maior ($p < 0,05$) em comparação

com o tratamento controle, conforme o teste de Tukey. Assim, estes resultados evidenciam a eficácia do tratamento ureia/efluente para otimizar a produção de rúcula, alinhando-se aos achados de Jeronimo et al., (2022) que relatam sobre a reutilização de águas residuárias, que melhora a produção agrícola e reduz os custos de produção.

Produção de tilápia do Nilo

Segundo Coutinho (2017), o controle de parâmetros ambientais como oxigenação, temperatura, turbidez e pH é fundamental para o crescimento e a saúde de tilápias em sistema de aquicultura intensiva. No experimento, a produção de tilápia do Nilo em tanque circular foi monitorada durante 12 semanas, mantendo as condições de oxigenação, temperatura, turbidez e pH da água controladas. Durante o experimento não foi registrado mortalidade entre os espécimes. Na implantação do tanque circular efetuado, a pesagem de cada espécime resultou em um peso inicial de 2,095 kg e ao final do experimento foi realizada uma pesagem que resultou em 9,475 kg. O que possibilitou em ganho diário médio de 1,6 g e crescimento de 10 mm/dia, conforme relatado também por De Brito (2017) para sistemas de automação em piscicultura intensiva e potencial de crescimento das tilápias em condições ideais.

DISCUSSÃO

De acordo com De Sousa et al. (2022), o pH ácido limita a disponibilidade de nutrientes essenciais, criando um ambiente hostil para plantas por contribuir para a deterioração da qualidade do solo ao longo do tempo. Desta forma, a necessidade de intervenção com corretivos de solo foi identificada para viabilizar a produção agrícola nesta área.

A aplicação de CalMag+S teve impacto positivo na correção de solo, particularmente na redução do teor de alumínio (Al), um elemento tóxico na forma livre que pode ser prejudicial ao sistema radicular das plantas. Santos et al. (2016) relatam que a incorporação de gesso ao solo pode neutralizar o alumínio, tornando-o menos prejudicial. Assim, o efeito foi confirmado neste estudo, em que o aumento do pH do solo criou condições mais favoráveis para o crescimento das plantas. O hidróxido de cálcio e o gesso são responsáveis pela inibição da toxicidade do alumínio, além de promoverem a lixiviação para camadas mais profundas do solo (Brasil et al., 2020).

A combinação de matéria orgânica com hidróxido de cálcio e gesso mostrou-se uma estratégia eficaz para melhorar a qualidade do solo a fim de promover um ambiente

mais propício para o cultivo de hortaliças. Silva et al. (2021) enfatizam que a incorporação de matéria orgânica não só melhora a estrutura do solo, mas também aumenta a capacidade de retenção de água e nutrientes, além de promover a oxigenação do sistema radicular, fatores críticos para o sucesso da produção agrícola em solos degradados. Além disso, a matéria orgânica apresentou concentrações dentro do intervalo ideal para solos argilosos, variando entre 18 a 30 g/dm³, conforme recomendado por Prezotti et al. (2013). Observou-se também aumento na concentração de potássio e fósforo após a correção de pH e matéria orgânica, juntamente com a redução na toxicidade do alumínio que é comumente problemática em solos ácidos.

A limitação do solo estudado em sustentar uma produção adequada de hortaliças é atribuída à baixa fertilidade. Soares et al. (2022) enfatizam que a fertirrigação não apenas facilita o manejo de solos pobres, mas também permite a aplicação precisa e controlada de nutrientes, o que otimiza a absorção pelas plantas. Essa prática traduz-se em melhorias significativas na produtividade agrícola, tornando-se uma ferramenta indispensável para o cultivo sustentável em áreas degradadas, em que a fertilidade do solo é limitada.

A análise do efluente confirmou a baixa concentração de nitrogênio, o que levou à implementação do tratamento U, aplicação de efluente ureia, para melhorar a disponibilidade de nitrogênio e, conseqüentemente, o crescimento das hortaliças. Marinho (2022) indica que a combinação de técnicas e a utilização de recursos locais, como o efluente de tilápia, com suplementação adequada, pode oferecer um caminho viável e sustentável para a adubação de solos degradados no Brasil.

Os resultados obtidos com o tratamento combinado indicam que a suplementação de nitrogênio, quando adequadamente manejada, pode melhorar significativamente a produtividade agrícola em solos degradados. Salomão et al. (2020) enfatizam que a combinação de técnicas inovadoras e recursos locais podem oferecer soluções viáveis para recuperação de áreas degradadas no Brasil.

CONCLUSÃO

Conclui-se que o efluente de piscicultura combinado com ureia na aplicação em solo mostrou-se uma solução promissora para superar as limitações nutricionais, proporcionando crescimento das rúculas equivalente ou superior aos obtidos com o uso de NPK. Essa prática não apenas promoveu desenvolvimento saudável das plantas, mas também se destacou como uma alternativa sustentável e eficiente. Os resultados obtidos

forneem uma base s3lida para futuras pesquisas em cultivos de hortaliças, contribuindo para o desenvolvimento de sistemas de produç3o mais resilientes e sustent3veis. Os resultados alcançados reforçam a viabilidade dessa t3cnica como um recurso pr3tico para agricultores, oferecendo um caminho para uma agricultura mais equilibrada e produtiva.

Al3m disso, essa abordagem integra o aproveitamento de res3duos org4nicos com a aplicaç3o de fertilizantes tradicionais, favorecendo um manejo mais harmonioso do solo e pr3ticas agr3colas mais respons3veis do ponto de vista ambiental. A reduç3o da depend3ncia de fertilizantes qu3micos e a conseqüente preservaç3o dos recursos naturais destacam-se como importantes vantagens. Assim, a aplicaç3o combinada de efluentes e ureia pode servir de base para futuras pesquisas em hortaliças, auxiliando no desenvolvimento de sistemas de produç3o mais resilientes e alinhados aos princ3pios das sustentabilidades.

Agradecimentos

Agradecemos ao Professor Dr. Edison Barbieri, pela orientaç3o, paci3ncia e valiosas contribuiç3es. Ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Cient3fico e Tecnol3gico (CNPq), pelo apoio financeiro concedido, por meio da bolsa de estudos, e por todos que direto e indiretamente contribuíram para a realizaç3o deste estudo.

REFERÊNCIAS

BAIONI, J. C. et al. Efluente de piscicultura na produç3o consorciada de cebolinha e coentro. **Nucleus Animalium**, v. 9, n. 1, p. 143-150, 2017.

BELTRAN-PEÑA, A.; ROSA, L.; D'ODORICO, P. Global food self-sufficiency in the 21st century under sustainable intensification of agriculture. **Environmental Research Letters**, v. 15, n. 9, p. 095004, 2020.

BRASIL. MINIST3RIO DA AGRICULTURA, PECU3RIA E ABASTECIMENTO (MAPA). Manual de m3todos an3líticos oficiais para fertilizantes e corretivos. 2014.

BRASIL, E. C. et al. Uso de gesso na agricultura. Recomendaç3es de Calagem e Adubaç3o Para o Estado do Par3, 2nd ed.; Brasil, EC, Cravo, MS, Vi3gas, IJM, Eds, p. 133-146, 2020.

BRITO R., G.; DA COSTA, C. P.. Cultivo da til3pia do nilo (*oreochromis niloticus*) em tanques-rede: uma revis3o de literatura. **Revista JRG de Estudos Acad3micos**, v. 6, n. 13, p. 783-797, 2023.

CARVALHO, A. A. M.; DE SOUSA V., C. M. Português Piscicultura uma Revisão Bibliográfica: Avaliação dos Aspectos Ambientais e propostas de mitigação. **Revista de Engenharia e Tecnologia**, v. 16, n. 1, 2024.

COUTINHO, H. de L. et al. Comparação do desempenho produtivo da tilápia-do-nylo em sistema bioflocos e com filtro biológico. In: Congresso Interinstitucional de Iniciação Científica, 11. Campinas. Anais... Campinas: Instituto Agrônômico, Nº 17407. 2017.

CECCHERINI, G. J. Biofortificação agrônômica de rúcula (*Eruca sativa* Miller.) com ferro em cultivo hidropônico. 2022.

DA COSTA, A. C. R. et al. Efeito de fontes nitrogenadas protegidas e de solução concentrada em adubação de cobertura em milho. **Revista Agrotecnologia-Agrotec**, v. 11, n. 2, p. 36-45, 2020.

DE OLIVEIRA A., M., et al. Contribuição da adubação verde nas características químicas, físicas e biológicas do solo e sua influência na nutrição de hortaliças. **Research, Society and Development**, v. 10, n. 7, p. e7410716351-e7410716351, 2021.

DE SOUSA, L. F. A; GIONGO, P. R. Revisão de literatura: Uso do geoprocessamento na avaliação da degradação de pastagens. **Revista Sapiência: sociedade, saberes e práticas educacionais (2238-3565)**, v. 11, n. 1, p. 1-16, 2022.

DE BRITO, J. M., et al. Automação na tilapicultura: revisão de literatura. 2017. Disponível: <https://nutritime.com.br/wp-content/uploads/2020/02/Artigo-422.pdf>

DE BRITO R., G.; DA COSTA, C. P. Cultivo da tilápia do nilo (*oreochromis niloticus*) em tanques-rede: uma revisão de literatura. **Revista JRG de Estudos Acadêmicos**, v. 6, n. 13, p. 783-797, 2023.

JERONIMO, O. Reúso de águas residuais na agricultura: revisão sistemática. 2022. https://ri.ufs.br/jspui/bitstream/riufs/17149/2/Olivia_Jeronimo.pdf

INSTITUTO AGRONOMO DE CAMPINAS – IAC. Centro de pesquisa e desenvolvimento de solos e recursos ambientais. Disponível em: <http://www.iac.sp.gov.br/produtoseservicos/analisedosolo/interpretacaoanalise.php>. Acesso em: 12 de out de 2024

KIENER, M., et al. Nutritional quality and bioactive compounds of arugula (*Eruca sativa* L.) sprouts and microgreens. **International Journal of Food Science**, 2023.

LIMA, F. R. dos S. Qualidade de água e desempenho zootécnico de juvenis de tilápia do Nilo (*Oreochromis niloticus*) cultivados em sistema de bioflocos, com restrição de dieta comercial, suplementado com metionina sintética e óleo de soja. 2021.

LIN, L. Y.; HORNG, J. L. Interaction between ammonia excretion and ion regulation. In: **Encyclopedia of Fish Physiology**. Elsevier, p. 839-849, 2023.

LOPES, A. W. P. et al. Características agronômicas de plantas de rabanete (*Raphanus sativus L.*) cultivadas sob diferentes fontes de adubos orgânicos. **Diversitas Journal**, v. 6, n. 3, p. 2919-2930, 2021.

MARINHO, J. S. F. Integração piscicultura-agricultura como alternativa para o Nordeste: uma revisão de literatura. 2022. Disponível: <https://repositorio.ufrn.br/handle/123456789/46357>

MEDEIROS, Rafaella et al. Viabilidade econômica da aquaponia de juvenis de tilápia e rúcula em sistema NFT. 2022. Disponível: <https://repositorio.ifgoiano.edu.br/handle/prefix/4123>

PEIXE, B. R. Anuário brasileiro da piscicultura. São Paulo: Associação Brasileira de Piscicultura. 2024. <https://www.peixebr.com.br/anuario-2024/>

OLIVEIRA, D. C. F. et al. Aquaponia: a integração entre peixes e plantas: revisão de literatura. **Brazilian Journal of Animal and Environmental Research**, v. 7, n. 3, p. e71372-e71372, 2024.

PEDÓ, T. et al. Análise de crescimento de plantas de rabanete submetidas a doses de adubação nitrogenada. **Bioscience Journal**, v. 30, n. 1, p. 1-7, 2014.

PREZOTTI, L. C.; GUARÇONI, A. M. Guia de interpretações de análise de solo e foliar. 2013. Disponível: <https://biblioteca.incaper.es.gov.br/digital/bitstream/item/40/1/Guia-interpretacao-analise-solo.pdf>

SALOMÃO, P. E. A. et al.. Recuperação de áreas degradadas por pastagem: uma breve revisão. **Research, Society and Development**, v. 9, n. 2, p. e57922057-e57922057, 2020.

SANTOS, D. F. et al. Fatores que afetam a disponibilidade de micronutrientes no solo. **Tecno-Lógica**, v. 25, n. 2, 2021.

SANTOS, M. P. et al. Importância da calagem, adubações tradicionais e alternativas na produção de plantas forrageiras: Revisão. **Pubvet**, v. 10, n. 1, p. 001-110, 2016.

SARAIVA, V. S.; DE LIMA P., B. Uso de efluentes da piscicultura na agricultura irrigada. **Observatório de La economía Latinoamericana**, v. 21, n. 12, p. 26505-26518, 2023.

SÁTIRO, T. M.; ZACARDI, D. M.; DE ALMEIDA NETO, O. B. Reutilização do efluente de piscicultura para fertirrigação: uma alternativa ambiental e economicamente rentável. **Boletim do Observatório Ambiental Alberto Ribeiro Lamego**, v. 16, n. 1, p. 161-180, 2022.

SENAR, Serviço Nacional de Aprendizagem Rural, Brasília, coleção 211, apostila manejo de aquaponia e produção de tilápia. 2022.

SILVA, A. R. da et al. Uso de água residuária tratada na agricultura no contexto da economia circular: uma revisão sistemática da literatura. 2022. Disponível: <http://dspace.sti.ufcg.edu.br:8080/jspui/handle/riufcg/26525>

SILVA, P. H. S. et al. Micorrizas arbusculares em hortaliças das famílias Asteraceae, Aliaceae, Apiaceae, Amaranthaceae e Brassicaceae, cultivadas sob manejo orgânico. **Brazilian Journal of Development**, v. 7, n. 2, p. 17143-17155, 2021.

SOARES, D. et al. Importância a Compostagem no Ciclo de Nutrientes do Solo: Uma Revisão Bibliográfica. 2022.

TEIXEIRA, P. C. et al. Manual de métodos de análise de solo. 2021. Disponível: <https://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/item/194786/1/Pt-5-Cap-1-Micromorfologia-do-solo.pdf>

URÍAS-SOTOMAYOR, R., & Maeda-Martínez, A. N. La producción de tilapia del Nilo *Oreochromis niloticus* (Linnaeus, 1758) en México como una alternativa para fortalecer la seguridad alimentaria nacional. Estudios Sociales. **Revista de Alimentación Contemporánea y Desarrollo Regional**. 2023. <https://doi.org/10.24836/es.v33i62.1322>

VIEIRA, F. P. et al. Efeitos da adubação foliar de micronutrientes em conjunto com bioestimulantes: uma revisão de literatura. 2021. Disponível: https://repositorio.ifgoiano.edu.br/bitstream/prefix/2186/1/tcc_Fernando%20Pires%20Vieira.pdf

ANEXOS

Experimento realizado na fazenda Sonho Meu



Área do experimento 120m²



Limpeza da área



Terraplanagem da área



Homogeneização de solo



Correção de pH e Alumíni



Plantio das sementes de Rúcula



Sistema de captação efluentes



Tanque Biodigestor



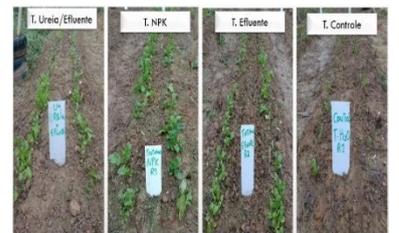
Tanque de efluentes



Montagem dos tratamentos



Tratamentos



Produção de rúcula nos tratamentos



Amostragem foliar



Amostragem de solo

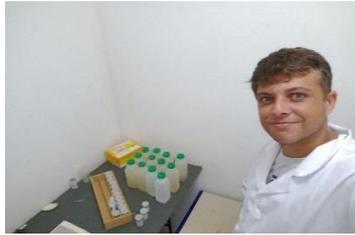


Amostragem da fertirrigações

Análises realizadas em laboratório



Separação de amostras



Início das análises



Aferição de pH



Análise das fertirrigações



Determinação de P, K e Ca



Determinação de N



Análise de solo



Determinação de pH, M.O, P, K



Análise foliar



Determinação de N, P, K e Ca



Amostragem de sólidos efluente



Precipitação de sólidos



Amostra de efluente homogeneizado



Secagem de amostra



Pesagem da amostra seca

Sistema de reaproveitamento de efluente de tilápia

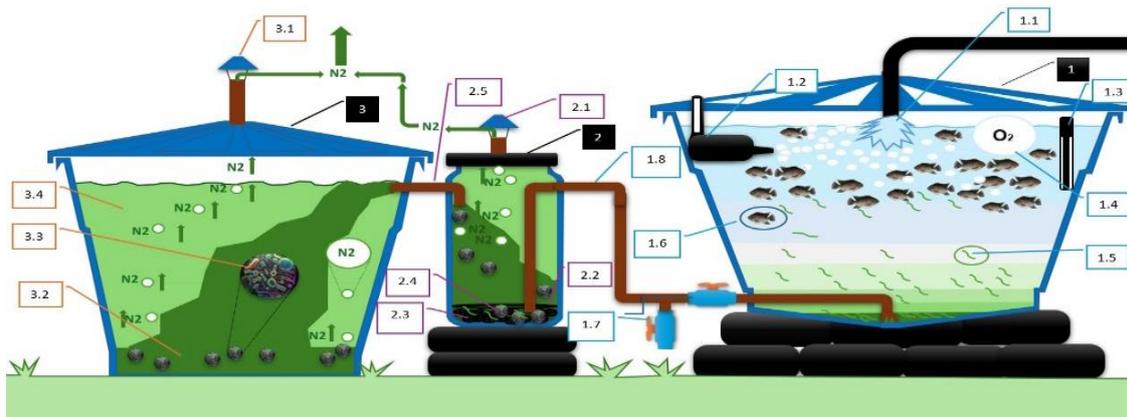


Figura 1- 1- Tanque Elevado: 1.1- Abastecimento de água, 1.2- Bomba oxigenadora, 1.3- Termostato 500w, 1.4- Oxigênio (O₂), 1.5 - Fezes da tilápia, 1.6- Espécime Tilápia do Nilo, 1.7- Registros, 1.8- Cano PVC 50mm. 2-Tanque Biodigestor: 2.1-Saída de gases, 2.2 Tela para contenção de biomídia, 2.3 Biomídia, 2.4 Microrganismos. 3- Tanque de Armazenagem de Efluentes: 3.1- Saída de gases, 3.2- Efluente com nutrientes precipitado, 3.3- Microrganismos, 3.4- Efluente com nutrientes solúveis.