



UNIVERSIDADE FEDERAL DO CEARÁ
CENTRO DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA DE PESCA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA DE PESCA

ANGÉLICA DE OLIVEIRA PORTELA CUNHA

**EFEITOS DA APLICAÇÃO DE ÓLEOS ESSENCIAIS À DIETA DE
TILÁPIA-DO-NILO (*Oreochromis niloticus*)**

FORTALEZA

2026

ANGÉLICA DE OLIVEIRA PORTELA CUNHA

EFEITOS DA APLICAÇÃO DE ÓLEOS ESSENCIAIS À DIETA DE
TILÁPIA-DO-NILO (*Oreochromis niloticus*)

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Pesca da Universidade Federal do Ceará, como requisito parcial à obtenção do título de Mestra em Engenharia de Pesca. Área de concentração: Aquicultura.

Orientador: Prof. Dr. Marcelo Vinícius do Carmo e Sá

FORTALEZA

2026

ANGÉLICA DE OLIVEIRA PORTELA CUNHA

EFEITOS DA APLICAÇÃO DE ÓLEOS ESSENCIAIS À DIETA DE
TILÁPIA-DO-NILO (*Oreochromis niloticus*)

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Pesca da Universidade Federal do Ceará, como requisito parcial à obtenção do título de Mestra em Engenharia de Pesca. Área de concentração: Aquicultura.

Aprovada em: 24/02/2026.

BANCA EXAMINADORA

Prof. Dr. Marcelo Vinícius do Carmo e Sá (Orientador)
Universidade Federal do Ceará (UFC)

Dr. Alysson Lira Angelim
Biotrends Soluções Biotecnológicas

Prof. Dr. Rafael dos Santos Rocha
Universidade Federal do Ceará (UFC)

Ao meu filho, Leonay (*In memoriam*).

AGRADECIMENTOS

Ao meu bom Deus, minha eterna gratidão pelas forças concedidas quando mais precisei. *“O Senhor é a minha força e o meu escudo; nele o meu coração confia, e Dele recebo ajuda. Meu coração exulta de alegria, e com meu cântico lhe darei graças”* (Salmos 28:7).

Aos meus pais, Antonia e Reginaldo, minha base e meu porto seguro, por sempre confiarem em mim. Aos meus irmãos, Filipe e Flaviane, pela irmandade constante; e aos meus cunhados, padrinho Manoel, pelo acolhimento de sempre, e Mayara, pelo incentivo. Às minhas sobrinhas, Sofia e Laura, meus pontinhos de luz, que transformam qualquer cansaço em afeto. Aos meus muitos companheiros de quatro patas, em especial, minha irmã Rena; ao meu filho Leonay (*In memoriam*), que tanto me ensinou sobre a vida; à Melissa, grande exemplo de recomeço; ao meu filho Marvin, que me ensina a ter mais paciência; ao Benjamin, meu galo exemplar; e à Maya, nossa primeira bita enjeitada, por tornarem meus dias mais felizes.

Aos queridos amigos do Mestrado – Erivan Lima, Maynara Almeida, Athos Xavier, Beatriz Rebouças e Victor Almeida – pelas experiências, aprendizados e momentos especiais compartilhados ao longo dessa trajetória.

Aos queridos amigos da Estação de Aquicultura – Beatriz Ribeiro, Heloísa Campelo, Fábio Marques, Ângelo Lobão, Muriel Guedes, Elias Sales, Célio Henrique e o Tilápia – pelo apoio, companheirismo e incontáveis momentos de ajuda e risadas gostosas ao longo dessa caminhada. Ao Robertinho pelas soluções padrões. Aos guardas, especialmente seu Mauro e seu Eugênio, pelos cafés, almoços e acolhimento diário. Vocês tornaram esta jornada mais leve, feliz e significativa.

À Bomar Pescados, nas pessoas de Renato e Josué, pelo fornecimento dos alevinos; à Samaria Rações, na pessoa de Raphael Venancio, pelo fornecimento da ração; à Biotrends, em especial ao Alysson Angelim, Ronaldo Melo, Samantha Pinheiro e Fernanda Vaz, pelo fornecimento dos óleos essenciais e pelo apoio durante o trabalho; ao STATLAB, na pessoa de Rafael Farias, pelas análises estatísticas; ao CEDECAM, especialmente ao professor Rafael e à Graça, pelo suporte nas análises histológicas; e à Sulamita, pelo valioso suporte administrativo.

Aos membros da banca examinadora, pelas valiosas contribuições para o aprimoramento deste trabalho. Ao meu orientador, Marcelo Sá, pelos conhecimentos

compartilhados e apoio ao longo desta trajetória. À Suzete Roberta, pela ajuda constante na fase experimental, na escrita e pela amizade construída. Meus sinceros agradecimentos a todos que, de alguma forma, fizeram parte desta conquista.

O presente trabalho foi realizado com apoio da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior – Brasil (CAPES) – Código de Financiamento 001.

RESUMO

O crescimento populacional mundial impõe desafios à produção sustentável de alimentos, destacando a aquicultura como alternativa estratégica para o fornecimento de proteína animal. Nesse contexto, a tilápia-do-Nilo (*Oreochromis niloticus*) destaca-se pela elevada adaptação ao cultivo intensivo, rápido crescimento e ampla aceitação comercial. Entretanto, a intensificação da produção favorece o surgimento de enfermidades e o uso excessivo de antibióticos, impulsionando a busca por aditivos naturais capazes de melhorar o desempenho produtivo e a sanidade dos peixes. Assim, os óleos essenciais surgem como aditivos promissores devido às propriedades antimicrobianas, antioxidantes e imunomoduladoras. O presente estudo avaliou a palatabilidade e os efeitos zootécnicos e histológicos da suplementação dietética com diferentes óleos essenciais para juvenis de tilápia-do-Nilo em condições laboratoriais controladas. Foram avaliados os óleos essenciais de Canela-Cássia (*Cinnamomum cassia*), Lemongrass (*Cymbopogon flexuosus*), Eucalipto (*Eucalyptus staigeriana*) e Orégano (*Origanum vulgare*), suplementados individualmente nas concentrações de 0,1; 1 e 10 mL/kg de ração comercial. O desempenho zootécnico foi avaliado por Peso Médio, Ganho de Peso Total (GPT), Fator de Conversão Alimentar Aparente (FCA) e Sobrevivência, enquanto a Palatabilidade foi avaliada por testes de consumo alimentar e latência até o primeiro ataque. Os resultados demonstraram efeito positivo da suplementação em concentrações intermediárias (1 mL/kg), reforçando a existência de um intervalo ótimo de inclusão. A Canela-Cássia e o Lemongrass destacaram-se pelos maiores incrementos de crescimento, com ganhos adicionais estimados de aproximadamente 1,3 g e 1,2 g em relação ao controle, respectivamente. A Canela-Cássia apresentou o melhor desempenho produtivo geral, com maior estabilidade zootécnica e ausência de alterações histológicas relevantes, enquanto o Lemongrass promoveu incremento no crescimento associado a alterações gástricas leves compatíveis com adaptação ao estímulo dietético. O Orégano destacou-se pelos efeitos funcionais sobre a palatabilidade e o comportamento alimentar, enquanto o Eucalipto apresentou efeitos mais discretos, relacionados principalmente à aceitação inicial das dietas. De forma geral, os óleos essenciais mostraram-se biologicamente seguros, mantendo elevadas taxas de sobrevivência (92,5–100%), sem prejuízos à qualidade da água ou à integridade tecidual. Conclui-

se que os óleos essenciais avaliados apresentam potencial como aditivos funcionais e atrato-palatabilizantes na tilapicultura, especialmente em concentrações intermediárias, destacando-se a Canela-Cássia como promotora de desempenho produtivo, o *Lemongrass* pelo potencial de estímulo ao crescimento associado a respostas adaptativas do trato digestório, e o Orégano como modulador do comportamento alimentar e da resposta fisiológica dos peixes.

Palavras-chave: fitoativos; alimentação; imunomodulação; tilapicultura; sanidade aquícola.

ABSTRACT

Global population growth poses challenges to sustainable food production, highlighting aquaculture as a strategic alternative for supplying animal protein. In this context, Nile tilapia (*Oreochromis niloticus*) stands out due to its high adaptability to intensive farming systems, rapid growth, and wide commercial acceptance. However, the intensification of production favors the emergence of diseases and the excessive use of antibiotics, driving the search for natural additives capable of improving fish performance and health. Thus, essential oils emerge as promising additives due to their antimicrobial, antioxidant, and immunomodulatory properties. The present study evaluated the palatability and the zootechnical and histological effects of dietary supplementation with different essential oils for juvenile Nile tilapia under controlled laboratory conditions. The essential oils of Cassia Cinnamon (*Cinnamomum cassia*), Lemongrass (*Cymbopogon flexuosus*), Eucalyptus (*Eucalyptus staigeriana*), and Oregano (*Origanum vulgare*) were individually supplemented at concentrations of 0.1, 1, and 10 mL/kg of commercial feed. Zootechnical performance was evaluated through Mean Weight, Total Weight Gain (TWG), Apparent Feed Conversion Ratio (FCR), and Survival, while palatability was assessed through feed intake tests and latency to the first feeding attack. The results demonstrated a positive effect of supplementation at intermediate concentrations (1 mL/kg), reinforcing the existence of an optimal inclusion range. Cassia Cinnamon and Lemongrass showed the greatest growth increments, with estimated additional gains of approximately 1.3 g and 1.2 g compared to the control group, respectively. Cassia Cinnamon presented the best overall productive performance, with greater zootechnical stability and absence of relevant histological alterations, whereas Lemongrass promoted growth enhancement associated with mild gastric alterations compatible with adaptation to dietary stimulus. Oregano stood out for its functional effects on palatability and feeding behavior, while Eucalyptus showed more discrete effects, mainly related to the initial acceptance of the diets. Overall, the essential oils proved to be biologically safe, maintaining high survival rates (92.5–100%) with no adverse effects on water quality or tissue integrity. It is concluded that the evaluated essential oils present potential as functional and attractant-palatability additives in Nile tilapia farming, especially at intermediate concentrations, highlighting Cassia Cinnamon as a promoter of productive performance, Lemongrass for its

growth-stimulating potential associated with adaptive responses of the digestive tract, and Oregano as a modulator of feeding behavior and physiological responses in fish.

Keywords: phytoactives; feeding; immunomodulation; tilapia aquaculture; aquaculture health.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 – Produção de tilápia (mil toneladas) por unidades federativas brasileiras em 2024.	21
Figura 2 – Produção da piscicultura brasileira (mil toneladas) por espécies em 2024.	21
Figura 3 – Localização da área experimental na Estação de Aquicultura, na Universidade Federal do Ceará, Campus do Pici, Fortaleza – CE.....	27
Figura 4 – Juvenis de tilápia-do-Nilo (<i>Oreochromis niloticus</i>) utilizados no experimento.	29
Figura 5 – Sistema experimental composto por aquários de 40 L utilizados no ensaio de crescimento de juvenis de tilápia-do-Nilo (<i>Oreochromis niloticus</i>).	30
Figura 6 – Potes de 30 g (a) e colheres dosadoras (b) utilizados no arraçamento diário.	32
Figura 7 – Emulsão pulverizada sobre a ração utilizando frasco tipo spray.....	33
Figura 8 – Recipientes plásticos para armazenamento das rações.	33
Figura 9 – Aquário experimental de 15 L utilizado para avaliação da palatabilidade.	35
Figura 10 – Estômago e intestino armazenados em tubo Falcon de 50 mL; fígado e baço armazenados em <i>Eppendorf</i>	37
Figura 11 – Variação temporal da dureza total durante o Ciclo 1.....	42
Figura 12 – Variação temporal da alcalinidade total durante o Ciclo 1.....	42
Figura 13 – Variação temporal da dureza total durante o Ciclo 2.....	43
Figura 14 – Variação temporal da alcalinidade total durante o Ciclo 2.....	43
Figura 15 – Variação semanal da concentração de amônia tóxica (NH ₃ , mg/L) no Ciclo 1.	46
Figura 16 – Variação semanal da concentração de nitrito (NO ₂ ⁻ , mg/L) no Ciclo 1.	47
Figura 17 – Variação semanal da concentração de amônia tóxica (NH ₃ , mg/L) no Ciclo 2.	48
Figura 18 – Variação semanal da concentração de nitrito (NO ₂ ⁻ , mg/L) no Ciclo 2.	48
Figura 19 – Distribuição do peso inicial e final dos peixes por tratamento no Ciclo 1.	52
Figura 20 – Distribuição do peso inicial e final dos peixes por tratamento no Ciclo 2.	52

Figura 21 – Pesos estimados pelo modelo misto no Ciclo 1.	57
Figura 22 – Pesos estimados pelo modelo misto no Ciclo 2.	58
Figura 23 – Ganho médio de peso por aquário no Ciclo 1.	60
Figura 24 – Ganho médio de peso por aquário no Ciclo 2.	60
Figura 25 – Distribuição da latência até o primeiro ataque por tratamento.	64
Figura 26 – Distribuição do número de pellets consumidos por tratamento.	65
Figura 27 – Relação entre latência e consumo alimentar.	67
Figura 28 – Médias estimadas da latência por tratamento com intervalos de confiança.	68
Figura 29 – Alterações histológicas do estômago de tilápia-do-Nilo (<i>Oreochromis niloticus</i>) após 15 dias de alimentação suplementada com óleo essencial de Lemongrass a 0,1 mL/kg.	70
Figura 30 – Alterações histológicas do estômago de tilápia-do-Nilo (<i>Oreochromis niloticus</i>) após 15 dias de alimentação suplementada com óleo essencial de Lemongrass a 1 mL/kg.	70
Figura 31 – Alterações histológicas do estômago de tilápia-do-Nilo (<i>Oreochromis niloticus</i>) após 15 dias de alimentação suplementada com óleo essencial de Lemongrass a 10 mL/kg.	71
Figura 32 – Alterações histológicas do estômago de tilápia-do-Nilo (<i>Oreochromis niloticus</i>) após 15 dias de alimentação suplementada com óleo essencial de Orégano a 0,1 mL/kg.	71
Figura 33 – Alterações histológicas do estômago de tilápia-do-Nilo (<i>Oreochromis niloticus</i>) após 15 dias de alimentação suplementada com óleo essencial de Orégano a 1 mL/kg.	72
Figura 34 – Alterações histológicas do estômago de tilápia-do-Nilo (<i>Oreochromis niloticus</i>) após 15 dias de alimentação suplementada com óleo essencial de Orégano a 10 mL/kg.	72
Figura 35 – Alterações histológicas do intestino de tilápia-do-Nilo (<i>Oreochromis niloticus</i>) após 15 dias de alimentação suplementada com óleo essencial de Eucalipto a 1 mL/kg.	73
Figura 36 – Alterações histológicas do intestino de tilápia-do-Nilo (<i>Oreochromis niloticus</i>) após 15 dias de alimentação suplementada com óleo essencial de Eucalipto a 1 mL/kg.	74

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Principais constituintes químicos (%) dos óleos essenciais utilizados no experimento, conforme especificação do fabricante (Ferquima®).	28
Tabela 2 – Esquema de ajuste progressivo do arraçoamento diário.....	32
Tabela 3 – Parâmetros físico-químicos da água monitorados diariamente durante o Ciclo 1.	40
Tabela 4 – Parâmetros físico-químicos da água monitorados diariamente durante o Ciclo 2.	40
Tabela 5 – Valores médios semanais da dureza total e da alcalinidade total da água durante o Ciclo 1.	41
Tabela 6 – Valores médios semanais da dureza total e da alcalinidade total da água durante o Ciclo 2.	41
Tabela 7 – Valores de amônia tóxica (NH ₃) durante o Ciclo 1.	44
Tabela 8 – Valores de nitrito (NO ₂ ⁻) durante o Ciclo 1.....	44
Tabela 9 – Valores de amônia tóxica (NH ₃) durante o Ciclo 2.	45
Tabela 10 – Valores de nitrito (NO ₂ ⁻) durante o Ciclo 2.....	45
Tabela 11 – Estatísticas descritivas do peso dos peixes por tratamento e fase no Ciclo 1.	51
Tabela 12 – Estatísticas descritivas do peso dos peixes por tratamento e fase no Ciclo 2.	51
Tabela 13 – ANOVA (Type III) do modelo linear misto no Ciclo 1.....	53
Tabela 14 – ANOVA (Type III) do modelo linear misto no Ciclo 2.....	53
Tabela 15 – Estimativas dos efeitos fixos do modelo linear misto no Ciclo 1.....	54
Tabela 16 – Estimativas dos efeitos fixos do modelo linear misto no Ciclo 2.....	55
Tabela 17 – Médias marginais estimadas por tratamento e fase no Ciclo 1.	56
Tabela 18 – Médias marginais estimadas por tratamento e fase no Ciclo 2.	58
Tabela 19 – Análise de variância das médias por aquário no Ciclo 1.	59
Tabela 20 – Análise de variância das médias por aquário no Ciclo 2.	59
Tabela 21 – Valores médios de conversão alimentar aparente (FCA) e sobrevivência nos Ciclos 1 e 2.....	63
Tabela 22 – Estatísticas descritivas dos ensaios de palatabilidade dos óleos essenciais.....	64

Tabela 23 – Análise de variância (ANOVA) para o número de <i>pellets</i> consumidos por juvenis de tilápia-do-Nilo submetidos a dietas suplementadas com óleos essenciais.	66
Tabela 24 – Análise de variância (ANOVA) para a latência até o primeiro ataque alimentar de juvenis de tilápia-do-Nilo submetidos a dietas suplementadas com óleos essenciais.....	67
Tabela 25 – Comparações múltiplas entre tratamentos para a latência até o primeiro ataque alimentar de juvenis de tilápia-do-Nilo após análise pós-hoc.	68

LISTA DE QUADROS

Quadro 1 – Distribuição dos tratamentos e número de aquários por ciclo experimental.	31
---	----

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	17
2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	19
2.1 Aquicultura e o valor nutricional do pescado	19
2.2 Piscicultura Brasileira	20
2.3 A tilápia-do-Nilo: importância zootécnica e produtiva	22
2.4 Desafios sanitários na aquicultura	22
2.5 Imunidade de peixes e alternativas imunomoduladoras	24
2.6 Propriedades e aplicações de óleos essenciais na aquicultura	24
3. OBJETIVOS	26
3.1 Objetivo Geral	26
3.2 Objetivos Específicos	26
4. MATERIAIS E MÉTODOS	27
4.1 Delimitação da área de estudo	27
4.2 Triagem de óleos essenciais	28
4.2.1 Preparo das emulsões de óleos essenciais	29
4.3 Delineamento Experimental	29
4.3.1 Aquisição e aclimação dos animais	29
4.3.2 Arranjo Experimental	30
4.3.3 Manejo nutricional e oferta alimentar	31
4.3.4 Condições Experimentais	34
4.4 Avaliação da Palatabilidade	34
4.5 Desempenho zootécnico e sanitário	35
4.6 Análises histológicas	36
4.7 Análises estatísticas	38
5. RESULTADOS E DISCUSSÃO	39
5.1 Triagem dos óleos essenciais e fundamentação da escolha	39
5.2 Caracterização da área de estudo e condições experimentais	39
5.3 Homogeneidade inicial e aclimação dos peixes	49
5.4 Análise descritiva e visual do crescimento dos animais	50
5.5 Modelo linear misto e efeito dos tratamentos no desempenho zootécnico	53

5.6 Médias marginais estimadas e interpretação integrada do desempenho zootécnico	56
5.7 Análise complementar do desempenho zootécnico por aquário	59
5.8 Fator de conversão alimentar aparente e sobrevivência	62
5.9 Palatabilidade	63
5.10 Análises histológicas	69
6. CONCLUSÃO	75
REFERÊNCIAS	76
APÊNDICE A – PARÂMETROS HISTOLÓGICOS	84

1. INTRODUÇÃO

O crescimento populacional mundial impõe desafios crescentes à segurança alimentar, exigindo soluções sustentáveis e eficientes na produção de alimentos de alto valor nutricional. Segundo a Organização das Nações Unidas (ONU), a população global deve crescer de 8,2 bilhões em 2024 para cerca de 10,3 bilhões até meados da década de 2080, ampliando a pressão sobre os sistemas agroalimentares (ONU, 2024).

Nesse contexto, a aquicultura vem se consolidando como uma alternativa estratégica e sustentável para o fornecimento de proteína animal. De acordo com a Organização das Nações Unidas para a Alimentação e a Agricultura (FAO), a produção aquícola mundial atingiu 130,9 milhões de toneladas em 2022, superando pela primeira vez a pesca extrativa de animais aquáticos e respondendo por cerca de 57% do pescado consumido globalmente (FAO, 2024).

O Brasil, por sua vez, apresenta condições favoráveis para o desenvolvimento da aquicultura, como abundância em recursos hídricos, clima propício e diversidade de espécies cultiváveis (Brasil, 2022; Valenti *et al.*, 2021). De acordo com o Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE), em 2024, a produção brasileira de tilápia alcançou 499,4 mil toneladas, representando 68,9% da piscicultura nacional (IBGE, 2026). A espécie *Oreochromis niloticus*, conhecida como tilápia-do-Nilo, tem se destacado por sua rusticidade, rápido crescimento, aceitação no mercado e elevado valor nutricional, sendo considerada a principal espécie da aquicultura brasileira e de grande relevância global (FAO, 2024; Furuya *et al.*, 2010; Kubitzka, 2021).

No entanto, o avanço da piscicultura intensiva tem acarretado novos desafios, especialmente relacionados à sanidade dos animais cultivados. O aumento da densidade populacional nos sistemas de cultivo favorece a disseminação de patógenos oportunistas, como *Streptococcus agalactiae*, *Aeromonas hydrophila*, *Ewardsiella tarda*, *Francisella noatunensis* e *Flavobacterium columnare*, resultando em perdas zootécnicas significativas (Ma *et al.*, 2024; Pandey *et al.*, 2021; Pereira *et al.*, 2020; Shourbela *et al.*, 2021). O uso indiscriminado de antibióticos para o controle dessas enfermidades tem contribuído para o surgimento de cepas resistentes, o que compromete a sustentabilidade da atividade e representa risco à saúde pública (FAO, 2024; Ghafarifarsani *et al.*, 2022).

Diante desse cenário, aditivos como prebióticos, probióticos e fitobióticos têm ganhado destaque como estratégias promissoras para promover a saúde intestinal e a imunidade dos peixes cultivados (Rezende *et al.*, 2021). Os prebióticos, geralmente carboidratos complexos não digeríveis, favorecem seletivamente o crescimento de bactérias benéficas no trato intestinal (Mugwanya *et al.*, 2022). Os probióticos consistem na adição de micro-organismos vivos, como *Bacillus* spp. e *Lactobacillus* spp., capazes de modular a microbiota, inibir patógenos, estimular a resposta imune e melhorar a qualidade da água (Wang *et al.*, 2023).

Já os fitobióticos, incluindo extratos vegetais, compostos fenólicos e óleos essenciais, oferecem propriedades antimicrobianas, antioxidantes e imunomoduladoras (Terrazas-Pineda *et al.*, 2025), destacando-se como alternativas naturais ao uso de antibióticos (Zhang *et al.*, 2020). Nesse contexto, os óleos essenciais, extraídos de plantas aromáticas, têm se evidenciado como aditivos funcionais seguros e ambientalmente sustentáveis (Aguiar *et al.*, 2023; Silva *et al.*, 2019), capazes de melhorar o desempenho zootécnico, a resposta imune e a resistência a doenças, especialmente em tilápias (Abdel-Tawwab *et al.*, 2024; Kusi; Obirikorang; Adjei-Boateng, 2025).

Nesse contexto, os óleos essenciais têm ganhado destaque na aquicultura como ferramentas biotecnológicas promissoras, capazes de promover sistemas de produção mais sustentáveis. Estudos que investiguem sua eficácia na sanidade de peixes cultivados, bem como ao longo do processo produtivo, especialmente tilápias-do-Nilo (*Oreochromis niloticus*), são essenciais para promover a segurança alimentar, reduzir o uso de antibióticos e ampliar as opções de aditivos naturais viáveis para aplicação prática. A parceria com a empresa Biotrends Soluções Biotecnológicas fortalece essa proposta ao reunir conhecimento técnico-científico e inovação na busca por estratégias eficazes, seguras e economicamente acessíveis para o fortalecimento da piscicultura nacional.

2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 Aquicultura e o valor nutricional do pescado

A aquicultura tem se destacado nas últimas décadas como uma atividade competitiva e sustentável, contribuindo para a produção de alimentos, geração de emprego e segurança alimentar, especialmente em países em desenvolvimento (FAO, 2024; Sá, 2023; Siqueira, 2018). A aquicultura é definida como o cultivo ou criação, sob controle humano, de organismos aquáticos cujos ciclos de vida, em ambiente natural, ocorrem total ou parcialmente em meio aquático (Brasil, 2009). Segundo o RIISPOA, pescado é o termo que compreende peixes, crustáceos, moluscos, anfíbios, répteis, equinodermos e outros animais aquáticos utilizados na alimentação humana (Brasil, 2017).

O pescado destaca-se não apenas pela produção crescente, mas também por seu elevado valor nutricional, pois fornece proteína de alta qualidade, é fonte de ácidos graxos poli-insaturados (EPA e DHA) e micronutrientes essenciais como vitaminas A, B e D, cálcio, fósforo, zinco, iodo e selênio (FAO, 2024; Soares; Gonçalves, 2012; Vargas; Cardoso, 2017). Além de seu valor nutricional, o pescado é reconhecido como alimento estratégico no combate à fome e à desnutrição (Abbey *et al.*, 2017).

Por sua elevada eficiência produtiva e potencial de manejo sustentável, a FAO (2022) destaca a aquicultura como essencial para o cumprimento dos Objetivos de Desenvolvimento Sustentável, como o ODS 2 (Fome Zero). Aplicando tecnologias de processamento, partes do pescado tradicionalmente não consumidas podem ser convertidas em produtos altamente nutritivos e de baixo custo, contribuindo imensamente para a segurança alimentar e o combate ao desperdício (FAO, 2022).

O continente asiático domina a produção aquícola mundial. Segundo o relatório FAO (2024), os países da Ásia responderam por cerca de 70% da produção global de animais aquáticos em 2022. Entre as cinco principais espécies cultivadas, quatro são carpas, refletindo a predominância asiática. A tilápia-do-Nilo (*Oreochromis niloticus*) destaca-se como a única espécie não-asiática nesse *ranking*, demonstrando seu potencial produtivo e valor estratégico global (FAO, 2024).

2.2 Piscicultura Brasileira

No Brasil, a produção de animais aquáticos é estimada em cerca de 738 mil toneladas (FAO, 2024). Apesar do consumo médio da população brasileira ainda ser inferior ao recomendado – 9 kg *per capita* frente aos 12 kg recomendados pela FAO (Lopes; Oliveira; Ramos, 2016), observa-se uma tendência de crescimento com a maior divulgação dos benefícios do pescado à saúde humana (Mishra, 2020). Esse aumento da demanda por pescado cultivado impulsionou o desenvolvimento da atividade, posicionando o país como um dos principais produtores aquícolas mundiais (Nobile *et al.*, 2019; Rodrigues; Silva, 2021).

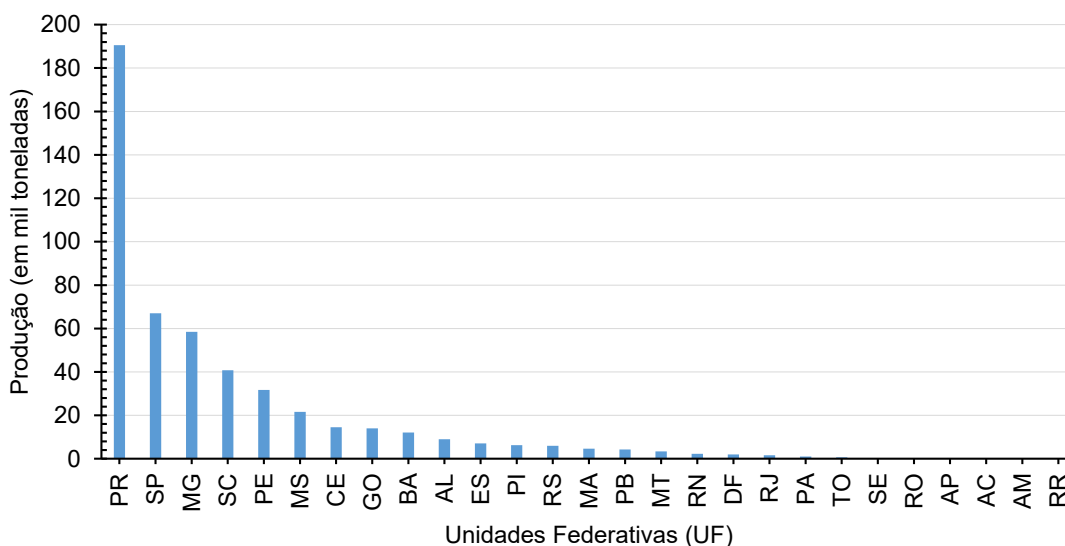
O país ocupa atualmente a 8ª posição no *ranking* mundial de produtores de peixes de água doce (FAO, 2024), com 616 mil toneladas provenientes de águas interiores. Desde 2016, o IBGE fornece estatísticas oficiais detalhadas sobre a aquicultura, com destaque para a piscicultura continental (Valenti *et al.*, 2021). Sendo a tilápia, a principal espécie cultivada no Brasil. O país atualmente é o quarto maior produtor mundial de tilápia (PEIXE BR, 2025) e, segundo a Produção da Pecuária Municipal (PPM), a produção nacional de tilápia alcançou 499,4 mil toneladas em 2024, o que representa 68,9% da piscicultura brasileira (IBGE, 2026).

Em 2024, a Região Nordeste respondeu por 17,5% da produção aquícola nacional de peixes, atrás apenas da Região Sul (35,2%), que lidera desde 2016, e Sudeste (19,3%) que registrou o maior crescimento percentual (19,9%) entre todas as regiões (IBGE, 2024). O estado do Paraná lidera com 195,5 mil toneladas (27,0%), sendo a tilápia responsável por 97,46% do total, seguido por São Paulo (9,7%) e Minas Gerais (8,4%).

O Ceará, embora não seja um dos maiores produtores de peixes do país, possui uma produção relevante de tilápia, espécie que domina quase integralmente a piscicultura do estado, representando 99,68% da piscicultura local, com 14,5 mil toneladas produzidas (IBGE, 2026). As demais espécies, como tambaqui (0,019 mil t), pirarucu (0,009 mil t) e outros peixes (0,011 mil t), apresentam participações residuais (IBGE, 2026). Essa concentração evidencia o domínio da tilápia na aquicultura cearense, reflexo de sua elevada eficiência zootécnica, adaptabilidade e investimento técnico regional.

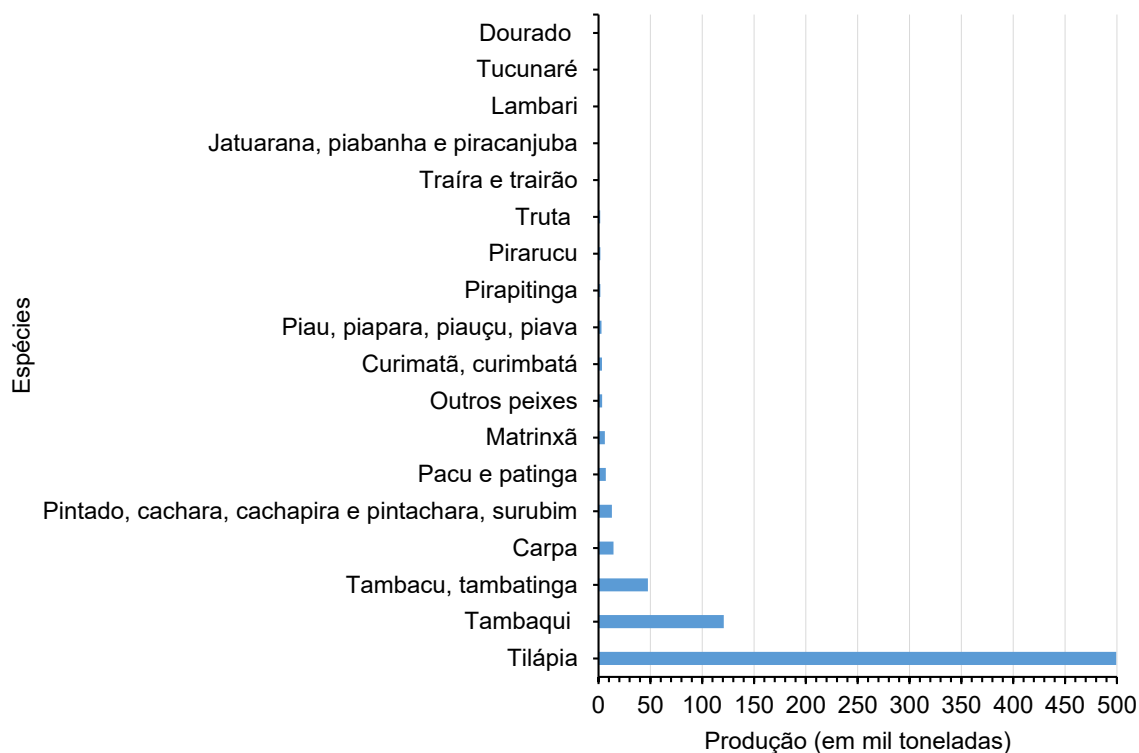
A Figura 1 mostra a distribuição da produção de tilápia por unidades federativas brasileiras em 2024, e a Figura 2 apresenta o panorama da piscicultura brasileira por espécie, confirmando a dominância da tilápia sobre as demais espécies cultivadas.

Figura 1 – Produção de tilápia (mil toneladas) por unidades federativas brasileiras em 2024.



Fonte: IBGE, 2026.

Figura 2 – Produção da piscicultura brasileira (mil toneladas) por espécies em 2024.



Fonte: IBGE, 2026.

2.3 A tilápia-do-Nilo: importância zootécnica e produtiva

Importada da Costa do Marfim e introduzida no Brasil em 1971 pelo Departamento Nacional de Obras Contra as Secas (DNOCS), em Pentecoste, Ceará (Kubitza, 2003; Saint-Paul, 2017), a tilápia-do-Nilo (*Oreochromis niloticus*) foi inicialmente utilizada para a produção de alevinos e povoamento de reservatórios no Nordeste (Schulter; Vieira Filho, 2018). Contudo, sua produção comercial somente se consolidou a partir dos anos 1990, impulsionada pela disseminação da tecnologia de reversão sexual, responsável por maior uniformidade e melhor desempenho produtivo dos lotes (Kubitza, 2003; Saint-Paul, 2017). Atualmente, a tilápia é a principal espécie da aquicultura brasileira (IBGE, 2026) e figura entre as principais da produção aquícola mundial (FAO, 2024).

Seu sucesso zootécnico decorre de boa rusticidade, rápido crescimento, boa conversão alimentar, docilidade, facilidade reprodutiva, pacote tecnológico definido e carne de qualidade, sem espinhas em “Y”, atributos que favorecem sua aceitação comercial (Furuya *et al.*, 2010; Kubitza, 2000; Siqueira *et al.*, 2021). Soma-se a isso sua dieta onívora e adaptabilidade a diversos sistemas de cultivo, como viveiros escavados, tanques-rede e RAS (Sistemas de Recirculação de Água) (Bregnballe, 2022; Sá, 2023), características que ampliam sua viabilidade em diferentes regiões, inclusive em áreas com restrição hídrica (Ferri; Rocha; Braz Filho, 2018).

A tilápia-do-Nilo é hoje o quarto organismo aquático mais cultivado no mundo, com produção de 5,3 milhões de toneladas em 2022 (FAO, 2024). Com isso, a intensificação de sua produção exige soluções sustentáveis para o controle sanitário e a redução do uso de antibióticos (Ghafarifarsani *et al.*, 2022).

O aprimoramento contínuo das técnicas de cultivo da tilápia, incluindo inovações nutricionais e fitoterápicas, surge como estratégia essencial para atender à crescente demanda global por proteína animal de qualidade, com menor impacto ambiental e maior eficiência produtiva.

2.4 Desafios sanitários na aquicultura

A intensificação da aquicultura trouxe consigo importantes avanços tecnológicos e produtivos (Fracalossi; Cyrino, 2013), mas também aumentou a

vulnerabilidade dos sistemas de cultivo a agentes patogênicos (FAO, 2019). Entre os principais desafios enfrentados pelos produtores destacam-se os surtos de doenças infecciosas causadas por bactérias (Terrazas-Pineda *et al.*, 2025), vírus (Mabrok; Wahdan, 2018), fungos (Mohamed *et al.*, 2017) e parasitas (Meneses *et al.*, 2018), que afetam diretamente a produtividade, o bem-estar animal e a sustentabilidade da cadeia produtiva (Pereira *et al.*, 2020; Shourbela *et al.*, 2021).

A tilapicultura, por ser uma das atividades mais representativas do setor, tem sido foco de diversas pesquisas sobre sanidade (Dawood *et al.*, 2021), principalmente em razão da alta densidade nos sistemas de cultivo (Bregnalle, 2022), o que favorece a transmissão de enfermidades como a estreptococose (*Streptococcus agalactiae*) (Korni; Mohammed; Moawad, 2023) e a infecção por *Aeromonas hydrophila* (Brum *et al.*, 2017). Esses agentes patogênicos são responsáveis por altas taxas de mortalidade, queda no desempenho zootécnico, perda de biomassa e comprometimento da qualidade do produto final (FAO, 2019).

A resistência antimicrobiana, associada ao uso indiscriminado de antibióticos, é uma preocupação crescente (FAO, 2019), sendo apontada por organizações internacionais como risco à saúde pública e à sustentabilidade da aquicultura (FAO, 2024). Nesse cenário, o Plano de Ação Global sobre Resistência Antimicrobiana (2015) reforça a necessidade de ações conjuntas entre entidades globais, sob o conceito de Saúde Única (*One Health*), para mitigar o avanço da resistência no setor aquícola e agroalimentar (OMS, 2015). Assim, é crescente o interesse por alternativas sustentáveis para prevenção e controle de enfermidades (Ghafarifarsani *et al.*, 2022).

Assim sendo, a adoção de práticas de biossegurança (MacKinnon *et al.*, 2023; Subasinghe *et al.*, 2023), o monitoramento da qualidade da água (Sá, 2023), o manejo alimentar (Fracalossi; Cyrino, 2013), a seleção genética (Garcia *et al.*, 2025) e o uso de aditivos funcionais (Liang *et al.*, 2022) têm se mostrado estratégias promissoras. Dentre estes aditivos funcionais, os óleos essenciais, têm ganhado destaque como uma alternativa fitoterápica natural, despertando interesse por suas propriedades imunomoduladoras (Pereira *et al.*, 2020; Yousefi *et al.*, 2025), antimicrobianas (Hejna *et al.*, 2021) e antioxidantes (Bandeira Junior *et al.*, 2022; Shourbela *et al.*, 2021), configurando alternativas aos antibióticos convencionais e contribuindo para a melhora do desempenho zootécnico (Zhang *et al.*, 2020; Silva *et al.*, 2019; Terrazas-Pineda *et al.*, 2025).

2.5 Imunidade de peixes e alternativas imunomoduladoras

Os peixes possuem um sistema imunológico complexo, dividido em imunidade inata e adaptativa (Valladão *et al.*, 2017). A imunidade inata atua como primeira linha de defesa, incluindo barreiras físicas como muco, células fagocitárias e células *natural killers* (NK) (Wang *et al.*, 2023). Já a imunidade adaptativa envolve a produção de anticorpos específicos e a formação de memória imunológica, sendo ativada em exposições prolongadas ou repetidas a patógenos (Mugwanya *et al.*, 2022). Na tilápia-do-Nilo, a modulação imunológica via alimentação constitui uma estratégia essencial para fortalecer a resistência a patógenos, sobretudo em cultivos intensivos que favorecem surtos infecciosos (Naseer *et al.*, 2024).

Os aditivos imunomoduladores já fazem parte da rotina da produção piscícola, principalmente, os prebióticos e probióticos (Rezende *et al.*, 2021). Mais recentemente, os fitobióticos têm ganhado espaço no mercado aquícola como uma nova classe de aditivos funcionais. Esses compostos derivados de plantas – incluindo extratos vegetais, óleos essenciais e compostos fenólicos – apresentam propriedades antimicrobianas, antioxidantes e imunomoduladoras (Rezende *et al.*, 2021; Terrazas-Pineda *et al.*, 2025).

Dentre os fitobióticos, os óleos essenciais vêm se destacando como aditivos funcionais em dietas para tilápias (Liang *et al.*, 2022), sendo associados ao fortalecimento da imunidade (Yousefi *et al.*, 2025), à redução da carga microbiana intestinal (Aguiar *et al.*, 2023), à melhora do desempenho zootécnico (Kusi; Obirikorang; Adjei-Boateng, 2025) e à atuação como alternativas aos antibióticos (Ghafariarsani *et al.*, 2022), frente à resistência antimicrobiana e à busca por sistemas de produção mais sustentáveis (Lin *et al.*, 2025).

2.6 Propriedades e aplicações de óleos essenciais na aquicultura

Os óleos essenciais são compostos naturais extraídos de plantas aromáticas e medicinais (Zeng *et al.*, 2024), consistindo em misturas complexas de terpenos, fenóis, aldeídos, ésteres e outros metabólitos secundários biologicamente ativos (Kusi; Obirikorang; Adjei-Boateng, 2025). Esses compostos fitoquímicos vêm sendo estudados como alternativa natural aos antibióticos convencionais na aquicultura,

principalmente devido a propriedade imunomoduladora, antioxidante e antimicrobiana (Shourbela *et al.*, 2021; Ghafarifarsani *et al.*, 2022).

Sua ação antimicrobiana é eficaz contra patógenos comuns da aquicultura, como *Streptococcus agalactiae* (Brum *et al.*, 2017), *Aeromonas hydrophila* (Ghafarifarsani *et al.*, 2022) e *Francisella* spp. (Pilarski *et al.*, 2024). Compostos fenólicos presentes em suas estruturas desestabilizam a membrana plasmática desses micro-organismos, causando lise celular e morte bacteriana (Brum *et al.*, 2017; Ghafarifarsani *et al.*, 2022; Silva *et al.*, 2019), o que torna os óleos essenciais como fontes promissoras na substituição dos agentes químicos utilizados para o controle de patógenos na piscicultura.

Na piscicultura, os óleos essenciais destacam-se como aditivos funcionais naturais, favorecendo o desempenho zootécnico, a saúde intestinal e a resistência imunológica dos peixes (Kusi; Obirikorang; Adjei-Boateng, 2025). Seu mecanismo de ação envolve a modulação da microbiota intestinal, redução do estresse oxidativo e estímulo de respostas imunes inespecíficas (Rezende *et al.*, 2021; Shourbela *et al.*, 2021).

Recentemente, o uso de consórcios de óleos essenciais tem sido explorado como estratégia para potencializar efeitos terapêuticos (Magouz *et al.*, 2022a). Combinações bem planejadas permitem sinergia entre compostos bioativos, reforçando propriedades antimicrobianas e imunomoduladoras, além de reduzir o risco de toxicidade (Bona *et al.*, 2024; Magouz *et al.*, 2022a).

Além dos efeitos fisiológicos, os óleos essenciais também atuam como atrativos alimentares, modulando a palatabilidade das dietas (Cardoso *et al.*, 2021). Sua administração mais comum se dá pela emulsificação e pulverização direta sobre a ração, garantindo homogeneidade e adesão eficiente (Zaminhan-Hassemmer *et al.*, 2022). No entanto, a dosagem deve ser cuidadosamente ajustada conforme o óleo e o objetivo, sendo necessária atenção, pois concentrações elevadas podem provocar rejeição alimentar ou efeitos tóxicos (Silva *et al.*, 2019).

Portanto, o uso de óleos essenciais, isolados ou em consórcios, representa uma alternativa estratégica e sustentável para a aquicultura moderna, associando segurança alimentar e desempenho produtivo.

3. OBJETIVOS

3.1 Objetivo Geral

Avaliar a palatabilidade e o desempenho zootécnico da tilápia-do-Nilo (*Oreochromis niloticus*) na fase de recria, em resposta à suplementação de diferentes óleos essenciais em dieta comercial.

3.2 Objetivos Específicos

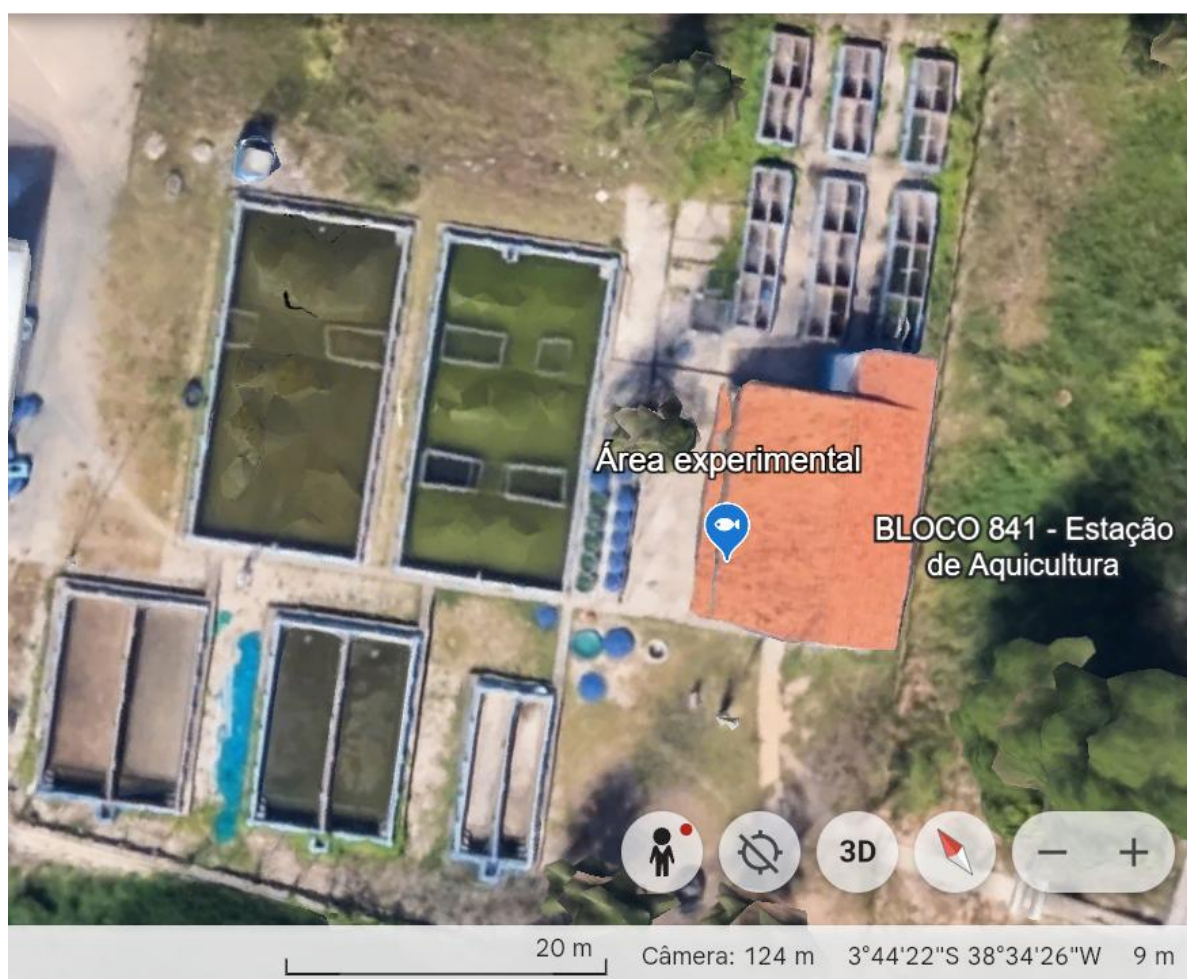
- Avaliar o desempenho zootécnico de tilápias, na fase de recria, submetidas à suplementação com óleos essenciais;
- Analisar os efeitos da suplementação com óleos essenciais sobre a sobrevivência e parâmetros sanitários dos peixes ao longo do período experimental;
- Observar os efeitos da suplementação com óleos essenciais, em diferentes concentrações, sobre a morfologia dos órgãos estômago, fígado, baço e intestino, por meio de análises histológicas;
- Verificar a resposta alimentar (palatabilidade) de tilápias-do-Nilo alimentadas com ração comercial adicionada de diferentes óleos essenciais em diferentes concentrações.

4. MATERIAIS E MÉTODOS

4.1 Delimitação da área de estudo

O estudo foi desenvolvido na Estação de Aquicultura Professor Doutor Raimundo Saraiva da Costa, pertencente à Universidade Federal do Ceará (UFC), Campus do Pici, em Fortaleza – CE ($03^{\circ}44'22''$ S; $38^{\circ}34'24''$ W), conforme mostra a Figura 3. A unidade experimental possuía 28 aquários, com sistema de aeração constante e estrutura adequada para o cultivo experimental de tilápias. O projeto foi realizado em parceria com a empresa Biotrends Soluções Biotecnológicas, referência nacional no desenvolvimento de produtos à base de probióticos e aditivos naturais para a aquicultura brasileira, integrando conhecimento acadêmico e inovação tecnológica na busca por alternativas sustentáveis para o setor.

Figura 3 – Localização da área experimental na Estação de Aquicultura, na Universidade Federal do Ceará, Campus do Pici, Fortaleza – CE.



Fonte: Google Earth adaptado.

4.2 Triagem de óleos essenciais

A seleção dos óleos essenciais foi realizada inicialmente a partir de levantamento na literatura científica quanto às suas propriedades imunomoduladoras, antimicrobianas e zootécnicas. Posteriormente, a escolha foi complementada por experimentos de atividade antimicrobiana contra patógenos bacterianos de peixes, conduzidos no laboratório da Biotrends Soluções Biotecnológicas (dados não publicados).

Os óleos disponíveis e cedidos pela Biotrends Soluções Biotecnológicas foram: Canela-Cássia (*Cinnamomum cassia*), Eucalipto (*Eucalyptus staigeriana*), Capim Limão – Lemongrass (*Cymbopogon citratus*) e Orégano (*Origanum vulgare*). Os óleos foram utilizados na forma de emulsões óleo/água, incorporadas à ração comercial.

Os critérios de escolha também consideraram a composição química geral informada pelo fabricante. A Tabela 1 apresenta os principais constituintes químicos dos óleos essenciais avaliados, expressos em porcentagem relativa, conforme especificação técnica.

Tabela 1 – Principais constituintes químicos (%) dos óleos essenciais utilizados no experimento, conforme especificação do fabricante (Ferquima®).

Óleo essencial	Principais compostos	Concentração aproximada (%)	Propriedades descritas na literatura
<i>C. cassia</i>	Aldeído cinâmico	79	Atividade antimicrobiana, antioxidante, ação imunomoduladora
	o-Metoxicinamaldeído	8	Potencial anti-inflamatório
	Cumarina	2	Atividade antimicrobiana
<i>C. flexuosus</i>	Geranial	40	Ação antimicrobiana, antioxidante
	Neral	31	Modulação da microbiota intestinal
	Geraniol	7	Atividade imunomoduladora
<i>E. staigeriana</i>	Citral	29	Ação antimicrobiana e antioxidante
<i>O. vulgare</i>	Carvacrol	72	Potente ação antimicrobiana e anti-inflamatória
	p-Cimeno	5	Sinergismo antimicrobiano
	γ-Terpineno	4	Atividade antioxidante

Fonte: Balahbib *et al.*, 2021; Figueiredo *et al.*, 2018; Valdivieso-Ugarte *et al.*, 2019.

4.2.1 Preparo das emulsões de óleos essenciais

Os óleos essenciais, em sua forma pura, são insolúveis em água, o que limita sua aplicação em formulações aquosas. Nesse contexto, a produção de emulsões torna-se necessária para a formulação de um produto com diferentes ingredientes (Gündel *et al.*, 2018). Foram preparadas emulsões individuais de cada óleo essencial, seguindo protocolo previamente estabelecido no laboratório da Biotrends Soluções Biotecnológicas (dados não publicados). Para o preparo das emulsões foram misturados 10% do óleo essencial (v/v) e 10% de Tween 80 (v/v) em solução de cloreto de sódio 2% (m/v), sendo todas as etapas realizadas em capela de exaustão. Em seguida, as emulsões foram submetidas à agitação em *Vortex* por 10 minutos.

4.3 Delineamento Experimental

4.3.1 Aquisição e aclimação dos animais

Juvenis de tilápia-do-Nilo (*Oreochromis niloticus*), previamente submetidos à reversão sexual (Figura 4), foram adquiridos da Bomar Pescados, produtora comercial certificada, e transportados até a Universidade Federal do Ceará, na Estação de Aquicultura Professor Doutor Raimundo Saraiva da Costa (Campus do Pici).

Figura 4 – Juvenis de tilápia-do-Nilo (*Oreochromis niloticus*) utilizados no experimento.



Fonte: autoria própria.

Ao chegarem à estação, os alevinos ($\approx 3,5$ g de peso inicial) foram submetidos a um período de quarentena de três dias em tanques de 2.000 L. Em seguida, após biometria, foram transferidos para aquários com volume útil de 40 L e aclimatados às

condições experimentais por mais três dias, contendo 10 indivíduos por unidade experimental, totalizando 280 alevinos. Os peixes foram mantidos em sistema estático com aeração contínua, filtragem mecânica por meio de filtros confeccionados com garrafas PET contendo perlón e brita nº 0, além de renovação diária de 20% da água. Os animais foram distribuídos aleatoriamente entre as unidades experimentais, conforme ilustrado na Figura 5.

Figura 5 – Sistema experimental composto por aquários de 40 L utilizados no ensaio de crescimento de juvenis de tilápia-do-Nilo (*Oreochromis niloticus*).



Fonte: autoria própria.

O período de aclimação permitiu a adaptação às condições físico-químicas da água e à alimentação basal. Posteriormente, os animais foram mantidos por mais 12 dias, totalizando 15 dias por ciclo experimental. Os tratamentos foram distribuídos ao acaso, com quatro repetições cada. Ao todo, foram conduzidos dois ciclos experimentais, com sete tratamentos por ciclo.

4.3.2 Arranjo Experimental

O experimento foi dividido em dois ciclos de 15 dias (3 dias de aclimação e 12 dias de alimentação experimental), conforme o cronograma. Foram avaliados

quatro óleos essenciais fornecidos pela empresa Biotrends Soluções Biotecnológicas. Cada ciclo experimental foi organizado de acordo com o Quadro 1.

Quadro 1 – Distribuição dos tratamentos e número de aquários por ciclo experimental.

Ciclo 1			
Nomenclatura	Tratamento	Concentração (mL/kg)	Nº de Aquários
C1/0	Grupo Controle	Ração padrão (sem aditivos)	4
CAN/0,1	Canela	0,1	4
CAN/1	Canela	1	4
CAN/10	Canela	10	4
LEM/0,1	<i>Lemongrass</i>	0,1	4
LEM/1	<i>Lemongrass</i>	1	4
LEM/10	<i>Lemongrass</i>	10	4
Total por Ciclo			28
Ciclo 2			
Nomenclatura	Tratamento	Concentração (mL/kg)	Nº de Aquários
C2/0	Grupo Controle	Ração padrão (sem aditivos)	4
EUC/0,1	Eucalipto	0,1	4
EUC/1	Eucalipto	1	4
EUC/10	Eucalipto	10	4
ORE/0,1	Orégano	0,1	4
ORE/1	Orégano	1	4
ORE/10	Orégano	10	4
Total por Ciclo			28

Fonte: autoria própria.

Cada tratamento foi conduzido em quadruplicata conforme Pereira *et al.*, (2020), garantindo rigor experimental e robustez estatística. Dessa forma, o delineamento experimental foi estruturado em dois ciclos, cada um composto por testes individuais com dois óleos essenciais:

1. **Ciclo 1:** Canela e *Lemongrass*;
2. **Ciclo 2:** Eucalipto e Orégano.

4.3.3 Manejo nutricional e oferta alimentar

Durante o período experimental, os peixes foram alimentados com ração comercial extrusada da Samaria, contendo 45% de proteína bruta e granulometria de 1,8 mm, adequada para alevinos de tilápia. A alimentação aditivada com diferentes óleos foi ofertada quatro vezes ao dia, às 9 h, 11 h, 14 h e 16 h. O alimento residual foi coletado 30 minutos após cada trato e as fezes removidas ao final do dia, visando a manutenção da qualidade de água (Shourbela *et al.*, 2021).

Inicialmente, foram preparados reservatórios individuais contendo 30 g de ração para cada aquário, sendo reabastecidos conforme a necessidade, a fim de assegurar a padronização e o controle da oferta alimentar. O arraçoamento foi realizado de forma fracionada ao longo do dia, utilizando colheres dosadoras com capacidades aproximadas de 0,35 g e 0,70 g, conforme ilustrado na Figura 6.

Figura 6 – Potes de 30 g (a) e colheres dosadoras (b) utilizados no arraçoamento diário.



Fonte: autoria própria.

A quantidade de ração foi ajustada gradualmente com base na aceitação alimentar dos animais em cada unidade experimental, conforme exemplificado na Tabela 2, sendo considerado adequado quando o incremento passou a ser integralmente consumido, mantendo-se então constante até nova avaliação. Dessa forma, o fornecimento de ração foi continuamente ajustado às condições experimentais e à resposta alimentar observada (Korni; Mohammed; Moawad, 2023).

Tabela 2 – Esquema de ajuste progressivo do arraçoamento diário.

Dia experimental	Quantidade por trato (g)	Nº de tratos	Oferta diária aproximada (g)
Dia 1	0,70	4	2,80
Dia 2	1,05 (0,70 + 0,35)	4	4,20
Dia 3	1,05 (0,70 + 0,35)	4	4,20
Dia 4	1,05 (0,70 + 0,35)	4	4,20
Dia 5-6	1,40 (0,70 + 0,70)	4	5,60

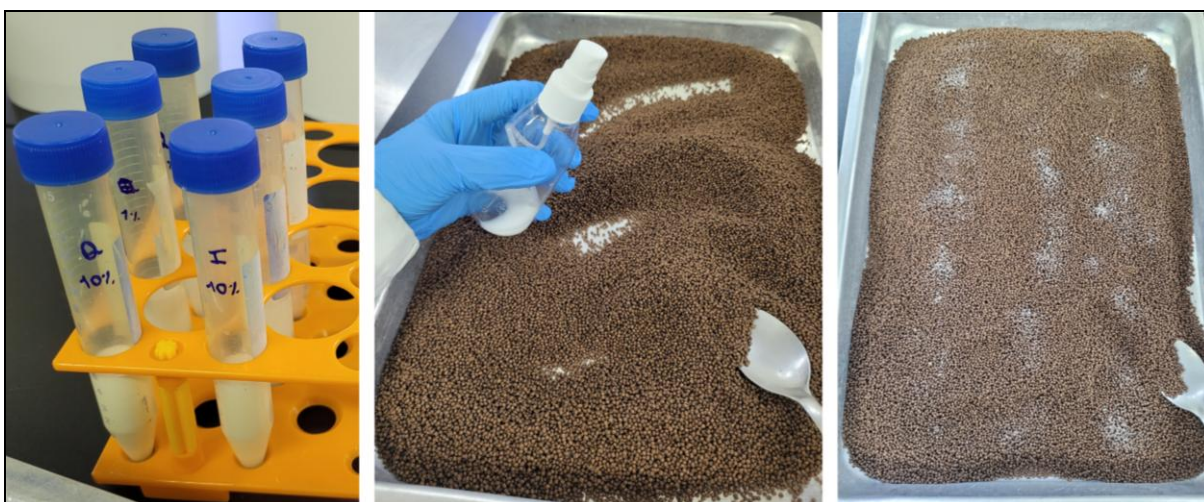
Fonte: autoria própria.

Os diferentes óleos essenciais foram incorporados diretamente à dieta imediatamente antes do fornecimento aos animais, por meio da aplicação uniforme de

uma emulsão. A emulsão foi cuidadosamente pulverizada sobre a ração utilizando frasco tipo spray (Figura 7), assegurando a incorporação homogênea dos compostos bioativos aos grânulos da ração.

Após a aplicação, a ração foi homogeneizada manualmente durante 5 minutos e transferida para recipientes plásticos (Figura 8), conforme metodologia descrita por Shourbela *et al.*, (2021). Esse procedimento teve como objetivo garantir a adequada adesão dos óleos essenciais à superfície do alimento, minimizando perdas por decantação na coluna d'água.

Figura 7 – Emulsão pulverizada sobre a ração utilizando frasco tipo spray.



Fonte: autoria própria.

Figura 8 – Recipientes plásticos para armazenamento das rações.



Fonte: autoria própria.

4.3.4 Condições Experimentais

A manutenção adequada da qualidade da água é essencial para o desempenho zootécnico e o bem-estar dos peixes cultivados. Assim, os parâmetros físico-químicos foram controlados dentro das faixas recomendadas para o cultivo de tilápia-do-Nilo (*Oreochromis niloticus*) (Furuya *et al.*, 2010; Kubitzka, 2000; Sá, 2023). Durante o período experimental, foram monitorados diariamente os seguintes parâmetros: temperatura da água (°C), oxigênio dissolvido (mg/L), condutividade elétrica ($\mu\text{S}/\text{cm}$), pH e salinidade (g/L), utilizando sonda multiparamétrica (AKSO AK88). Semanalmente, foram avaliados os parâmetros complementares: alcalinidade (mg/L CaCO_3 eq), dureza total (mg/L CaCO_3 eq) e compostos nitrogenados (amônia tóxica NH_3 e nitrito NO_2^- mg/L), seguindo a metodologia descrita pela APHA (1998).

4.4 Avaliação da Palatabilidade

Os testes de palatabilidade foram conduzidos com base no protocolo de consumo único com pré-acondicionamento (*single-choice with conditioning*), adaptado (Sánchez-Vázquez *et al.*, 1999). Os testes foram realizados apenas com a concentração mais alta de cada óleo essencial (10 mL/kg).

Os experimentos foram realizados em aquários retangulares de 15 L, com um peixe por unidade experimental, testado individualmente, visando minimizar interferências comportamentais e efeitos sociais (Figura 9). Dietas experimentais contendo óleos essenciais foram comparadas a uma dieta controle, sendo avaliadas apenas as maiores concentrações testadas, uma vez que não foi observada rejeição parcial ou total nessas concentrações durante testes preliminares.

Antes dos ensaios, os peixes foram aclimatados por 7 dias em aquários de 40 L, recebendo exclusivamente a dieta controle, com o objetivo de reduzir respostas de neofobia alimentar. No dia do teste, com os animais submetidos a jejum de 12 horas, foram transferidos para os aquários experimentais de 15 L.

Cada peixe recebeu 30 *pellets* da dieta correspondente ao tratamento, totalizando aproximadamente 0,1 g de ração. O tempo de alimentação foi cronometrado em 5 minutos, período definido para evitar efeitos de saciedade e permitir a avaliação do consumo imediato e do comportamento alimentar inicial. Ao

final do teste, os *pellets* não consumidos foram coletados e quantificados, permitindo a determinação do consumo por diferença.

Cada tratamento foi avaliado com cinco repetições independentes, utilizando indivíduos distintos, garantindo robustez estatística dos resultados.

Os parâmetros avaliados durante o teste foram:

- Comportamento exploratório e rejeição (análise qualitativa);
- Latência até o primeiro ataque (tempo em segundos);
- Consumo alimentar (número de *pellets* consumidos em 5 minutos);
- Consumo relativo (%) de cada dieta [(número de *pellets* consumidos / oferta inicial) × 100].

Figura 9 – Aquário experimental de 15 L utilizado para avaliação da palatabilidade.



Fonte: autoria própria.

4.5 Desempenho zootécnico e sanitário

O acompanhamento do desempenho zootécnico e das condições sanitárias foi realizado ao final de cada ciclo experimental, por meio de biometrias e análises complementares. Os parâmetros avaliados foram peso médio (g), ganho de peso total (GPT), sobrevivência e fator de conversão alimentar aparente (FCA), considerados fundamentais para a avaliação da performance produtiva e da saúde dos peixes.

As biometrias foram realizadas com a população total de cada unidade experimental. Para isso, os peixes foram anestesiados com MS-222 (tricafina metanosulfonato) na concentração de 0,2 g/L e pesados em balança digital de precisão (g).

Os cálculos dos indicadores foram realizados conforme descrito a seguir:

- Peso médio (g): calculado pela soma do peso total dos indivíduos amostrados, dividida pelo número de peixes avaliados.

$$PM = \text{Peso Total} / \text{Número de Peixes}$$

- Ganho de Peso Total (GPT): calculado pela diferença entre os pesos médios final e inicial dos peixes em cada unidade experimental ao final de cada ciclo.

$$GPD = \text{Peso Médio Final} - \text{Peso Médio Inicial}$$

- Fator de Conversão Alimentar Aparente (FCA): determinado pela relação entre a quantidade total de ração fornecida (g) e o ganho de biomassa (g).

$$FCA = \text{Consumo Total de Ração (g)} / \text{Ganho de Biomassa (g)}$$

- Taxa de Sobrevivência (%): obtida pela razão entre o número final e inicial de indivíduos, multiplicada por 100:

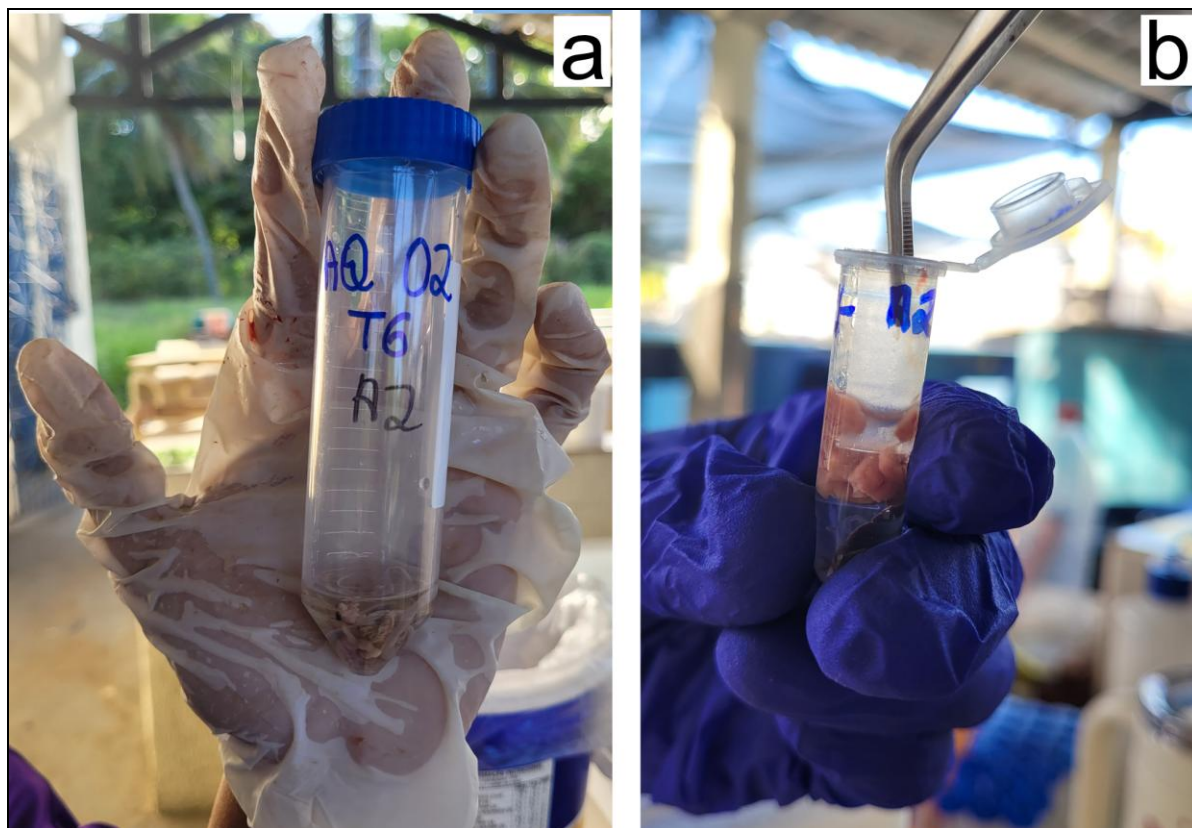
$$TS (\%) = (\text{Número Final de Peixes} / \text{Número Inicial de Peixes}) * 100$$

A pesquisa foi aprovada pela Comissão de Ética no Uso de Animais de Produção do Centro de Ciências Agrárias da Universidade Federal do Ceará (CEUAP – UFC – N° 0904202501/2025).

4.6 Análises histológicas

Ao final dos ciclos experimentais, alguns órgãos foram coletados de 10% dos peixes de cada tratamento, ou seja, um peixe por aquário, selecionados aleatoriamente nas unidades experimentais. Os animais foram previamente dessensibilizados com gelo, conforme normas éticas para experimentação animal, e os órgãos foram removidos e imediatamente fixados em solução de Davidson por período mínimo de 24 horas, onde estômago e intestino foram armazenados em tubo Falcon de 50 mL e o fígado e baço em *Eppendorf* (Figura 10). Após 24 horas, os órgãos foram transferidos para álcool etílico 70% até o dia das análises.

Figura 10 – Estômago e intestino armazenados em tubo Falcon de 50 mL; fígado e baço armazenados em *Eppendorf*.



Fonte: autoria própria.

Os órgãos foram desidratados em série crescente de etanol, clarificados em xilol, emblocados em cassetes histológicos em parafina a 67 °C e, após um dia no congelador, foram realizados os cortes histológicos de 5 μ m em Micrótomo e montados em lâminas de vidro.

As amostras foram coradas com hematoxilina e eosina e, posteriormente, foram analisadas em microscópio (LEICA, modelo ICC50HD), nas Objetivas de 10x e 40x. As análises consideraram parâmetros morfológicos gerais, incluindo, na porção média do intestino, a integridade estrutural do epitélio intestinal; no fígado, a vacuolização hepatocelular e a densidade de hepatócitos; bem como a presença de alterações inflamatórias no estômago e no baço.

As observações foram conduzidas de forma qualitativa-descritiva, com registro fotomicrográfico representativo, sendo os resultados obtidos utilizados de forma complementar à interpretação dos dados zootécnicos e sanitários.

4.7 Análises estatísticas

Este estudo caracteriza-se como uma pesquisa experimental aplicada, com abordagem metodológica mista, fundamentada no método hipotético-dedutivo. Os dados foram analisados por meio de estatísticas descritivas e inferenciais.

As análises descritivas incluíram médias, desvios-padrão, valores mínimos e máximos dos parâmetros de qualidade da água e dos indicadores zootécnicos, sendo organizadas em tabelas por ciclo experimental no software Microsoft Excel®. As análises estatísticas inferenciais foram conduzidas no software R.

A avaliação inferencial do crescimento dos peixes foi realizada por meio de modelos lineares mistos, considerando-se como efeitos fixos o tratamento, a fase experimental e a interação entre ambos, e como efeito aleatório o aquário, respeitando a estrutura hierárquica dos dados e a dependência entre observações de múltiplos peixes mantidos no mesmo aquário.

Os parâmetros de qualidade da água foram avaliados apenas de forma descritiva, uma vez que os aquários apresentaram comportamento semelhante e consistente dentro de cada ciclo experimental.

Os dados de palatabilidade foram inicialmente submetidos à análise descritiva e exploratória, com verificação da normalidade pelo teste de *Shapiro-Wilk*. Considerando o delineamento experimental ($n = 5$ peixes por tratamento, avaliados individualmente), as análises inferenciais foram realizadas separadamente para cada variável. O consumo alimentar foi analisado por ANOVA de uma via (*One-way*), enquanto a latência até o primeiro ataque foi avaliada por ANOVA seguida de comparações múltiplas entre os tratamentos. Análises não paramétricas (*Kruskal-Wallis*) foram utilizadas de forma complementar para validação dos resultados. Em todas as análises estatísticas inferenciais foi adotado nível de significância de 5% ($p < 0,05$).

As análises histológicas foram conduzidas de forma qualitativa e descritiva, por meio de avaliação morfológica comparativa das lâminas histológicas entre o grupo controle e os demais grupos experimentais.

5. RESULTADOS E DISCUSSÃO

5.1 Triagem dos óleos essenciais e fundamentação da escolha

Embora parte das informações não tenha sido disponibilizada integralmente por questões de confidencialidade, os critérios de escolha consideraram a composição química geral, disponibilizada pelo fabricante dos óleos, evidências científicas previamente reportadas na literatura e resultados de ensaios de antibiograma de inibição de patógenos bacterianos de peixes realizados na Biotrends Soluções Biotecnológicas (dados não divulgados). A Tabela 1 apresenta os principais constituintes químicos dos óleos essenciais avaliados, expressos em porcentagem relativa, destacando a predominância de compostos bioativos como fenóis e aldeídos, associados na literatura a propriedades antimicrobianas, antioxidantes e imunomoduladoras em peixes cultivados.

A composição química apresentada evidencia a predominância de compostos bioativos com reconhecido potencial funcional. Bandeira Junior *et al.*, (2022) e Frota *et al.*, (2022) relataram que aldeídos aromáticos e fenóis presentes em óleos essenciais, como o aldeído cinâmico e o carvacrol, podem melhorar a resposta antioxidante e a resistência a agentes estressores em tilápias. Resultados semelhantes foram observados por Shourbela *et al.*, (2021), que destacam a capacidade desses compostos em modular parâmetros imunológicos e reduzir a suscetibilidade a infecções bacterianas. Ghafarifarsani *et al.*, (2022) reforçaram que óleos essenciais ricos em timol e p-Cimeno, exercem efeitos positivos sobre a integridade intestinal, eficiência alimentar e ainda podem promover incrementos significativos no crescimento.

Dessa forma, a escolha dos óleos essenciais avaliados neste estudo baseou-se não apenas na composição química fornecida pelo fabricante, mas também na coerência biológica e no respaldo científico disponível, visando à avaliação de aditivos naturais com potencial aplicação na sanidade aquícola.

5.2 Caracterização da área de estudo e condições experimentais

Os parâmetros de qualidade da água foram monitorados diariamente e semanalmente ao longo dos ciclos experimentais e permaneceram, de modo geral,

dentro das faixas recomendadas para o cultivo da tilápia-do-Nilo, assegurando ambiente adequado ao desempenho zootécnico e à manutenção da homeostase fisiológica dos animais (Boyd; Tucker, 1998; Sá, 2023).

Nas Tabelas 3 e 4 são apresentados os valores médios, desvios-padrão, mínimos e máximos da temperatura, pH, oxigênio dissolvido, condutividade elétrica e salinidade monitorados diariamente ao longo dos dois ciclos experimentais. Considerando a ausência de variações expressivas entre os períodos avaliados, os dados foram analisados de forma conjunta.

Tabela 3 – Parâmetros físico-químicos da água monitorados diariamente durante o Ciclo 1.

CICLO 1	Temp. °C	pH	O₂ mg/L	CE µS/cm	Salinidade g/L
Média	26,5	7,98	7,1	4478,3	2,3
Desvio	0,26	0,36	0,41	832,01	0,47
Máximo	27,3	8,45	7,9	6550,0	3,7
Mínimo	25,9	6,69	5,8	3200,0	1,7

Legenda: temperatura (Temp.); pH; oxigênio dissolvido (O₂); condutividade elétrica (CE); salinidade. Fonte: autoria própria.

Tabela 4 – Parâmetros físico-químicos da água monitorados diariamente durante o Ciclo 2.

CICLO 2	Temp. °C	pH	O₂ mg/L	CE µS/cm	Salinidade g/L
Média	26,4	7,61	7,6	4217,0	2,3
Desvio	0,29	0,44	0,63	733,92	0,42
Máximo	27,1	8,26	8,8	6200,0	3,5
Mínimo	26,2	7,17	7,0	3483,1	1,9

Legenda: temperatura (Temp.); pH; oxigênio dissolvido (O₂); condutividade elétrica (CE); salinidade. Fonte: autoria própria.

A temperatura da água variou entre 25,9 e 27,3 °C, faixa considerada adequada para a espécie. Os valores de pH mantiveram-se estáveis, sem oscilações abruptas dentro da faixa de 6,69 a 8,45, enquanto o oxigênio dissolvido permaneceu acima de 5,8 mg/L, indicando adequada oxigenação do sistema (Boyd; Tucker, 1998). A condutividade elétrica apresentou baixa variação ao longo do experimento, em torno de 4.000 µS/cm. A salinidade foi inicialmente mantida em torno de 2,0 g/L, sendo ajustada para aproximadamente 3,0 g/L no meio dos ciclos, como estratégia de manejo para redução da toxicidade do nitrito (Sá, 2023).

Nas Tabelas 5 e 6 estão apresentados os valores médios semanais da dureza total e da alcalinidade total da água ao longo dos ciclos experimentais.

Tabela 5 – Valores médios semanais da dureza total e da alcalinidade total da água durante o Ciclo 1.

TRAT.	Ciclo 1	DUREZA TOTAL			ALCALINIDADE		
		09/09/2025	17/09/2025	24/09/2025	09/09/2025	17/09/2025	24/09/2025
		Dia Zero	1ª Semana	2ª Semana	Dia Zero	1ª Semana	2ª Semana
C1/0	Média	85,64	99,84	100,75	111,00	151,38	27,34
	Desvio	0,00	3,26	20,77	0,00	7,46	13,10
CAN/0,1	Média	85,64	103,33	89,25	111,00	156,63	26,69
	Desvio	0,00	5,53	28,50	0,00	7,53	1,52
CAN/1	Média	85,64	102,64	92,15	111,00	155,31	29,09
	Desvio	0,00	2,45	18,97	0,00	6,61	4,19
CAN/10	Média	85,64	100,54	91,65	111,00	143,28	36,09
	Desvio	0,00	3,31	16,67	0,00	8,06	8,28
LEM/0,1	Média	85,64	101,94	88,18	111,00	148,53	38,50
	Desvio	0,00	5,51	29,97	0,00	6,12	21,40
LEM/1	Média	85,64	100,77	106,94	111,00	151,16	27,56
	Desvio	0,00	2,06	1,32	0,00	4,25	2,72
LEM/10	Média	85,64	100,07	88,60	111,00	154,00	29,09
	Desvio	0,00	3,52	26,49	0,00	2,77	4,48

Legenda: C1/0 – Controle; CAN/0,1 – Canela 0,1 mL/kg; CAN/1 – Canela 1 mL/kg; CAN/10 – Canela 10 mL/kg; LEM/0,1 – *Lemongrass* 0,1 mL/kg; LEM/1 – *Lemongrass* 1 mL/kg; LEM/10 – *Lemongrass* 10 mL/kg. Fonte: autoria própria.

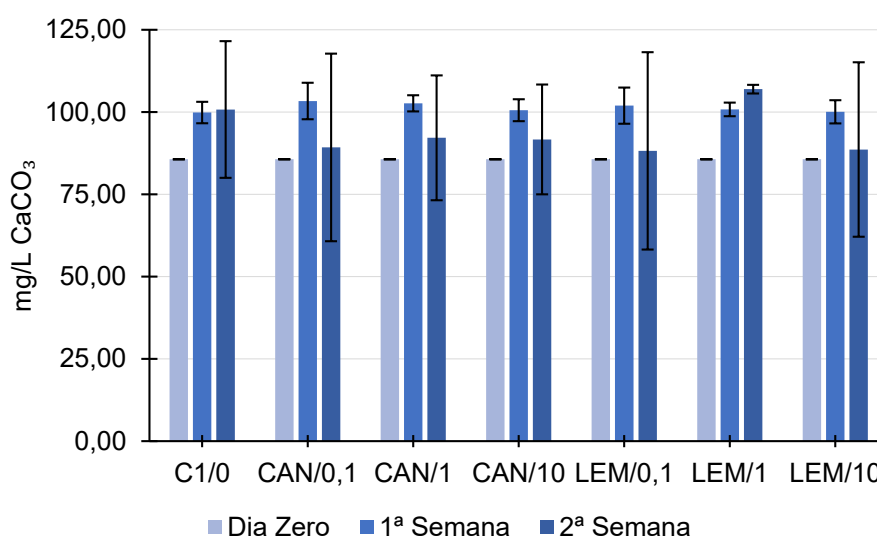
Tabela 6 – Valores médios semanais da dureza total e da alcalinidade total da água durante o Ciclo 2.

TRAT.	Ciclo 2	DUREZA TOTAL			ALCALINIDADE		
		20/10/2025	28/10/2025	04/11/2025	20/10/2025	28/10/2025	04/11/2025
		Dia Zero	1ª Semana	2ª Semana	Dia Zero	1ª Semana	2ª Semana
C2/0	Média	85,65	108,65	107,46	109,08	55,97	30,48
	Desvio	0,00	0,48	25,00	0,00	7,48	7,42
EUC/0,1	Média	85,65	113,40	124,14	109,08	55,97	36,23
	Desvio	0,00	10,46	15,38	0,00	3,94	4,25
EUC/1	Média	85,65	109,83	132,06	109,08	57,94	37,38
	Desvio	0,00	2,26	9,48	0,00	5,07	3,58
EUC/10	Média	85,65	108,88	123,29	109,08	50,63	37,66
	Desvio	0,00	3,52	4,89	0,00	10,83	9,68
ORE/0,1	Média	85,65	104,60	113,40	109,08	75,38	41,40
	Desvio	0,00	5,96	19,40	0,00	42,44	3,64
ORE/1	Média	85,65	106,27	119,90	109,08	56,25	31,63
	Desvio	0,00	1,20	16,62	0,00	2,43	12,04
ORE/10	Média	85,65	100,80	121,60	109,08	70,03	38,53
	Desvio	0,00	17,76	11,02	0,00	45,29	9,41

Legenda: C2/0 – Controle; EUC/0,1 – Eucalipto 0,1 mL/kg; EUC/1 – Eucalipto 1 mL/kg; EUC/10 – Eucalipto 10 mL/kg; ORE/0,1 – Orégano 0,1 mL/kg; ORE/1 – Orégano 1 mL/kg; ORE/10 – Orégano 10 mL/kg. Fonte: autoria própria.

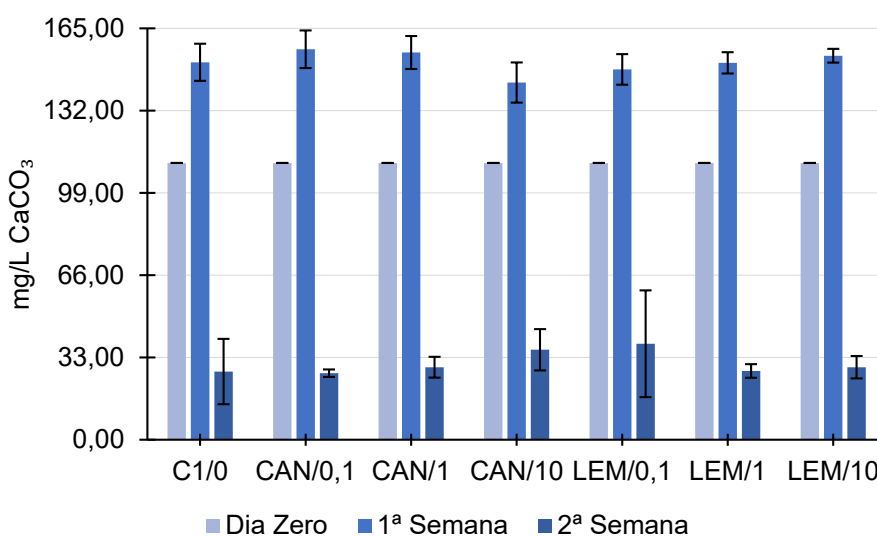
A dureza total manteve-se predominantemente entre 75 e 150 mg/L de CaCO_3 , enquanto a alcalinidade total apresentou valores superiores a 60 mg/L de CaCO_3 , indicando adequada capacidade tampão do sistema (Boyd; Tucker, 1998; Sá, 2023). As variações semanais não apresentaram padrão consistente entre os tratamentos. A variação temporal da dureza e da alcalinidade totais ao longo dos ciclos experimentais está apresentada nas Figuras 11 a 14.

Figura 11 – Variação temporal da dureza total durante o Ciclo 1.



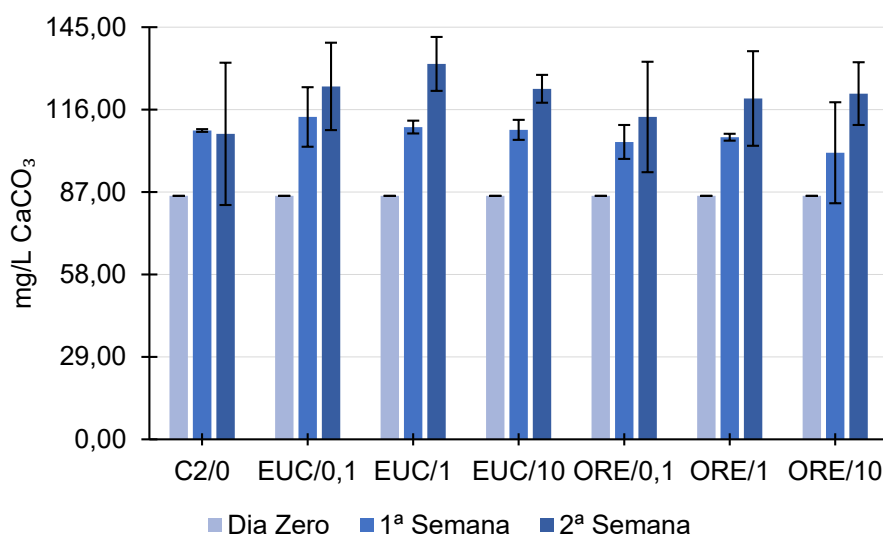
Legenda: C1/0 – Controle; CAN/0,1 – Canela 0,1 mL/kg; CAN/1 – Canela 1 mL/kg; CAN/10 – Canela 10 mL/kg; LEM/0,1 – *Lemongrass* 0,1 mL/kg; LEM/1 – *Lemongrass* 1 mL/kg; LEM/10 – *Lemongrass* 10 mL/kg. Fonte: autoria própria.

Figura 12 – Variação temporal da alcalinidade total durante o Ciclo 1.



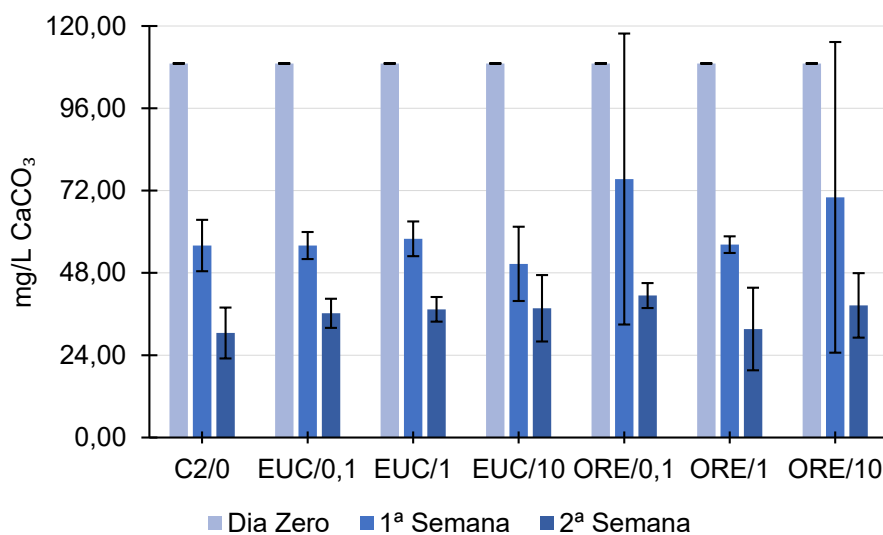
Legenda: C1/0 – Controle; CAN/0,1 – Canela 0,1 mL/kg; CAN/1 – Canela 1 mL/kg; CAN/10 – Canela 10 mL/kg; LEM/0,1 – *Lemongrass* 0,1 mL/kg; LEM/1 – *Lemongrass* 1 mL/kg; LEM/10 – *Lemongrass* 10 mL/kg. Fonte: autoria própria.

Figura 13 – Variação temporal da dureza total durante o Ciclo 2.



Legenda: C2/0 – Controle; EUC/0,1 – Eucalipto 0,1 mL/kg; EUC/1 – Eucalipto 1 mL/kg; EUC/10 – Eucalipto 10 mL/kg; ORE/0,1 – Orégano 0,1 mL/kg; ORE/1 – Orégano 1 mL/kg; ORE/10 – Orégano 10 mL/kg. Fonte: autoria própria.

Figura 14 – Variação temporal da alcalinidade total durante o Ciclo 2.



Legenda: C2/0 – Controle; EUC/0,1 – Eucalipto 0,1 mL/kg; EUC/1 – Eucalipto 1 mL/kg; EUC/10 – Eucalipto 10 mL/kg; ORE/0,1 – Orégano 0,1 mL/kg; ORE/1 – Orégano 1 mL/kg; ORE/10 – Orégano 10 mL/kg. Fonte: autoria própria.

As concentrações de compostos nitrogenados são apresentadas nas Tabelas 7, 8, 9 e 10.

Tabela 7 – Valores de amônia tóxica (NH₃) durante o Ciclo 1.

Tratamento	Ciclo 1	AMÔNIA NH ₃ (mg/L)			
		09/09/2025	17/09/2025	18/09/2025	24/09/2025
		Dia Zero	1ª Semana	Troca 50%	2ª Semana
C1/0	Média	0,00	1,65	0,05	0,00
	Desvio	0,00	0,21	0,02	0,00
CAN/0,1	Média	0,00	1,73	0,04	0,01
	Desvio	0,00	0,22	0,02	0,02
CAN/1	Média	0,00	1,62	0,05	0,01
	Desvio	0,00	0,34	0,03	0,01
CAN/10	Média	0,00	1,20	0,02	0,00
	Desvio	0,00	0,78	0,02	0,01
LEM/0,1	Média	0,00	2,16	0,05	0,01
	Desvio	0,00	0,25	0,01	0,01
LEM/1	Média	0,00	2,30	0,06	0,00
	Desvio	0,00	0,13	0,01	0,00
LEM/10	Média	0,00	2,14	0,06	0,00
	Desvio	0,00	0,17	0,01	0,01

Legenda: C1/0 – Controle; CAN/0,1 – Canela 0,1 mL/kg; CAN/1 – Canela 1 mL/kg; CAN/10 – Canela 10 mL/kg; LEM/0,1 – *Lemongrass* 0,1 mL/kg; LEM/1 – *Lemongrass* 1 mL/kg; LEM/10 – *Lemongrass* 10 mL/kg. Fonte: autoria própria.

Tabela 8 – Valores de nitrito (NO₂⁻) durante o Ciclo 1.

Tratamento	Ciclo 1	NITRITO (mg/L)			
		09/09/2025	17/09/2025	18/09/2025	24/09/2025
		Dia Zero	1ª Semana	Troca 50%	2ª Semana
C1/0	Média	0,00	2,73	1,10	10+
	Desvio	0,00	3,52	0,81	0
CAN/0,1	Média	0,00	1,24	2,72	10+
	Desvio	0,00	1,17	2,62	0
CAN/1	Média	0,00	0,83	1,82	10+
	Desvio	0,00	0,51	1,20	0
CAN/10	Média	0,00	1,46	2,67	10+
	Desvio	0,00	1,87	3,52	0
LEM/0,1	Média	0,00	1,03	2,02	10+
	Desvio	0,00	0,88	1,95	0
LEM/1	Média	0,00	1,52	3,30	10+
	Desvio	0,00	1,44	2,57	0
LEM/10	Média	0,00	2,47	5,10	10+
	Desvio	0,00	0,16	0,61	0

Legenda: C1/0 – Controle; CAN/0,1 – Canela 0,1 mL/kg; CAN/1 – Canela 1 mL/kg; CAN/10 – Canela 10 mL/kg; LEM/0,1 – *Lemongrass* 0,1 mL/kg; LEM/1 – *Lemongrass* 1 mL/kg; LEM/10 – *Lemongrass* 10 mL/kg. Fonte: autoria própria.

Tabela 9 – Valores de amônia tóxica (NH₃) durante o Ciclo 2.

Tratamento	Ciclo 2	AMÔNIA NH ₃ (mg/L)			
		20/10/2025	28/10/2025	29/10/2025	04/11/2025
		Dia Zero	1ª Semana	Troca 50%	2ª Semana
C2/0	Média	0,00	0,01	0,01	0,01
	Desvio	0,00	0,02	0,01	0,00
EUC/0,1	Média	0,00	0,01	0,02	0,00
	Desvio	0,00	0,02	0,03	0,00
EUC/1	Média	0,00	0,20	0,02	0,00
	Desvio	0,00	0,38	0,03	0,00
EUC/10	Média	0,00	0,03	0,01	0,01
	Desvio	0,00	0,01	0,01	0,00
ORE/0,1	Média	0,00	0,02	0,02	0,01
	Desvio	0,00	0,03	0,04	0,00
ORE/1	Média	0,00	0,01	0,00	0,01
	Desvio	0,00	0,02	0,00	0,00
ORE/10	Média	0,00	0,03	0,02	0,01
	Desvio	0,00	0,05	0,03	0,00

Legenda: C2/0 – Controle; EUC/0,1 – Eucalipto 0,1 mL/kg; EUC/1 – Eucalipto 1 mL/kg; EUC/10 – Eucalipto 10 mL/kg; ORE/0,1 – Orégano 0,1 mL/kg; ORE/1 – Orégano 1 mL/kg; ORE/10 – Orégano 10 mL/kg. Fonte: autoria própria.

Tabela 10 – Valores de nitrito (NO₂⁻) durante o Ciclo 2.

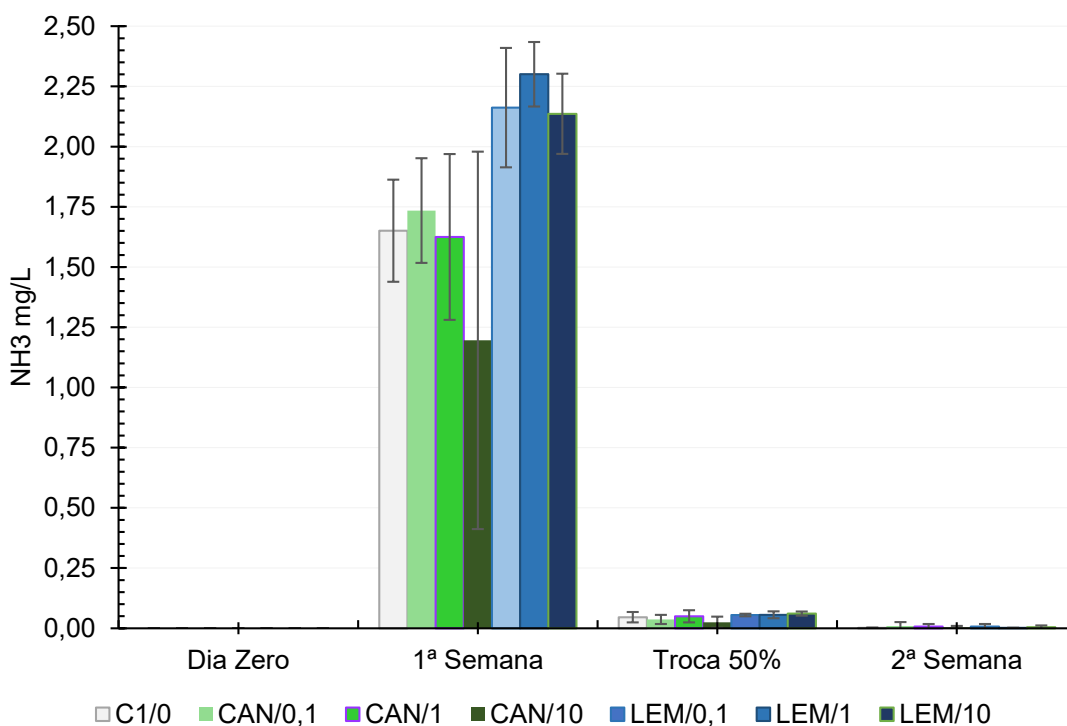
Tratamento	Ciclo 2	NITRITO (mg/L)			
		20/10/2025	28/10/2025	29/10/2025	04/11/2025
		Dia Zero	1ª Semana	Troca 50%	2ª Semana
C2/0	Média	0	10+	6,38	10+
	Desvio	0	0,00	0,47	2,78
EUC/0,1	Média	0	10+	6,98	10+
	Desvio	0	0,00	0,09	3,16
EUC/1	Média	0	10+	6,88	10+
	Desvio	0	0,00	0,28	2,13
EUC/10	Média	0	10+	6,60	10+
	Desvio	0	0,00	0,37	5,06
ORE/0,1	Média	0	10+	5,12	10+
	Desvio	0	0,00	2,98	0,00
ORE/1	Média	0	10+	6,64	10+
	Desvio	0	0,00	0,54	0
ORE/10	Média	0	10+	6,66	10+
	Desvio	0	0,00	0,57	0

Legenda: C2/0 – Controle; EUC/0,1 – Eucalipto 0,1 mL/kg; EUC/1 – Eucalipto 1 mL/kg; EUC/10 – Eucalipto 10 mL/kg; ORE/0,1 – Orégano 0,1 mL/kg; ORE/1 – Orégano 1 mL/kg; ORE/10 – Orégano 10 mL/kg. Fonte: autoria própria. Fonte: autoria própria.

Os valores de amônia tóxica (NH_3) mantiveram-se, de modo geral, abaixo de 0,05 mg/L, limite considerado aceitável para a tilápia-do-Nilo (Boyd; Tucker, 1998; Sá, 2023). Elevações pontuais foram observadas, associadas às características do sistema estático conduzido em ambiente interno (*indoor*), sendo controladas por meio de manejo adequado (Bregnballe, 2022). O nitrito apresentou concentrações mais elevadas em determinados períodos, especialmente na fase intermediária e final do ciclo experimental, quando o consumo de ração, a carga orgânica e a excreção nitrogenada dos peixes se encontram mais elevados, condição esperada em sistemas com nitrificação incompleta, sendo mitigada pelo aumento da salinidade, conforme descrito por Sá (2023).

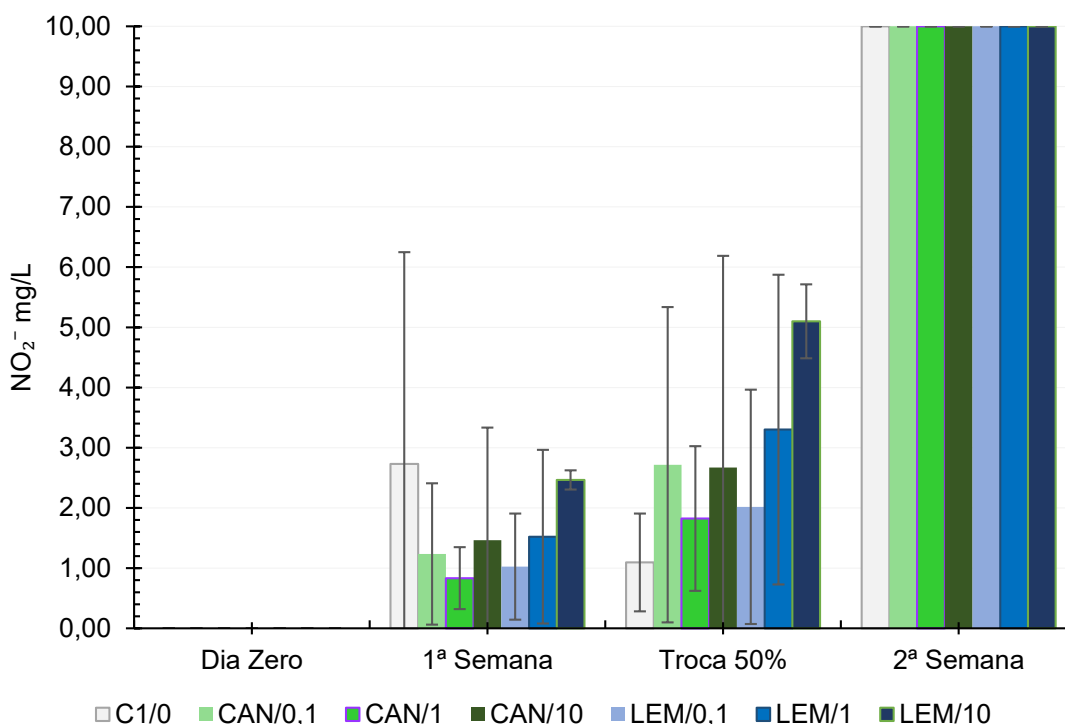
A variação semanal das concentrações de amônia tóxica e nitrito ao longo do experimento é apresentada nas Figuras 15, 16, 17 e 18.

Figura 15 – Variação semanal da concentração de amônia tóxica (NH_3 , mg/L) no Ciclo 1.



Legenda: C1/0 – Controle; CAN/0,1 – Canela 0,1 mL/kg; CAN/1 – Canela 1 mL/kg; CAN/10 – Canela 10 mL/kg; LEM/0,1 – *Lemongrass* 0,1 mL/kg; LEM/1 – *Lemongrass* 1 mL/kg; LEM/10 – *Lemongrass* 10 mL/kg. Fonte: autoria própria.

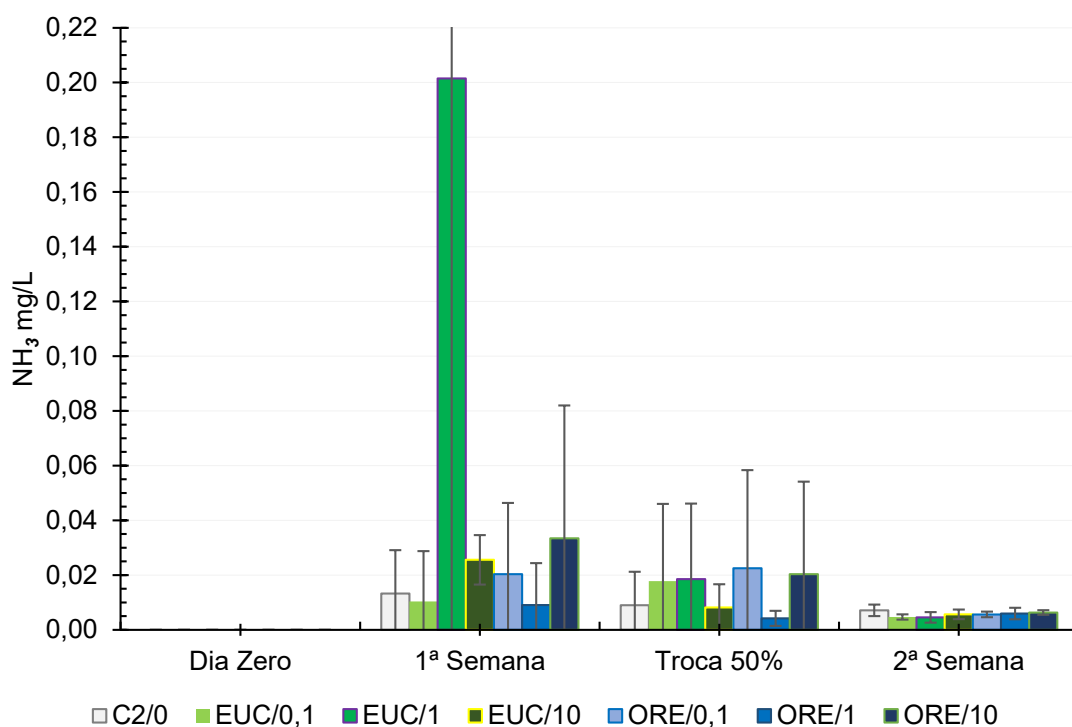
Figura 16 – Variação semanal da concentração de nitrito (NO_2^- , mg/L) no Ciclo 1.



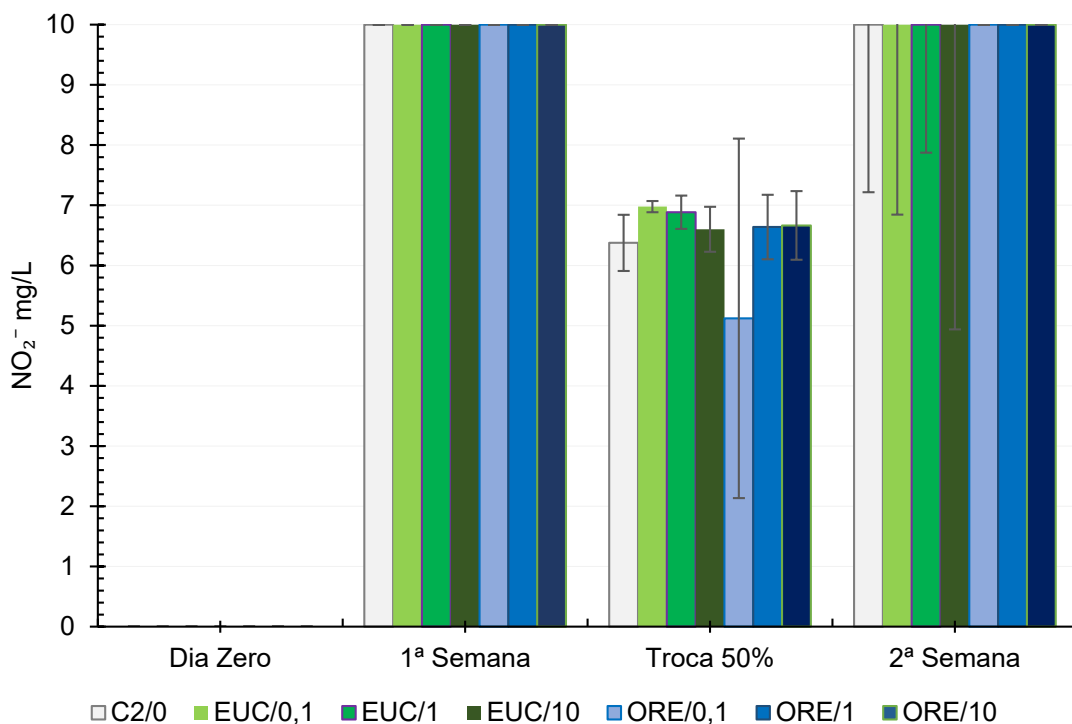
Legenda: C1/0 – Controle; CAN/0,1 – Canela 0,1 mL/kg; CAN/1 – Canela 1 mL/kg; CAN/10 – Canela 10 mL/kg; LEM/0,1 – *Lemongrass* 0,1 mL/kg; LEM/1 – *Lemongrass* 1 mL/kg; LEM/10 – *Lemongrass* 10 mL/kg. Fonte: autoria própria.

Conforme apresentado na Tabela 8 e ilustrado na Figura 15, foram observadas elevações nos valores de nitrito ao longo do Ciclo 1, com registros mais elevados em um dos aquários do tratamento Controle (C1/0) e em um dos aquários suplementados com Canela-Cássia a 1 mL/kg (CAN/1), especialmente na primeira semana experimental. Esses episódios coincidiram com períodos de menor estabilidade do sistema e podem estar associados à mortalidade pontual observada, bem como a alterações no fator de conversão alimentar, uma vez que o nitrito interfere diretamente na oxigenação sanguínea dos peixes por meio da formação de meta-hemoglobina (Wei *et al.*, 2025).

Logo, considerando a tendência de aumento dos compostos nitrogenados, foi realizada uma renovação parcial de aproximadamente 50% do volume de água no meio do ciclo, como medida de manejo corretivo para restabelecimento da qualidade da água. Após a intervenção, os valores permaneceram dentro de faixas compatíveis com a tolerância da espécie, não sendo observados efeitos adversos sobre o comportamento, sobrevivência ou desempenho dos peixes.

Figura 17 – Variação semanal da concentração de amônia tóxica (NH₃, mg/L) no Ciclo 2.

Legenda: C2/0 – Controle; EUC/0,1 – Eucalipto 0,1 mL/kg; EUC/1 – Eucalipto 1 mL/kg; EUC/10 – Eucalipto 10 mL/kg; ORE/0,1 – Orégano 0,1 mL/kg; ORE/1 – Orégano 1 mL/kg; ORE/10 – Orégano 10 mL/kg. Fonte: autoria própria.

Figura 18 – Variação semanal da concentração de nitrito (NO₂⁻, mg/L) no Ciclo 2.

Legenda: C2/0 – Controle; EUC/0,1 – Eucalipto 0,1 mL/kg; EUC/1 – Eucalipto 1 mL/kg; EUC/10 – Eucalipto 10 mL/kg; ORE/0,1 – Orégano 0,1 mL/kg; ORE/1 – Orégano 1 mL/kg; ORE/10 – Orégano 10 mL/kg. Fonte: autoria própria.

No Ciclo 2, a ocorrência de elevações nos compostos nitrogenados foi mais frequente e envolveu um maior número de unidades experimentais, conforme demonstrado nas Tabelas 9 e 10 e Figuras 16 e 17, incluindo aquários dos tratamentos Controle, Eucalipto e Orégano.

Essa diferença entre os ciclos pode ser atribuída, em parte, à utilização de ração mais antiga no segundo ciclo experimental, o que favorece maior lixiviação de nutrientes e acelera a degradação da qualidade da água, exigindo maior frequência de trocas parciais de água (Dalbem Barbosa *et al.*, 2024).

Esses resultados reforçam que as oscilações observadas não estiveram diretamente associadas aos tratamentos dietéticos, mas sim às características do sistema estático e ao manejo alimentar, aspecto amplamente descrito na literatura para experimentos indoor (Ebeling; Timmons, 2012; Boyd; Tucker, 1998; Bregnballe, 2022; Fracalossi; Cyrino, 2013; Furuya *et al.*, 2010; Sá, 2023).

5.3 Homogeneidade inicial e aclimação dos peixes

A aclimação adequada é etapa crítica em experimentos nutricionais e sanitários, pois reduz variações fisiológicas iniciais e assegura que respostas subsequentes estejam associadas aos tratamentos aplicados (Melvin *et al.*, 2017).

As médias marginais estimadas dos pesos iniciais do Ciclo 1 variaram entre 6,02 g e 6,08 g, com desvios-padrão comparáveis entre os grupos (\approx 0,55 a 0,79 g), não sendo observadas diferenças estatisticamente significativas entre tratamentos.

Assim como, no Ciclo 2, as médias iniciais foram muito próximas, variando de 5,11 g (Eucalipto 0,1 mL/kg) a 5,13 g (demais grupos), com desvios-padrão também similares (\approx 0,33 a 0,48 g). Esse padrão confirma a elevada homogeneidade inicial entre os tratamentos, em ambos os ciclos, prevista no delineamento experimental, confirmando a eficiência do processo de aquisição e aclimação dos animais.

A espécie pode apresentar ganhos diários médios entre 1 e 2 g por indivíduo, a depender das condições de cultivo e dieta fornecida (Furuya *et al.*, 2010). É recomendado que sejam ofertadas múltiplas refeições diárias, visando otimizar o crescimento e a conversão alimentar (Huang *et al.*, 2025).

A oferta alimentar inicial foi definida com base em percentual da biomassa, correspondendo aproximadamente a 4,5 – 5,5% do peso vivo por aquário, considerando as médias de peso inicial de 6,05 g (Ciclo 1) e 5,13 g (Ciclo 2),

com 10 peixes por unidade experimental. Essa quantidade foi fracionada em quatro tratos diários.

Nos três primeiros dias experimentais, os peixes receberam ração controle, sendo ofertados inicialmente 0,70 g por trato, totalizando 2,80 g por aquário ao dia. No segundo e terceiro dias, a oferta foi ajustada para 1,05 g por trato, mantendo-se quatro tratos diários. No quarto dia, essa quantidade foi mantida e teve início a aplicação dos tratamentos dietéticos contendo os óleos essenciais. A partir do quinto dia experimental, a quantidade de ração foi ajustada progressivamente, com incrementos de aproximadamente 0,35 g por trato, realizados a cada um ou dois dias, conforme a resposta alimentar dos peixes.

5.4 Análise descritiva e visual do crescimento dos animais

As tabelas descritivas do peso dos peixes por tratamento e fase experimental (Tabelas 11 e 12) demonstraram crescimento consistente na maioria das unidades experimentais ao longo dos dois ciclos avaliados.

De forma descritiva, os tratamentos correspondentes às concentrações intermediárias (1 mL/kg) dos óleos essenciais de Canela-Cássia e *Lemongrass*, no Ciclo 1, e Orégano, no Ciclo 2, apresentaram maior incremento médio de peso entre as fases inicial e final, sugerindo resposta positiva ao nível de suplementação adotado.

Esse padrão é consistente com estudos que relatam efeitos positivos de óleos essenciais em doses moderadas, associados à melhoria da digestibilidade, modulação da microbiota intestinal e estímulo enzimático (Abdel-Tawwab *et al.*, 2024; Ghafarifarsani *et al.*, 2022; Magouz *et al.*, 2022b).

Por outro lado, os tratamentos com concentrações mais elevadas (10 mL/kg) não apresentaram padrão consistente de ganho adicional em relação ao controle. Esse comportamento sugere que o efeito dos óleos essenciais, especialmente de Canela e *Lemongrass*, sobre o crescimento não ocorre de forma linear com o aumento da dose, indicando possível existência de faixa ótima de inclusão.

Tabela 11 – Estatísticas descritivas do peso dos peixes por tratamento e fase no Ciclo 1.

Tratamento	Fase	Nº	Média	Dp	Mín.	Máx.
Controle	Inicial	40	6,06	0,676	4,81	7,56
Controle	Final	39	15,0	3,02	8,31	21,2
Canela 0,1 mL/Kg	Inicial	40	6,06	0,722	5	7,88
Canela 0,1 mL/Kg	Final	39	16,2	2,68	10,6	24,5
Canela 1 mL/kg	Inicial	40	6,02	0,547	5,05	7,3
Canela 1 mL/kg	Final	38	16,3	2,03	12,5	20,3
Canela 10 mL/kg	Inicial	40	6,04	0,793	4,82	7,71
Canela 10 mL/kg	Final	39	15,2	2,87	6,87	20,5
<i>Lemongrass</i> 0,1 mL/Kg	Inicial	40	6,08	0,665	4,91	7,72
<i>Lemongrass</i> 0,1 mL/Kg	Final	37	14,9	2,33	9,08	20,8
<i>Lemongrass</i> 1 mL/kg	Inicial	40	6,06	0,617	4,94	7,27
<i>Lemongrass</i> 1 mL/kg	Final	37	16,2	3,16	11,2	22,8
<i>Lemongrass</i> 10 mL/kg	Inicial	40	6,02	0,682	5	7,81
<i>Lemongrass</i> 10 mL/kg	Final	38	15,0	2,29	10,2	20,2

Legenda: Tratamento; Fase – inicial e/ou final; Nº - número de animais por tratamento e fase; Média do peso inicial e/ou final; Dp – desvio-padrão; Mín. – peso mínimo inicial e/ou final; Máx. – peso máximo inicial e/ou final. Fonte: autoria própria.

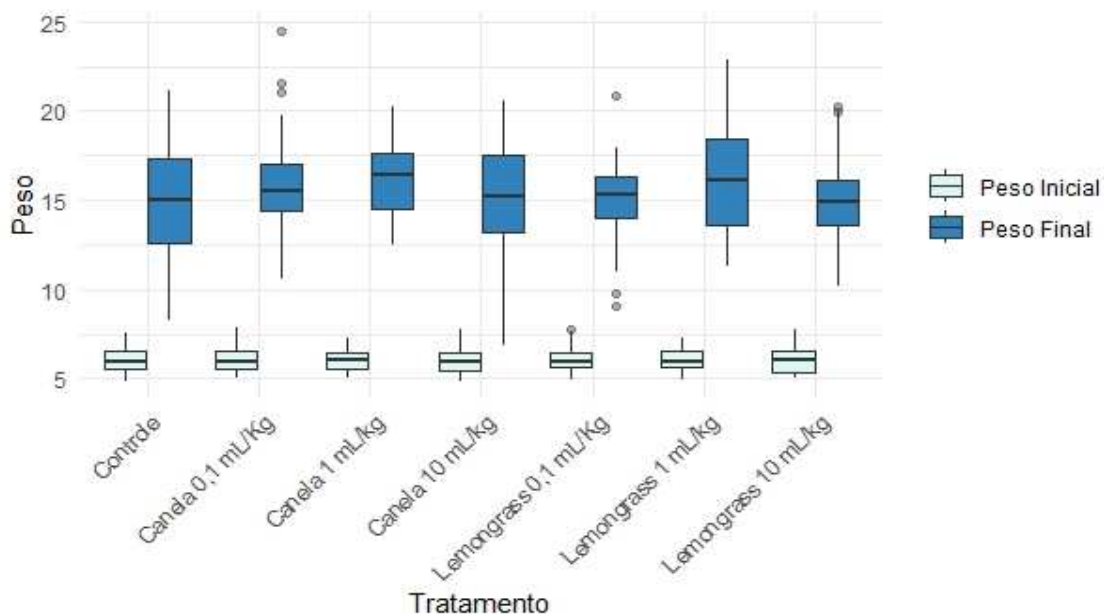
Tabela 12 – Estatísticas descritivas do peso dos peixes por tratamento e fase no Ciclo 2.

Tratamento	Fase	Nº	Média	Dp	Mín.	Máx.
Controle	Inicial	40	5,134	0,363	4,510	5,800
Controle	Final	38	14,609	2,679	8,980	19,060
Orégano 0,1 mL/Kg	Inicial	40	5,125	0,423	4,570	5,940
Orégano 0,1 mL/Kg	Final	40	14,488	2,423	9,600	19,290
Orégano 1 mL/kg	Inicial	40	5,132	0,405	4,500	6,000
Orégano 1 mL/kg	Final	40	15,597	2,579	7,780	20,310
Orégano 10 mL/kg	Inicial	40	5,128	0,343	4,510	5,570
Orégano 10 mL/kg	Final	39	15,173	2,655	7,870	18,860
Eucalipto 0,1 mL/Kg	Inicial	40	5,107	0,482	4,500	6,000
Eucalipto 0,1 mL/Kg	Final	39	14,837	2,543	11,230	21,840
Eucalipto 1 mL/kg	Inicial	40	5,128	0,379	4,530	5,850
Eucalipto 1 mL/kg	Final	37	14,756	2,173	10,190	19,300
Eucalipto 10 mL/kg	Inicial	40	5,128	0,333	4,500	5,750
Eucalipto 10 mL/kg	Final	40	14,836	2,195	11,170	18,650

Legenda: Tratamento; Fase – inicial e/ou final; Nº - número de animais por tratamento e fase; Média do peso inicial e/ou final; Dp – desvio-padrão; Mín. – peso mínimo inicial e/ou final; Máx. – peso máximo inicial e/ou final.

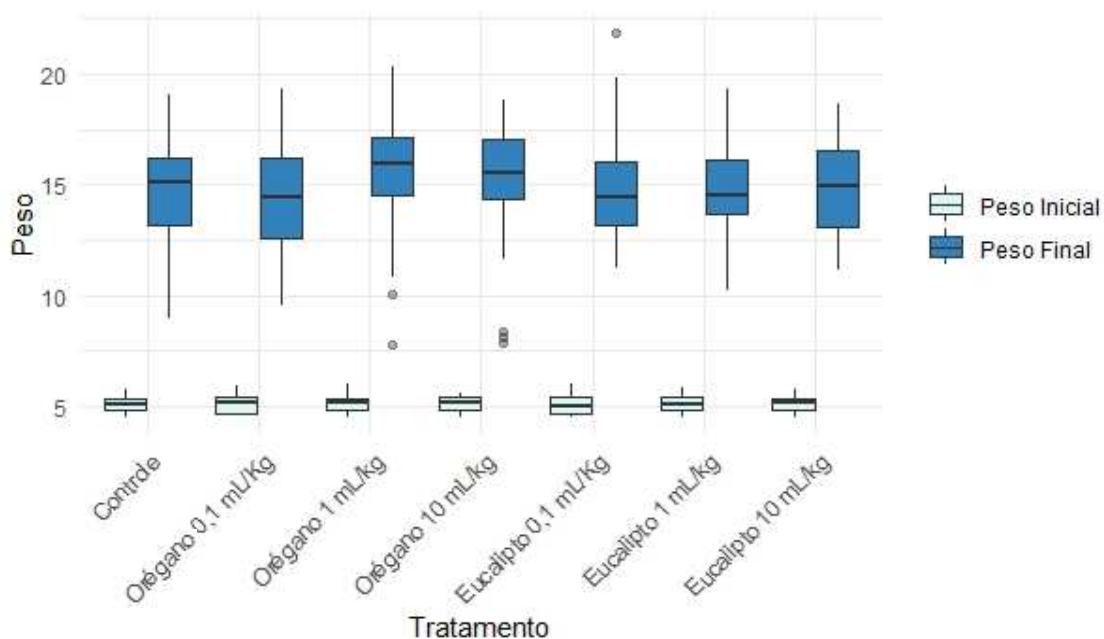
As distribuições de peso observadas nas Figuras 19 e 20 reforçam esse padrão, evidenciando crescimento expressivo dos peixes do início ao final do experimento em todos os tratamentos. Observou-se deslocamento das distribuições para valores mais elevados na fase final, refletindo adequado desempenho zootécnico ao longo do período experimental, independentemente do tratamento avaliado.

Figura 19 – Distribuição do peso inicial e final dos peixes por tratamento no Ciclo 1.



Legenda: As caixas representam o intervalo interquartil, as linhas verticais indicam a variação dos dados e os pontos correspondem aos valores atípicos (*outliers*). Fonte: autoria própria.

Figura 20 – Distribuição do peso inicial e final dos peixes por tratamento no Ciclo 2.



Legenda: As caixas representam o intervalo interquartil, as linhas verticais indicam a variação dos dados e os pontos correspondem aos valores atípicos (*outliers*). Fonte: autoria própria.

5.5 Modelo linear misto e efeito dos tratamentos no desempenho zootécnico

A análise inferencial realizada por meio de modelo linear misto revelou efeito altamente significativo da fase experimental no Ciclo 1 ($F = 3354,9$; $p < 2 \times 10^{-16}$) e no Ciclo 2 ($F = 4400,393$; $p < 2 \times 10^{-16}$), confirmando crescimento expressivo dos peixes ao longo do período avaliado (Tabelas 13 e 14). O efeito principal de tratamento não foi estatisticamente significativo em ambos os ciclos, indicando ausência de diferenças sistemáticas entre os grupos experimentais na fase inicial, resultado coerente com a análise descritiva apresentada anteriormente.

Tabela 13 – ANOVA (Type III) do modelo linear misto no Ciclo 1.

Efeito	Soma de quadrado	Quadrado médio	Graus de liberdade	F value	Pr(>F)
Tratamento	46,939	7,823	6	2,130	0,048
Fase (Inicial/ Final)	12323,531	12323,531	1	3354,908	< 0,001
Tratamento: Fase	48,191	8,032	6	2,187	0,043

Fonte: autoria própria.

Tabela 14 – ANOVA (Type III) do modelo linear misto no Ciclo 2.

Efeito	Soma de quadrado	Quadrado médio	Graus de liberdade	F value	Pr(>F)
Tratamento	9,291	1,548	6	0,517	0,789
Fase (Inicial/ Final)	13185,926	13185,926	1	4400,393	0,000
Tratamento: Fase	16,836	2,806	6	0,936	0,468

Fonte: autoria própria.

No Ciclo 1, a interação entre tratamento e fase foi estatisticamente significativa ($F = 2,19$; $p = 0,0429$), evidenciando que o crescimento dos peixes ao longo do tempo foi dependente do tratamento aplicado. As estimativas dos efeitos fixos do modelo (Tabela 15) indicaram que as concentrações intermediárias dos óleos essenciais promoveram os maiores incrementos adicionais de peso em relação ao controle. Destacaram-se os tratamentos com Canela-Cássia a 1 mL/kg e *Lemongrass* a 1 mL/kg, com ganhos adicionais estimados de aproximadamente 1,33 g e 1,22 g, respectivamente, sugerindo efeito positivo da suplementação em doses moderadas.

Por outro lado, as concentrações mais elevadas (10 mL/kg) não apresentaram incrementos adicionais significativos, sugerindo que o efeito dos óleos essenciais

sobre o crescimento não ocorre de forma linear com o aumento da dose. Esse padrão está em consonância com estudos que relatam respostas dose-dependentes à suplementação com óleos essenciais em dietas para peixes, nos quais concentrações intermediárias (≈ 1 mL/kg) promovem melhorias no desempenho zootécnico, enquanto doses elevadas ($\geq 5 - 10$ mL/kg) podem não resultar em benefícios adicionais ou até neutralizar efeitos positivos previamente observados (Aguiar *et al.*, 2023; Ghafarifarsani *et al.*, 2022; Kusi; Obirikorang; Adjei-Boateng, 2025; Pudota *et al.*, 2025; Shourbela *et al.*, 2021). Possivelmente, isso ocorre em função de alterações na palatabilidade e do custo metabólico associado à detoxificação desses compostos (Abdel-Tawwab *et al.*, 2024).

Tabela 15 – Estimativas dos efeitos fixos do modelo linear misto no Ciclo 1.

Tratamento	Estimativa	Erro padrão	Estatística	Value p	IC inferior	IC superior
(Intercepto)	6,06	0,303	20,0	< 0,001	5,47	6,66
Canela 0,1 mL/Kg	-0,0048	0,429	-0,0111	0,991	-0,847	0,837
Canela 1 mL/kg	-0,0463	0,429	-0,108	0,914	-0,888	0,796
Canela 10 mL/kg	-0,0193	0,429	-0,0449	0,964	-0,861	0,823
<i>Lemongrass</i> 0,1 mL/Kg	0,016	0,429	0,0373	0,970	-0,826	0,858
<i>Lemongrass</i> 1 mL/kg	-0,0005	0,429	-0,0012	0,999	-0,842	0,841
<i>Lemongrass</i> 10 mL/kg	-0,0443	0,429	-0,103	0,918	-0,886	0,798
Peso Final	8,93	0,431	20,7	< 0,001	8,08	9,77
Canela 0,1 mL/Kg: Peso Final	1,20	0,610	1,96	0,0501	-0,0006	2,40
Canela 1 mL/kg: Peso Final	1,33	0,612	2,17	0,0308	0,123	2,53
Canela 10 mL/kg: Peso Final	0,262	0,610	0,430	0,668	-0,936	1,46
<i>Lemongrass</i> 0,1 mL/Kg: Peso Final	-0,063	0,614	-0,103	0,918	-1,27	1,14
<i>Lemongrass</i> 1 mL/kg: Peso Final	1,22	0,614	1,99	0,0475	0,0134	2,43
<i>Lemongrass</i> 10 mL/kg: Peso Final	0,054	0,612	0,0883	0,930	-1,15	1,26

Legenda: Tratamento – grupos experimentais avaliados; Estimativa – coeficiente associado a cada efeito; Erro padrão – variabilidade associada à estimativa; Estatística – valor do teste associado ao efeito; Value p – nível de significância estatística; IC inferior e IC superior – limites do intervalo de confiança de 95% para a estimativa. Fonte: autoria própria.

No Ciclo 2, diferentemente do observado no Ciclo 1, a interação entre tratamento e fase não foi estatisticamente significativa ($F = 0,936$; $p = 0,468$), indicando que o crescimento dos peixes ao longo do tempo não diferiu de forma consistente entre os tratamentos avaliados.

As estimativas dos efeitos fixos (Tabela 16) apresentaram magnitudes moderadas, porém associadas a elevada incerteza estatística. O tratamento com Orégano a 1 mL/kg apresentou incremento adicional estimado de aproximadamente 1,0 g em relação ao controle, com evidência marginal ($p = 0,0703$), enquanto os demais tratamentos não apresentaram tendências consistentes de incremento no crescimento.

Tabela 16 – Estimativas dos efeitos fixos do modelo linear misto no Ciclo 2.

Tratamento	Estimativa	Erro padrão	Estatística	Value p	IC inferior	IC superior
(Intercepto)	5,1338	0,3264	15,7279	0,0000	4,4775	5,7900
Orégano 0,1 mL/Kg	-0,0083	0,4616	-0,0179	0,9858	-0,9364	0,9198
Orégano 1 mL/kg	-0,0020	0,4616	-0,0043	0,9966	-0,9300	0,9261
Orégano 10 mL/kg	-0,0058	0,4616	-0,0125	0,9901	-0,9334	0,9223
Eucalipto 0,1 mL/Kg	-0,0265	0,4616	-0,0574	0,9545	-0,9546	0,9016
Eucalipto 1 mL/kg	-0,0063	0,4616	-0,0135	0,9893	-0,9343	0,9218
Eucalipto 10 mL/kg	-0,0063	0,4616	-0,0135	0,9893	-0,9343	0,9218
Peso Final	9,4654	0,3922	24,1344	0,0000	8,6949	10,2359
Orégano 0,1 mL/Kg: Peso Final	-0,1029	0,5510	-0,1868	0,8519	-1,1854	0,9796
Orégano 1 mL/kg: Peso Final	0,9996	0,5510	1,8140	0,0703	-0,0830	2,0821
Orégano 10 mL/kg: Peso Final	0,5779	0,5528	1,0454	0,2963	-0,5082	1,6640
Eucalipto 0,1 mL/Kg: Peso Final	0,2661	0,5528	0,4813	0,6305	-0,8199	1,3521
Eucalipto 1 mL/kg: Peso Final	0,1486	0,5567	0,2670	0,7896	-0,9450	1,2422
Eucalipto 10 mL/kg: Peso Final	0,2428	0,5510	0,4407	0,6596	-0,8398	1,3254

Legenda: Tratamento – grupos experimentais avaliados; Estimativa – coeficiente associado a cada efeito; Erro padrão – variabilidade associada à estimativa; Estatística – valor do teste associado ao efeito; Value p – nível de significância estatística; IC inferior e IC superior – limites do intervalo de confiança de 95% para a estimativa. Fonte: autoria própria.

5.6 Médias marginais estimadas e interpretação integrada do desempenho zootécnico

As médias marginais estimadas obtidas a partir do modelo linear misto (Tabela 17; Figura 21) corroboraram os resultados inferenciais observados anteriormente. Na fase inicial, os pesos médios estimados variaram entre 6,02 g (Canela 1 mL/kg e *Lemongrass* 10 mL/kg) e 6,08 g (*Lemongrass* 0,1 mL/kg), sem diferenças estatisticamente significativas entre os tratamentos, confirmando a homogeneidade inicial prevista no delineamento experimental.

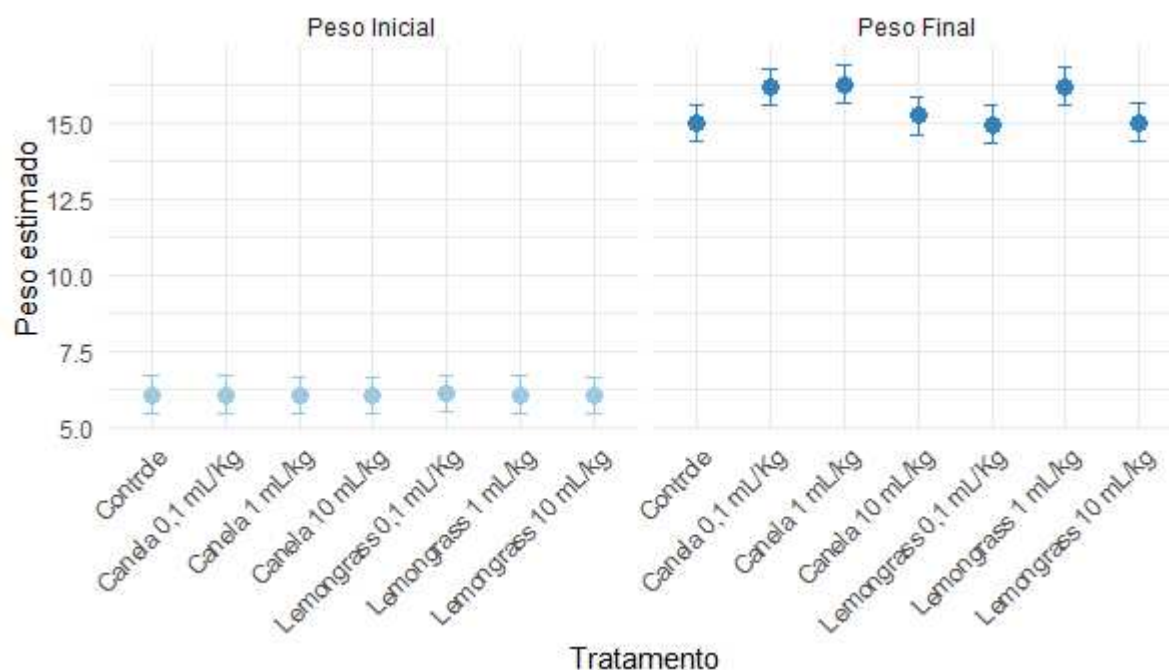
Na fase final do Ciclo 1, os tratamentos Canela 0,1 mL/kg, Canela 1 mL/kg e *Lemongrass* 1 mL/kg apresentaram médias finais estimadas de 16,18 g, 16,27 g e 16,21 g, respectivamente, superiores ao grupo controle (14,99 g). Esses resultados correspondem a incrementos absolutos da ordem de 1,2 a 1,3 g em relação ao controle, reforçando o efeito positivo das concentrações intermediárias sobre o crescimento dos peixes.

Tabela 17 – Médias marginais estimadas por tratamento e fase no Ciclo 1.

Tratamento	Fase da pesagem	Média marginal	Erro padrão	Graus de liberdade	IC inferior	IC superior
Controle	Inicial	6,065	0,303	77,201	5,461	6,668
Canela 0,1 mL/kg	Inicial	6,060	0,303	77,201	5,457	6,663
Canela 1 mL/kg	Inicial	6,019	0,303	77,201	5,415	6,622
Canela 10 mL/kg	Inicial	6,046	0,303	77,201	5,442	6,649
<i>Lemongrass</i> 0,1 mL/kg	Inicial	6,081	0,303	77,201	5,477	6,684
<i>Lemongrass</i> 1 mL/kg	Inicial	6,064	0,303	77,201	5,461	6,668
<i>Lemongrass</i> 10 mL/kg	Inicial	6,020	0,303	77,201	5,417	6,624
Controle	Final	14,991	0,307	80,604	14,380	15,602
Canela 0,1 mL/kg	Final	16,184	0,307	80,604	15,573	16,794
Canela 1 mL/kg	Final	16,270	0,311	83,572	15,651	16,889
Canela 10 mL/kg	Final	15,234	0,307	80,604	14,623	15,844
<i>Lemongrass</i> 0,1 mL/kg	Final	14,944	0,315	85,963	14,317	15,571
<i>Lemongrass</i> 1 mL/kg	Final	16,210	0,315	87,789	15,584	16,836
<i>Lemongrass</i> 10 mL/kg	Final	15,001	0,311	84,420	14,382	15,619

Legenda: Tratamento – grupos experimentais avaliados; Fase da pesagem – momento da biometria experimental; Média marginal – média estimada pelo modelo linear misto; Erro padrão – variabilidade associada à estimativa; Graus de liberdade – número de graus de liberdade utilizados no modelo; IC inferior e IC superior – limites inferior e superior do intervalo de confiança de 95% para a média estimada. Fonte: autoria própria

Figura 21 – Pesos estimados pelo modelo misto no Ciclo 1.



Fonte: autoria própria.

Embora as comparações múltiplas ajustadas apresentem caráter conservador, o padrão observado foi consistente entre as análises descritivas, os gráficos exploratórios e os resultados do modelo misto, fortalecendo a evidência de resposta positiva à suplementação em doses moderadas dos óleos essenciais sobre o crescimento dos peixes.

No Ciclo 2, as médias marginais estimadas obtidas a partir do modelo linear misto (Tabela 18; Figura 22) apresentaram diferenças numéricas mais discretas entre os tratamentos. Na fase inicial, as médias marginais estimadas foram praticamente idênticas entre os grupos, variando de 5,107 g (Eucalipto 0,1 mL/kg) a 5,134 g (Controle), reforçando a homogeneidade inicial do experimento.

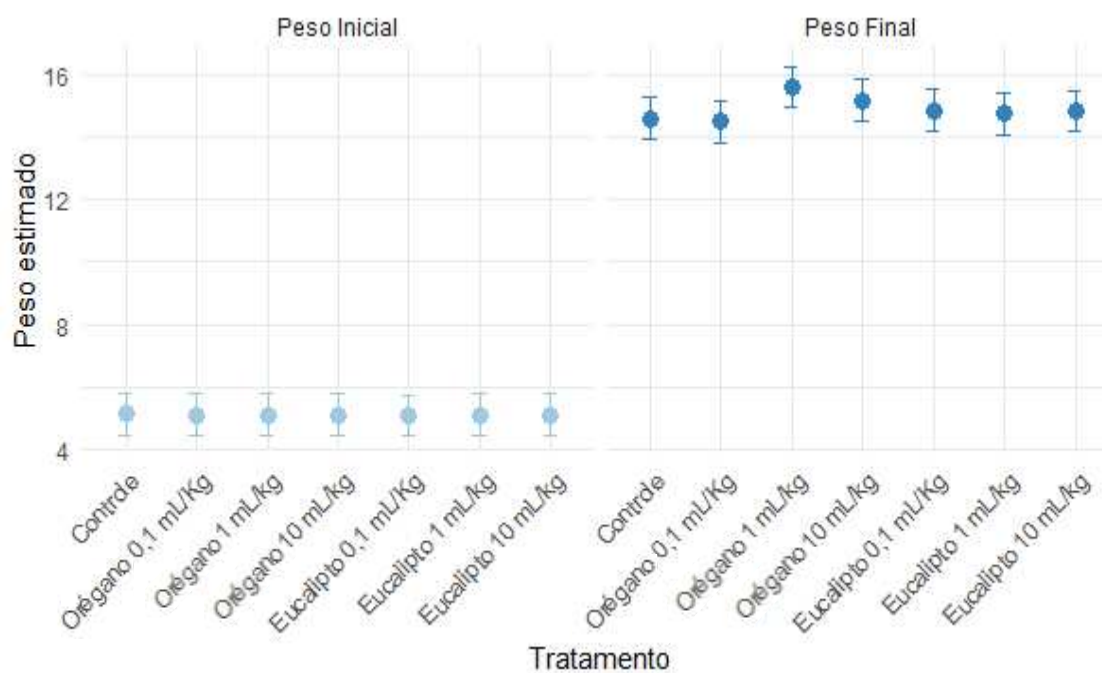
Na fase final, as médias marginais estimadas variaram de 14,488 g (Orégano 0,1 mL/kg) a 15,597 g (Orégano 1 mL/kg), enquanto o grupo controle apresentou média estimada de 14,599 g. Embora o tratamento Orégano 1 mL/kg tenha apresentado média final numericamente superior ao controle, com diferença aproximada de 1,0 g, as comparações múltiplas ajustadas não indicaram diferenças estatisticamente significativas entre os tratamentos, resultado compatível com a ausência de interação significativa observada no modelo linear misto e com a variabilidade experimental registrada no ciclo.

Tabela 18 – Médias marginais estimadas por tratamento e fase no Ciclo 2.

Tratamento	Fase da pesagem	Média marginal	Erro padrão	Graus de liberdade	IC inferior	IC superior
Controle	Inicial	5,134	0,326	48,685	4,478	5,790
Orégano 0,1 mL/Kg	Inicial	5,125	0,326	48,685	4,469	5,782
Orégano 1 mL/kg	Inicial	5,132	0,326	48,685	4,476	5,788
Orégano 10 mL/kg	Inicial	5,128	0,326	48,685	4,472	5,784
Eucalipto 0,1 mL/Kg	Inicial	5,107	0,326	48,685	4,451	5,763
Eucalipto 1 mL/kg	Inicial	5,128	0,326	48,685	4,471	5,784
Eucalipto 10 mL/kg	Inicial	5,127	0,326	48,685	4,471	5,784
Controle	Final	14,599	0,332	52,182	13,932	15,266
Orégano 0,1 mL/Kg	Final	14,488	0,326	48,685	13,832	15,144
Orégano 1 mL/kg	Final	15,597	0,326	48,685	14,941	16,253
Orégano 10 mL/kg	Final	15,171	0,329	50,368	14,510	15,833
Eucalipto 0,1 mL/Kg	Final	14,839	0,329	50,368	14,177	15,500
Eucalipto 1 mL/kg	Final	14,742	0,336	54,047	14,068	15,415
Eucalipto 10 mL/kg	Final	14,836	0,326	48,685	14,180	15,492

Legenda: Tratamento – grupos experimentais avaliados; Fase da pesagem – momento da biometria experimental; Média marginal – média estimada pelo modelo linear misto; Erro padrão – variabilidade associada à estimativa; Graus de liberdade – número de graus de liberdade utilizados no modelo; IC inferior e IC superior – limites inferior e superior do intervalo de confiança de 95% para a média estimada. Fonte: autoria própria

Figura 22 – Pesos estimados pelo modelo misto no Ciclo 2.



Fonte: autoria própria.

A ausência de resposta positiva consistente nas concentrações mais elevadas (10 mL/kg) sugere possível efeito limitante em níveis mais altos de inclusão. Esse comportamento pode estar relacionado à redução da aceitação alimentar em doses elevadas, uma vez que, segundo Dawood *et al.* (2022), embora os óleos essenciais possam melhorar a palatabilidade das dietas, níveis excessivos de inclusão podem comprometer o consumo alimentar dos peixes.

Adicionalmente, a ausência de diferenças estatisticamente significativas em parte das análises pode estar relacionada ao curto período experimental e ao número reduzido de réplicas, limitando o poder estatístico para detectar respostas biológicas em estudos com variabilidade individual no crescimento de juvenis de tilápia.

5.7 Análise complementar do desempenho zootécnico por aquário

As Tabelas 19 e 20 apresentam os resultados da análise de variância (ANOVA) realizada a partir das médias de ganho de peso por aquário nos Ciclos 1 e 2, respectivamente, enquanto as Figuras 23 e 24 ilustram a distribuição desses ganhos entre as unidades experimentais. A análise complementar baseada no ganho médio de peso por aquário (Final – Inicial) não identificou diferenças estatisticamente significativas entre os tratamentos no Ciclo 1 ($p = 0,104$) e no Ciclo 2 ($p = 0,801$).

Tabela 19 – Análise de variância das médias por aquário no Ciclo 1.

Efeito	Soma de quadrado	Quadrado médio	Graus de liberdade	F	Pr(>F)
Tratamentos	9,466	1,5777	6	2,045	0,104
Resíduos	16,203	0,7716	21		

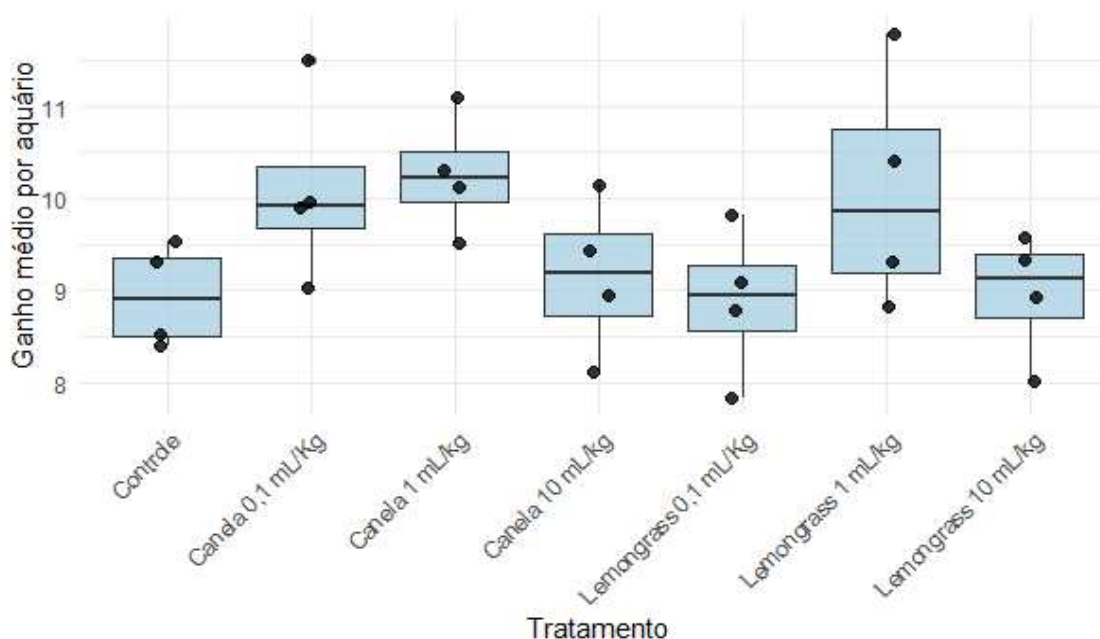
Legenda: Soma de quadrados – variabilidade associada a cada fonte de variação; Quadrado médio – razão entre a soma de quadrados e os graus de liberdade; Graus de liberdade – número de valores independentes utilizados na estimativa; F – estatística do teste ANOVA; Pr(>F) – nível de significância estatística. Fonte: autoria própria.

Tabela 20 – Análise de variância das médias por aquário no Ciclo 2.

Efeito	Soma de quadrado	Quadrado médio	Graus de liberdade	F	Pr(>F)
Tratamentos	3,541	0,5902	6	0,501	0,801
Resíduos	24,746	1,1784	21		

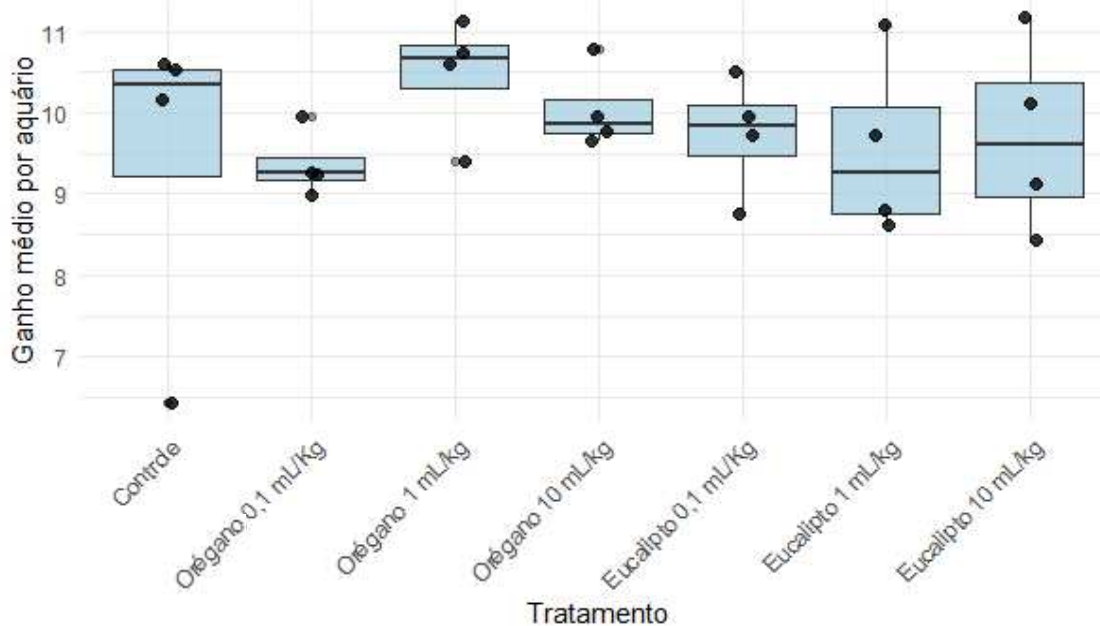
Legenda: Soma de quadrados – variabilidade associada a cada fonte de variação; Quadrado médio – razão entre a soma de quadrados e os graus de liberdade; Graus de liberdade – número de valores independentes utilizados na estimativa; F – estatística do teste ANOVA; Pr(>F) – nível de significância estatística. Fonte: autoria própria.

Figura 23 – Ganho médio de peso por aquário no Ciclo 1.



Legenda: As caixas representam o intervalo interquartil (Q1–Q3); a linha horizontal no interior das caixas indica a mediana; as linhas verticais indicam a variação dos dados até 1,5 vezes o intervalo interquartil; e os pontos correspondem aos valores observados por aquário. Fonte: autoria própria.

Figura 24 – Ganho médio de peso por aquário no Ciclo 2.



Legenda: As caixas representam o intervalo interquartil (Q1–Q3); a linha horizontal no interior das caixas indica a mediana; as linhas verticais indicam a variação dos dados até 1,5 vezes o intervalo interquartil; e os pontos correspondem aos valores observados por aquário. Fonte: autoria própria.

Esses resultados devem ser interpretados com cautela, pois o reduzido número de réplicas independentes por tratamento ($n = 4$ aquários) limita o poder estatístico da análise. Ainda assim, o padrão observado nos ganhos médios por aquário foi

concordante com o modelo linear misto, reforçando a tendência de melhor desempenho zootécnico nas concentrações intermediárias dos óleos essenciais, especialmente para Canela-Cássia, *Lemongrass* e Orégano a 1 mL/kg.

No Ciclo 2, observou-se maior variabilidade no grupo controle na fase final, o que pode ter dificultado a detecção de diferenças sutis entre os tratamentos. Essa dispersão pode estar relacionada a fatores inerentes ao sistema de cultivo, como competição alimentar, comportamento social dos peixes e pequenas variações entre os aquários, especialmente em sistemas estáticos internos.

De forma integrada, os resultados sugerem que a resposta aos óleos essenciais foi dependente da concentração utilizada, com efeitos mais evidentes em níveis intermediários de suplementação. Esse comportamento pode estar relacionado à ação moduladora desses compostos sobre processos digestivos, microbiota intestinal, metabolismo energético e resposta fisiológica dos peixes, conforme descrito na literatura (Imlani *et al.*, 2024; Shourbela *et al.*, 2021; Souza *et al.*, 2020).

O citral, por exemplo, é uma mistura dos isômeros geranial e neral e constitui o principal composto bioativo de diversos óleos essenciais, incluindo *Lemongrass* (*Cymbopogon flexuosus*) e Eucalipto (*Eucalyptus staigeriana*) (Sharma *et al.*, 2020), estando associado aos efeitos benéficos atribuídos a esses compostos. Em juvenis de tilápia-do-Nilo, a inclusão de 2,0 mL/kg de óleo essencial de *Lemongrass* promoveu melhora no desempenho zootécnico, nas atividades digestivas e na sobrevivência dos animais após desafio com *Aeromonas hydrophila* (Souza *et al.*, 2020).

Em outro trabalho, embora não tenham sido observadas diferenças significativas nos parâmetros zootécnicos, o óleo essencial de capim-limão influenciou positivamente a sobrevivência e o equilíbrio redox de tilápias, indicando potencial efeito antioxidante e fisioprotetor (Baumgartner *et al.*, 2026). Adicionalmente, níveis moderados de óleo essencial de Eucalipto na dieta (5 –10 mL/kg) promoveram melhora no crescimento, na morfologia intestinal, na resposta imune hepática e na resistência a *Streptococcus iniae* em *Trachinotus ovatus* (Lin *et al.*, 2025).

Estudos em tilápia-do-Nilo demonstraram que a suplementação com cinamaldeído, composto bioativo predominante no óleo essencial de canela, promove aumento da absorção de glicose e maior utilização de lipídios como fonte energética, contribuindo para o efeito poupador de proteína e melhora do desempenho zootécnico (Imlani *et al.*, 2024). Adicionalmente, a inclusão de óleo essencial de canela melhorou

o perfil de ácidos graxos e a qualidade da carne em tilápias suplementadas (Liu *et al.*, 2023). Resultados semelhantes também foram observados em *Rhamdia quelen*, nos quais o óleo essencial de Canela-Cássia (*Cinnamomum cassia*) a 1 mL/kg aumentou o ganho de peso e os parâmetros zootécnicos (Bandeira Junior *et al.*, 2022).

De maneira semelhante, o óleo de Orégano (*Origanum vulgare*), rico em compostos como carvacrol e timol, pode favorecer o crescimento, a digestibilidade e as respostas antioxidantes em peixes submetidos a estresse térmico agudo (Magouz *et al.*, 2022b), além de melhorar a resposta imune e a resistência frente ao desafio com *Aeromonas hydrophila* em tilápia-do-Nilo (Khallaf *et al.*, 2025), reforçando o potencial dos compostos fitogênicos como aditivos funcionais na aquicultura.

5.8 Fator de conversão alimentar aparente e sobrevivência

Em ambos os ciclos experimentais, a suplementação com óleos essenciais não comprometeu a sobrevivência dos juvenis de tilápia-do-Nilo, sendo observadas taxas elevadas em todos os tratamentos, variando de 92,5% a 100%. A baixa ocorrência de mortalidade impossibilitou a aplicação de análise estatística inferencial, indicando, contudo, adequada segurança biológica das concentrações avaliadas e ausência de efeitos deletérios associados à suplementação dietética.

Quanto à conversão alimentar aparente (FCA), observaram-se variações discretas entre os tratamentos, sem padrão consistente de piora zootécnica. No primeiro ciclo, Canela-Cássia e *Lemongrass*, os valores permaneceram próximos ao Controle para Canela, enquanto o *Lemongrass* apresentou aumento numérico da FCA nas menores concentrações, sem reflexo negativo sobre a sobrevivência. No segundo ciclo, Eucalipto e Orégano, verificou-se tendência de melhor eficiência alimentar na concentração intermediária de Orégano (1 mL/kg), ao passo que o Eucalipto apresentou oscilações sem prejuízo produtivo evidente.

Em conjunto, os resultados reforçam que esses aditivos podem ser utilizados sem prejuízo à sobrevivência e com efeitos sutis sobre a conversão alimentar, particularmente para Canela, *Lemongrass* e Orégano em concentração intermediária, corroborando estudos que descrevem os óleos essenciais como aditivos seguros quando utilizados em níveis adequados, podendo atuar na modulação fisiológica, digestiva e imunológica, e não necessariamente em respostas produtivas diretas.

A Tabela 21 apresenta os valores médios de conversão alimentar aparente (FCA) e as taxas de sobrevivência observadas para os diferentes tratamentos com óleos essenciais nos dois ciclos experimentais.

Tabela 21 – Valores médios de conversão alimentar aparente (FCA) e sobrevivência nos Ciclos 1 e 2.

Óleo essencial	Concentração (mL/kg)	FCA média	Sobrevivência média (%)
Controle – Ciclo 1	0	0,99	97,5
Canela-Cássia	0,1	0,97	97,5
Canela-Cássia	1	1,00	95,0
Canela-Cássia	10	0,98	97,5
<i>Lemongrass</i>	0,1	1,14	92,5
<i>Lemongrass</i>	1	1,03	92,5
<i>Lemongrass</i>	10	1,05	95,0
Controle – Ciclo 2	0	1,15	95,0
Eucalipto	0,1	1,08	97,5
Eucalipto	1	1,23	92,5
Eucalipto	10	1,05	100,0
Orégano	0,1	1,05	100,0
Orégano	1	1,00	100,0
Orégano	10	1,04	97,5

Fonte: autoria própria.

5.9 Palatabilidade

Os testes de palatabilidade foram realizados de forma independente. Cada peixe foi avaliado separadamente, sendo a unidade experimental definida como o indivíduo, com cinco repetições por tratamento. Durante o ensaio, os animais foram transferidos para o aquário de teste de 15 L juntamente com a ração, sem estímulos prévios de condicionamento alimentar. A literatura descreve que mudanças bruscas no ambiente e no manejo podem induzir recusa alimentar em peixes, especialmente em testes de curta duração, nos quais o estresse agudo influencia o consumo de ração (Caderno *et al.*, 2024; Huntingford, 2020).

A análise estatística descritiva inicial dos dados de palatabilidade encontra-se apresentada na Tabela 22, a qual resume, por tratamento, o número de peixes avaliados, o consumo médio de *pellets* em cinco minutos (300 segundos) e o tempo médio de latência até o primeiro ataque alimentar.

Tabela 22 – Estatísticas descritivas dos ensaios de palatabilidade dos óleos essenciais.

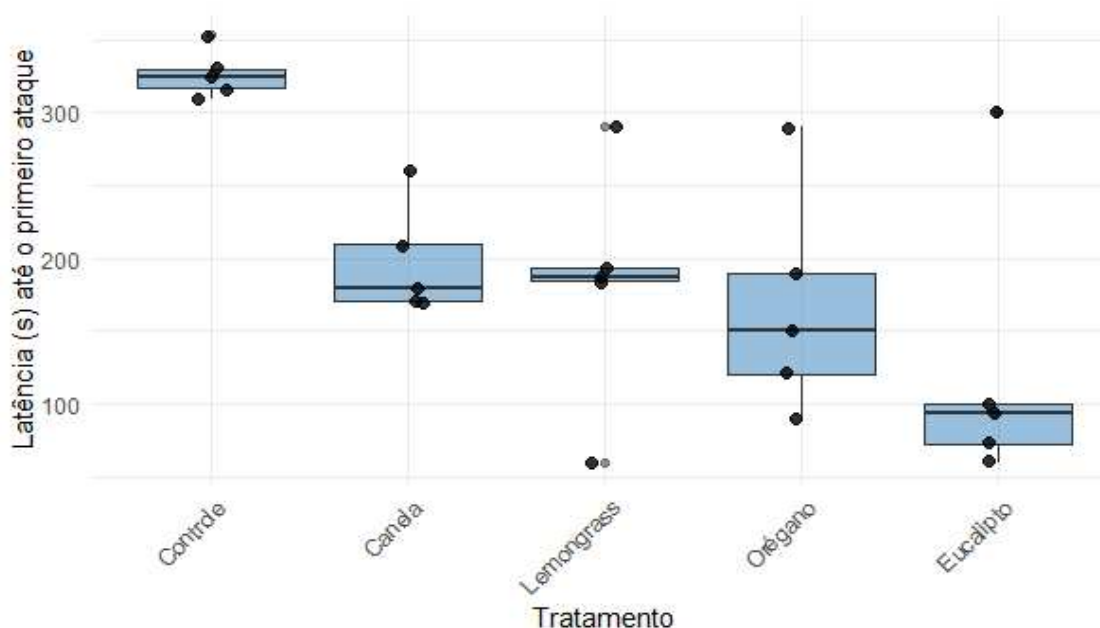
Tratamento	n	Média <i>pellets</i>	DP <i>pellets</i>	Média latência (s)	DP latência
Controle	5	18,2	3,77	327	16,4
Canela	5	19,0	6,52	198	38,3
<i>Lemongrass</i>	5	17,8	7,92	183	81,7
Orégano	5	18,4	9,86	168	77,6
Eucalipto	5	24,2	2,05	125	99,1

Legenda: Tratamento; *n* – número de repetições válidas; média de *pellets* consumidos; DP *pellets* – desvio-padrão da quantidade de *pellets* consumidos por repetição; média de latência (s); DP latência – desvio-padrão do tempo de latência até o primeiro ataque. Fonte: autoria própria.

Os ensaios evidenciaram diferenças marcantes no comportamento alimentar dos peixes em função dos tratamentos dietéticos, especialmente no que se refere à latência até o primeiro ataque alimentar. O grupo controle apresentou tempo superior a cinco minutos para iniciar o consumo da ração, caracterizando baixa aceitação inicial da dieta no intervalo avaliado. Esse padrão sugere que, na ausência de estímulos alimentares atrativos, os peixes demonstraram resistência inicial à ingestão da ração.

A Figura 25 ilustra claramente esse comportamento, demonstrando que os peixes alimentados com dietas contendo óleos essenciais iniciaram o consumo em tempo significativamente inferior ao observado no grupo controle.

Figura 25 – Distribuição da latência até o primeiro ataque por tratamento.

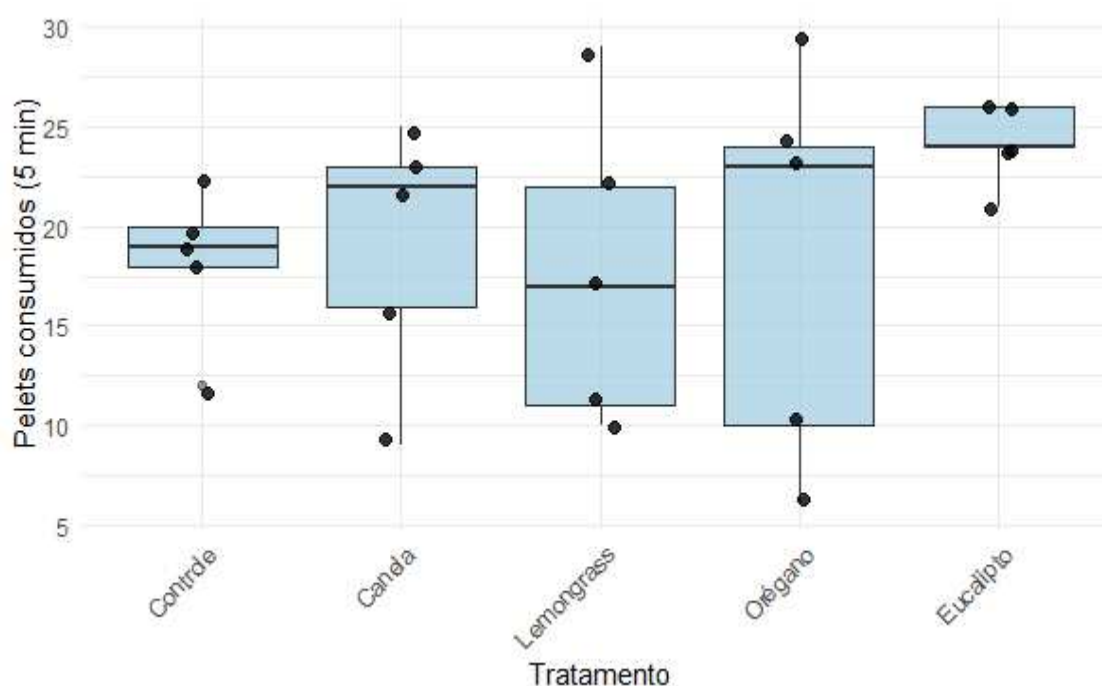


Legenda: As caixas representam o intervalo interquartil (Q1–Q3); a linha horizontal no interior das caixas indica a mediana; as linhas verticais indicam a variação dos dados até 1,5 vezes o intervalo interquartil; e os pontos representam valores individuais observados para cada tratamento, considerando a latência (em segundos) até o primeiro ataque. Fonte: autoria própria.

Esse resultado indica que os óleos essenciais atuaram como estímulos sensoriais positivos, capazes de atenuar o efeito do estresse inicial sobre o comportamento alimentar. De modo geral, observou-se que todos os tratamentos apresentaram consumo alimentar relevante dentro do tempo estabelecido, indicando ausência de rejeição total das dietas testadas. O número médio de *pellets* consumidos variou entre 17,8 e 24,2 unidades, com maior consumo médio observado para o tratamento contendo óleo essencial de Eucalipto. No entanto, os desvios-padrão associados ao consumo indicam elevada variabilidade individual, nos tratamentos com Canela, *Lemongrass* e Orégano.

Observa-se ampla sobreposição entre os tratamentos, corroborando a ausência de diferenças marcantes no consumo total de alimento durante o período de observação (Figura 26). A análise inferencial do número de *pellets* consumidos, apresentada na Tabela 23, não detectou efeito estatisticamente significativo dos tratamentos sobre o consumo alimentar ($p > 0,05$).

Figura 26 – Distribuição do número de *pellets* consumidos por tratamento.



Legenda: As caixas representam o intervalo interquartil (Q1–Q3); a linha horizontal no interior das caixas indica a mediana; as linhas verticais indicam a variação dos dados até 1,5 vezes o intervalo interquartil; e os pontos representam valores individuais observados para cada tratamento, considerando o número de *pellets* consumidos em 5 minutos. Fonte: autoria própria.

Tabela 23 – Análise de variância (ANOVA) para o número de *pellets* consumidos por juvenis de tilápia-do-Nilo submetidos a dietas suplementadas com óleos essenciais.

Fonte	GL	SQ	QM	F	p-valor
Tratamento	4	140,6	35,16	0,796	0,542
Resíduo	20	883,6	44,18		

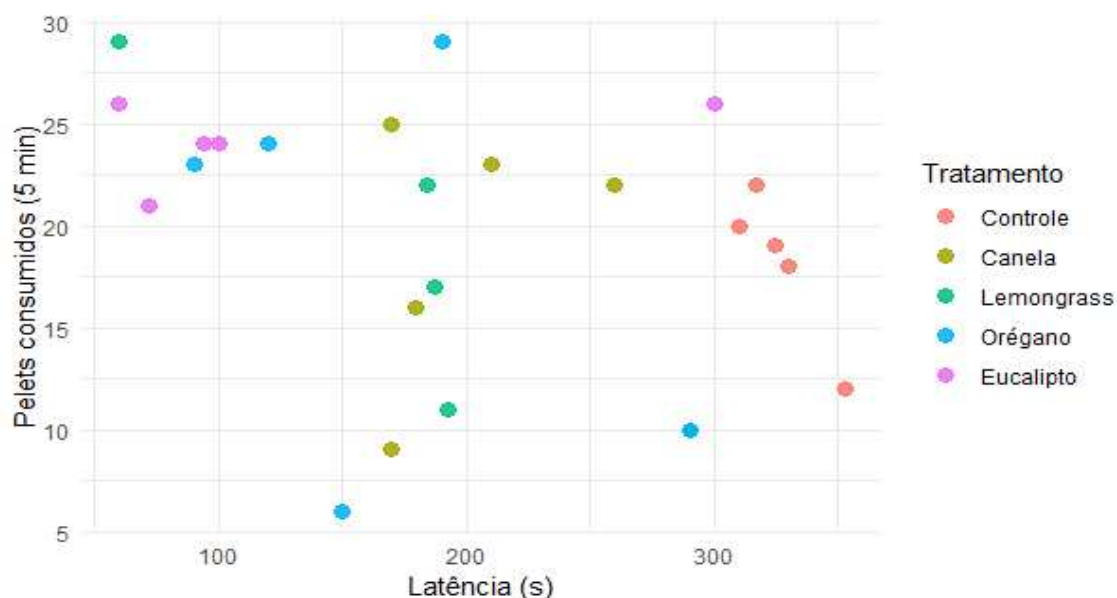
Legenda: GL – graus de liberdade; SQ – soma dos quadrados; QM – quadrado médio; F – valor do teste F. Fonte: autoria própria.

Segundo Kasumyan; Døving (2003) e Kotrschal (2000) estímulos olfativos e gustativos exercem papel central na ativação do comportamento alimentar em peixes, especialmente em situações de novidade ou estresse ambiental. Compostos voláteis presentes em óleos essenciais podem atuar como sinais químicos positivos, facilitando o reconhecimento do alimento e reduzindo o tempo necessário para o início da ingestão (Dawood *et al.*, 2022). Estudos clássicos demonstram que a latência alimentar constitui indicador mais sensível de palatabilidade do que o consumo total em ensaios de curta duração (Sánchez-Vázquez *et al.*, 1999).

Embora o número total de *pellets* consumidos não tenha diferido estatisticamente entre os tratamentos, a elevada latência observada no grupo controle sugere que o consumo reduzido nesse grupo foi consequência direta da baixa aceitação inicial da dieta. De acordo com Oikawa e March (1997) dietas de baixa palatabilidade não necessariamente reduzem o consumo total ao longo do tempo, mas estão associadas a um atraso no início da ingestão alimentar devido à menor atratividade dos compostos alimentares oferecidos.

A relação entre latência e consumo alimentar é ilustrada na Figura 27, na qual se observa tendência geral de associação negativa: indivíduos que iniciaram o consumo mais rapidamente tenderam a consumir maior número de *pellets*. Esse padrão, embora exploratório, reforça a interpretação integrada dos parâmetros comportamentais avaliados e sugere que a maior prontidão alimentar observada nos tratamentos com óleos essenciais pode estar associada ao efeito atrativo dos compostos voláteis presentes nas dietas experimentais.

Figura 27 – Relação entre latência e consumo alimentar.



Fonte: autoria própria.

A capacidade dos óleos essenciais em estimular o início do consumo alimentar também foi reportada por (Shourbela *et al.*, 2021) e (Ghafariarsani *et al.*, 2022), que associaram a presença de monoterpenos e fenóis à ativação de respostas sensoriais positivas, especialmente em condições de desafio fisiológico ou estresse. Esses autores destacam que o efeito atrativo dos óleos essenciais é particularmente relevante em sistemas intensivos, nos quais o estresse pode comprometer o comportamento alimentar e, conseqüentemente, o desempenho zootécnico.

Os tratamentos contendo óleos essenciais apresentaram latência menor em relação ao grupo controle, com destaque para os tratamentos com Eucalipto, Orégano e *Lemongrass*. Os resultados da análise inferencial da latência até o primeiro ataque (Tabela 24) demonstraram efeito significativo dos tratamentos ($p < 0,05$). As comparações múltiplas pós-hoc (Tabela 25) corroboraram esse padrão, identificando diferenças estatisticamente significativas principalmente entre o grupo controle e os tratamentos contendo óleos essenciais.

Tabela 24 – Análise de variância (ANOVA) para a latência até o primeiro ataque alimentar de juvenis de tilápia-do-Nilo submetidos a dietas suplementadas com óleos essenciais.

Fonte	GL	SQ	QM	F	p-valor
Tratamento	4	115238	28810	5,941	0,0026
Resíduo	20	96978	4849		

Legenda: GL – grau de liberdade; SQ – soma dos quadrados; QM – quadrado médio; F – valor do teste F. Fonte: autoria própria.

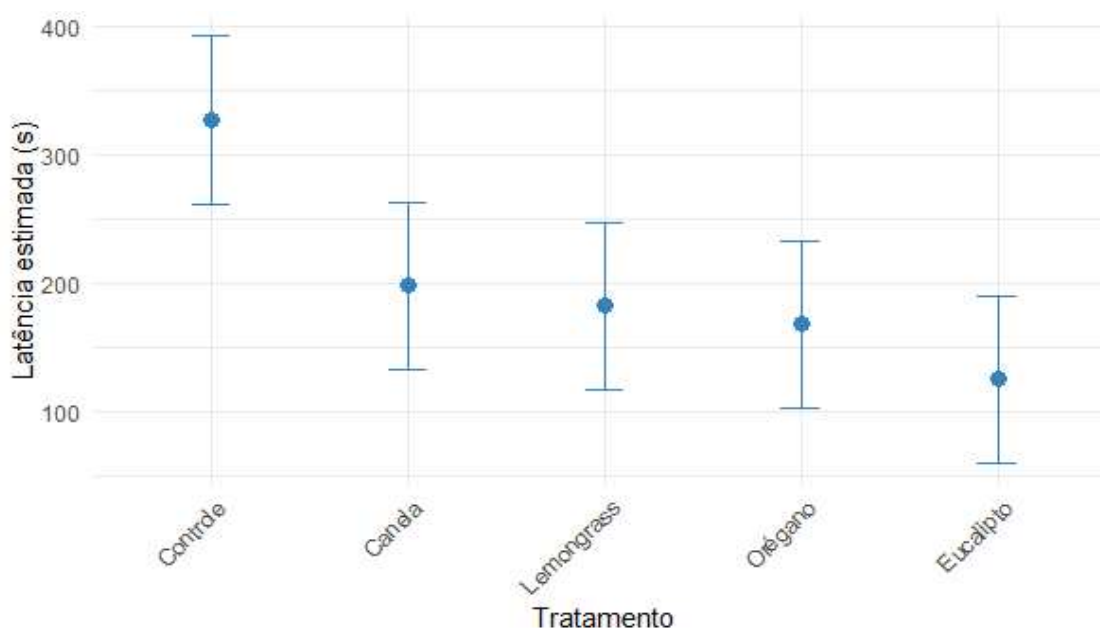
Tabela 25 – Comparações múltiplas entre tratamentos para a latência até o primeiro ataque alimentar de juvenis de tilápia-do-Nilo após análise pós-hoc.

Comparação	Valor p-ajustado
Controle vs Eucalipto	0,0063
Controle vs Orégano	0,0317
Controle vs <i>Lemongrass</i>	0,0602
Controle vs Canela	0,0635

Legenda: Valores de p inferiores a 0,05 indicam diferença estatisticamente significativa entre os tratamentos. Fonte: autoria própria.

As médias marginais estimadas da latência, ilustradas na Figura 28, reforçam essa interpretação, evidenciando redução progressiva do tempo até o primeiro ataque nos tratamentos com óleos essenciais quando comparados ao controle.

Figura 28 – Médias estimadas da latência por tratamento com intervalos de confiança.



Fonte: autoria própria.

De forma integrada, os resultados indicam que a suplementação com óleos essenciais não alterou significativamente a quantidade total de alimento consumido no curto período avaliado, mas influenciou o comportamento alimentar inicial dos peixes. A redução da latência até o primeiro ataque sugere maior atratividade e estímulo sensorial das dietas suplementadas, indicando efeito positivo sobre a palatabilidade e a aceitação imediata do alimento. Esse efeito é particularmente relevante do ponto de vista comportamental, pois a prontidão alimentar pode refletir na maior aceitação do alimento em condições de cultivo.

5.10 Análises histológicas

A análise histológica dos órgãos avaliados (estômago, fígado, baço e intestino) demonstrou, de forma geral, ausência de alterações morfológicas relevantes na maioria dos tratamentos.

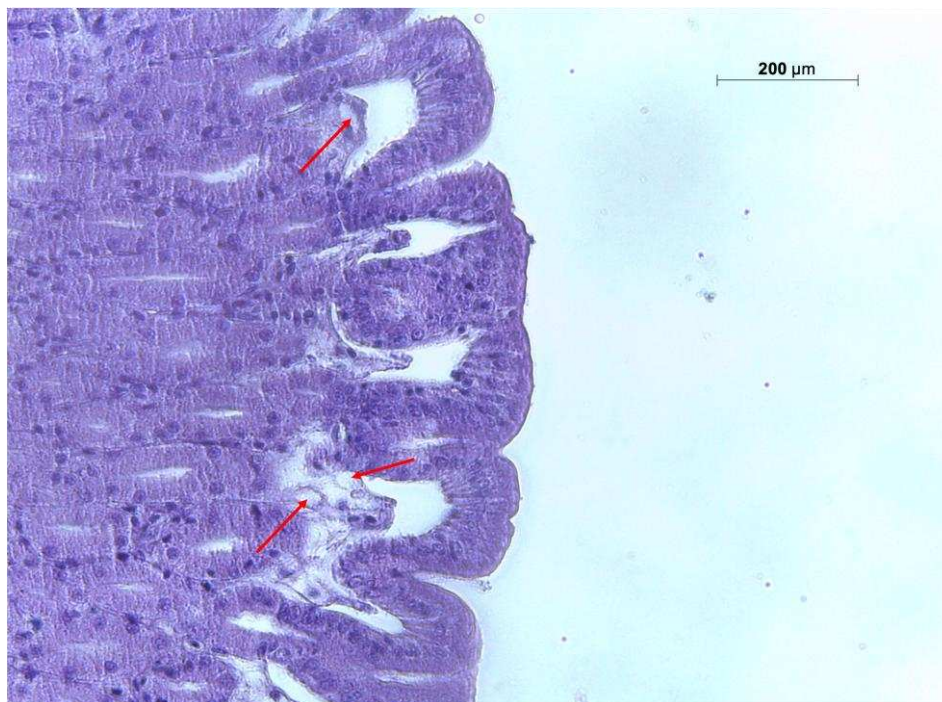
Nos órgãos fígado e baço, não foram observadas alterações histopatológicas em nenhum dos tratamentos avaliados, indicando que a suplementação com óleos essenciais, nas concentrações testadas, não promoveu efeitos tóxicos sistêmicos ou comprometimento tecidual.

No estômago, os tratamentos contendo óleo essencial de Orégano (ORE/0,1; ORE/1; ORE/10) apresentaram hiperplasia leve com infiltração linfocitária discreta em todas as concentrações avaliadas, compatíveis com estímulo dietético/proteico.

Os tratamentos com *Lemongrass*, por sua vez, apresentaram resposta mais evidente, caracterizada por hiperplasia leve na menor concentração (LEM/0,1), hiperplasia moderada/alta na concentração intermediária (LEM/1), e hiperplasia moderada com infiltração linfocitária discreta na maior concentração (LEM/10), também compatíveis com estímulo dietético/proteico.

Essas alterações são compatíveis com resposta adaptativa do tecido gástrico à presença de compostos bioativos na dieta, sem evidências de processo patológico severo (Hoseinifar *et al.*, 2019). A hiperplasia da mucosa pode estar relacionada ao aumento da atividade digestiva e à estimulação do epitélio gastrointestinal, enquanto a infiltração linfocitária discreta sugere ativação leve do sistema imune local, conforme descrito para compostos fitogênicos utilizados na aquicultura (Ghafariarsani *et al.*, 2022; Hoseinifar *et al.*, 2019 Firmino *et al.*, 2021) (Figuras 29, 30, 31, 32, 33 e 34).

Figura 29 – Alterações histológicas do estômago de tilápia-do-Nilo (*Oreochromis niloticus*) após 15 dias de alimentação suplementada com óleo essencial de *Lemongrass* a 0,1 mL/kg.



Legenda: Ciclo 1, tratamento LEM/0,1 (óleo essencial de *Lemongrass*, 0,1 mL/kg): observou-se hiperplasia leve da mucosa gástrica, associada à discreta infiltração linfocitária, compatível com resposta a estímulo dietético/proteico, sem caráter patológico. Fonte: autoria própria.

Figura 30 – Alterações histológicas do estômago de tilápia-do-Nilo (*Oreochromis niloticus*) após 15 dias de alimentação suplementada com óleo essencial de *Lemongrass* a 1 mL/kg.



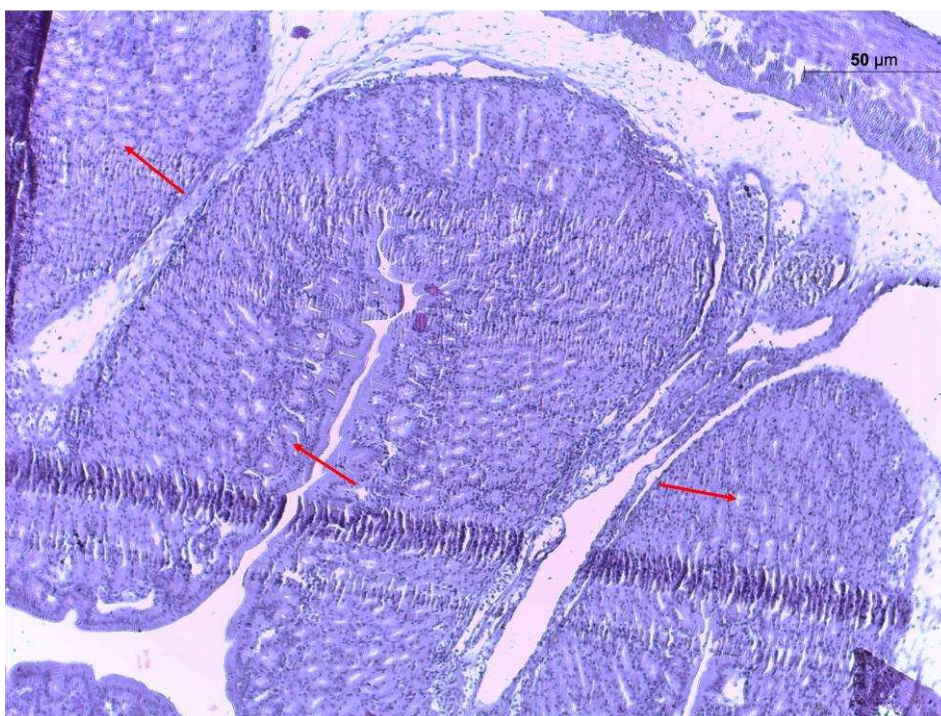
Legenda: Ciclo 1, tratamento LEM/1 (óleo essencial de *Lemongrass*, 1 mL/kg): observou-se hiperplasia moderada/alta da mucosa gástrica, associada à discreta infiltração linfocitária, compatível com resposta a estímulo dietético/proteico, sem caráter patológico. Fonte: autoria própria.

Figura 31 – Alterações histológicas do estômago de tilápia-do-Nilo (*Oreochromis niloticus*) após 15 dias de alimentação suplementada com óleo essencial de *Lemongrass* a 10 mL/kg.



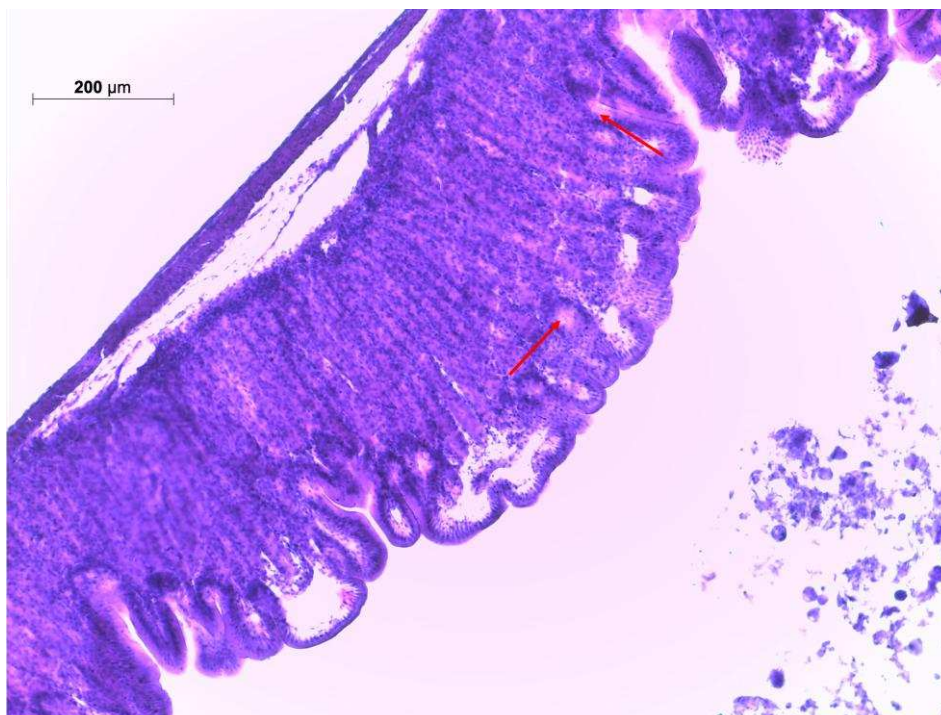
Legenda: Ciclo 1, tratamento LEM/10 (óleo essencial de *Lemongrass*, 10 mL/kg): observou-se hiperplasia moderada da mucosa gástrica, associada à discreta infiltração linfocitária, compatível com resposta a estímulo dietético/proteico, sem caráter patológico. Fonte: autoria própria.

Figura 322 – Alterações histológicas do estômago de tilápia-do-Nilo (*Oreochromis niloticus*) após 15 dias de alimentação suplementada com óleo essencial de Orégano a 0,1 mL/kg.



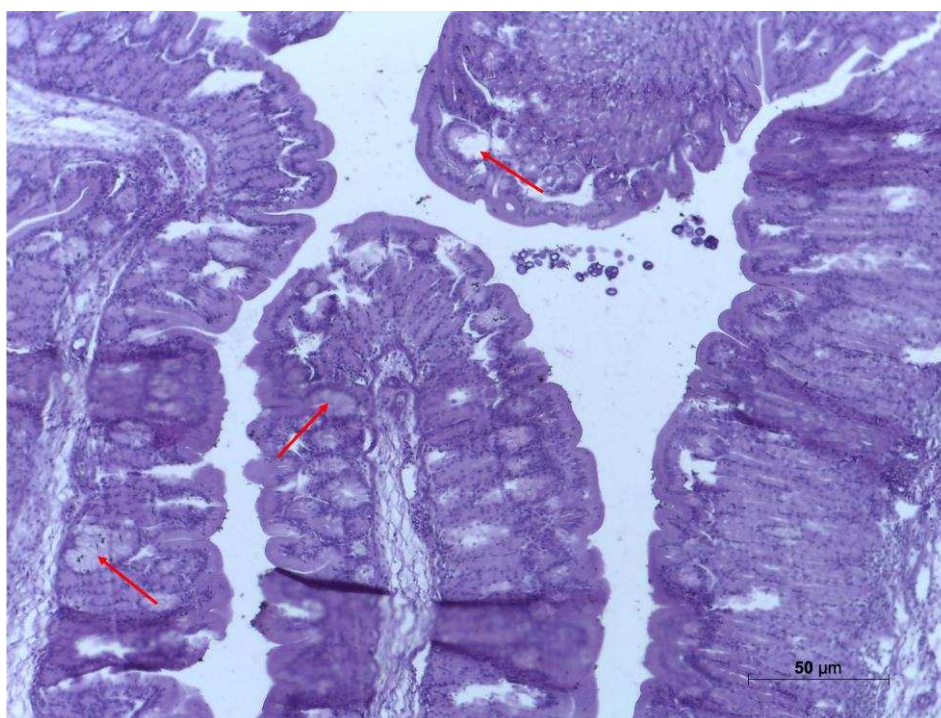
Legenda: Ciclo 2, tratamento ORE/0,1 (óleo essencial de Orégano, 0,1 mL/kg): observou-se hiperplasia leve da mucosa gástrica, associada à discreta infiltração linfocitária, compatível com resposta a estímulo dietético/proteico, sem caráter patológico. Fonte: autoria própria.

Figura 33 – Alterações histológicas do estômago de tilápia-do-Nilo (*Oreochromis niloticus*) após 15 dias de alimentação suplementada com óleo essencial de Orégano a 1 mL/kg.



Legenda: Ciclo 2, tratamento ORE/1 (óleo essencial de Orégano, 1 mL/kg): observou-se hiperplasia leve da mucosa gástrica, associada à discreta infiltração linfocitária, compatível com resposta a estímulo dietético/proteico, sem caráter patológico. Fonte: autoria própria.

Figura 34 – Alterações histológicas do estômago de tilápia-do-Nilo (*Oreochromis niloticus*) após 15 dias de alimentação suplementada com óleo essencial de Orégano a 10 mL/kg.



Legenda: Ciclo 2, tratamento ORE/10 (óleo essencial de Orégano, 10 mL/kg): observou-se hiperplasia leve da mucosa gástrica, associada a discreta infiltração linfocitária, compatível com resposta a estímulo dietético/proteico, sem caráter patológico. Fonte: autoria própria.

No intestino, observou-se preservação geral da arquitetura tecidual, com discreta compactação das vilosidades nas concentrações média e alta (EUC/1 e EUC/10) de óleo essencial de Eucalipto. Essa alteração sugere resposta adaptativa da mucosa intestinal à exposição aos compostos aromáticos, sem comprometimento da integridade epitelial ou presença de alterações inflamatórias relevantes. Modificações morfológicas dessa natureza têm sido associadas a ajustes funcionais da superfície absorptiva e à interação com a microbiota intestinal (Ringø *et al.*, 2016) (Figuras 36 e 36).

Figura 35 – Alterações histológicas do intestino de tilápia-do-Nilo (*Oreochromis niloticus*) após 15 dias de alimentação suplementada com óleo essencial de Eucalipto a 1 mL/kg.



Legenda: Intestino com morfologia preservada, apresentando vilosidades mais compactadas no tratamento com óleo essencial de Eucalipto 1 mL/kg (EUC/1) no Ciclo 2. Fonte: autoria própria.

Figura 36 – Alterações histológicas do intestino de tilápia do Nilo (*Oreochromis niloticus*) após 15 dias de alimentação suplementada com óleo essencial de Eucalipto a 10 mL/kg.



Legenda: Intestino com morfologia preservada, apresentando vilosidades mais compactadas no tratamento com óleo essencial de Eucalipto 10 mL/kg (EUC/10) no Ciclo 2. Fonte: autoria própria.

No Apêndice A encontram-se as demais imagens histológicas referentes aos tratamentos avaliados. De forma geral, os resultados indicam que os óleos essenciais são seguros do ponto de vista morfológico, sendo as alterações observadas no estômago compatíveis com respostas adaptativas e funcionais, sem evidências de efeitos tóxicos.

Assim, os resultados de palatabilidade, associados às evidências histológicas, sustentam a hipótese de que os óleos essenciais avaliados atuaram como aditivos funcionais, promovendo maior prontidão alimentar e respostas adaptativas do trato digestório, especialmente sob condições de estresse experimental.

6. CONCLUSÃO

Observou-se efeito positivo da suplementação com óleos essenciais sobre o desempenho zootécnico em concentrações intermediárias (1 mL/kg), reforçando a existência de um intervalo ótimo de inclusão. Dentre os óleos avaliados, o óleo essencial de Canela-Cássia, particularmente na concentração de 1 mL/kg (CAN/1), destacou-se como o tratamento de melhor desempenho geral, apresentando maior estabilidade produtiva e ausência de alterações histológicas relevantes.

O Orégano destacou-se pelos efeitos funcionais sobre a palatabilidade e o comportamento alimentar, associados a respostas adaptativas leves e consistentes no trato digestório, enquanto o Eucalipto apresentou efeitos mais discretos, relacionados principalmente à aceitação inicial das dietas. O *Lemongrass* destacou-se pelo potencial de incremento no crescimento, associado a respostas histológicas adaptativas mais evidentes no estômago, compatíveis com estímulo dietético e sem caráter patológico.

A suplementação com óleos essenciais mostrou-se biologicamente segura para juvenis de tilápia-do-Nilo, sem prejuízos à sobrevivência, à integridade tecidual ou à qualidade da água. As alterações histológicas identificadas foram discretas ou ausentes, conforme o órgão analisado, sendo compatíveis com adaptações morfofisiológicas ao estímulo dietético e sem caráter patológico.

De forma geral, os óleos essenciais avaliados apresentaram potencial como aditivos funcionais e atrato-palatabilizantes na tilapicultura, especialmente em fases iniciais de cultivo, favorecendo o desempenho produtivo, a aceitação das dietas e a resposta fisiológica dos peixes. Estudos futuros com maior tempo de suplementação e protocolos de desafio sanitário são recomendados para aprofundar a compreensão de seus efeitos sobre o desempenho zootécnico, parâmetros hematológicos e sanidade dos peixes.

REFERÊNCIAS

- ABBEY, Lawrence *et al.* Nutrient content of fish powder from low value fish and fish byproducts. **Food Science & Nutrition**, v. 5, n. 3, p. 374–379, 2017.
- ABDEL-TAWWAB, Mohsen *et al.* The Ameliorative Effects of Dietary Rosemary (*Rosmarinus officinalis*) Against Growth Retardation, Oxidative Stress, and Immunosuppression Induced by Waterborne Lead Toxicity in Nile Tilapia Fingerlings. **Annals of Animal Science**, v. 24, n. 1, p. 139-149, 2024.
- AGUIAR, Gustavo *et al.* Effects of Dietary Peppermint (*Mentha piperita*) Essential Oil on Growth Performance, Plasma Biochemistry, Digestive Enzyme Activity, and Oxidative Stress Responses in Juvenile Nile Tilapia (*Oreochromis niloticus*). **Fishes**, v. 8, n. 7, p. 374, 2023.
- APHA, American Public Health Association. Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater. **Washington, D.C**, n. 20, 1998.
- BALAHBIB, Abdelaali *et al.* Health beneficial and pharmacological properties of p-cymene. **Food and Chemical Toxicology**, v. 153, p. 112259, 2021.
- BANDEIRA JUNIOR, Guerino *et al.* The Use of Cinnamon Essential Oils in Aquaculture: Antibacterial, Anesthetic, Growth-Promoting, and Antioxidant Effects. **Fishes**, v. 7, n. 3, p. 133, 2022.
- BAUMGARTNER, L. A. *et al.* Lemongrass essential oil (*Cymbopogon flexuosus*) as a dietary additive in Nile tilapia (*Oreochromis niloticus*). **Arquivo Brasileiro de Medicina Veterinária e Zootecnia**, v. 78, n. 1, p. e13589, 2026.
- BONA, Alliny Magalhães *et al.* Enhancing anesthesia and minimizing toxicity: evaluation of clove, Cinnamon, and tea tree essential oils in Nile tilapia (*Oreochromis niloticus*). **Aquaculture International**, v. 32, n. 5, p. 6691-6706, 2024.
- BOYD, Claude E.; TUCKER, Craig S. Ecology of aquaculture ponds. In: Pond aquaculture water quality management. p. 87-153, 1998.
- BRASIL. Lei nº 11.959, Art. 2º, inciso II. Diário Oficial da União. . 29 jun. 2009, p. 9. 2009.
- BRASIL. Decreto nº 9.013, Art. 205. Diário Oficial da União. . 29 mar. 2017, p. 76, 2017.
- BRASIL, Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. **Plano nacional de desenvolvimento da aquicultura – PNDA**. Brasília, DF: Carolina Mendes Costa coord. Bruno Machado Queiroz [et al.]. Departamento de Ordenamento e Desenvolvimento da Aquicultura, 2022.

BREGNBALLE, Jacob. **A guide to recirculation aquaculture – An introduction to the new environmentally friendly and highly productive closed fish farming systems**. Rome: FAO and EUROFISH International Organisation, 2022.

BRUM, Aline *et al.* Effect of dietary essential oils of clove basil and ginger on Nile tilapia (*Oreochromis niloticus*) following challenge with *Streptococcus agalactiae*. **Aquaculture**, v. 468, p. 235–243, fev. 2017.

CADERNO, Anyell *et al.* Short-term starvation and refeeding in the greater amberjack (*Seriola dumerili*, Risso 1810): New insights on physiological and metabolic traits. **Aquaculture Reports**, v. 39, p. 102403, 2024.

CARDOSO, Alex Júnio Da Silva *et al.* Ginger oil, *Zingiber officinale*, improve palatability, growth and nutrient utilisation efficiency in Nile tilapia fed with excess of starch. **Animal Feed Science and Technology**, v. 272, p. 114756, 2021.

DALBEM BARBOSA, Ana Paula *et al.* From Feed to Fish - Nutrients' Fate in Aquaculture Systems. **Applied Sciences**, v. 14, n. 14, p. 6056, 2024.

DAWOOD, Mahmoud A. O. *et al.* Menthol essential oil is a practical choice for intensifying the production of Nile tilapia (*Oreochromis niloticus*): Effects on the growth and health performances. **Aquaculture**, v. 543, p. 737027, 2021.

DAWOOD, Mahmoud A. O. *et al.* Exploring the Roles of Dietary Herbal Essential Oils in Aquaculture: A Review. **Animals**, v. 12, n. 7, p. 823, 2022.

EBELING, James M.; TIMMONS, Michael B. Recirculating Aquaculture Systems. *In*: TIDWELL, James H. (Org.). **Aquaculture Production Systems**. 1. ed. [S.l.]: Wiley, p. 245-277, 2012.

FAO, Food and Agriculture Organization of the United Nations. **Aquaculture development. 8. Recommendations for prudent and responsible use of veterinary medicines in aquaculture**. Rome: FAO. Technical Guidelines for Responsible Fisheries. n° 5. Suppl. 8, 2019.

FAO, Food and Agriculture Organization of the United Nations (ORG.). **Towards blue transformation**. Rome: FAO, 2022.

FAO, Food and Agriculture Organization of the United Nations. **The State of World Fisheries and Aquaculture 2024**. [S.l.]: FAO, 2024.

FERRI, Lucimary Soromenho; ROCHA, Wathaanderson de Souza; BRAZ FILHO, Manuel dos Santos Pires. Tendências e tecnologias sustentáveis na aquicultura: recirculação, aquaponia e bioflocos. **Incaper em Revista**, v. 9, p. 66-78, 2018.

FIGUEIREDO, Cristiane Santos Silva E. Silva *et al.* Óleo essencial da Canela (Cinamaldeído) e suas aplicações biológicas. **Revista de Investigação Biomédica**, v. 9, n. 2, p. 192, 2018.

FIRMINO, Joana P. *et al.* Phytogetic Bioactive Compounds Shape Fish Mucosal Immunity. **Frontiers in Immunology**, v. 12, p. 695973, 2021.

FRACALOSSO, Débora Machado; CYRINO, Jose Eurico Possebon. **Nutriaqua: nutrição e alimentação de espécies de interesse para a aquicultura brasileira**. 1ª edição ampliada. Florianópolis: Sociedade Brasileira de Aquicultura e Biologia Aquática, 2013.

FROTA, Rebeca *et al.* Effects of thymol:carvacrol association on health and zootechnical performance of tambaqui *Colossoma macropomum*. **Boletim do Instituto de Pesca**, v. 48, 2022.

FURUYA, Wilson Massamitu *et al.* **Tabelas brasileiras para nutrição de tilápias**. [S.l.]: GFM Gráfica e Editora Ltda ME, 2010.

GARCIA, Baltasar F. *et al.* Genetic selection for resistance to *Francisella orientalis* shows significant selection response in Nile tilapia. **Aquaculture**, v. 606, p. 742584, 2025.

GHAJARIFARSANI, Hamed *et al.* The Effects of Dietary Thyme Oil (*Thymus vulgaris*) Essential Oils for Common Carp (*Cyprinus carpio*): Growth Performance, Digestive Enzyme Activity, Antioxidant Defense, Tissue and Mucus Immune Parameters, and Resistance against *Aeromonas hydrophila*. **Aquaculture Nutrition**, v. 2022, p. 1-13, 2022.

GÜNDEL, Samanta Da Silva *et al.* Nanoemulsions containing *Cymbopogon flexuosus* essential oil: Development, characterization, stability study and evaluation of antimicrobial and antibiofilm activities. **Microbial Pathogenesis**, v. 118, p. 268-276, 2018.

HEJNA, Monika *et al.* Mint Oils: In Vitro Ability to Perform Anti-Inflammatory, Antioxidant, and Antimicrobial Activities and to Enhance Intestinal Barrier Integrity. **Antioxidants**, v. 10, n. 7, p. 1004, 2021.

HOSEINIFAR, S. H. *et al.* Feed additives, gut microbiota, and health in finfish aquaculture. In: **Microbial communities in aquaculture ecosystems: Improving productivity and sustainability**, p. 121-142, 2019.

HUANG, Ming *et al.* Optimizing feeding frequencies in fish: A meta-analysis and machine learning approach. **Aquaculture**, v. 595, p. 741678, 2025.

HUNTINGFORD, Felicity A. Fish Behaviour: Determinants and Implications for Welfare. In: KRISTIANSEN, Tore S. *et al.* (Orgs.). **The Welfare of Fish**. Animal Welfare. Cham: Springer International Publishing, v. 20 p. 73-110, 2020.

IBGE, Instituto. **Produção pecuária municipal 2024 (PPM)**. Rio de Janeiro: Sistema IBGE de Recuperação Automática (SIDRA), 2026. Disponível em: <<https://sidra.ibge.gov.br/tabela/3940>>. Acesso em: 1 mar. 2026.

IBGE, Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Produção pecuária municipal 2024 (PPM)**. Rio de Janeiro: IBGE, v. 52, p. 1-12, 2024. Disponível em: <<https://biblioteca.ibge.gov.br/index.php/biblioteca-catalogo?view=detalhes&id=784>>. Acesso em: 1 jan. 2026.

IMLANI, Ainulyakin Hasan *et al.* Evaluation of the effects of dietary cinnamaldehyde on growth and nutrient use in Nile Tilapia (*Oreochromis niloticus*). **Aquaculture Reports**, v. 36, p. 102125, 2024.

KASUMYAN, Alexander O.; DØVING, Kjell B. Taste preferences in fishes. **Fish and Fisheries**, v. 4, n. 4, p. 289-347, 2003.

KHALLAF, M. A. *et al.* The beneficial impact of oregano essential oil supplementation on growth, physiological function, antioxidant activity, and immune response in Nile tilapia (*Oreochromis niloticus*) fingerlings under *Aeromonas hydrophila* stress. **Open Veterinary Journal**, v. 3, n. 15, p. 1, 2025.

KORNI, Fatma M. M.; MOHAMMED, Asmaa N.; MOAWAD, Usama K. Using some natural essential oils and their nano-emulsions for ammonia management, anti-stress and prevention of streptococcosis in Nile tilapia, *Oreochromis niloticus*. **Aquaculture International**, v. 31, n. 4, p. 2179-2198, 2023.

KOTRSCHAL, Kurt. Taste(s) and olfaction(s) in fish: a review of specialized sub-systems and central integration. **Pflügers Archiv - European Journal of Physiology**, v. 439, n. S1, p. r178–r180, 2000.

KUBITZA, Fernando. Tilápia: um bom planejamento gera alta rentabilidade. **Panorama da Aquicultura**, v. 10, n. 59, p. 11, 2000.

KUBITZA, Fernando. A evolução da tilapicultura no Brasil: produção e mercado. **Panorama da Aquicultura**, v. 13, n. 76, 2003.

KUBITZA, Fernando. “Off-flavor” no Pescado: um desafio que exige constante atenção no manejo e controle. **Panorama da Aquicultura**, v. 30, n. 181, p. 18-23, 2021.

KUSI, Isaac Osei; OBIRIKORANG, Kwasi Adu; ADJEI-BOATENG, Daniel. Effects of Phytobiotic *Curcuma longa*, *Allium sativum* and *Zingiber officinale*-Supplemented Diets on Growth, Utilisation of Feed and Nile Tilapia (*Oreochromis niloticus*) Resistance Against *Streptococcus agalactiae*. **Aquaculture Research**, v. 2025, n. 1, 2025.

LIANG, Qingping *et al.* Application of enzymes as a feed additive in aquaculture. **Marine Life Science & Technology**, v. 4, n. 2, p. 208-221, 2022.

LIN, Ziyang *et al.* Effects of Eucalyptus Essential Oil on Growth, Immunological Indicators, Disease Resistance, Intestinal Morphology and Gut Microbiota in *Trachinotus ovatus*. **Microorganisms**, v. 13, n. 3, p. 537, 2025.

LIU, Xiaoli *et al.* Effect of cinnamon essential oil dietary supplementation on the growth, fatty acid composition, and meat quality of tilapia. **Journal of Food Science**, v. 88, n. 12, p. 5266-5277, 2023.

LOPES, I. G.; OLIVEIRA, R. G.; RAMOS, F. M. Perfil do Consumo de Peixes pela População Brasileira. **Biota Amazônia**, v. 6, n. 2, p. 62-65, 2016.

MA, Yao-Bin *et al.* Tea polyphenols protect against *Flavobacterium columnare*-induced gill injury via suppression of oxidative stress, inflammation, and apoptosis in grass carp. **International Journal of Biological Macromolecules**, v. 254, p. 127050, 2024.

MABROK, Mahmoud Abd Elaziz; WAHDAN, Ali. The immune modulatory effect of oregano (*Origanum vulgare L.*) essential oil on Tilapia zillii following intraperitoneal infection with *Vibrio anguillarum*. **Aquaculture International**, v. 26, n. 4, p. 1147-1160, 2018.

MACKINNON, Brett *et al.* Improving tilapia biosecurity through a value chain approach. **Reviews in Aquaculture**, v. 15, n. S1, p. 57-91, 2023.

MAGOUZ, Fawzy I. *et al.* A blend of herbal essential oils enhanced the growth performance, blood bio-immunology traits, and intestinal health of Nile tilapia (*Oreochromis niloticus*). **Annals of Animal Science**, v. 22, n. 2, p. 751-761, 2022a.

MAGOUZ, Fawzy I. *et al.* The effects of dietary oregano essential oil on the growth performance, intestinal health, immune, and antioxidative responses of Nile tilapia under acute heat stress. **Aquaculture**, v. 548, p. 737632, 2022b.

MELVIN, Steven D. *et al.* Towards improved behavioural testing in aquatic toxicology: Acclimation and observation times are important factors when designing behavioural tests with fish. **Chemosphere**, v. 180, p. 430-436, 2017.

MENESES, J. O. *et al.* Efficacy of *Ocimum gratissimum* essential oil against the monogenean *Cichlidogyrus tilapiae* gill parasite of Nile tilapia. **Arquivo Brasileiro de Medicina Veterinária e Zootecnia**, v. 70, n. 2, p. 497-504, 2018.

MISHRA, Surya Prakash. Significance of fish nutrients for human health. **International Journal of Fisheries and Aquatic Research**, v. 5, n. 3, p. 47-49, 2020.

MOHAMED, Hams M. A. *et al.* Detection of aflatoxin-producing fungi isolated from Nile tilapia and fish feed. **EXCLI Journal**, v. 16, p. 1308, 2017.

MUGWANYA, Muziri *et al.* Updating the Role of Probiotics, Prebiotics, and Synbiotics for Tilapia Aquaculture as Leading Candidates for Food Sustainability: a Review. **Probiotics and Antimicrobial Proteins**, v. 14, n. 1, p. 130-157, 2022.

NASEER, Adeeba *et al.* Advancing Aquaculture Integrating Microbiome Modulation, Immunomodulatory Approaches, and Mitigating Environmental Stressors in Nile Tilapia Farming. **Indus Journal of Bioscience Research**, v. 2, n. 2, p. 1233–1244, 31 dez. 2024.

NOBILE, André B. *et al.* Status and recommendations for sustainable freshwater aquaculture in Brazil. **Reviews in Aquaculture**, v. 12, n. 3, p. 1495-1517, 2019.

OIKAWA, C. K.; MARCH, B. E. Communications: A Method for Assessment of the Efficacy of Feed Attractants for Fish. **The Progressive Fish-Culturist**, v. 59, n. 3, p. 213-217, 1997.

OMS, World Health Organization. **Global action plan on antimicrobial resistance**. Geneva: World Health Organization, 2015.

ONU. **World Population Prospects 2024: summary of results**. S.I.: United Nations, 2024.

PANDEY, Vandana *et al.* Clinical signs, lethal dose and histopathological lesions in grass carp, *Ctenopharyngodon idella* experimentally infected with *Edwardsiella tarda*. **Microbial Pathogenesis**, v. 161, p. 105292, 2021.

PEIXE BR. **Anuário Peixe BR da Piscicultura 2025**. São Paulo, SP: Associação Brasileira da Piscicultura, 2025. Disponível em: <peixebr.com.br>. Acesso em: 1 jan. 2026.

PEREIRA, M. O. *et al.* Supplementation of *Curcuma longa* hydrolate improves immunomodulatory response in Nile tilapia reared in a recirculation aquaculture system. **Arquivo Brasileiro de Medicina Veterinária e Zootecnia**, v. 72, n. 5, p. 1805–1812, 2020.

PILARSKI, Fabiana *et al.* Plant-Derived Feed Additive Improves Resistance to *Francisella Orientalis* Infection in Nile Tilapia and Reduce the Bacterial Persistence. **Available at SSRN 5010143**, p. 55, 2024.

PUDOTA, Bala Akhila *et al.* Exploring the perspectives of phytobiotics and their role in aquaculture: Present status and future trends. **The Microbe**, v. 8, p. 100496, 2025.

REZENDE, Renata Antunes Estaiano de *et al.* Phytobiotics blend as a dietary supplement for Nile tilapia health improvement. **Fish & Shellfish Immunology**, v. 114, p. 293-300, 2021.

RINGØ, E. *et al.* Effect of dietary components on the gut microbiota of aquatic animals. A never-ending story? **Aquaculture Nutrition**, v. 22, n. 2, p. 219-282, 2016.

RODRIGUES, Karisson dos Santos; SILVA, Josenildo de Souza e. Análise econômico-financeira da tecnologia de berçário aquícola em sistema de recirculação de água. Monografia - Parnaíba: Universidade Federal do Delta do Parnaíba – UFDPAr, 2021.

SÁ, Marcelo. **Limnocultura: Limnologia para aquicultura**. 2. ed. São Paulo, SP: Editora Edgard Blucher, 2023.

SAINT-PAUL, Ulrich. Native fish species boosting Brazilian's aquaculture development. **Acta of Fisheries and Aquatic Resources**, v. 5, n. 1, p. 1-9, 2017.

SÁNCHEZ-VÁZQUEZ, F. J. *et al.* Macronutrient Self-Selection Through Demand-Feeders in Rainbow Trout. **Physiology & Behavior**, v. 66, n. 1, p. 45-51, 1999.

SCHULTER, Eduardo Pickler; VIEIRA FILHO, José Eustáquio Ribeiro. Desenvolvimento e potencial da tilapicultura no Brasil. **Revista de Economia e Agronegócio**, v. 16, n. 2, p. 177-201, 2018.

SHARMA, Sandeep *et al.* Chemical Properties and Therapeutic Potential of Citral, a Monoterpene Isolated from *Lemongrass*. **Medicinal Chemistry**, v. 17, n. 1, p. 2-12, 29 dez. 2020.

SHOURBELA, Ramy M. *et al.* Oregano essential oil enhanced the growth performance, immunity, and antioxidative status of Nile tilapia (*Oreochromis niloticus*) reared under intensive systems. **Aquaculture**, v. 542, p. 736868, 2021.

SILVA, Leyciane Tayana de Souza *et al.* Hemato-immunological and zootechnical parameters of Nile tilapia fed essential oil of *Mentha piperita* after challenge with *Streptococcus agalactiae*. **Aquaculture**, v. 506, p. 205-211, 2019.

SIQUEIRA, Tagore Villarim de. Aquicultura: a nova fronteira para produção de alimentos de forma sustentável. v. 25, n. 49, p. 119-170, 2018.

SIQUEIRA, Raphael Pereira *et al.* Viabilidade econômica da produção da tilápia do Nilo como atividade secundária em propriedades rurais no Estado do Rio de Janeiro. **Research, Society and Development**, v. 10, n. 2, p. e38010212502, 2021.

SOARES, Karoline Mikaelle de Paiva; GONÇALVES, Alex Augusto. Qualidade e segurança do pescado. **Revista Instituto Adolfo Lutz**, v. 71, n. 1, p. 1-10, 2012.

SOUZA, Elizângela M. De *et al.* *Cymbopogon flexuosus* essential oil as an additive improves growth, biochemical and physiological responses and survival against *Aeromonas hydrophila* infection in Nile tilapia. **Anais da Academia Brasileira de Ciências**, v. 92, n. suppl 1, 2020.

SUBASINGHE, Rohana *et al.* Biosecurity: Reducing the burden of disease. **Journal of the World Aquaculture Society**, v. 54, n. 2, p. 397-426, 2023.

TERRAZAS-PINEDA, Karen A. *et al.* Antimicrobial Activity of Cinnamon, Tea Tree, and Thyme Essential Oils Against Pathogenic Bacteria Isolated from Tilapia (*Oreochromis* spp.) in Aquaculture Farms. **Molecules**, v. 30, n. 13, p. 2799, 2025.

VALDIVIESO-UGARTE, Magdalena *et al.* Antimicrobial, Antioxidant, and Immunomodulatory Properties of Essential Oils: A Systematic Review. **Nutrients**, v. 11, n. 11, p. 2786, 2019.

VALENTI, Wagner C. *et al.* Aquaculture in Brazil: past, present and future. **Aquaculture Reports**, v. 19, p. 100611, 2021.

VALLADÃO, Gustavo M. R. *et al.* Practical diets with essential oils of plants activate the complement system and alter the intestinal morphology of Nile tilapia. **Aquaculture Research**, v. 48, n. 11, p. 5640-5649, 2017.

VARGAS, Bruna Krieger; CARDOSO, Susana. Avaliação Microbiológica, Físico-Química e Sensorial de Filés de Traíra (*Hoplias Malabaricus*) Comercializados na 236ª Feira do Peixe De Porto Alegre - RS. Porto Alegre: Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 2017.

WANG, Bei *et al.* Strategies to enhance tilapia immunity to improve their health in aquaculture. **Reviews in Aquaculture**, v. 15, n. S1, p. 41–56, 2023.

WEI, Tingyu *et al.* Nitrite-induced intestinal injury mechanisms and multi-organ toxicity in Tilapia: Insights from integrated multi-omics analysis. **Aquaculture**, v. 609, p. 742961, 2025.

YOUSEFI, Morteza *et al.* Effects of Laurus nobilis essential oil nano-particles on growth performance, antioxidant and immune responses to bacterial infection in Nile tilapia, *Oreochromis niloticus*. **Aquaculture**, v. 596, p. 741821, 2025.

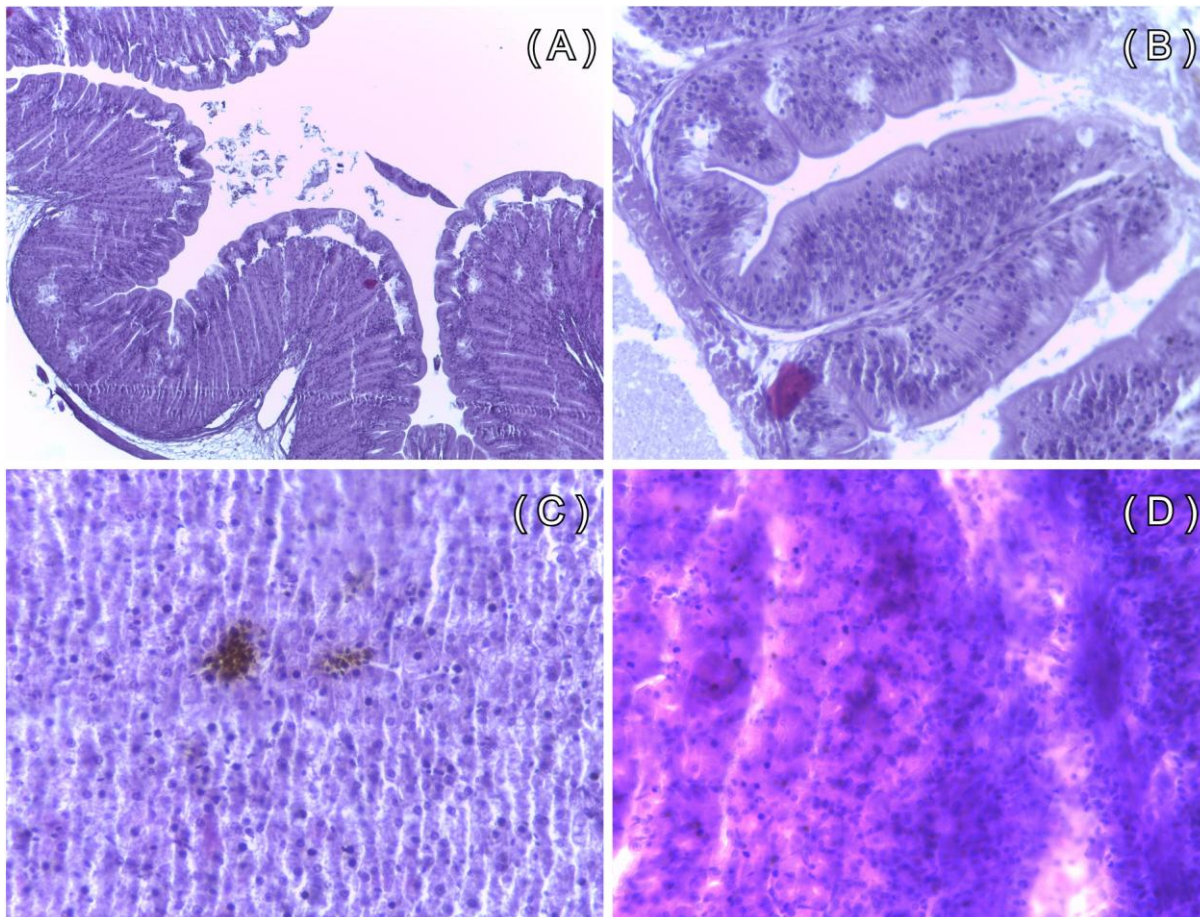
ZAMINHAN-HASSEMER, Micheli *et al.* Adding an essential oil blend to the diet of juvenile Nile tilapia improves growth and alters the gut microbiota. **Aquaculture**, v. 560, p. 738581, 2022.

ZENG, Xiangbing *et al.* Mechanisms of *Amomum villosum* essential oil in enhancing tilapia (*Oreochromis niloticus*) intestinal health. **Aquaculture Reports**, v. 39, p. 102451, 2024.

ZHANG, R. *et al.* Dietary oregano essential oil improved the immune response, activity of digestive enzymes, and intestinal microbiota of the koi carp, *Cyprinus carpio*. **Aquaculture**, v. 518, p. 734781, 2020.

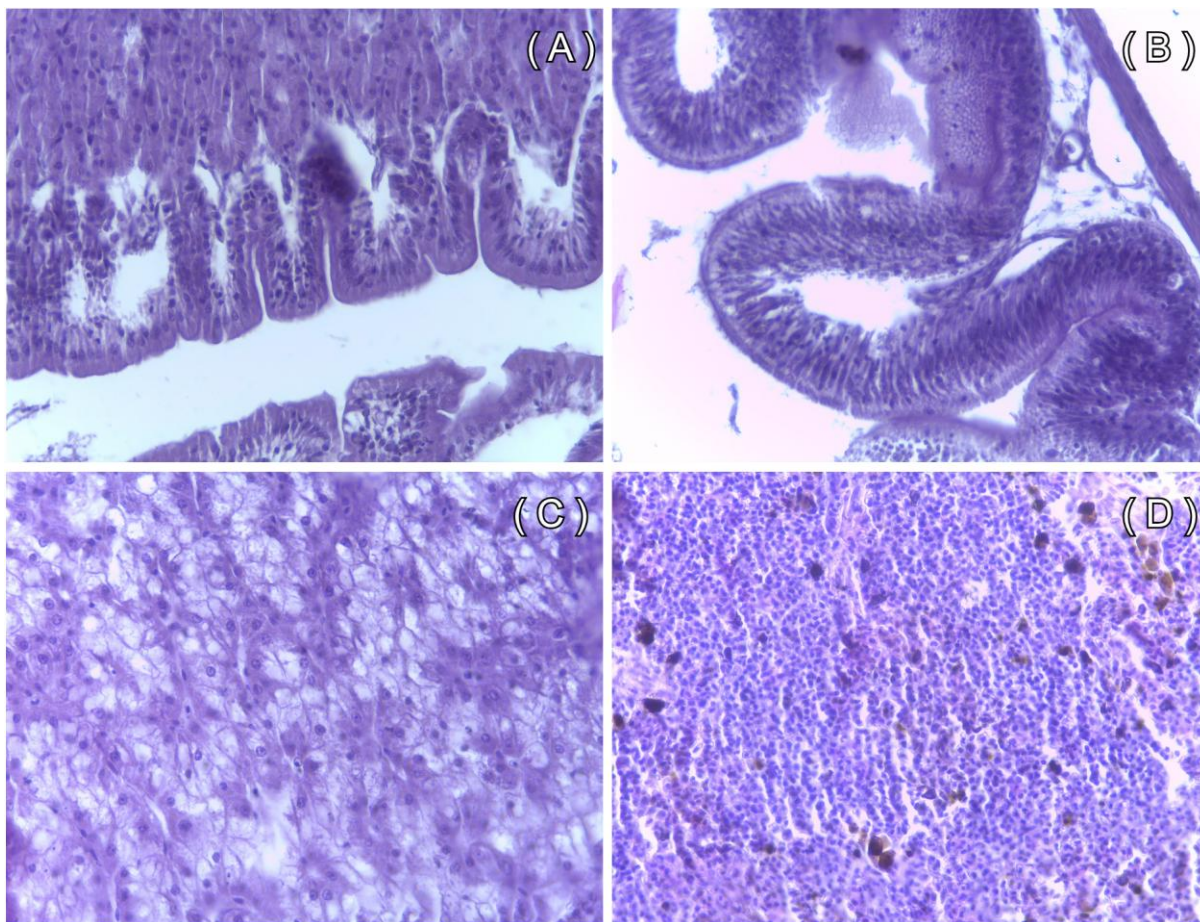
APÊNDICE A – PARÂMETROS HISTOLÓGICOS

Figura 1 – Aspectos histológicos de órgãos de tilápia-do-Nilo (*Oreochromis niloticus*) após 15 dias de alimentação sem suplementação de óleo essencial.



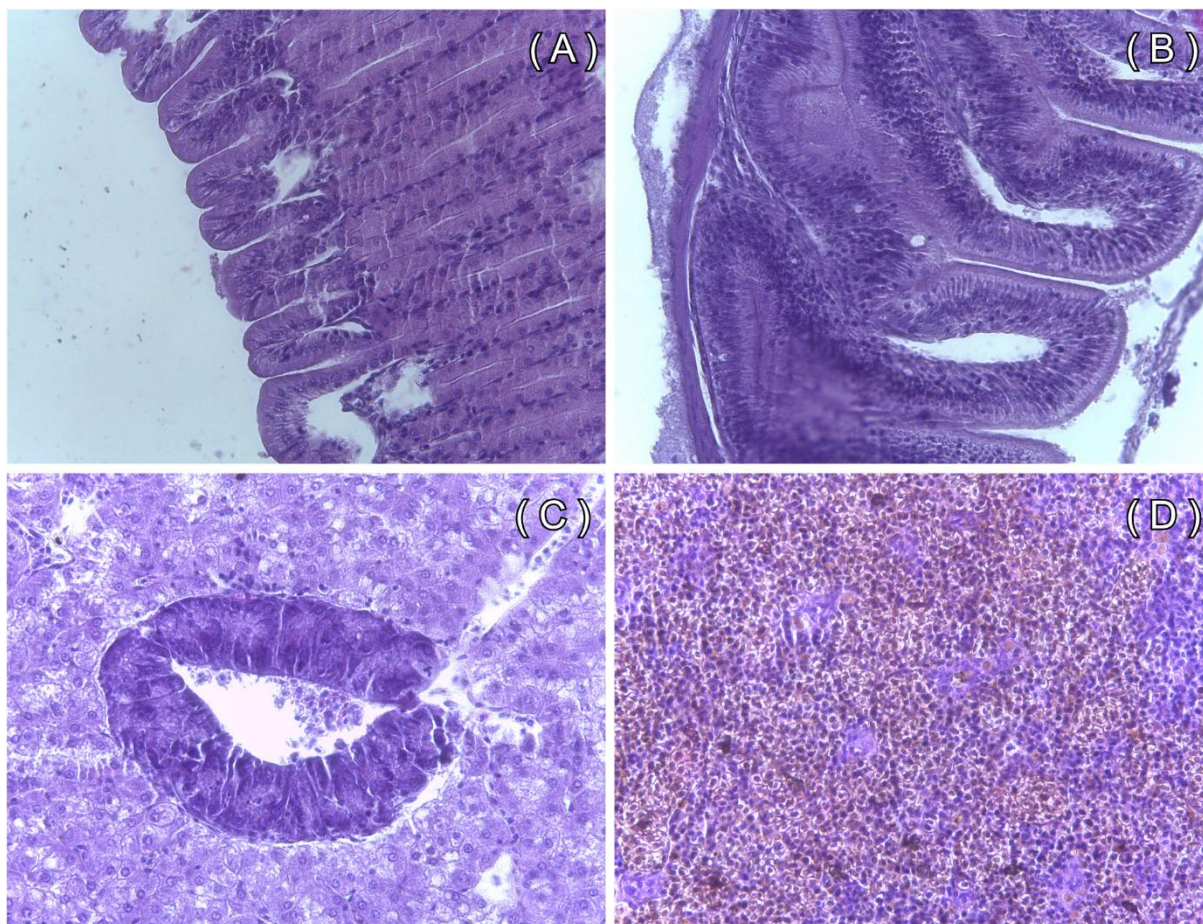
Legenda: Ciclo 1, C1/0 (Controle 1): (A) Estômago; (B) Intestino; (C) Fígado; (D) Baço; arquitetura tecidual preservada, sem alterações histopatológicas significativas. Fonte: autoria própria.

Figura 2 – Aspectos histológicos de órgãos de tilápia-do-Nilo (*Oreochromis niloticus*) após 15 dias de alimentação suplementada com óleo essencial de Canela a 0,1 mL/kg.



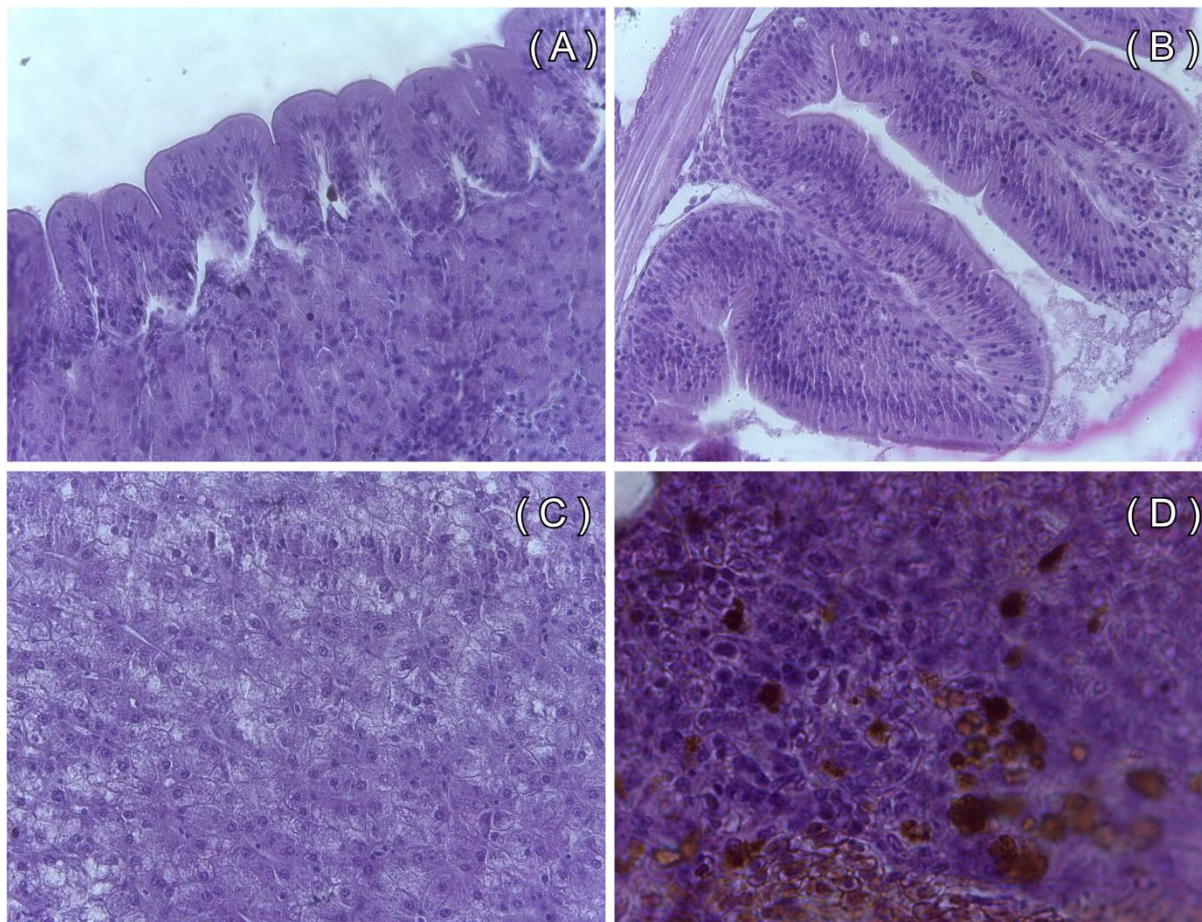
Legenda: Ciclo 1, CAN/0,1 (Canela 0,1 mL/kg): (A) Estômago; (B) Intestino; (C) Fígado; (D) Baço; arquitetura tecidual preservada, sem alterações histopatológicas significativas. Fonte: autoria própria.

Figura 3 – Aspectos histológicos de órgãos de tilápia-do-Nilo (*Oreochromis niloticus*) após 15 dias de alimentação suplementada com óleo essencial de Canela a 1 mL/kg.



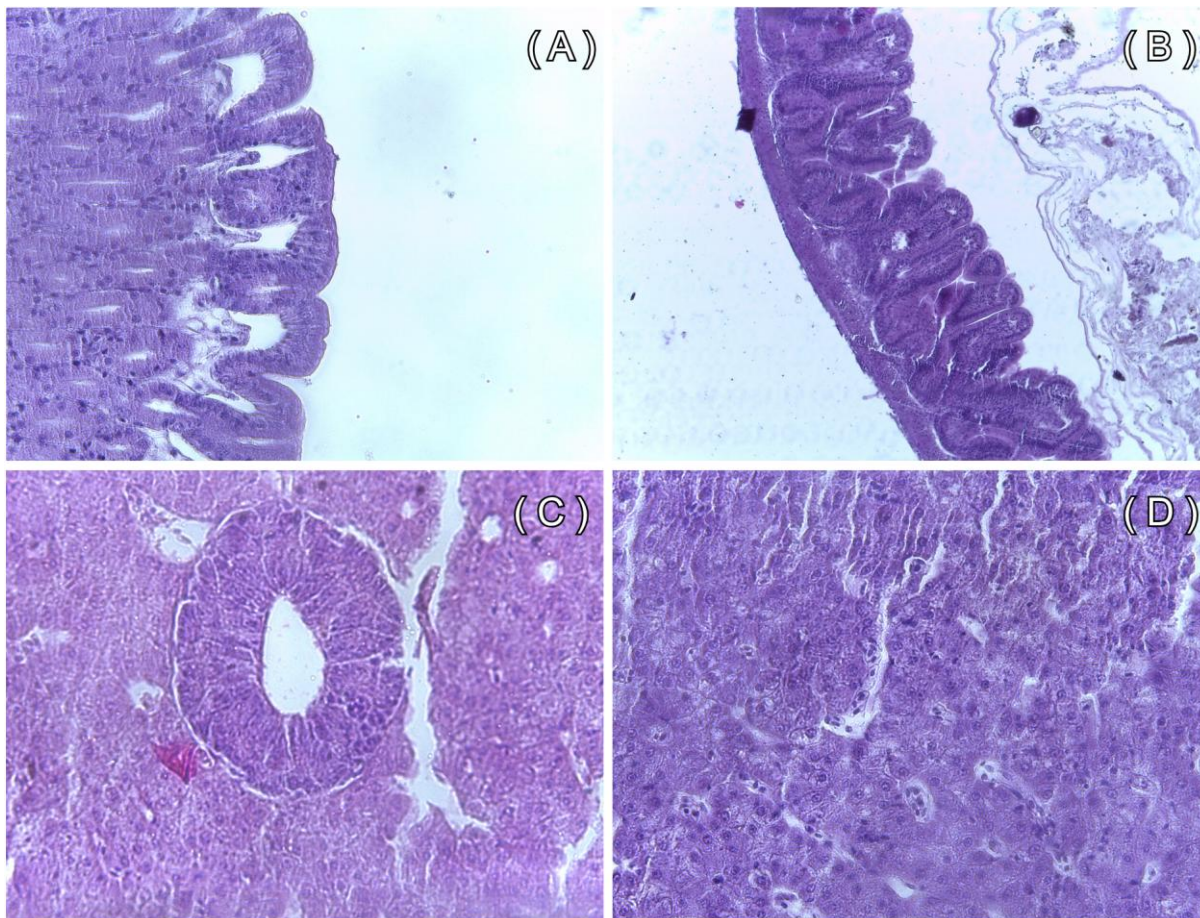
Legenda: Ciclo 1, CAN/1 (Canela 1 mL/kg): (A) Estômago; (B) Intestino; (C) Fígado; (D) Baço; arquitetura tecidual preservada, sem alterações histopatológicas significativas. Fonte: autoria própria.

Figura 4 – Aspectos histológicos de órgãos de tilápia-do-Nilo (*Oreochromis niloticus*) após 15 dias de alimentação suplementada com óleo essencial de Canela a 10 mL/kg.



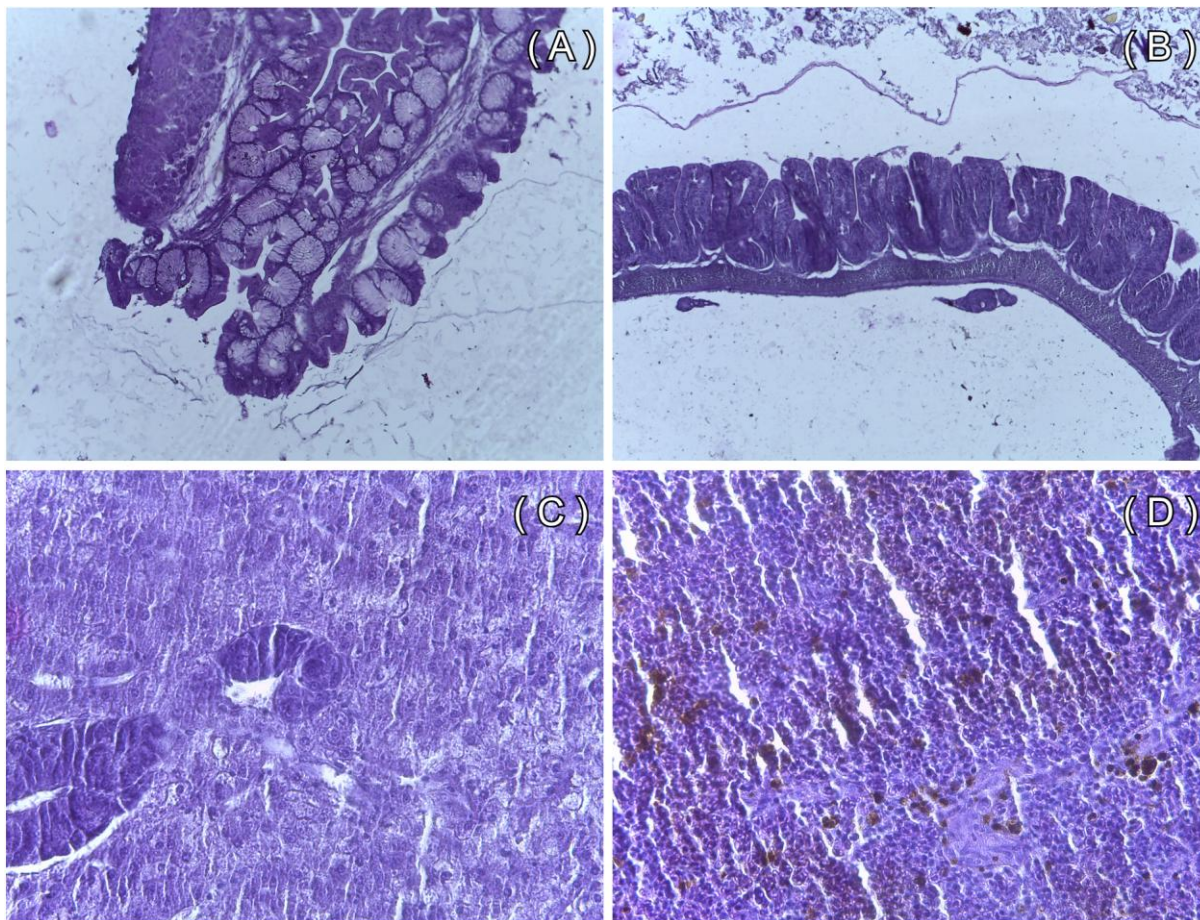
Legenda: Ciclo 1, CAN/10 (Canela 10 mL/kg): (A) Estômago; (B) Intestino; (C) Fígado; (D) Baço; arquitetura tecidual preservada, sem alterações histopatológicas significativas. Fonte: autoria própria.

Figura 5 – Aspectos histológicos de órgãos de tilápia-do-Nilo (*Oreochromis niloticus*) após 15 dias de alimentação suplementada com óleo essencial de *Lemongrass* a 0,1 mL/kg.



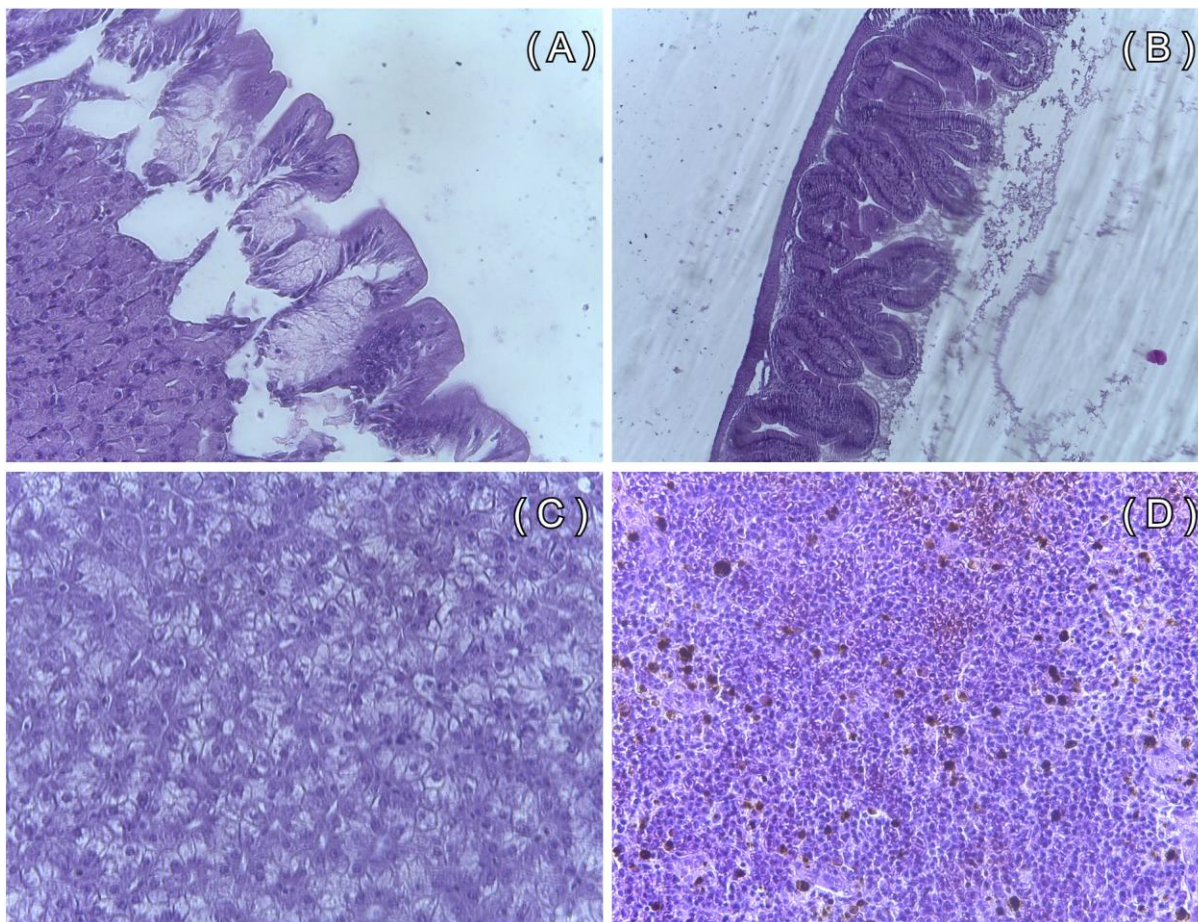
Legenda: Ciclo 1, LEM/0,1 (*Lemongrass* 0,1 mL/kg): (A) Estômago; (B) Intestino; (C) Fígado; (D) Baço. Observou-se hiperplasia leve da mucosa gástrica associada à discreta infiltração linfocitária no estômago, compatível com resposta adaptativa ao estímulo dietético/proteico, sem caráter patológico. Os demais órgãos apresentaram arquitetura tecidual preservada. Fonte: autoria própria.

Figura 6 – Aspectos histológicos de órgãos de tilápia-do-Nilo (*Oreochromis niloticus*) após 15 dias de alimentação suplementada com óleo essencial de *Lemongrass* a 1 mL/kg.



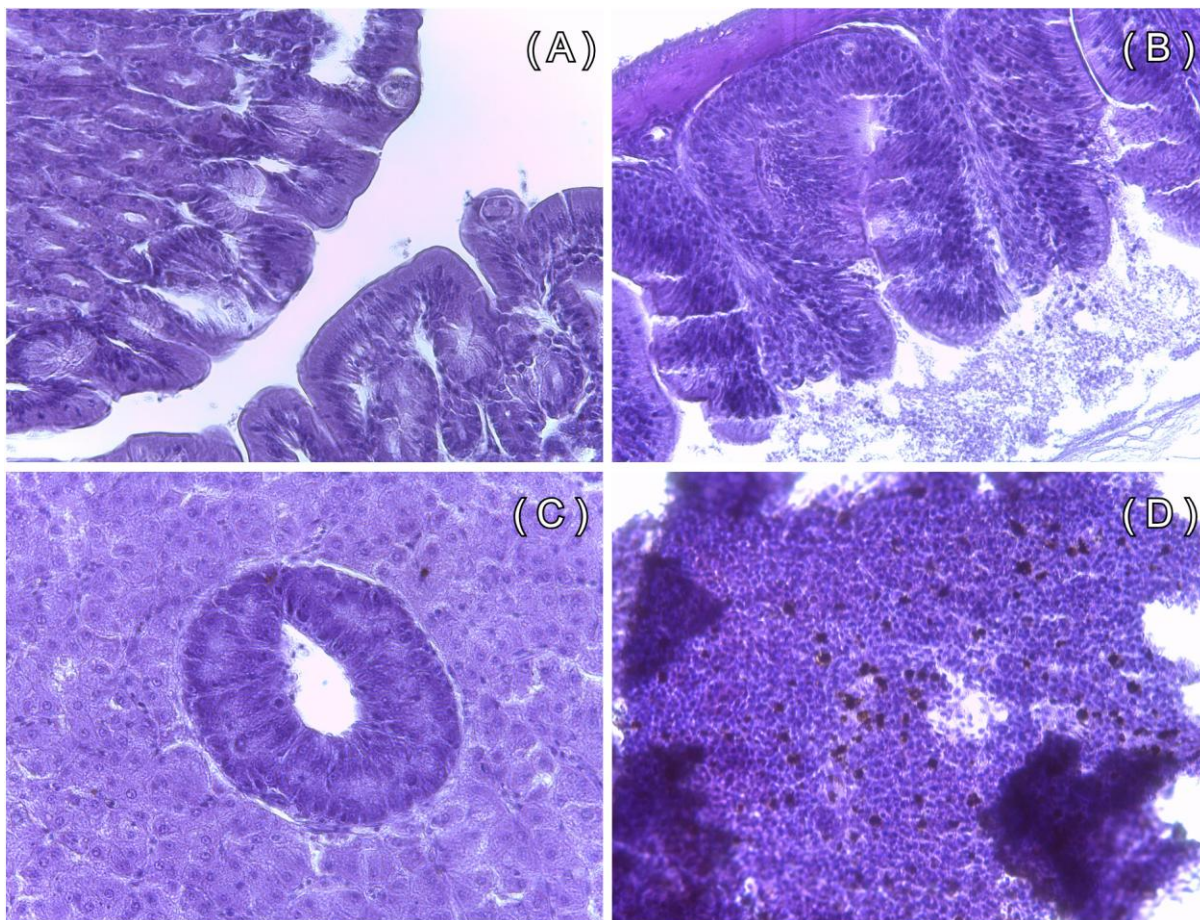
Legenda: Ciclo 1, LEM/1 (*Lemongrass* 1 mL/kg): (A) Estômago; (B) Intestino; (C) Fígado; (D) Baço. Observou-se hiperplasia moderada/alta da mucosa gástrica associada à discreta infiltração linfocitária no estômago, compatível com resposta adaptativa ao estímulo dietético/proteico, sem caráter patológico. Os demais órgãos apresentaram arquitetura tecidual preservada. Fonte: autoria própria.

Figura 7 – Aspectos histológicos de órgãos de tilápia-do-Nilo (*Oreochromis niloticus*) após 15 dias de alimentação suplementada com óleo essencial de *Lemongrass* a 1 mL/kg.



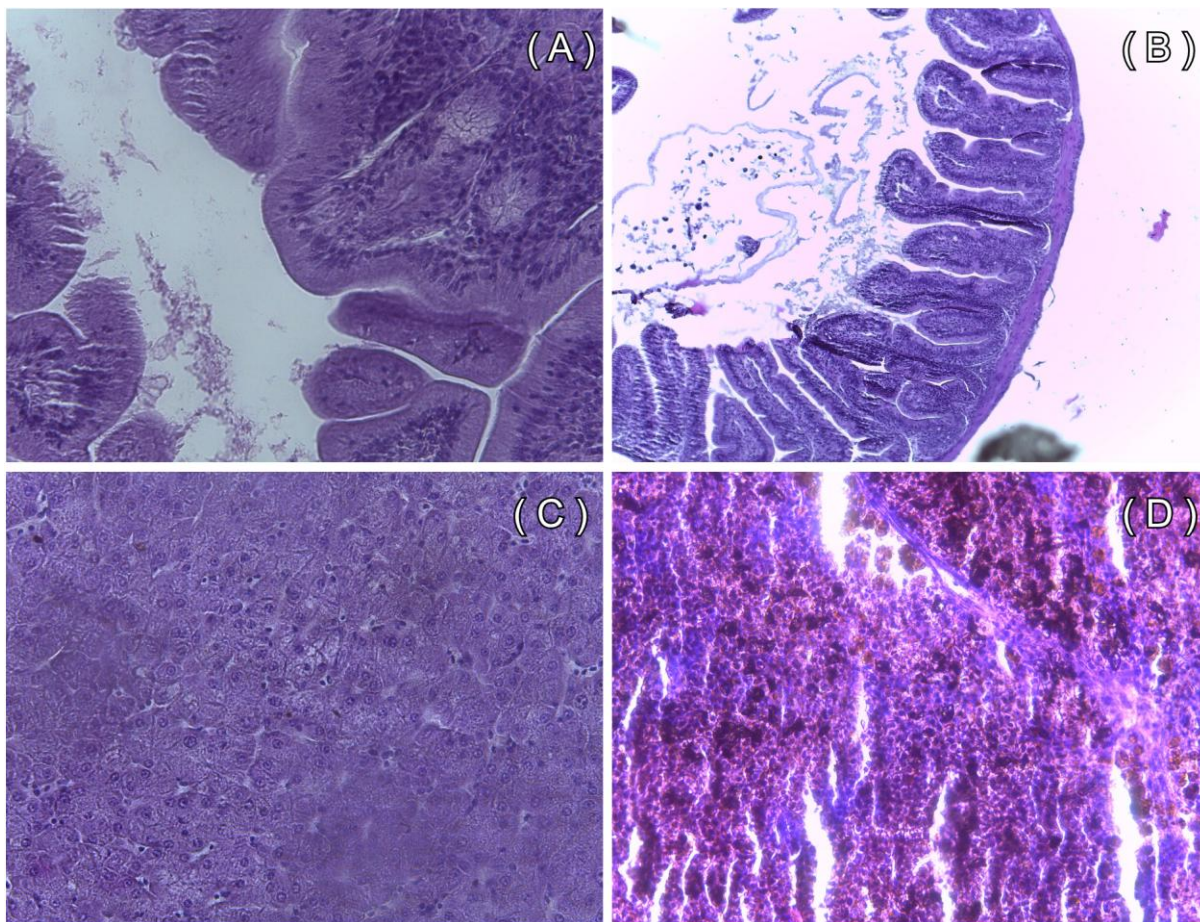
Legenda: Ciclo 1, LEM/10 (*Lemongrass* 10 mL/kg): (A) Estômago; (B) Intestino; (C) Fígado; (D) Baço. Observou-se hiperplasia moderada da mucosa gástrica associada à discreta infiltração linfocitária no estômago, compatível com resposta adaptativa ao estímulo dietético/proteico, sem caráter patológico. Os demais órgãos apresentaram arquitetura tecidual preservada. Fonte: autoria própria.

Figura 8 – Aspectos histológicos de órgãos de tilápia-do-Nilo (*Oreochromis niloticus*) após 15 dias de alimentação sem suplementação de óleo essencial.



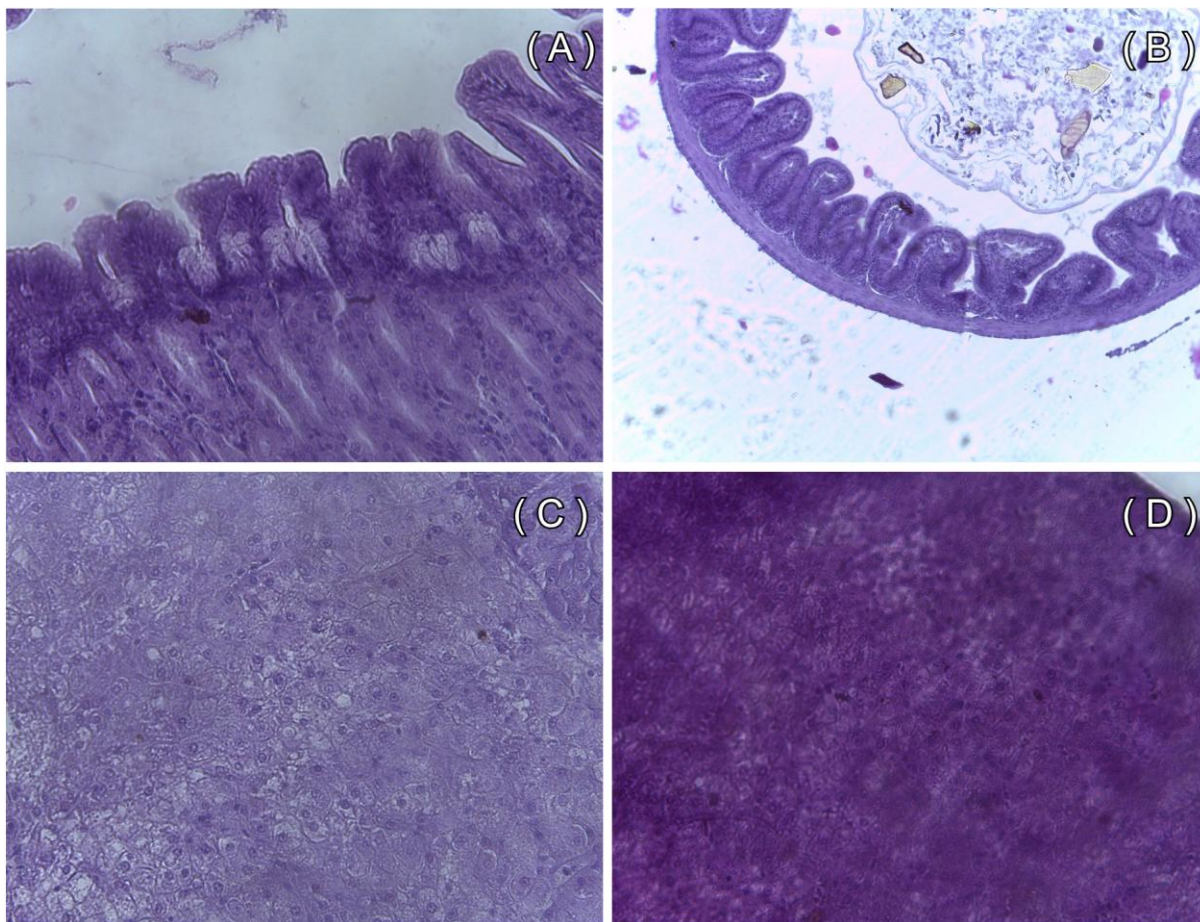
Legenda: Ciclo 2, C2/0 (Controle 1): (A) Estômago; (B) Intestino; (C) Fígado; (D) Baço. Arquitetura tecidual preservada, sem alterações histopatológicas significativas. Fonte: autoria própria.

Figura 9 – Aspectos histológicos de órgãos de tilápia-do-Nilo (*Oreochromis niloticus*) após 15 dias de alimentação suplementada com óleo essencial de Eucalipto a 0,1 mL/kg.



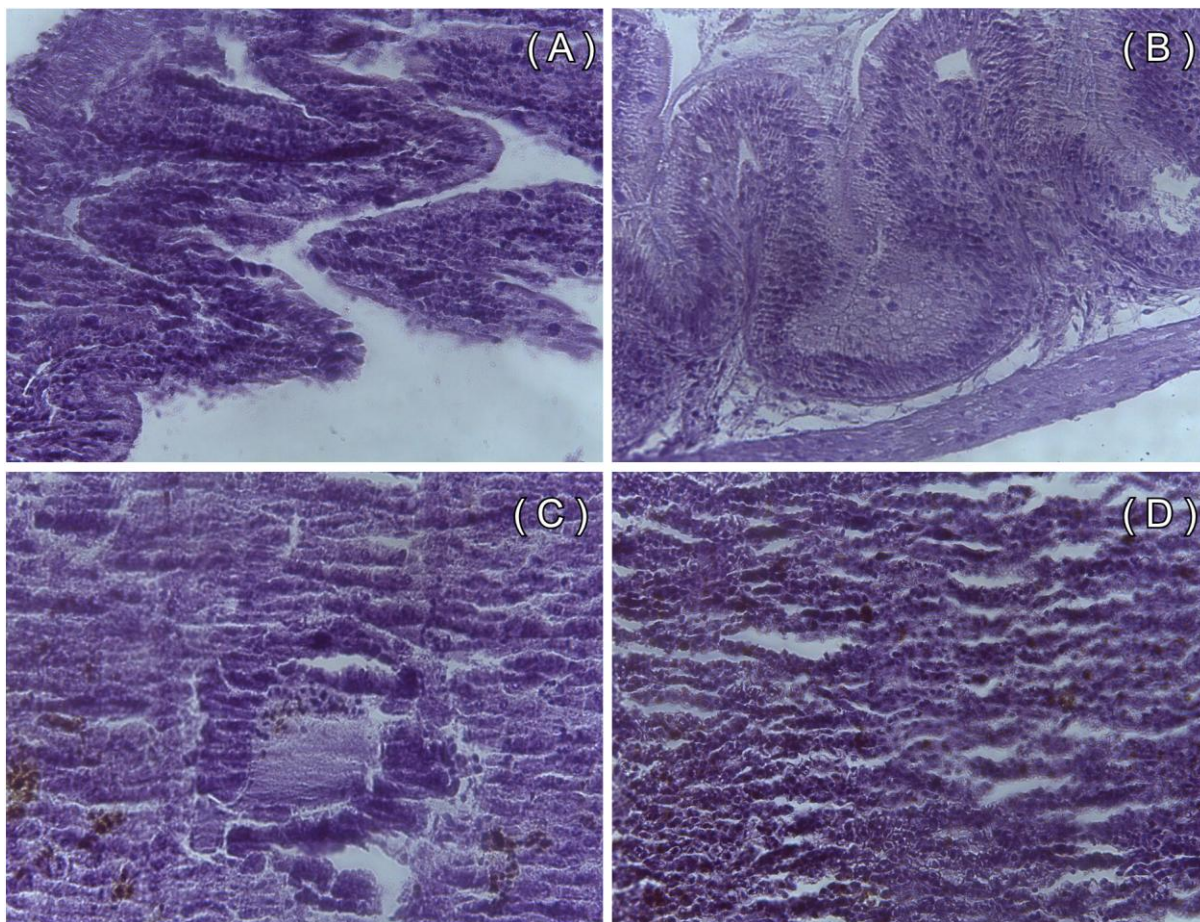
Legenda: Ciclo 2, EUC/0,1 (Eucalipto 0,1 mL/kg): (A) Estômago; (B) Intestino; (C) Fígado; (D) Baço. Arquitetura tecidual preservada, sem alterações histopatológicas significativas. Fonte: autoria própria.

Figura 10 – Aspectos histológicos de órgãos de tilápia-do-Nilo (*Oreochromis niloticus*) após 15 dias de alimentação suplementada com óleo essencial de Eucalipto a 1 mL/kg.



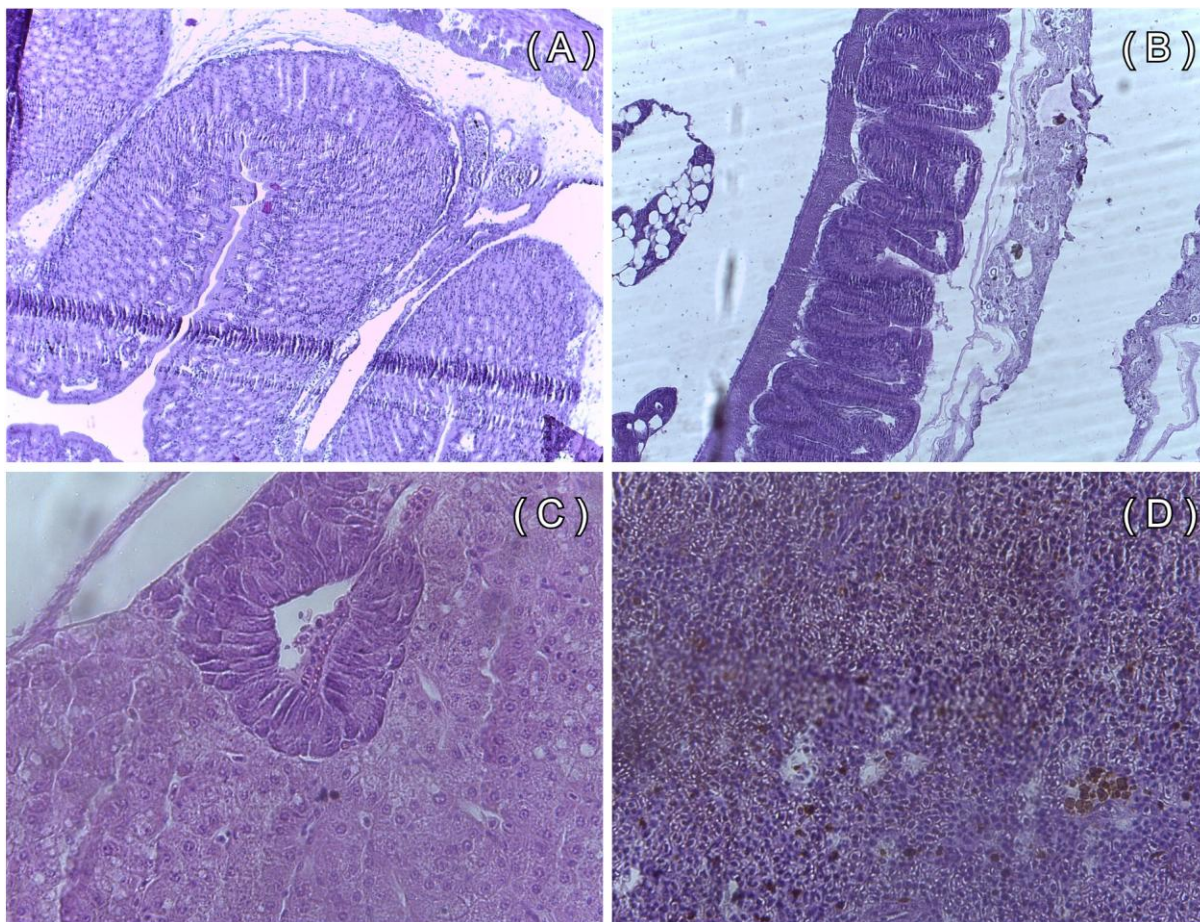
Legenda: Ciclo 2, EUC/1 (Eucalipto 1 mL/kg): (A) Estômago; (B) Intestino; (C) Fígado; (D) Baço. Arquitetura tecidual preservada nos órgãos avaliados, com discreta compactação das vilosidades no intestino, sem comprometimento da integridade epitelial ou alterações histopatológicas relevantes. Fonte: autoria própria.

Figura 11 – Aspectos histológicos de órgãos de tilápia-do-Nilo (*Oreochromis niloticus*) após 15 dias de alimentação suplementada com óleo essencial de Eucalipto a 10 mL/kg.



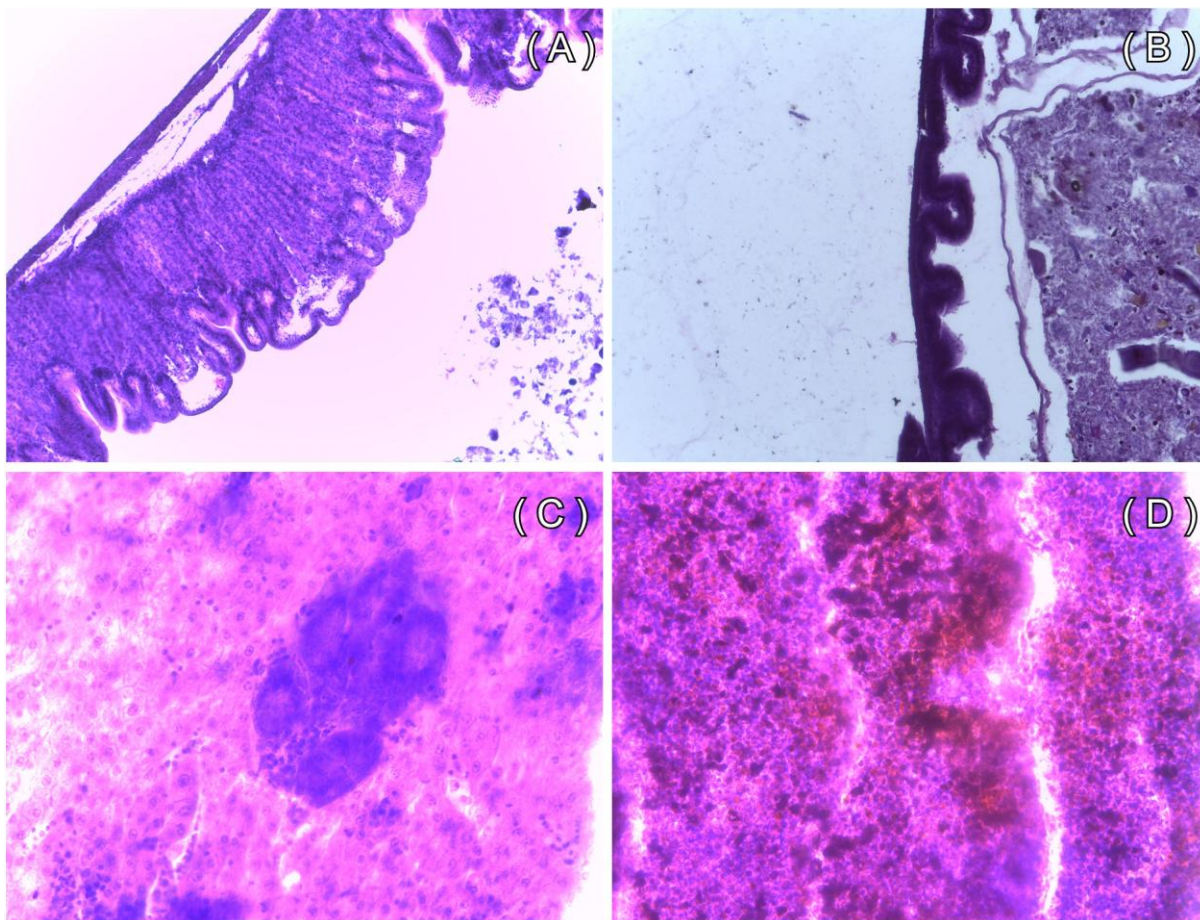
Legenda: Ciclo 2, EUC/10 (Eucalipto 10 mL/kg): (A) Estômago; (B) Intestino; (C) Fígado; (D) Baço. Arquitetura tecidual preservada nos órgãos avaliados, com discreta compactação das vilosidades no intestino, sem comprometimento da integridade epitelial ou alterações histopatológicas relevantes. Fonte: autoria própria.

Figura 12 – Aspectos histológicos de órgãos de tilápia-do-Nilo (*Oreochromis niloticus*) após 15 dias de alimentação suplementada com óleo essencial de Orégano a 0,1 mL/kg.



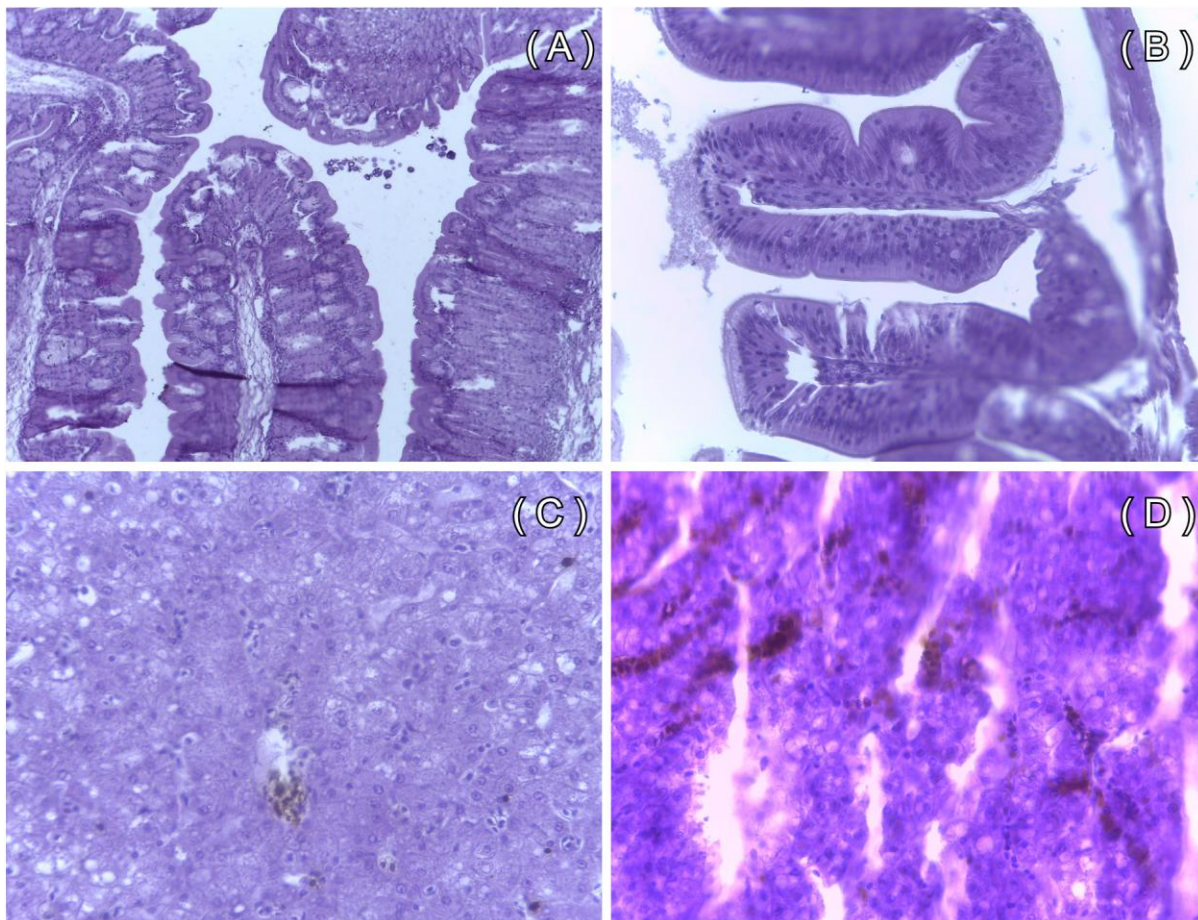
Legenda: Ciclo 2, ORE/0,1 (Orégano 0,1 mL/kg): (A) Estômago; (B) Intestino; (C) Fígado; (D) Baço. Observou-se hiperplasia leve da mucosa gástrica associada à discreta infiltração linfocitária no estômago, compatível com resposta adaptativa ao estímulo dietético/proteico, sem caráter patológico. Os demais órgãos apresentaram arquitetura tecidual preservada. Fonte: autoria própria.

Figura 13 – Aspectos histológicos de órgãos de tilápia-do-Nilo (*Oreochromis niloticus*) após 15 dias de alimentação suplementada com óleo essencial de Orégano a 1 mL/kg.



Legenda: Ciclo 2, ORE/1 (Orégano 1 mL/kg): (A) Estômago; (B) Intestino; (C) Fígado; (D) Baço. Observou-se hiperplasia leve da mucosa gástrica associada à discreta infiltração linfocitária no estômago, compatível com resposta adaptativa ao estímulo dietético/proteico, sem caráter patológico. Os demais órgãos apresentaram arquitetura tecidual preservada. Fonte: autoria própria.

Figura 14 – Aspectos histológicos de órgãos de tilápia-do-Nilo (*Oreochromis niloticus*) após 15 dias de alimentação suplementada com óleo essencial de Orégano a 10 mL/kg.



Legenda: Ciclo 2, ORE/10 (Orégano 10 mL/kg): (A) Estômago; (B) Intestino; (C) Fígado; (D) Baço. Observou-se hiperplasia leve da mucosa gástrica associada à discreta infiltração linfocitária no estômago, compatível com resposta adaptativa ao estímulo dietético/proteico, sem caráter patológico. Os demais órgãos apresentaram arquitetura tecidual preservada. Fonte: autoria própria.