

UNIVERSIDADE FEDERAL DO AMAZONAS- UFAM
PRÓ-REITORIA DE PESQUISA E PÓS-GRADUAÇÃO PROPESP
INSTITUTO DE CIÊNCIAS EXATAS E TECNOLOGIA- ICET
LINHA 1-AGROBIOENERGIA, ANÁLISE E MANEJO DE RECURSOS AMAZÔNICOS

LAÍS IURI DA SILVA MELO

Avaliação da Domesticabilidade do *Acarichthys heckelii*

ITACOATIARA/AM
2025

LAÍS IURI DA SILVA MELO

Avaliação da Domesticabilidade do *Acarichthys heckelii*

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Ciência e Tecnologia para Recursos Amazônicos da Universidade Federal do Amazonas, para obtenção de título de Mestre em Ciências e Tecnologia para Recursos Amazônicos, área de Ciências Ambientais.

ORIENTADOR: Prof. Dr. Rafael Yutaka Kuradomi

COORIENTADOR: Prof. Dr. Erico Luis Hoshiba Takahashi

Ficha Catalográfica

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

-
- M528a Melo, Laís Iuri da Silva
Avaliação da domesticabilidade do *Acarichthys heckelii* / Laís Iuri da Silva Melo. - 2025.
54 f. : il., color. ; 31 cm.
- Orientador(a): Rafael Yutaka Kuradomi.
Coorientador(a): Erico Luis Hoshiba Takahashi.
Dissertação (mestrado) - Universidade Federal do Amazonas, Programa de Pós-Graduação em Ciência e Tecnologia para Recursos Amazônicos, Itacoatiara-AM, 2025.
1. Alimentação. 2. Crescimento. 3. Domesticação. 4. Histologia. 5. Palatabilidade. I. Kuradomi, Rafael Yutaka. II. Takahashi, Erico Luis Hoshiba. III. Universidade Federal do Amazonas. Programa de Pós-Graduação em Ciência e Tecnologia para Recursos Amazônicos. IV. Título
-



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



Laís Iuri da Silva Melo

Avaliação da Domesticabilidade do *Acarichthys heckelii*

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

Aprovada em 29.10.25

BANCA EXAMINADORA

Documento assinado digitalmente
 **RAFAEL YUTAKA KURADOMI**
Data: 29/10/2025 19:22:19-0300
verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Prof. Dr. Rafael Yutaka Kuradomi

Documento assinado digitalmente
 **CARLOS FREDERICO CECCON LANES**
Data: 30/10/2025 07:59:08-0300
verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Prof. Dr. Carlos Frederico Ceccon Lanes

Documento assinado digitalmente
 **FLAVIO AUGUSTO LEAO DA FONSECA**
Data: 31/10/2025 08:10:54-0300
verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Prof. Dr. Flávio Augusto Leão da Fonseca

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

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

Dedico este trabalho à minha família, em especial à minha mãe Lúcia e ao meu pai Raimundo, por acreditarem em mim incondicionalmente e por me apoiarem com amor, incentivo e cuidado em cada passo desta jornada.

AGRADECIMENTOS

Primeiramente, agradeço a Deus por mais uma conquista alcançada. Sem Ele, eu não teria chegado até aqui. Foi Ele quem cuidou e continua cuidando de mim com amor e misericórdia. Sou imensamente grata por Seu amor incondicional.

Gostaria de agradecer à minha família, especialmente à minha mãe e ao meu pai, que são o meu porto seguro. O apoio deles foi essencial para que eu continuasse minha caminhada acadêmica. Eles sempre estiveram ao meu lado, acompanhando cada passo da minha vida com dedicação e carinho.

Agradeço também aos meus irmãos meus melhores amigos para a vida inteira por segurarem minha mão e me ajudarem a me reerguer diante de tantas dificuldades. Que sorte a minha ter vocês comigo! Deus foi muito generoso ao me dar irmãos tão especiais.

Minha gratidão à minha amiga Jamyly Beatriz, que surgiu em minha vida trazendo alegria, incentivo e esperança para a realização dos meus sonhos. Suas orações e apoio foram muito importantes para mim.

Ao meu amor (noivo), Presley, por ter me apoiado, incentivado e principalmente por todo cuidado e amor que tem me dado todos os dias, você é um grande presente de Deus na minha vida, te amo!

À Sherman Tácia, um exemplo de mulher aguerrida, dotada de uma inteligência única e admirável, o meu muito obrigada. Gratidão por acreditar em mim, mesmo quando eu mesma duvidava. Você sempre esteve ao meu lado, me incentivando e me fortalecendo. Você é incrível!

Quero expressar minha profunda gratidão ao meu orientador Rafael Yutaka Kuradomi, por todo o apoio, ensinamentos e por me guiar em cada técnica necessária para a realização deste estudo. Mais do que um orientador, foi um verdadeiro mentor ao me inserir no universo da piscicultura e por acreditar no meu potencial. Agradeço também pela amizade, pelas conversas e conselhos.

Estendo minha gratidão à sua esposa, que contribuiu com dedicação em partes importantes do projeto.

Ao meu coorientador, Érico Luis Toshiba Takahashi, minha sincera gratidão pela colaboração na elaboração e execução do projeto. Além disso, agradeço à equipe Kuradomi pelo suporte essencial em todas as atividades práticas do projeto. Sem a ajuda de vocês, esta pesquisa não teria sido possível. E também, agradecer ao professor Geraldo e Fabrício pelo apoio em uma das etapas essenciais do projeto.

Também deixo meu agradecimento aos colegas de trabalho professores do IFAM, que tive a honra de conhecer. Obrigada pelo incentivo, pelas palavras motivadoras, pela preocupação e por me trazerem alegria mesmo nos momentos difíceis.

Ao Instituto Federal do Amazonas, minha gratidão por ceder o espaço necessário para a realização das etapas práticas do projeto. Agradeço também aos membros da instituição pelo apoio direto e constante. À Universidade Federal do Amazonas e ao Programa de Pós-Graduação, agradeço pela oportunidade de realizar o mestrado e por todo o suporte prestado durante essa caminhada.

E, por fim, meu sincero agradecimento à Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado do Amazonas – FAPEAM, pelo apoio financeiro que viabilizou a realização deste projeto.

Resumo

A palavra domesticação pode ser definida como uma mudança de caracteres fenotípicos de um grupo de indivíduos em um determinado tempo, decorrente de interações com humanos. Este estudo avaliou a domesticabilidade do peixe *Acarichthys heckelii* por meio de ensaios alimentares com três dietas experimentais do tipo animal (ANI) proveniente de fonte proteica animal; vegetal (VEG) de origem vegetal; mista (MIX) contendo fonte proteica animal e vegetal, todas com ~30% de proteína bruta, durante 90 dias. No total 63 indivíduos de *A. heckelii* com peso médio inicial (23,85 g) e comprimento médio totais (11,75 cm) foram coletados e distribuídos em tanques (n = 3 tanques por tratamento, 7 peixes/tanque) com sistema de recirculação fechada. Para o experimento de desempenho zootécnico os alimentos foram oferecidos diariamente duas vezes ao dia com uma repetição em cada bloco e para palatabilidade a alimentação foi aplicada quinzenalmente com tempo cronometrado. Após os 90 dias foram analisadas a composição centesimal da carcaça dos peixes e a histomorfometria do intestino, e do fígado para verificar o índice de esteatose hepática. As dietas ANI e VEG mostraram ser os alimentos mais palatáveis para *A. heckelii*, em que ANI (72%) obteve valor superior das demais dietas. O desempenho zootécnico foi superior para ANI, que resultou na melhor taxa de conversão alimentar ($0,97 \pm 0,06$). Não houve diferenças significativas na composição centesimal ou na morfometria intestinal ($p > 0,05$). No entanto, a esteatose hepática variou significativamente entre os tratamentos ($p = 0,000743$), com os maiores níveis de acúmulo de lipídios observados no grupo MIX. Assim, a alimentação artificial em ambiente piscícola demonstrou ser eficaz para a domesticação inicial de *A. heckelii*. A dieta de origem animal promoveu o melhor desempenho, mas a variação na esteatose hepática indica a necessidade de otimização no balanço de aminoácidos das rações. Os resultados demonstram que as dietas influenciam diretamente a alimentação e o desenvolvimento dos peixes, com melhor desempenho observado na dieta de origem animal (ANI), além de evidenciar o potencial da espécie para a piscicultura regional.

Palavras-chave: Alimentação; Crescimento; Domesticação, Histologia, Palatabilidade.

Abstract

The word domestication can be defined as a change in the phenotypic characteristics of a group of individuals over a given time, resulting from interactions with humans. This study evaluated the domesticability of the fish *Acarichthys heckelii* through feeding trials with three experimental diets: animal-based (ANI) from an animal protein source; plant-based (VEG) from a plant-based source; and mixed (MIX) containing both animal and plant protein sources, all with ~30% crude protein, over 90 days. A total of 63 *A. heckelii* individuals with an average initial weight (23.85 g) and average total length (11.75 cm) were collected and distributed into tanks (n = 3 tanks per treatment, 7 fish/tank) with a closed recirculation system. For the zootechnical performance experiment, feed was offered twice daily with one replicate in each block, and for palatability, feeding was applied biweekly with timed feeding. After 90 days, the centesimal composition of the fish carcasses and the histomorphometry of the intestine and liver were analyzed to verify the hepatic steatosis index. The ANI and VEG diets proved to be the most palatable foods for *A. heckelii*, with ANI (72%) obtaining a higher value than the other diets. Zootechnical performance was superior for ANI, which resulted in the best feed conversion rate (0.97 ± 0.06). There were no significant differences in centesimal composition or intestinal morphometry ($p > 0.05$). However, hepatic steatosis varied significantly between treatments ($p = 0.000743$), with the highest levels of lipid accumulation observed in the MIX group. Thus, artificial feeding in a fish farming environment proved to be effective for the initial domestication of *A. heckelii*. The animal-derived diet promoted the best performance, but the variation in hepatic steatosis indicates the need for optimization in the amino acid balance of the diets. The results demonstrate that diets directly influence the feeding and development of fish, with better performance observed in the animal-origin diet (ANI), in addition to highlighting the species' potential for regional fish farming.

Keywords: Feeding; Growth; Domestication, Histology, Palatability.

Lista de Tabela

Tabela 1 -Formulação das dietas experimentais, com diferentes fontes proteicas: animal (ANI); vegetal (VEG); mista entre ANI e VEG (MIX), todas com ~30% de proteína bruta, durante 90 dias. Onde sessenta e três juvenis foram distribuídos em delineamento em blocos casualizados (n = 3 tanques por tratamento, 7 peixes/tanque) e alimentados duas vezes ao dia.....	48
Tabela 2 -Análise bromatológica das dietas experimentais contendo diferentes fontes de proteínas :animal (ANI); mista (MIX) e vegetal (VEG).	48
Tabela 3 - Principais ingredientes utilizados na formulação da ração comercial (controle), Aplicados no ensaio experimental (90 dias). Onde sessenta e três juvenis foram distribuídos em delineamento em blocos casualizados (n = 3 tanques por tratamento, 7 peixes/tanque) e alimentados duas vezes ao dia.	49
Tabela 4 -Parâmetros de desempenho zootécnico de peixes de grupos experimentais alimentados com dieta experimental de origem animal (ANI), vegetal (VEG) e mista (MIX) Médias por letras diferentes na mesma linha difererem significativamente ($P < 0,05$) pelo teste de HSD de Tukey.	51
Tabela 5 -Dados da composição da centesimal.	51
Tabela 6 -Resultados da medição da altura das dobras, largura da dobra e células caliciformes.	51
Tabela 7 -Resultados da medição do fígado da densidade de esteatose hepática.....	52

Lista de Siglas

MIX	Misturada
VEG	Vegetal
ANIM	Animal
CON	Ração comercial
GPM	Ganho de peso médio
CAA	Conversão Alimentar
PRO	Produtividade
TEP	Taxa de eficiência proteica
MS	Matéria seca
UM	Úmidade
CZ	Cinzas
EE	Extrato étereo
PB	Proteína bruta

Lista de Figuras

Figura 1 -Exemplar de Acará (<i>Acarichthys heckelii</i>) ao final do período experimental, após domesticação em cativeiro, com escala métrica representando o comprimento corporal na biometria final.	46
Figura 2 - Mapa de localização do local de captura dos espécimes.	47
Figura 3 - Curvas de Kaplan-Meier mostrando a proporção de eventos de alimentação nos quais as rações ainda não haviam sido consumidas durante o período de observação de 8 minutos. O evento 'sobrevivência' foi definido como o tempo até o consumo total das rações	50
Figura 4 - Morfometria do intestino de <i>A. Heckelli</i> , alimentados com dietas artificiais (A), (C), (E). (A) Intestino proximal (B) Intestino medial (C) Intestino distal. (B), (D), (F) alimentados com dieta controle. (B) Intestino proximal, (D) Intestino medial, (F) intestino distal. Tecido colorido com hematoxilina-eosina (40x).	53
Figura 5 - Coloração H&E 40X). Secções hepáticas de <i>A. Heckelli</i> expostas a diferentes tratamentos durante 90 dias: A) Controle: ração comercial, hepatócitos com grandes vacúolos e núcleos periféricos. (B) Ração artificial, apresentando secção hepática com pouco v acúolos de gordura e núcleos localizados na periferia da célula.	54

Sumário

1.Introdução	15
1.1 Conceitos e a importância da domesticação de espécies nativas para a piscicultura amazônica	15
1.2 Fatores relevantes na domesticação inicial de peixes.....	16
1.3 <i>Acarichthys heckelii</i> no contexto da piscicultura	18
2. Objetivos.....	19
2.1 Objetivo Geral	19
2.2 Objetivos Específicos	19
Referências Bibliográficas	20
3. CAPÍTULO 1	24
Potencial de Domesticação do <i>Acarichthys heckelii</i>: Efeitos da Fonte de Proteína Dietética na Palatabilidade, Desempenho e Respostas Histológicas	24
3.1 Introdução	27
3.2 Materiais e Métodos	28
3.2.1 Coletas e aclimação	28
3.2.2 Adaptação e treinamento alimentar <i>A.Heckelli</i>	29
3.2.3 Dieta experimental para desempenho zootécnico e palatabilidade	29
3.2.4 Experimento 1- Desempenho zootécnico	30
3.2.5 Aplicação experimental 1- palatabilidade	31
3.2.6 Composição centesimal	31
3.2.7 Histologia	31
3.2.7.1 Análise a histomorfometria e densidades das dobras intestinais.....	32
3.2.7.2 Determinação da densidade de volume da esteatose hepática.....	32
3.2.8 Análise dos dados	33
3.3 Resultados	33
3.3.1 Palatabilidade	33

3.3.2 Desempenho zootécnico	33
3.3.3 Composição centesimal	34
3.3.4 Histologia	34
3.3.4.1 Intestino	34
3.3.4.2 Fígado	34
3.4 Discussão	35
3.5 Conclusão	39
Declaração de Interesse Conflitantes	40
Disponibilidade de dados	40
Agradecimentos	40
Referências	41

1.Introdução

1.1 Conceitos e a importância da domesticação de espécies nativas para a piscicultura amazônica

O termo domesticação pode ser definido como uma mudança de caracteres fenotípicos de um grupo de indivíduos em um determinado tempo, decorrente de interações com humanos (Spengler *et al.*, 2025). Entretanto, dizer que um peixe já está domesticado não é declarar que foi finalizado em sua totalidade, pois algumas espécies continuam passando por mudanças comportamentais e genéticas no decorrer do tempo, e todos esses avanços relacionam-se de acordo com as novas condições artificiais de criação ou porque novas características são filtradas (Ellison *et al.*, 2023).

Nessa abordagem, os primeiros processo de domesticação em peixes aconteceram há 8.000 anos atrás, quando espécies de carpa comum (*Cyprinus carpio*) foram alocadas em ambientes controlados para serem criadas por seres humanos, com o objetivo de aumentar a demanda de peixes para consumo humano, na província de Henan na China (Nakajima *et al.*, 2019). A partir disso, outras práticas de domesticação foram realizadas com diferentes espécies de peixes, onde homens eram providos de habilidades técnicas de manejo, para manter os peixes vivos em viveiros feito de maneira rudimentar, e onde essas atividades puderam ser confirmadas através de manifestações artísticas e textuais no Egito e na Mesopotâmia (Rogers, 2024). Do mesmo modo que, estudos arqueológicos, histórico e etnográficos confirmam que os povos amazônicos, também realizavam a prática da domesticação de peixes e outros animais para sua própria subsistência, e para suprir a demanda por alimentos (Prestes-Carneiro *et al.*, 2021).

De acordo com os relatos conceituais e importância, a domesticação pode ser compreendido como um processo que atua na prática de manejo coletivo que, por meio da separação do grupo de origem, interrompe os processos da seleção natural e designa a seleção artificial, acarretando em indivíduos totalmente dependentes da ação humana (Teletchea, 2021). Porém, nem todos os tipos de peixes possuem potencial para serem criadas em cativeiro, ou seja, não são sujeitas à domesticação, como indicado por um mecanismo funcional (Lecocq *et al.*, 2019). Por isso, é importante estudar o comportamento de cada espécie analisando seu potencial de domesticação (Chen *et al.*, 2021). Nesse sentido, muitas espécies nativas amazônicas estão sendo alvo atualmente de domesticação em piscicultura, com o intuito de promover o melhoramento alimentar, a partir do desenvolvimento de dietas equilibradas que atendam adequadamente às necessidades nutricionais, e que colaboram para o crescimento e a

conversão alimentar (HILSDORF *et al.*, 2022).

1.2 Fatores relevantes na domesticação inicial de peixes

Nas etapas iniciais da domesticação, a escolha da espécie e do ambiente de criação, são fatores cruciais para o processo adaptativo dos indivíduos em ambiente controlado, pois esses fatores influenciam diretamente nas características biológicas dos organismos (Lu *et al.*, 2021). Nesse sentido, oferecer um lugar adequado que atenda as necessidades de uma espécie em domesticação, colabora para os níveis de sobrevivência e crescimento (Shen *et al.*, 2021; Teletchea, 2021). Uma vez que, muitas espécies, possuem diferentes níveis de tolerância a concentração de dióxido de carbono, salinidade, pH, oxigênio dissolvido na água, amônia, dentre outros parâmetros que influenciam quimicamente no seu desenvolvimento corporal e sobrevivência (Kurniawan *et al.*, 2022; Cheng *et al.*, 2024; Huang *et al.*, 2021; Noor *et al.*, 2021; Xue *et al.*, 2021). Além disso, existe os parâmetros físicos (temperatura da água, fotoperíodo, som, turbidez), biológico (microrganismos e parasitas) e processual (superlotação, manuseio, rede, alimentação, transporte), que influenciam no processo e sucesso de criação dos peixes (Yuan *et al.*, 2025).

Nesse contexto, os peixes podem estar sujeitos a passar por algum desses fatores durante o processo de domesticação, que dependendo da circunstância podem sofrer por estresse (Pereira *et al.*, 2022; Silva; Fabretti; Junior, 2022; Teletchea, 2021). Essa eventualidade, contribui na rápida ativação da função neuroendócrina dos peixes, aumentando a liberação de catecolaminas e corticosteroides no corpo, provocando alterações fisiológicas (Reid *et al.*, 2022; Jones *et al.*, 2023; Yuan *et al.*, 2025). E, para evitar eventos que provocam situação de estresse, é recomendado que o responsável, seja provido de técnicas, idéias estratégicas, atenção, cuidado e dedicação em todos os eventos da domesticação (Shiguemoto *et al.*, 2020). Tal recomendação, é indicada principalmente para o primeiro contato dos seres silvestres com ambiente artificial, mas, sendo aconselhável também para o processo reprodutivo, produção e manejo dos organismos em fase juvenil (Susatyo *et al.*, 2022).

Contudo, o tipo de alimentação possui forte influencia no processo de domesticação de peixe (Chen, *et al.*, 2021). Neste cenário, a alimentação até o consumo aparente é indicada para testes em que se pretende estudar a capacidade máxima de crescimento do animal, como em pesquisas experimental de determinação de exigências nutricionais (Gervaz *et al.*, 2023). Dessa maneira, a ração artificial é comumente utilizada em setores de piscicultura, devido a capacidade de fornecer e acrescentar ingredientes que beneficiam na aceitação alimentar, no

crescimento, na adaptação, bem como na redução de desperdícios, consequentemente evitando possíveis doenças (Harvey *et al.*, 2016; Shiguemoto *et al.*, 2020). Sendo assim, a fonte proteica animal ainda é bastante utilizada nesses eventos por apresentarem boa palatabilidade influenciadas pela presença dos aminoácidos metionina e lisina, que são moléculas essenciais para aceitação alimentar (Simon *et al.*, 2021). Em um ensaio experimental feito com tilápia, foi identificado que a proteína animal contém nucleotídeos, aminoácidos livres e peptídeos curtos que atuam como atrativos naturais (Levina; Mikhailova; Kasumyan, 2021). Logo, a farinha de peixe é um dos ingredientes mais utilizada pelos setores de produção, mas em quesito de sustentabilidade e em termos econômico é considerada insatisfatória (Zhi *et al.*, 2025). Por isso, é importante avaliar outras fontes proteicas que contribuam para o crescimento e desenvolvimento dos peixes, que sejam sustentáveis e economicamente viáveis, como é o caso da proteína vegetal.

À vista disso, os ingredientes operam como um elemento chave na aceitação alimentar e no desenvolvimento do animal, em virtude da fonte proteica e outros nutrientes serem necessários para o seu crescimento e desenvolvimento (Costa *et al.*, 2022). Esses nutrientes relacionam-se as quantidades essenciais de aminoácidos, ácidos graxos, carboidratos, fibras alimentares, vitaminas e minerais (Zahran *et al.*, 2023; Hilsdorf *et al.*, 2022). Contudo, o aproveitamento desses nutrientes pode ser alterado conforme a atribuição dos ingredientes, os teores adicionados na dieta, na preparação, e interação (Gervaz, *et al.*, 2023). Um estudo com peixes-mandarim (*Siniperca chuatsi*), alimentados com peixes vivos e dieta artificial, demonstrou que a concentração dos nutrientes da dieta influencia a composição nutricional dos peixes, pois apenas os perfis de ácidos graxos apresentaram diferenças significativas, com maiores valores na dieta artificial, enquanto proteínas e aminoácidos não variaram de forma relevante, ainda assim, a metionina (Met) e a cisteína (Cys) foram identificadas como os principais aminoácidos restritivos, evidenciando a importância do equilíbrio nutricional da dieta (Niu *et al.*, 2023). Esses aminoácidos, quando ingeridos, são absorvidos através do trato gastrointestinal, que ao chegar no intestino são rapidamente reconhecidos por transportadores e receptores (quimiorreceptores e mecanorreceptores) presentes nas células epiteliais, exclusivamente pelas células caliciformes, favorecendo a ingestão alimentar nos tecidos (Calo *et al.*, 2021). Por esse motivo para identificar possíveis efeitos das dietas ofertadas durante o processo de domesticação é importante estudar a histologia do intestino, e a histologia do fígado que é um parâmetro diagnóstico do estado nutricional e fisiológico do peixe (SHEN *et al.*, 2021). Logo, cada espécie apresenta estruturas anatômicas e fisiologia diferenciada, que influencia na capacidade de aceitar e digerir determinados tipos de alimentos (Mandal *et al.*,

2021).

À luz dessa informação, é primordial conhecer a fonte de proteína que a espécie em domesticação tem predileção, sendo os aminoácidos uma das principais moléculas essenciais para o crescimento e desenvolvimento do animal, uma vez que bem aproveitada melhora no desempenho zootécnico (Zahran *et al.*, 2023; Hilsdorf *et al.*, 2022).

Portanto, pode se dizer que a prática de domesticação vai desde o momento da captura de uma espécie silvestre, até a sua adaptação em cativeiro, podendo se desenvolver através de técnicas de manejo que visam proporcionar saúde, bem-estar e o desenvolvimento satisfatório dos animais durante a criação (Milla *et al.*, 2021). Entretanto para identificar a domesticabilidade dos peixes, não se deve considerar apenas as questões hereditárias do organismo, mas também a adaptação de acordo com o domínio humano sobre a fase de desenvolvimento das espécies, na criação, nos parâmetros físicos e químicos da água e principalmente na alimentação (Bull *et al.* 2022).

1.3 *Acarichthys heckelii* no contexto da piscicultura

O *Acarichthys heckelii* (Müller & Troschel, 1849; Figura 1), também conhecido como Acará, é uma espécie nativa da Bacia Amazônica, que pode ser encontrada facilmente em diferentes ambientes naturais, como igarapés, lagos e rios, e em todos os períodos de sazonalidade hídrica, com maior abundância no período da cheia (Olentino *et al.*, 2022; Silva, 2019). Essa espécie em ambiente natural apresenta um crescimento isométrico ($b = 2,94$), ou seja, todas as partes do corpo crescem na mesma proporção. Na natureza já foram coletados indivíduos com comprimento total variando entre 1,4 cm e 10,0 cm, e o peso corporal entre 0,03 g e 24,9 g (Olentino *et al.*, 2022).

Possuem características interessantes na questão reprodutiva, apresentando desova múltipla, com períodos de máxima atividade reprodutiva no início da cheia (entre os meses de dezembro e janeiro) (Boschilia, 2023). Além disso, o seu hábito alimentar é do tipo onívoro, permitindo consumir alimentos diversificados disponíveis em seu ambiente natural, como larvas de isentos, algas e caracois (Liew *et al.*, 2014).

Em termos de importância socioeconômica, o *A. heckelii*, é um dos recursos alimentício mais consumido por muitas famílias locais, colaborando para subsistência das comunidades ribeirinhas em diversas regiões (Silva, 2019). Além disso, esse animal, também, pode ser utilizado como peixe ornamental, devido às suas características fenotípicas marcantes (cores, listras e manchas, características dos olhos, formas do corpo e das nadadeiras) (Olentino *et al.*,

2022). Diante disso, essa espécie apresenta elevado potencial de mercado se tornando uma alternativa promissora para piscicultura.

No entanto, ainda são poucos os estudos sobre a domesticação de *A. heckelii* em pisciculturas, que avaliam a alimentação como um fator importante para o desenvolvimento dos peixes, o que limita o seu desenvolvimento produtivo.

2. Objetivos

2.1 Objetivo Geral

Avaliar o potencial de domesticação de *A. heckelii* através da análise de aceitação a ração, palatabilidade da ração, desempenho zootécnico, composição corporal, e respostas histológicas (fígado e intestino) a diferentes fontes proteicas dietéticas (animal, vegetal e mista) sob condições de piscicultura.

2.2 Objetivos Específicos

- a) Avaliar a palatabilidade das dietas e desempenho zootécnico dos peixes (ganho de peso, consumo, conversão alimentar, eficiência proteica e produtividade).
- b) Determinar a composição centesimal da carcaça do peixe (matéria seca, umidade, cinzas, extrato étéreo e proteína bruta) alimentados com as diferentes rações.
- c) Avaliar o grau de esteatose hepática em *A. heckelii* através da densidade do fígado.
- d) Investigar os efeitos das diferentes dietas sobre a morfologia e histomorfometria nas estruturas intestinal dos peixes.

Referências Bibliográficas

- BOSCHILIA, N. **Avaliação da viabilidade de peixe nativo amazônico *Acarichthys heckelii* para a piscicultura**. 2023. Dissertação (Mestrado em Ciência e Tecnologia para Recursos Amazônicos) – Instituto de Ciências Exatas e Tecnologia, Universidade Federal do Amazonas, Amazonas, 50 f, 2023.
- BULL, J. K. *et al.* Environment and genotype predict the genomic nature of domestication of salmonids as revealed by gene expression. **Proceedings of the Royal Society B**, v. 289, n. 1988, p. 1-10, 2022.
- CALO, J. *et al.* First evidence for the presence of amino acid sensing mechanisms in the fish gastrointestinal tract. **Scientific reports**, v. 11, n. 1, p. 1-14, 2021.
- CHEN, Z. *et al.* Effect of food domestication on the growth of *Elopichthys bambusa*. **Reproduction and Breeding**, v. 1, n. 3, p. 157-166, 2021.
- CHENG, X.; *et al.* Transcriptome analysis in gill reveals the adaptive mechanism of domesticated common carp to the high temperature in shallow rice paddies. **Aquaculture**, v. 578, n.2, p. 1-17, 2024.
- COSTA, M. N. F. *et al.* Physiological responses of tambaqui (*Colossoma macropomum*) fed diets supplemented with silage from fish and vegetables residues. **Brazilian Journal of Biology**, v. 84, [s. n.], p. 1-7, 2022.
- ELLISON, L. *et al.* Size, fecundity and condition factor changes in endangered delta smelt *Hypomesus transpacificus* over 10 generations in captivity. **Aquaculture, Fish and Fisheries**, v. 3, n. 4, p. 353-365, 2023.
- GERVAZ, W. R. *et al.* Dynamics of growth in purebred Pacu (*Piaractus mesopotamicus*) and Tambaqui (*Colossoma macropomum*), and their reciprocal hybrids, under varied feeding programs: Insights from nonlinear models. **Genes**, v. 14, n. 10, p. 1976, 2023.
- HARVEY, A. C. *et al.* Plasticity in growth of farmed and wild Atlantic salmon: is the increased growth rate of farmed salmon caused by evolutionary adaptations to the commercial diet?. **BMC Evolutionary Biology**, v. 16, n. 1, p. 1-13, 2016.
- HILSDORF, A. W. S. *et al.* The farming and husbandry of *Colossoma macropomum*: From Amazonian waters to sustainable production. **Reviews in Aquaculture**, v. 14, n. 2, p. 993-1027, 2022.

- HUANG, J. *et al.* Effects of hypoxia-reoxygenation conditions on serum chemistry indicators and gill and liver tissues of cobia (*Rachycentron canadum*). **Aquaculture Reports**, v. 20, n. 2, p. 1-10, 2021.
- JONES, M. *et al.* Influence of social enrichment on transport stress in fish: a behavioural approach. **Applied Animal Behaviour Science**, v. 262, n. 3, p. 1-9, 2023.
- KURNIAWAN, K. *et al.* Tolerance level of domesticated asian red-tail catfish *hemibagrus nemurus* to salinity, acidity, and temperature variability. **Journal of Hunan University Natural Sciences**, v. 49, n. 3, p. 76-84, 2022.
- LECOCQ, T. *et al.* TOFF, a database of traits of fish to promote advances in fish aquaculture. **Scientific Data**, v. 6, n. 1, p. 301, 2019
- LEVINA, A. D.; MIKHAILOVA, E. S.; KASUMYAN, A. O. Taste preferences and feeding behaviour in the facultative herbivorous fish, Nile tilapia *Oreochromis niloticus*. **Journal of Fish Biology**, v. 98, n. 5, p. 1385-1400, 2021.
- LIEW, J. H. *et al.* Ecology and origin of the introduced cichlid *Acarichthys heckelii* in Singapore's fresh waters—first instance of establishment. **Environmental biology of fishes**, v. 97, n. 10, p. 1109-1118, 2014.
- LU, Y. *et al.* Domestication of farmed fish via the attenuation of stress responses mediated by the hypothalamus–pituitary–inter-renal endocrine axis. **Frontiers in Endocrinology**, v. 13, n. 2, p. 923-475, 2022.
- MANDAL, A. *et al.* Assessment of the nutritional quality of fish cultured in Samdihi, an open cast coalpit at the Raniganj Coal Field areas, West Bengal, India. **Lakes & Reservoirs: Research & Management**, v. 26, n. 1, p. 3-12, 2021.
- MILLA, S. *et al.* How domestication alters fish phenotypes. **Reviews in Aquaculture**, v. 13, n. 1, p. 388-405, 2021.
- NAKAJIMA, T. *et al.* Common carp aquaculture in Neolithic China dates back 8,000 years. **Nature Ecology & Evolution**, v. 3, n. 10, p. 1415-1418, 2019.
- NIU, S. *et al.* Effects of live practice fish and artificial diet on nutrient composition and textural properties in muscle of mandarin fish (*Siniperca chuatsi*). **Acta hydrobiologica sinica**, v. 47 n. 1, p. 37-44, 2023.
- NOOR, N. *et al.* Welfare of scaleless fish, Sagor catfish (*Hexanematichthys sagor*) juveniles under different carbon dioxide concentrations. **Aquaculture Research**, v. 52, n. 7, p. 2980-

2987, 2021.

OLENTINO, D. *et al.* Length-weight relationship of four species of ornamental fish from the lower Rio Negro basin in the Brazilian Amazon. **Acta Scientiarum. Biological Sciences**, v. 44, [s. n.], p. 1-10, 2022.

PEREIRA, R. S. *et al.* Ichthyofauna from tributaries of Urubu and Amazonas rivers, Amazonas State, Brazil. **Biota Neotropica**, v. 20, n. 2, p. 2-15, 2020.

PRESTES-CARNEIRO, G. *et al.* Waterscapes domestication: an alternative approach for interactions among humans, animals, and aquatic environments in Amazonia across time. **Animal frontiers**, v. 11, n. 3, p. 92-103, 2021.

REID, C. H. *et al.* An updated review of cold shock and cold stress in fish. **Journal of Fish Biology**, v. 100, n. 5, p. 1102-1137, 2022.

ROGERS, A. J. Aquaculture in the ancient world: Ecosystem engineering, domesticated landscapes, and the first Blue Revolution. **Journal of Archaeological Research**, v. 32, n. 3, p. 427-491, 2024.

SHEN, Y. *et al.* The digestive system of mandarin fish (*Siniperca chuatsi*) can adapt to domestication by feeding with artificial diet. **Aquaculture**, v. 538, n. 3, p. 1-9, 2021.

SHIGUEMOTO, G. F. *et al.* Domestication strategies for the endangered catfish species *Pseudopimelodus mangurus Valenciennes*, 1835 (Siluriformes: Pseudopimelodidae). **Brazilian Journal of Biology**, v. 81, n. 2, p. 301-308, 2020.

SILVA, 2019. **Peixes do Lago de Serpa: Diversidade e Distribuição da Fauna de Peixes, Dinâmica da Pesca e Consumo do Pescado**. Dissertação. Universidade Federal do Amazonas. Ciências e Tecnologias para Recursos Amazônicos. 87 f. 2019.

SILVA, C.; FABRETTI, M. O.; JUNIOR, E. F. Piscicultura: manejo e viabilidade. **Interface Tecnológica**, v. 19, n. 1, p. 210-222, 2022.

SIMON, C. J. *et al.* Feeding behaviour and bioavailability of essential amino acids in shrimp *Penaeus monodon* fed fresh and leached fishmeal and fishmeal-free diets. **Animals**, v. 11, n. 3, p. 1-10, 2021.

SPENGLER, R. N. *et al.* Seeking consensus on the domestication concept. **Philosophical Transactions B**, v. 380, n. 2, p. 1-15, 2025.

SUSATYO, P. *et al.* Reproductive aspects of javaen barb fish, *Systemus orphoides* in the initial domestication program. **Biodiversitas Journal of Biological Diversity**, v. 23, n. 3, 2022.

TELETCHEA, F. Fish domestication in aquaculture: 10 unanswered questions. **Animal Frontiers**, v. 11, n. 3, p. 87-91, 2021.

XUE, S. *et al.* Ammonia stress-induced apoptosis by p53–BAX/BCL-2 signal pathway in hepatopancreas of common carp (*Cyprinus carpio*). **Aquaculture International**, v. 29, n. 4, p. 1895-1907, 2021.

YUAN, M. *et al.* Stress in Fish: Neuroendocrine and Neurotransmitter Responses. **Fishes**, v. 10, n. 7, p. 1-25, 2025.

ZAHARAN, E. *et al.* Nutritional and immunological evaluation of *Nannochloropsis oculata* as a potential Nile tilapia-aquafeed supplement. **BMC Veterinary Research** v. 19, n. 1, p. 1-18, 2023.

ZHI, X. *et al.* Dietary functional palatability enhancer improved growth and appetite in largemouth bass (*Micropterus salmoides*) fed a reduced fish meal diet. **Aquaculture Reports**, v. 40, p. 102-598, 2025.

3. CAPÍTULO 1

Potencial de Domesticação do *Acarichthys heckelii*: Efeitos da Fonte de Proteína Dietética na Palatabilidade, Desempenho e Respostas Histológicas

Segundo normas da revista “Aquaculture”

Potencial de Domesticação do *Acarichthys heckelii*: Efeitos da Fonte de Proteína Dietética na Palatabilidade, Desempenho e Respostas Histológicas

Laís Iuri da Silva Melo^{a,b}, Erico Luis Hoshiba Takahashi^b, Ligia Uribe Gonçalves^{c,d}, Fabrício Leonardo Alves Ribeiro^b, , Rafael Yutaka Kuradomi^{a,b,c,*}

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

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

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

^d Coordenação de Tecnologia e Inovação, Instituto Nacional de Pesquisas da Amazônia, Manaus, Amazonas, Brazil.

* Corresponding author: Kuradomi, R. Y., email: rkuradomi@ufam.edu.br

Resumo

A domesticação de espécies nativas é crucial para a aquicultura amazônica sustentável. Este estudo avaliou a domesticabilidade do ciclídeo *Acarichthys heckelii* por meio de ensaios alimentares com três dietas experimentais do tipo animal (ANI) proveniente de fonte proteica animal; vegetal (VEG) de origem vegetal; mista (MIX) contendo fonte proteica animal e vegetal, todas com ~30% de proteína bruta, durante 90 dias. No total, sessenta e três juvenis com peso médio inicial (23,85 g) e comprimento médio totais (11,75 cm) foram distribuídos em delineamento em blocos casualizados (n = 3 tanques por tratamento, 7 peixes/tanque) e alimentados duas vezes ao dia. Foi avaliado a palatabilidade (Kaplan-Meier), desempenho zootécnico, composição centesimal e histologia hepática e intestinal. A dieta ANI (base animal) apresentou a maior palatabilidade, superando significativamente a dieta VEG. O desempenho zootécnico foi superior para ANI, que resultou na melhor taxa de conversão alimentar ($0,97 \pm 0,06$). Não houve diferenças significativas na composição centesimal ou na morfometria intestinal ($p > 0,05$). No entanto, a esteatose hepática variou significativamente entre os tratamentos ($p = 0,000743$), com os maiores níveis de acúmulo de lipídios observados nos grupo MIX. Assim, a alimentação artificial em ambiente piscícola demonstrou ser eficaz para a domesticação inicial de *A. heckelii*. A dieta de origem animal promoveu o melhor desempenho, mas a variação na esteatose hepática indica a necessidade de otimização no balanço lipídico das rações, uma vez que dietas não isolipídicas, especialmente aquelas com maior teor de gordura de origem animal, favorecem o acúmulo excessivo de lipídios no fígado. Os resultados demonstram que as dietas influenciam diretamente a alimentação e o desenvolvimento dos peixes, com melhor desempenho observado na dieta de origem animal (ANI), além de evidenciar o potencial da espécie para a piscicultura regional, indicando a necessidade de investigações futuras relacionadas à nutrição e à reprodução em condições de cativeiro.

Palavras-chave: Domesticação; Ração; Palatabilidade; Desempenho zootécnico; Histologia.

3.1 Introdução

O *Acarichthys heckelii* (Müller & Troschel, 1849) é um ciclídeo, onívoro nativo da Bacia Amazônica (Ng; Tan, 2010). Pondo ser encontrados em diversas localidades da região, como lagos, igarapés, rios, incluindo também ambientes antropizados (Olentino *et al.*, 2022; Pereira *et al.*, 2020; Silva, 2019). Essa espécie dulcícola possui uma alimentação variada, que incluem algas, caracois e larvas de insetos (Liew *et al.*, 2014). Entretanto, apesar da alimentação diversificada, consomem com maior frequência a fonte proteica proveniente de insetos em ambiente natural (Lins, 2011).

O *A. heckelii* acabou se tornando alvo socioeconômico na subsistência das comunidades ribeirinhas em diversas regiões (Silva, 2019). Tornando-se uma fonte de alimento para muitas famílias locais, porque surgem em quase todas as épocas do ano, em maior abundância no período da cheia e por apresentar uma carne com qualidades físicas e sensoriais favoráveis para o consumo (Bevilaqua; Soares, 2014; Silva, 2019; Boschilia, 2023). Porém, esse animal não é usado somente para alimentação, mas também podem ser comercializadas como peixe ornamental, devido às suas características fenotípicas marcantes (cores, listras e manchas, características dos olhos, formas do corpo e das nadadeiras) (Olentino *et al.*, 2022; Luo *et al.*, 2025).

Nessa perspectiva, a domesticação de espécies nativas é crucial, para a conservação de espécies e ecossistemas (Teletchea, 2021; Fontaine, 2014). Essa prática pode permitir a redução da pressão sobre as populações de peixes selvagens, ao mesmo tempo em que pode promover o desenvolvimento econômico em diversas regiões com o aumento da produtividade de peixe em cativeiro (Shiguemoto *et al.*, 2020; Konstantinidis *et al.*, 2020). Além de, permitir aprimoramento de ideias, técnicas nos setores de produção (Teletchea, 2021). Diante disso, realizar pesquisas sobre o potencial do *A. heckelii* em cativeiro pode ajudar na segurança alimentar local, promover práticas sustentáveis utilizando recursos naturais para criação, paralelamente pode incentivar a economia da região, criando oportunidades de emprego, e colaborando para futuras pesquisas científicas, a partir da produção de conhecimento sobre a biologia e ecologia dos espécimes (Aride *et al.*, 2018; Salaro *et al.*, 2022).

No entanto, a prática de domesticação pode ser desafiadora, ao utilizar a alimentação artificial no processo de domesticação (Akter *et al.*, 2024; Chen *et al.*, 2021; Konstantinidis *et al.*, 2020). Isso porque, muitos animais capturados no ambiente natural, ao serem inseridos em cativeiro, podem apresentar rejeição para a ração artificial (Shiguemoto *et al.*, 2020). Em contrapartida, alimentos artificiais que apresentam boa palatabilidade e atratividade, têm

capacidade de influenciar na ingestão adequada da ração, sendo induzido pela presença de proteínas, aminoácidos e outros componentes considerados palátaveis para as espécies (Jeong *et al.*, 2020). Logo, a fonte proteica na palatabilidade da ração é importante, pois melhora o consumo de ração e, conseqüentemente, aumenta o desempenho do crescimento (Levina; Mikhailova; Kasumyan, 2021; Chen *et al.*, 2021). Essa resposta se deve pela ação da quantidade adequada de aminoácidos considerados essenciais e não essenciais presentes na composição da ração, que são utilizadas na síntese de proteínas para a construção muscular (Zahran *et al.*, 2023; Hilsdorf *et al.*, 2022). Além disso, os tipos de aminoácidos também contribuem para aproveitamento de nutrientes, absorção pelo intestino, e para a saúde dos peixes (Niu *et al.*, 2023). Portanto, as características dos ingredientes usados na elaboração das rações, a forma de processamento e apresentação dos alimentos, são aspectos importantes para garantir a palatabilidade dos peixes em cativeiro (KARAPANAGIOTIDIS *et al.*, 2023).

As características dos ingredientes usados na elaboração das rações, a forma de processamento e apresentação dos alimentos, são aspectos importantes para garantir a palatabilidade dos peixes em cativeiro (KARAPANAGIOTIDIS *et al.*, 2023).

Diante disso, hipotetizamos que dietas com diferentes fontes proteicas influencia na aceitação e altera a palatabilidade da ração e o desempenho zootécnico, intestino e fígado no *A. heckelii* quando mantidos em condições piscícola. Assim, o objetivo deste estudo foi avaliar o potencial de domesticação de *A. heckelii* através da análise de aceitação a ração, palatabilidade da ração, desempenho zootécnico, composição corporal, e respostas histológicas (fígado e intestino) a diferentes fontes proteicas dietéticas (animal, vegetal e mista) sob condições de piscicultura.

3.2 Material e Métodos

3.2.1 Coletas e aclimação

Um total de 63 espécimes de peso médio inicial (23,85 g) e comprimento médio total (11,75 cm) foram coletados no Lago do Canaçari (2°52'55.04"S, 58°13'3.41"O), na cidade de Itacoatiara, Amazonas, Brasil (FIGURA 1). Em seguida, foram encaminhados para a aclimação por 14 dias, no Centro Experimental de Piscicultura do Instituto Federal do Amazonas. No local, os espécimes foram separados em caixas de polietileno de (1000L), densidade inicial 0,33 kg/m³ e alimentados com ração comercial (CON). Nesse processo de

alimentação, foi oferecido uma dieta com ração comercial extrusada (Multi-Peixe, Vilhena, RO, BR- dispondo 32,0% de proteína bruta, extrato etéreo 45,00%, matéria fibrosa 60,00%) para verificar se os peixes aceitavam ração como alimento, onde foi ofertado duas vezes ao dia no turno da manhã até o consumo aparente. A quantidade de peletes ofertada foi mensurada com o auxílio de um recipiente plástico graduado (50 mL). Ao término do período de alimentação, as sobras de ração foram removidas dos tanques com o uso de uma peneira plástica e devidamente descartadas, a fim de evitar interferências na qualidade da água e no consumo alimentar. As rações foram armazenadas em potes e foram refrigeradas em freezers para manter as qualidades nutricionais das rações utilizadas na alimentação. Todos os procedimentos experimentais foram de acordo com o Conselho Nacional de Controle de Experimentação Animal (CONCEA) cedida pela Comissão de Ética no Uso de Animais – CEUA do Instituto Federal do Amazonas-IFAM, protocolo N° 1741.0810/2020.

3.2.2 Adaptação e treinamento alimentar *A.Heckelli*

Os 63 espécimes foram distribuídos em um delineamento em blocos casualizados, resultando em três tanques (réplicas) por tratamento, com 7 peixes por tanque. Sendo todos os peixes microchipados. Diariamente, os peixes foram alimentados com ração comercial contendo 32% de proteína bruta (marca multi-peixe 32, com tamanho de 4 a 6 mm) extrusada até o consumo aparente no período da manhã (início às 8:00h) e tarde (14:00h).

3.2.3 Dieta experimental para desempenho zootécnico e palatabilidade

Para avaliação do desempenho zootécnico foram formuladas três diferentes dietas, contendo aproximadamente 30% de Proteína Bruta, em que os valores reais foram confirmados pela análise bromatológica (Tabela 2), e três diferentes fontes do ingrediente proteicos. Essas dietas foram formuladas priorizando ingredientes de origem orgânica, conforme disponibilidade comercial (Mendes *et al.*, 2024). Diante disso, o experimento foi composto por três tratamentos dietéticos, definidos pela predominância da fonte proteica: animal (ANI), vegetal (VEG) e mista (MIX). No tratamento 1, houve predominância de ingredientes de origem animal na fração proteica, o tratamento 2 foram utilizados ingredientes de fonte animal e vegetal e por fim o tratamento 3, foi utilizado na formulação apenas ingredientes de fonte vegetal na fração protéica (Tabela 1). Nesse sentido, para a preparação das rações os ingredientes foram previamente moídos, pesados de acordo com a formulação de cada dieta, misturados, moídos

novamente. Posteriormente, foi adicionada água para formação da massa, seguida de extrusão. Nesse processo, a massa foi condicionada, passada pela extrusora, depois foram secas à temperatura ambiente, onde sofreram a ação de peneiramento, adicionada líquidos, resfriamento, armazenadas em recipientes adequados até o fornecimento aos peixes. Paralelamente, foi realizado a análise bromatológica das rações experimentais, conforme a metodologia descrita por Pastore *et al* (2013).

3.2.4 Experimento 1- Desempenho zootécnico

O experimento teve duração de 90 dias, os animais foram alimentados com ração extrusada com diâmetro entre 1 e 2 mm, duas vezes ao dia, sete dias por semana até o consumo aparente no período da manhã (08:00h) e de tarde (14:00h) com as três diferentes dietas ANI, VEG, MIX. O consumo individual (contagem manual de peletes) por unidade experimental foi analisado para cálculo de conversão alimentar e desempenho zootécnico. As sobras de ração foram retiradas com o auxílio de uma peneira plástica, submetido à secagem em estufa e logo após mensuradas em balança analítica com precisão de 0,1mg. Diante disso, para avaliação do desempenho foram realizadas duas biometrias (peso e comprimento) uma no início e uma no final do período experimental. Nessa ocasião, os animais foram anestesiados com benzocaína ($0,1 \text{ g} \cdot \text{L}^{-1}$), e a massa (g) e o comprimento padrão (cm) foram tabelados. Em cada tanque foram realizadas semanalmente as análises físicas e químicas da água, para conferir os seguintes fatores: amônia total ($0,61 \pm 0,10 \text{ mg/L}$), amônia tóxica ($0,01 \pm 0,046 \text{ mg/L}$), pH ($6,98 \pm 0,90$), nitrito ($0,17 \pm 0,23 \text{ mg/L}$), alcalinidade total ($40,0 \pm 33,61 \text{ mg/L de CaCO}_3$), dureza total ($85,03 \pm 57,88 \text{ mg/L de CaCO}_3$), CO_2 ($34,32 \pm 36,84 \text{ mg/L}$), O_2 ($7,35 \pm 1,30 \text{ mg/L}$), temperatura do ar ($28,26 \pm 1,44^\circ \text{C}$), temperatura da água ($27,33 \pm 0,99^\circ \text{C}$). Logo, o material utilizado para aferir oxigênio e temperatura foi oxímetro AT 160 SP microprocessado modelo Alfakit, enquanto os outros parâmetros foram avaliados através de kits colorimétricos comerciais, seguindo os procedimentos recomendados pelo fabricante. Diante disso, o desempenho zootécnico foi avaliado por meio dos seguintes parâmetros: ganho de peso médio (GPM), consumo de ração (COM), conversão alimentar aparente (CAA), taxa de eficiência proteica (TEP) e produtividade (PRO), calculados de acordo com as seguintes equações: Ganho de peso médio (GPM, g) = peso final – peso inicial; Consumo de ração (COM, kg) = ração ofertada – sobras; Conversão alimentar aparente (CAA, g g^{-1}) = consumo de ração ÷ ganho de peso da biomassa; Taxa de eficiência proteica (TEP, g g^{-1}) = ganho de peso da biomassa ÷ consumo de proteína; Produtividade (PRO, kg ha^{-1}) = biomassa final ÷ área de cultivo (Mendes *et al.*, 2024).

3.2.5 Aplicação experimental 1- palatabilidade

Foram aplicadas o teste de palatabilidade quinzenalmente, com o mesmo ensaio alimentar feito para o desempenho. A distribuição alimentar foi feita por meio de contagem manual, com o fornecimento de dez pellets por tanque, no horário das 8:00 h, sendo todo o processo filmado à distância, a fim de evitar a interferência comportamental e o estresse dos peixes durante a alimentação. Deste modo, o tempo de oito minutos foi estimado para que os peixes consumissem todo o alimento oferecido até o consumo aparente (Alves *et al.*, 2020). Com relação a análise estatística, adotou-se as curvas de Kaplan-Meier (Schober; Vetter, 2021). Considerando que, o experimento foi baseado na análise do tempo necessário para os peixes consumirem os peletes de ração. O fator censura foi definido em 8 minutos. Os dados foram classificados como censurados quando o consumo total da ração não foi atingido dentro do período de observação de 8 minutos, indicando que o tempo real de consumo seria maior que o tempo de observação. Além disso, foi aplicada o teste de Log-Rank (Mantel-Cox) para a observação da variação entre as curvas (Yuan *et al.*, 2025). Foi levado em conta "sobrevivência" como o tempo até que a ração foi aceita e o tempo até que a ração foi consumida. E, para administrar o risco de erro foi considerado o valor de alfa 5% corrigido pelo método de Bonferroni.

3.2.6 Composição centesimal

Ao final do experimento três exemplares de cada unidade experimental foram eutanasiados para avaliar a composição centesimal e histológica. Desse modo, os animais foram sujeitos à anestesia com solução de benzocaína ($0,1 \text{ g} \cdot \text{L}^{-1}$) e após a indução total, foi realizada uma eutanásia. Para as análises, foram avaliados 27 peixes dos tratamentos experimentais (nove por tratamento). Nessa sequência os seguintes componentes foram analisados: umidade (UM), proteína bruta (PB), cinzas (CZ) e gordura (EE) e matéria seca (MS). Com isso, os parâmetros foram realizados de acordo com Goes e Lima (2010) e AOAC (2012).

3.2.7 Histologia

Os espécimes foram anestesiados em benzocaína ($0,1 \text{ g} \cdot \text{L}^{-1}$) e eutanasiados com benzocaína a 250 mg/L, para a coleta da região do intestino e do fígado. As amostras foram fixadas em solução de glutaraldeído a uma concentração de 2,5 % em tampão (PBS 0,1M pH

7,2) e desidratadas em uma série gradual de soluções alcoólicas (70%, 80%, 90%, 95% a 100%), em álcool xilol (50%), e xilol. Os blocos de parafina foram cortados em seções finas de 5 µm de espessura com auxílio de um micrótomo manual (CruX micrótomo rotativa manual EasyPath), com todas as amostras desenvolvidas em triplicatas, e coradas em hematoxilina e eosina (Duan *et al.*, 2022).

2.7.1 Avaliações dos padrões hepatológicos e histomorfometria intestinal

3.2.7.1 Análise a histomorfometria e densidades das dobras intestinal

Para a região do intestino foram efetuadas seções de corte transversal ao longo da região proximal, medial e distal. Para cada comparação, foram capturadas três imagens histológicas por amostra através de uma câmera digital (marca Generic- 34 MP microscope camera) acoplada ao microscópio (marca Kasvi), totalizando 99 imagens analisadas. Com isso, as características do tecido intestinal, como altura das dobras e largura da mucosa, foram medidas, por meio do programa analisador de imagem (IC Measure Plus versão 2.0.0.161) o qual foi ajustado com captura de 50µm em uma ampliação de 40×, adaptado de Duan *et al* (2022). Após isso, as células caliciformes foram quantificadas em cada área das dobras pelo cálculo da densidade das células caliciformes na área da epiderme das dobras intestinais.

3.2.7.2 Determinação da densidade de volume da esteatose hepática

Em cada corte, foram capturadas imagens de três áreas aleatórias e não sequenciais, somando um total de 87 fotos por tratamento. A partir da análise das imagens (contagens de pontos- CP) pelo programa image J, versão ImageJ 1.54d (National Institutes of Health – NIH, EUA), disponível em: <https://imagej.nih.gov/ij/>, baseada nos métodos estereológicos, verificou-se a presença de gordura no fígado, chamada de esteatose hepática (Villasante *et al.*, 2022). Um painel de grade foi arranjado com 209 cruzeiros, no qual foi sobreposto em cada imagem. Foram contabilizados todas as gorduras que deslocavam o núcleo e tocavam as cruzeiros, a fim de determinar a densidade do volume de gordura hepática $V_v[\text{esteatose}]$ (Glesse, 2019).

O cálculo da fração de pontos foi determinado pela seguinte fórmula: $V_v[\text{esteatose \%}] = P_p[\text{esteatose}] / P_T \times 100$. Em que $P_p[\text{esteatose}]$ são os pontos que atingiram as vesículas de gordura e P_T significa o número total de pontos. As contagens serão realizadas com apoio de grid com 209 cruzeiros (Glesse, 2019).

3.2.8 Análise dos dados

Foi utilizada para interpretar os dados experimentais a estatísticas descritiva, onde as médias foram calculadas para determinar as tendências centrais e o desvio padrão foram usados para avaliar a variabilidade dos valores para cada dado informado. Também foi usada a estatística ANOVA e o teste de Post-hoc de Tukey (Teste de Tukey HSD) para verificar as diferenças significativas. A homogeneidade e normalidade foram avaliados (Villasante *et al.*, 2022). Portanto, em todas as análises o nível de significância foi de 0,05, sendo realizadas usando o Excel, e software estatístico (R v4.3.2 e Statistica).

3.3 Resultados

3.3.1 Palatabilidade

Durante a alimentação foi observado o consumo de três dietas experimentais: ANI, MIX e VEG, a primeira e a terceira dieta foram as mais consumidas em menos tempo pela espécie *A. heckelii*, diferente da segunda dieta que não foi consumida o suficiente no tempo estimado. A Figura 2, mostra o resultado da palatabilidade das dietas com base na análise de sobrevivência pela curva Kaplan-Meier e o teste de Log-Rank (Mantel-Cox). Na primeira avaliação, realizada em agosto, não houve diferença no aproveitamento entre as dietas, todas apresentando 84%. A partir da segunda avaliação, as dietas ANI e VEG apresentaram maiores valores de aproveitamento (73%) em comparação à dieta MIX. Ao longo do período experimental, a dieta ANI apresentou desempenho superior, enquanto a dieta VEG manteve comportamento intermediário. A dieta MIX apresentou o menor aproveitamento (66%), evidenciando redução progressiva ao longo das avaliações. A comparação das curvas de sobrevivência pelo teste de Log-Rank demonstrou diferença estatisticamente significativa para as dietas ANI (68%) e VEG (45%), enquanto a dieta MIX (32%).

3.3.2 Desempenho zootécnico

Dos alimentos oferecidos durante o processo de domesticação do *A. Heckelli*, notou-se que os parâmetros de ganho de peso (GPM), conversão alimentar (CAA), taxa de eficiência proteica (TEP) e produtividade (PRO), obtiveram valores significativos para a dieta ANI, mas em relação ao consumo não houve diferença significativa, como mostra na Tabela 4. No

entanto, foi observado que a dieta formulada ANI, apresentou a melhor performance para os parâmetros avaliados.

Os resultados dos testes demonstraram efeito significativo do tipo de ração sobre as variáveis analisadas. Para o GPM, houve diferença significativa entre as dietas ANI e MIX ($p = 0,036535$). Em relação à CAA, a dieta ANI apresentou valores significativamente superiores quando comparada às dietas MIX ($p = 0,047388$) e VEG ($p = 0,043186$), não sendo observada diferença entre MIX e VEG ($p = 0,996856$). Para a PRO, diferença significativa foi registrada apenas entre as dietas ANI e MIX ($p < 0,05$), enquanto os pares ANI $\times$ VEG e MIX $\times$ VEG não apresentaram diferenças estatisticamente significativas ($p = 0,400027$). Quanto à TEP, a dieta ANI apresentou maior eficiência, diferindo significativamente das dietas MIX e VEG. Dessa forma, a ração ANI demonstrou efeito superior sobre os parâmetros CAA e TEP, além de diferir da ração MIX em relação à PRO.

3.3.3 Composição centesimal

Os diferentes tipos de ração (ANI, VEG e MIX) não influenciaram na composição centesimal da carcaça conforme ilustrado na tabela 5.

3.3.4 Histologia

3.3.4.1 Intestino

A análise histológica intestinal não revelou diferenças estatisticamente significativas ($p > 0,05$) nas medidas morfométricas das dobras intestinais ou na densidade de células caliciformes (Tabela 6). As estruturas morfológicas do intestino do *A. Heckelli*, subdivididas em segmentos proximal, medial e distal, estão demonstradas na Figura 3.

3.3.4.2 Fígado

Foi possível verificar diferença entre os tratamentos em relação ao índice de esteatose. A ação do tratamento é bastante significativa, com o valor de $p = 0,000743$. Desse modo, é confirmado que os diferentes tratamentos apresentaram uma evidente quantidade de depósitos lipídicos na região citoplasmática dos hepatócitos (FIGURA 5), o que propiciou aos tratamentos MIX os maiores índices de esteatose hepática em relação aos tratamentos ANI e

VEG (Tabela 7).

3.4 Discussão

Durante o período experimental, os alimentos mais aceitos pelo *A. Heckelli*, foram as rações ANI e VEG. Esse resultado, foi influenciado pela presença de ingredientes e substâncias de boa atratividade e palatabilidade para os animais (Dos santos *et al.*, 2023). Indicando que os espécimes possuem preferências alimentares quando sujeitos a mais de um tipo de alimento artificial (De Oliveira *et al.*, 2022).

Contudo, ao avaliar a palatabilidade da ração, a ração ANI foi melhor em comparação a ração VEG. Essa principal característica se assemelha com as espécies amazônicas de grande importância econômica, como tambaqui (*Colossoma macropomum*) (Cuvier, 1818) e matrinxã (*Brycon amazonicus*) (Spix & Agassiz, 1829), animais onívoros, que são capazes de utilizar diferentes fontes de proteínas e recursos energéticos de diversas combinações e proporções de forma satisfatória para o seu desenvolvimento, apresentando melhor aceitação da dieta composta por ingredientes de origem animal (Costa *et al.*, 2022; Gonçalves *et al.*, 2021).

No entanto, a dieta vegetal apresentou palatabilidade intermediária, indicando aceitação moderada pelos animais, isso mostra que os ingredientes de origem vegetal podem ser usados em quantidades ajustáveis na formulação da ração para animais que apresentam esse tipo de hábito alimentar, dependendo da fase de desenvolvimento (Leite *et al.*, 2021).

Contudo os resultados de desempenho zootécnico do *A. Heckelli* demonstram maior conversão alimentar nos peixes alimentados com proteína de origem vegetal, anulando os potenciais benefícios e vantagens da dieta de origem vegetal (Mendes, 2024). Uma vez que, as fontes proteicas de origem vegetal, como farelo de soja, farelo de girassol, farelo de canola e concentrados proteicos de oleaginosas, apresentam disponibilidade em várias épocas do ano, e são de baixo custo em comparação as fontes de proteína de origem animal (Hussain *et al.*, 2024). Porém, torna-se importante identificar as exigências nutricionais e seus efeitos no desenvolvimento corporal da espécie.

Em relação ao desempenho zootécnico, foi observado que as rações ANI, MIX e VEG, mostraram ser alimentos favoráveis para o desenvolvimento corporal do *A. Heckelli*. Conforme apontado pelo baixo valor da conversão alimentar e os diferentes valores dos parâmetros da taxa de eficiência proteica (De Oliveira-Júnior *et al.*, 2021). No entanto, a alimentação dos *A. Heckelli* a partir da proteína animal (ANI), garantiu a melhor taxa de conversão alimentar, quando comparada as dietas MIX e VEG. Esse resultado está de acordo com os resultados

obtidos na criação da tilápia do Nilo (*Oreochromis niloticus*), que obteve taxa de conversão alimentar (TCA) maior nos peixes alimentados com ORG (ingredientes vegetais) em comparação com aqueles alimentados com PD (ingredientes misturado entre vegetal e animal) (Mendes *et al.*, 2024). A explicação observada pode estar relacionada, ao perfil de aminoácidos e proteínas presentes na composição da ração, esses tipos de aminoácidos podem ser usados para formar proteínas responsáveis pelo crescimento muscular, ou seja, participam diretamente do processo de síntese tecidual, sendo os músculos o principal alvo desta atividade (Konnert *et al.*, 2022; Luthada-Raswiswi; Mukaratirwa; O'Brien, 2021; De Oliveira-Júnior *et al.*, 2021). Portanto, a conversão alimentar aparente de 0,97% mostra efeitos positivos na utilização da ração ANI, apontando que os peixes foram capazes de converter o alimento ingerido em biomassa (Parvez *et al.*, 2024).

No que tange o consumo, não houve diferenças para as três dietas experimentais e GPM não diferiu da ração ANI com a ração VEG e a VEG com a ração MIX. Porém, existem casos, que podem acontecer de uma espécie criada em ambiente controlado, não conseguir um ganho de peso satisfatório ao alimentar-se de algumas dietas fornecidas durante sua fase de crescimento e desenvolvimento (Marchão *et al.*, 2024). Geralmente, um desses fatores pode estar relacionado a perda de nutrientes pelo processo de lixiviação (Simon, et al. 2021). Isso significa que, os nutrientes primordiais para um bom desempenho corporal dos animais aquáticos, podem ter sido diluídos ou perdidos na água antes de serem consumidos, como os aminoácidos, vitaminas e minerais (Soares *et al.*, 2021). Diante disso, a falta de palatabilidade no alimento pode ser um fator determinante para esse evento acontecer (Dos Santos *et al.*, 2023). Uma vez que, um alimento considerado palatável contribui para uma rápida ingestão, diminuindo dessa forma o tempo de espera na água e evitando desperdício de nutrientes essenciais para o corpo (Levina; Mikhailova; Kasumyan, 2021; Mendes *et al.*, 2024).

Entretanto, o ganho de peso foi menor para os peixes alimentados com a dieta MIX em comparação com a proteína VEG, esse fator pode ter sido influenciado pelo tipo e concentração da proteína na composição da ração, além da distribuição energética (Parvez *et al.*, 2024). Nesse sentido, uma dieta deficiente em energia não proteica, pode acarretar em queda do crescimento da espécie, isso porque a proteína pode ser utilizada nas funções metabólicas do peixe e não para a construção muscular (Portz; Furuya, 2013).

Em relação a taxa de eficiência proteica, a ração ANI ($3,50 \pm 0,42$) também foi a melhor em termos de aproveitamento proteico pelo o *A. Heckelli*. Tal ocorrência, aconteceu pela ração apresentar uma formulação mais adequada e equilibrada, principalmente pela presença de proteínas e aminoácidos essenciais contidos nos ingredientes (El Moujtahid *et al.*, 2024). Um

estudo realizado com objetivo de avaliar os efeitos de diferentes concentrações da proteína bruta na alimentação de juvenis de *Lophiosilurus alexandri*, durante sua fase de criação em ambiente controlado, mostrou que a distribuição da quantidade desse elemento na ração, pode influenciar no crescimento, metabolismo, fisiologia, eficiência da utilização de nutrientes e nas características e composição celular do tecido muscular (De Oliveira-Júnior *et al.*, 2021). Da mesma forma, que a distribuição do carboidrato pode influenciar na taxa de eficiência proteica. Sendo assim, os animais alimentados com a dieta ANI, a proteína presente foi muito bem utilizada para o crescimento e desenvolvimento significativo do peixe, isso porque a proteína dietética foi utilizada de forma mais eficiente para os músculos, em função do efeito poupador dos carboidratos (energia) (Carli *et al.*, 2025). Diante disso, a dieta ANI não apresentou excesso de níveis de concentração de ingredientes na formulação da ração, sendo bem aproveitados pelos animais, caso contrário, o excesso de proteína na dieta diminuiria a eficiência proteica, uma vez que metade dos aminoácidos ingeridos seria destinada à desaminação e excreção, em redução do crescimento (Luthada-Raswiswi; Mukaratirwa; O'Brien, 2021). Portanto, alimentos de origem animal continuam sendo uma fonte proteica mais eficiente para o desenvolvimento e crescimento de espécies criados em cativeiro. Esses resultados apontam uma versatilidade na alimentação do *A. Heckelli*, que pode contribuir para o contribuindo para a redução de custos e maior viabilidade do cultivo em sistemas aquícolas.

Ao que tange a composição centesimal, não houve diferenças significativas entre os tratamentos na composição da carcaça do *A. Heckelli*, indicando que todos as dietas forneceram níveis satisfatórios de nutrientes. Esse resultado pode ser comparado com a composição centesimal realizada na carne do acará *Acarichthys heckelii*, que estão dentro do padrão químico para pescados, onde a umidade apresentou média de 82,5%, proteína bruta $13,8 \pm 0,73\%$, extrato etéreo $0,987 \pm 0,31\%$, fibra bruta $0,06\% \pm 0,20$ e matéria mineral $0,40\% \pm 0,94$ (Boschilia, 2023). Em outros trabalhos também não aconteceu diferenças significativas para composição centesimal do sargo vermelho (*Pagrus majorde*), ao avaliar a substituição de farinha de peixe por farinha de carne nas rações, mas garantiu um bom desempenho aos animais (Sim; Cho, 2025). E em peixes mandarim (*Siniperca chuatsi*) alimentados com presas vivas e dieta artificial, apontou que as proteínas presentes nos dois alimentos não foram diferentes na composição corporal da espécie (Niu *et al.*, 2023). Isso mostra que, os ingredientes utilizados na ração forneceram níveis de proteínas, gorduras e minerais suficiente para um melhor desenvolvimento dos animais, garantindo uma alimentação satisfatória às necessidades nutricionais da espécie (Carli *et al.*, 2025; Negrini *et al.*, 2024). Um estudo recentemente feito com tilápia (*Oreochromis mossambicus*) e shorputi (*Systemus sarana*), alimentados com ração

de alto valor nutritivo em ambiente controlado mostrou que, os teores de umidade variou cerca de 74,00% a 78,00% e a proteína entre 17,83% e 23,07% (Zaher *et al.*, 2024). Portanto, os dados bromatológicos do animal indicou um bom aproveitamento dos nutrientes contidos nas rações, o que possibilitou identificar as respostas metabólicas influenciadas pelos ingredientes das dietas experimentais, aspectos fundamentais para o crescimento e sobrevivência do *A. Heckelli*. Todavia, é indicado avaliar os efeitos dietéticos na morfologia intestinal.

Nesse contexto a morfometria intestinal, não apresentou resultados com diferenças estatísticas significativas ($p > 0,05$) entre os tratamentos. O fato de não haver diferenças estatisticamente significativas, mostra que as dietas fornecidas não prejudicaram a estrutura das dobras intestinais da espécie (Eissa *et al.*, 2022; Ashouri *et al.*, 2020; Bellinate *et al.*, 2023). Esse resultado foi semelhante com um estudo feito com peixe-zebra (*Danio rerio*), onde a altura e a largura das vilosidades intestinais não foram significativamente afetadas pelos tratamentos experimentais (Fronte *et al.*, 2021). Esta conclusão, pode ser baseada através das características estruturais mensuráveis feito por meio das análises e descrição da densidade celular por área de tecido, quando os animais foram criados em cativeiro e submetidos a diversos tipos alimentares (Bellinate *et al.*, 2023). Esse dados fornecem informações cruciais sobre a capacidade adaptativa do peixe na prática de domesticação em função do alimento. Com isso, a análise histológica do fígado precisou ser estudada para avaliar o efeito das dietas, indentificando o índice de esteatose.

Diante disso, o fígado apresentou ser significativo no estudo. Esses resultados demonstram que os peixes se enquadram no nível 1 de esteatose hepática, de acordo com a metodologia proposta por Villasante et al (2022), na qual esse nível corresponde a uma escala leve de esteatose, caracterizada pela presença de lipídios em 5 a 25% dos hepatócitos, essa informação aponta baixo acúmulo lipídico no fígado e sugere adequado equilíbrio metabólico no presente estudo. Logo, as diferenças singificativas nos valores de esteatose hepática, podem ter acontecido pela concentração dos níveis da qualidade/aproveitamento da proteína e aminoácidos, causando maior acúmulo de gordura, ou seja, depositando grandes vacúolos de triglicerídeos nos hepatócitos, que podem provocar alterações morfológicas nos hepatócitos, com o aumento do diâmetro nuclear e redução da densidade de núcleos (De Oliveira-Júnior *et al.*, 2021; Villasante *et al.*, 2022). A esteatose observada, especialmente no grupo MIX, pode estar relacionada ao pior aproveitamento da proteína bruta e ao desequilíbrio de aminoácidos essenciais (devido ao desbalanço que pode causar problemas de absorção dos AA). Logo, o equilíbrio metabólico do organismo está associado diretamente aos aminoácidos essenciais (leucina, isoleucina, valina, triptofano, fenilalanina, histidina, metionina, treonina e lisina), as

quais participam diretamente dos processos fisiopatológico da doença hepática gordurosa associada ao metabolismo (Deng *et al.*, 2024). A ineficiência na utilização da proteína vegetal e animal força o organismo a um metabolismo energético alternativo, sobrecarregando o fígado e levando à lipogênese de novo (produção de gordura a partir de precursores) ou a uma regulação metabólica deficiente. Esse efeito pode ser confirmado através de um estudo realizado com peixe tambor (*Sciaenops*) para determinar os efeitos de diferentes proporções dietética desequilibradas de aminoácidos de cadeia ramificada (Castillo; Gatlin III, 2018). Portanto, a otimização do balanço proteína-lipídio é primordial para manter a saúde metabólica do *A. heckelii* em sistemas de produção.

3.5 Conclusão

O presente estudo demonstra que o *A. heckelii* apresenta potencial de domesticação, adaptando-se a condições controladas e aceitando dietas artificiais. Os resultados confirmam a importância crítica da fonte proteica na fase inicial de adaptação: a formulação com proteína de origem animal (ANI) em especial, garantiu palatabilidade superior e desempenho zootécnico favorável e eficiência alimentar, com destaque para a conversão alimentar aparente (CAA). Além disso, a ausência de danos na morfologia intestinal e a alta sobrevivência (100%) em todos os tratamentos reforçam a adequação fisiológica da espécie a piscicultura. Contudo, a variação significativa na esteatose hepática observada, especialmente no grupo MIX, indica que a otimização do balanço proteína-lipídio é fundamental para garantir a saúde metabólica do *A. heckelii* em sistemas de produção. Em síntese, estes achados fornecem a base científica necessária para desenvolver protocolos de manejo e nutrição para a espécie. Reconhecemos, contudo, a limitação do curto período experimental (90 dias). Estudos futuros devem focar no desenvolvimento reprodutivo em cativeiro e na avaliação dos efeitos a longo prazo das dietas, de forma a consolidar completamente o *A. heckelii* como um candidato viável para a piscicultura amazônica sustentável.

Declaração de Interesse Conflitantes

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

Disponibilidade de dados

Todos os dados estão disponíveis mediante solicitação dos autores.

Agradecimentos

This study was supported by the Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES) grant number finance code 001 and Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado do Amazonas (FAPEAM). The Melo, L. I. S. acknowledges FAPEAM for awarding scholarship, and the Kuradomi, R.Y. for the research productivity grant awarded. The Instituto de Ciências Exatas e Tecnologia (ICET) from the Universidade Federal do Amazonas (UFAM). Programa de Pós-Graduação em Ciências e Tecnologia para Recursos Amazônicos (PPGCTRA) do ICET da UFAM.

Referências

- AOAC. Official methods of analysis of AOAC International. Washington: AOAC, 2012.
- AKTER, M. *et al.* Effect of pellet-size on fish growth, feeding behaviour and natural food web in pond polyculture. **Aquaculture**, v. 593, [s. n.], p. 1-13, 2024.
- ALVES, D. R. S. *et al.* Attractability and palatability of liquid protein hydrolysates for Nile tilapia juveniles. **Aquaculture Research**, v. 51, n. 4, p. 1681-1688, 2020.
- ARIDE, P. H. R. *et al.* Changes on physiological parameters of tambaqui (*Colossoma macropomum*) fed with diets supplemented with Amazonian fruit Camu camu (*Myrciaria dubia*). **Brazilian Journal of Biology**, v. 78, n.2, p. 360-367, 2018.
- ASHOURI, G. *et al.* Influence of dietary sodium alginate and *Pediococcus acidilactici* on liver antioxidant status, intestinal lysozyme gene expression, histomorphology, microbiota, and digestive enzymes activity, in Asian sea bass (*Lates calcarifer*) juveniles. **Aquaculture**, v. 518, [s. n.], p. 1-13, 2020.
- BELLINATE, B. K. A. *et al.* Intestinal morphometry and cell density features in tropical farmed fish: A methodological approach. **Anatomia, Histologia, Embryologia**, v. 52, n. 3, p. 448-459, 2023.
- BEVILAQUA, D. R.; SOARES, M. G. M. Variação temporal da composição íctica em lagos de várzea, ilha do Risco, Itacoatiara, Amazonas, Brasil/Seasonal variation of the fish fauna in foodplains, Risco Island, Itacioatiara, Amazonas State, Brazil. **Acta of Fisheries and Aquatic Resources**, v. 2, n. 2, p. 17-27, 2014.
- BOSCHILIA, N. **Avaliação da viabilidade de peixe nativo amazônico *Acarichthys heckelii* para a piscicultura**. 2023. Dissertação (Mestrado em Ciência e Tecnologia para Recursos Amazônicos) – Instituto de Ciências Exatas e Tecnologia, Universidade Federal do Amazonas, Amazonas, 50 f, 2023.
- CARLI, G. C. *et al.* The protein/carbohydrate ratio in the diet affects zootechnical performance and the regulation of intermediary metabolism in juveniles tambaqui (*Colossoma macropomum*). **Journal of Animal Physiology and Animal Nutrition**, v. 109, n. 2, p. 423-436, 2025.
- CASTILLO, S.; GATLIN III, D. M. Imbalanced dietary levels of branched-chain amino acids affect growth performance and amino acid utilization of juvenile red drum *Sciaenops ocellatus*. **Aquaculture**, v. 497, [s. n.], p. 17-23, 2018.
- CHEN, Z. *et al.* Effect of food domestication on the growth of *Elopichthys bambusa*. **Reproduction and Breeding**, v. 1, n. 3, p. 157-166, 2021.
- COSTA, M. N. F. *et al.* Physiological responses of tambaqui (*Colossoma macropomum*) fed diets supplemented with silage from fish and vegetables residues. **Brazilian Journal of Biology**, v. 84, n. 1, p. 1-7, 2022.
- DE OLIVEIRA, S. R. *et al.* Attractivity and palatability of different hydrolysed proteins for the ornamental species *Betta splendens* (Regan, 1910). **Aquaculture Research**, v. 53, n. 8, p.

2977-2984, 2022.

DE OLIVEIRA-JÚNIOR, J. C. *et al.* Effects of different ratios of crude protein and non-fibrous carbohydrates on growth, metabolism, physiology, nutrient utilization and muscle cellularity of *Lophiosilurus alexandri*, a carnivorous freshwater fish. **Aquaculture**, v. 540, p. 1-15, 2021.

DENG, Y. *et al.* Molecular mechanism and therapeutic significance of essential amino acids in metabolically associated fatty liver disease. **The Journal of Nutritional Biochemistry**, v. 126, p. 1-11, 2024.

DOS SANTOS, R. A. *et al.* Attractiveness and palatability of feather protein hydrolysate for juvenile Nile tilapia (*Oreochromis niloticus*). **Observatorio de La Economía Latinoamericana**, v. 21, n. 9, p. 11300-11317, 2023.

DUAN, Z. *et al.* An evaluation of replacing fish meal with fermented soybean meal in diet of hybrid snakehead (*Channa argus* × *Channa maculata*): growth, nutrient utilization, serum biochemical indices, intestinal histology, and microbial community. **Aquaculture Nutrition**, v. 2022, n. 1, p. 1-13, 2022.

EISSA, E. H. *et al.* Assessing the influence of dietary *Pediococcus acidilactici* probiotic supplementation in the feed of European sea bass (*Dicentrarchus labrax* L.)(Linnaeus, 1758) on farm water quality, growth, feed utilization, survival rate, body composition, blood biochemical parameters, and intestinal histology. **Aquaculture Nutrition**, v. 2022, n. 1, p. 1-12, 2022.

EL MOUJTAHID, A. *et al.* Effects of protein level on zootechnical performances of male Nile tilapia, *Oreochromis niloticus* (Deroua fish farm, Morocco). **Aquaculture, Aquarium, Conservation & Legislation**, v. 17, n. 3, p. 930-948, 2024.

FRONTE, B. *et al.* Fishmeal replacement with hermetia illucens meal in aquafeeds: Effects on zebrafish growth performances, intestinal morphometry, and enzymology. **Fishes**, v. 6, n. 3, p. 1-16, 2021.

GLESSE, M. **Avaliação dos Padrões Hepatológicos e Histomorfometria Intestinal de Juvenis De Tilápia-Do-Nilo (*Oreochromis Niloticus*) Submetidos A Diferentes Taxas de Alimentação em Sistema de Bioflocos**. Trabalho de conclusão de curso. Universidade Federal do Paraná. Ciências e Tecnologias para Recursos Amazônicos. Setor Palotina. 50 f. 2019.

GOES, R. H. de T. e B.; LIMA, H. L. *Técnicas laboratoriais na análise de alimentos*. Dourados, MS: Ed. UFGD, 2010. 52 p. (Cadernos Acadêmicos UFGD. Ciências Agrárias).

GONÇALVES, C. A. A. *et al.* Apparent digestibility of juveniles of matrinxã *Brycon amazonicus* fed diets with different protein levels. **Acta Scientiarum. Animal Sciences**, v. 43, n. 1, p. 1-6, 2021.

HILSDORF, A. W.S. *et al.* The farming and husbandry of *Colossoma macropomum*: From Amazonian waters to sustainable production. **Reviews in Aquaculture**, v. 14, n. 2, p. 993-1027, 2022.

HUSSAIN, S. M. *et al.* Substitution of fishmeal: Highlights of potential plant protein sources

for aquaculture sustainability. **Heliyon**, v. 10, n. 4, p. 1-10, 2024.

JEONG, H. S. *et al.* Attractiveness of various crude feed ingredients to juvenile olive flounder (*Paralichthys olivaceus*, Temminck & Schlegel) and its application to aquaculture. **Aquaculture Research**, v. 51, n. 11, p. 4517-4532, 2020.

JUNIOR, H. L. *et al.* Análise físico-química da água em três sistemas de piscicultura localizados na linha 610, Jarú (RO). **Revista Ibero-Americana de Ciências Ambientais**, v. 12, n. 11, p. 74-84, 2021.

KONNERT, G. D. P. *et al.* Balancing protein and energy in Nile tilapia feeds: A meta-analysis. **Reviews in Aquaculture**, v. 14, n. 4, p. 1757–1778, 2022.

KONSTANTINIDIS, I. *et al.* Major gene expression changes and epigenetic remodelling in Nile tilapia muscle after just one generation of domestication. **Epigenetics**, v. 15, n.10, p. 1052-1067, 2020.

LEITE, A. C. V. *et al.* Effect of dietary protein levels on growth performance, hematological parameters and digestive enzymes in juveniles of *Brycon amazonicus* (Spix & Agassiz, 1829). **ActaPesca**, v. 23, n. 2, p. 229-239, 2021.

LEVINA, A. D.; MIKHAILOVA, E. S.; KASUMYAN, A. O. Taste preferences and feeding behaviour in the facultative herbivorous fish, Nile tilapia *Oreochromis niloticus*. **Journal of Fish Biology**, v. 98, n. 5, p. 1385-1400, 2021.

LIEW, J. H. *et al.* Ecology and origin of the introduced cichlid *Acarichthys heckelii* in Singapore's fresh waters—first instance of establishment. **Environmental biology of fishes**, v. 97, n. 10, p. 1109-1118, 2014.

LINS, P. M. O. **Ecomorfologia trófica de *Acarichthys heckelii* (Müller & Troschel, 1849), *Heros efasciatus* (Heckel, 1840) e *Mesonauta insignis* (Heckel, 1840) (Perciformes: Cichlidae) nas reservas de desenvolvimento sustentável de Amanã e Mamirauá, Amazônia.** 2011. Dissertação (Mestrado em Ecologia Aquática e Pesca) – Instituto de ciências biológicas, Universidade Federal do Pará, Pará, 50 f, 2011.

LUO, J. *et al.* Transcriptome Sequencing Reveals Effects of Artificial Feed Domestication on Intestinal Performance and Gene Expression of Carnivorous Mandarin Fish (*Siniperca chuatsi*) and Related Mechanisms. **Marine Biotechnology**, v. 27, n. 1, p. 41, 2025.

LUTHADA-RASWISWI, R.; MUKARATIRWA, S.; O'Brien, G. Animal protein sources as a substitute for fishmeal in aquaculture diets: A systematic review and meta-analysis. **Applied sciences**, v. 11, n. 9, p. 1-16, 2021.

MAHMOODI, B. *et al.* Effects of diets containing grape pomace on the growth, nutrition indices, and the quality traits of common carp (*Cyprinus carpio*). **Food Science & Nutrition**, v. 11, n. 10, p. 6660-6669, 2023.

MARCHÃO, R. S. *et al.* Mango (*Mangifera indica*) meal can partially replace corn meal in diets for piava (*Megaleporinus obtusidens*). **Ciência Rural**, v. 55, n. 04, p. 1-10, 2024.

MENDES, R. *et al.* Socially Acceptable Feed Formulations May Impact the Voluntary Feed Intake and Growth, but Not Robustness of Nile Tilapia (*Oreochromis niloticus*). **Fishes**, v. 9, n. 9, p. 361, 2024.

NEGRINI, C. *et al.* Partial replacement of fish meal with protein hydrolysates in the diet of *penaeus vannamei* (Boone, 1934) during the nursery phase. **Fishes**, v. 9, n. 2, p. 75, 2024.

NG, H. H.; TAN, H.H. An annotated checklist of the non-native freshwater fish species in the reservoirs of Singapore. **Cosmos**, v. 6, n. 1, p. 95-116, 2010.

NIU, S. *et al.* Effects of live practice fish and artificial diet on nutrient composition and textural properties in muscle of mandarin fish (*Siniperca chuatsi*). **Acta hydrobiologica sinica**, v. 47 n. 1, p. 37-44, 2023.

OLENTINO, D. *et al.* Length-weight relationship of four species of ornamental fish from the lower Rio Negro basin in the Brazilian Amazon. **Acta Scientiarum. Biological Sciences**, v. 44, [s. n.], p. 1-10, 2022.

PARVEZ, M. S. *et al.* Zootechnical performance, protease activity and proximate composition of Nile tilapia fed diets containing fish silage produced from fish waste. **Aquaculture Studies**, v. 24, n. 6, p. 1-11, 2024.

PASTORE, S. C. G.; GAIOTTO, J. R.; RIBEIRO, F. A. S.; NUNES, A. J. P. Formulação de rações e boas práticas de fabricação. In: FRACALLOSSI, Débora M.; CYRINO, J. E. P. (ed.). *NutriAqua: nutrição e alimentação de espécies de interesse para a aquicultura brasileira*. 1. ed. ampliada. Florianópolis: Sociedade Brasileira de Aquicultura e Biologia Aquática, 2013. p. 295–345.

PEREIRA, R. S. *et al.* Ichthyofauna from tributaries of Urubu and Amazonas rivers, Amazonas State, Brazil. **Biota Neotropica**, v. 20, n. 2, p. 2-15, 2020.

PORTZ, L.; FURUYA, W. M. **Energia, proteína e aminoácidos**. In: FRACALLOSSI, Débora M.; CYRINO, J. E. P. (ed.). *NutriAqua: nutrição e alimentação de espécies de interesse para a aquicultura brasileira*. 1. ed. ampliada. Florianópolis: Sociedade Brasileira de Aquicultura e Biologia Aquática, 2013. cap. 4, p. 65–77.

SALARO, A.L. *et al.* Effect of dietary vegetable lipid sources on the growth performance and whole-body fatty acid profile of giant trahira, *Hoplias lacerdae*. **Spanish Journal of Agricultural Research**, v. 20, n. 4, p. 1-11, 2022.

SCHOBER, P.; VETTER, T. R. Curvas de Kaplan-Meier, testes de log-rank e regressão de Cox para dados de tempo até o evento. **Anesthesia & Analgesia**, v. 132, n. 4, p. 969-970, 2021.

SHIGUEMOTO, G. F. *et al.* Domestication strategies for the endangered catfish species *Pseudopimelodus mangurus Valenciennes*, 1835 (Siluriformes: Pseudopimelodidae). **Brazilian Journal of Biology**, v. 81, n. 2, p. 301-308, 2020.

SILVA, 2019. **Peixes do Lago de Serpa: Diversidade e Distribuição da Fauna de Peixes, Dinâmica da Pesca e Consumo do Pescado**. Dissertação. Universidade Federal do Amazonas. Ciências e Tecnologias para Recursos Amazônicos. 87 f. 2019.

SIM, Y. J.; CHO, S. H. Effect of Partial or Complete Substitution of Fish Meal by Meat Meal in the Feed of Red Sea Bream (*Pagrus major*) on the Growth Performance and Feed Utilization. **Aquaculture Nutrition**, v. 2025, n. 1, p. 1-9, 2025.

SIMON, C. J. *et al.* Feeding behaviour and bioavailability of essential amino acids in shrimp *Penaeus monodon* fed fresh and leached fishmeal and fishmeal-free diets. **Animals**, v. 11, n. 3, p. 1-10, 2021.

SOARES, R. *et al.* Growth performance and acoustic feeding behavior of two size classes of *Litopenaeus vannamei* fed pelleted and extruded diets. **Aquaculture International**, v. 29, n. 1, p. 399-415, 2021.

TELETCHÉA, F.; FONTAINE, P. Levels of domestication in fish: implications for the sustainable future of aquaculture. **Fish and fisheries**, v. 15, n. 2, p. 181-195, 2014.

TELETCHÉA, F. Fish domestication in aquaculture: 10 unanswered questions. **Animal Frontiers**, v. 11, n. 3, p. 87-91, 2021.

VILLASANTE, A. *et al.* Dietary carbohydrate-to-protein ratio influences growth performance, hepatic health and dynamic of gut microbiota in atlantic salmon (*Salmo salar*). **Animal Nutrition**, v. 10, p. 261-279, 2022.

YUAN, W. *et al.* Improvement in long-term survival with mesenchymal stem cell transplantation in systemic sclerosis patients: a propensity score-matched cohort study. **Stem Cell Research & Therapy**, v. 16, n. 1, p. 128, 2025.

ZAHER, M. A. *et al.* Effect of Micronutrient Composition of Fish Feed to the Growth and Nutrient Content of Fishes: Cost-Efficient Production of Nutritious Fishes. **BioResearch Communications-(BRC)**, v. 10, n. 01, p. 1453-1461, 2024.

ZAHRAN, E. *et al.* Nutritional and immunological evaluation of *Nannochloropsis oculata* as a potential Nile tilapia-aquafeed supplement. **BMC Veterinary Research** v. 19, n. 1, p. 1-18, 2023.

Figura 1- Exemplar de Acará (*Acarichthys heckelii*) ao final do período experimental, após domesticação em cativeiro, com escala métrica representando o comprimento corporal na biometria final.

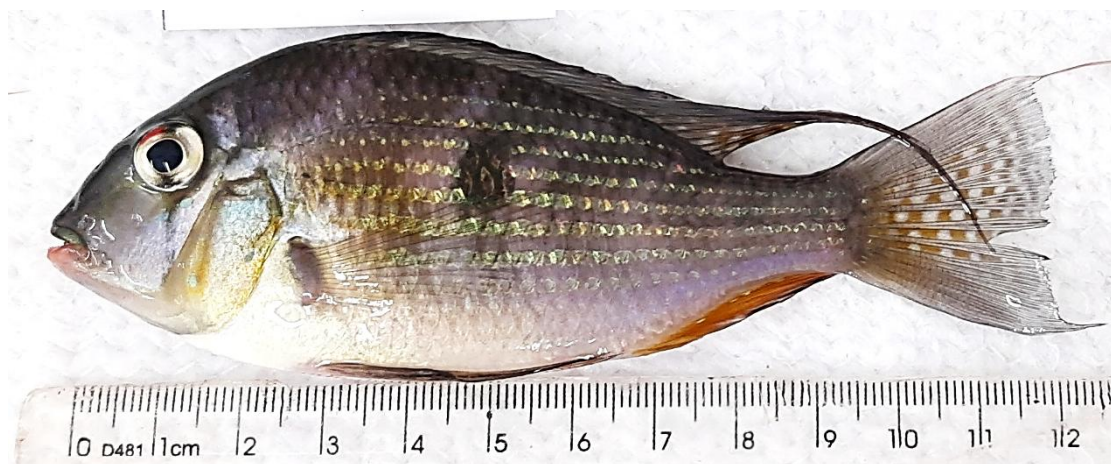


Figura 2- Mapa de localização do local de captura dos espécimes.

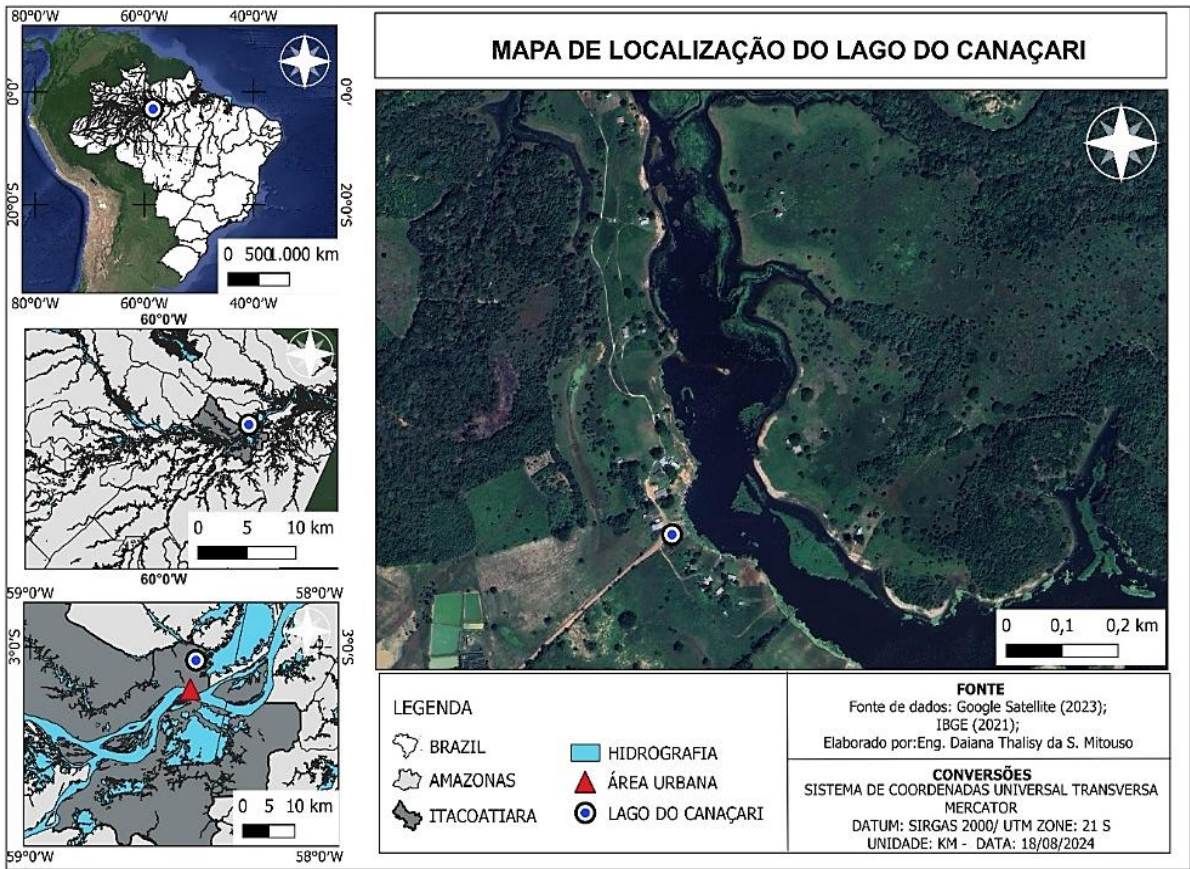


Tabela 1-Formulação das dietas experimentais, com diferentes fontes proteicas: animal (ANI); vegetal (VEG); mista entre ANI e VEG (MIX), todas com ~30% de proteína bruta.

Ingredientes (%)	ANI	MIX	VEG
Farelo de Soja	0	23	44,5
Farinha de carne e ossos	21	10	0
Farinha de peixe Rio Mar	21	10	0
Milho	36	35,5	34
Farelo de Trigo	19,83	19,33	19,33
Premix	1	1	1
Fosfato Bicálcico	0,5	0,5	0,5
Lisina	0,3	0,3	0,3
Metionina	0,25	0,25	0,25
BHT	0,02	0,02	0,02
Sal comum	0,1	0,1	0,1
Total	100	100	100

Tabela 2 -Análise bromatológica das dietas experimentais contendo diferentes fontes de proteínas :animal (ANI); mista (MIX) e vegetal (VEG).

Nutrientes e Energia	ANI	MIX	VEG
Proteína Bruta (%)	30,65	30,2	30,09
Amido (%)	29,65	29,57	29,04
Extrato Etéreo (%)	6,43	4,66	3,05
Cinzas (%)	13,83	9,31	5,22
Fibra Bruta (%)	3,25	4,26	5,22
Energia Bruta (Kcal/kg)	4221,4	4268,59	4312,7

Tabela 3- Principais ingredientes utilizados na formulação da ração comercial (controle), Aplicados no ensaio experimental (90 dias). Onde sessenta e três juvenis foram distribuídos em delineamento em blocos casualizados (n = 3 tanques por tratamento, 7 peixes/tanque) e alimentados duas vezes ao dia.

Ingredientes	Nutrientes
Milho integral	Umidade (máx) 100g
Farelo de soja	Proteína bruta (min) 320g
Farinha de carne	Extrato Etéreo (min) 46g
Carbonato de cálcio	Matéria fibrosa (60kg)
Fosfato de bicálcico	Matéria mineral (max)100g
Cloreto de sódio	Cálcio (max) 23g
L-lisina	Cálcio (min) 19g
Vitamina A, D3, E, K3, B1, B2, B6, B12	Fósforo (min) 9.000mg
Biotina	Ferro (min) 28mg
Ácido fólico	Biotina (min) 0,25mg
Sulfato de ferro	Colina (min) 345 mg
Aditivo de antioxidante	Manganês (min) 20mg

Figura 3- Curvas de Kaplan-Meier mostrando a proporção de eventos de alimentação nos quais as rações ainda não haviam sido consumidas durante o período de observação de 8 minutos. O evento 'sobrevivência' foi definido como o tempo até o consumo total das rações

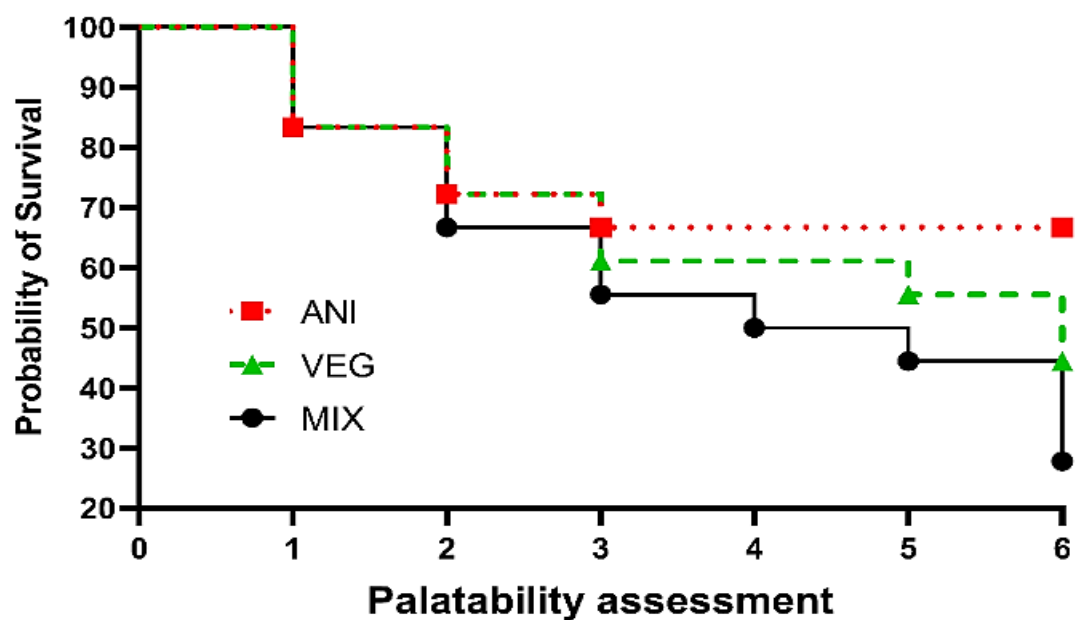


Tabela 4 -Parâmetros de desempenho zootécnico de peixes de grupos experimentais alimentados com dieta experimental de origem animal (ANI), vegetal (VEG) e mista (MIX.) Médias por letras diferentes na mesma linha difererem significativamente (P< 0,05) pelo teste de HSD de Tukey.

DADOS	ANI	VEG	MIX	P	F
GPM	82,66±4,61 ^a	60,33±13,61 ^{ab}	54±11,26 ^b	0,035631	6,1169
CONSUMO	84,58±10,46	94,59±5,58	85,8548±5,84	0,29051	1,53
CAA	0,97±0,060 ^a	1,65±0,306 ^b	1,637012±0,32 ^b	0,030256	6,6276
PRO	951,53±71,21 ^a	817,94±70,95 ^{ab}	729,4872±89,07 ^b	0,034291	6,234
TEP	3,50±0,42 ^a	2,27±0,46 ^b	2,29±0,459 ^b	0,024107	7,385

Observação: Matéria Seca (MS); Umidade (UM); Cinzas (CZ); Extrato Étero (EE); Protéina Bruta (PB); Origem Animal (ANI); Origem Animal e Vegetal (MIX); Origem Vegetal (VEG); Controle (CON).

Tabela 5-Dados da composição da centesimal.

Tratamento	ANI	VEG	MIX	CON	P valor
MS	26,25±1,10	25,72±0,32	25,99±0,33	25,58±0,10	0,6557
UM	73,74±1,10	74,28±0,32	74,0±0,33	74,41±0,10	0,6557
CZ	4,79±0,41	4,76±0,46	4,31±0,12	3,95±0,12	0,085
EE	4,30±0,61	4,30±0,43	4,55±0,69	5,12±0,09	0,412
PB	16,43±0,55	16,36±0,12	16,50±0,47	15,54±0,85	0,256

Observação: Matéria Seca (MS); Umidade (UM); Cinzas (CZ); Extrato Étero (EE); Protéina Bruta (PB); Origem Animal (ANI); Origem Animal e Vegetal (MIX); Origem Vegetal (VEG); Controle (CON).

Tabela 6-Resultados da medição da altura das dobras, largura da dobra e células caliciformes.

Tratamento	ANI	VEG	MIX	CON	P valor
Cel/um2	0,30±0,14	0,31±0,12	0,30±0,069	0,465±0,030	0,3978
Largura	285,67±8,21	283,79±24,51	296,57±34,85	233,76±52,46	0,2798
Altura	124,78±15,05	130,0±18,47	119,90±5,93	102,17±16,59	0,2231

Observação: Origem Animal (ANI); Origem Animal e Vegetal (MIX); Origem Vegetal (VEG); Controle (CON).

Tabela 7-Resultados da medição do fígado da densidade de esteatose hepática.

Dados	ANI	VEG	MIX	CON
Esteatose	5,813±1,447 ^a	6,644±0,254 ^b	9,883±0,386 ^c	10,348±0,256 ^d

Observação: Médias seguidas por letras diferentes na mesma linha diferem significativamente (P<0,05) pelo teste de HSD de Tukey;

Figura 4- Morfometria do intestino de *A. Heckelli*, alimentados com dietas artificiais (A), (C), (E). (A) Intestino proximal (B) Intestino medial (C) Intestino distal. (B), (D), (F) alimentados com dieta controle. (B) Intestino proximal, (D) Intestino medial, (F) intestino distal. Tecido colorido com hematoxilina-eosina (40x).

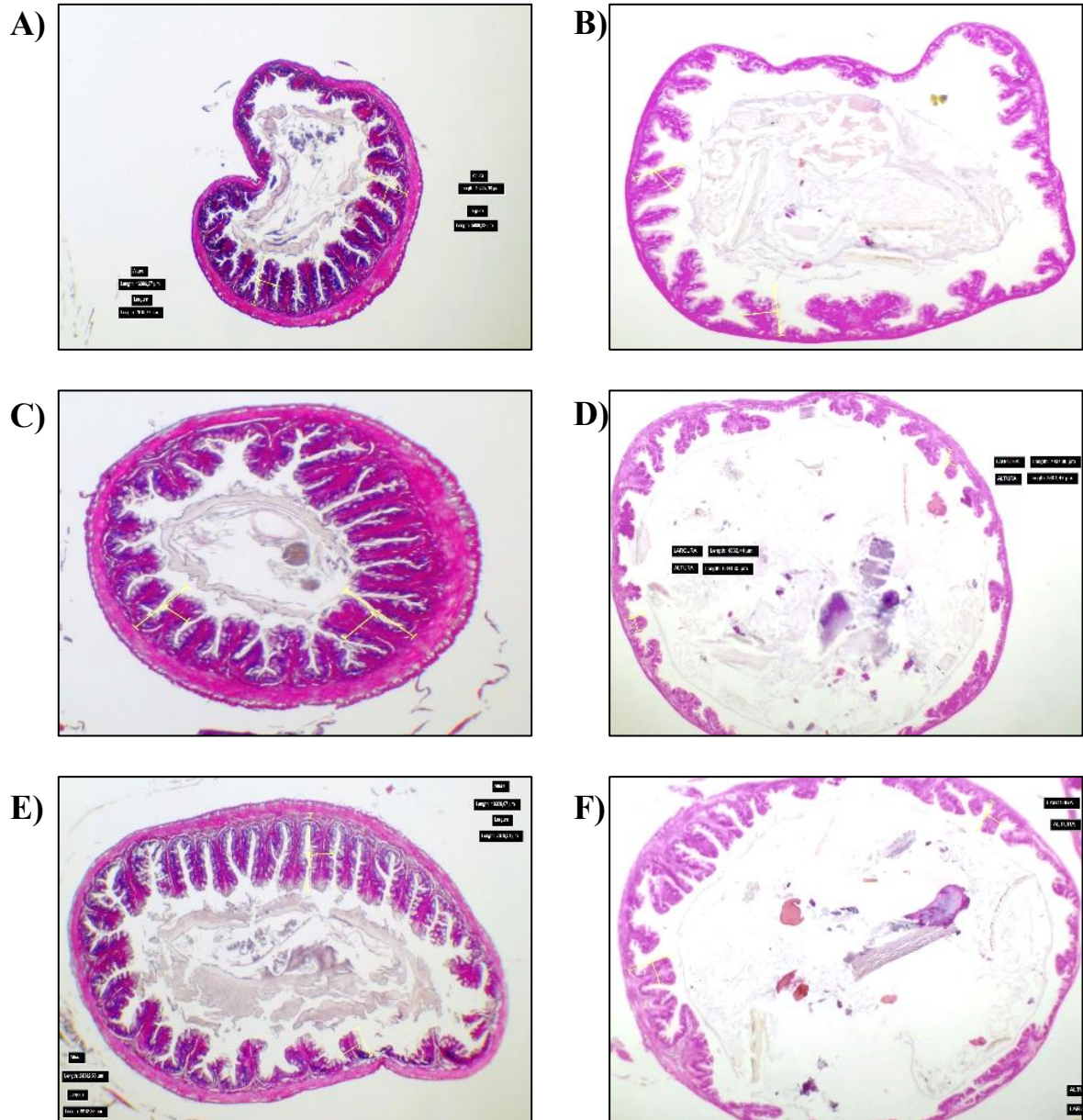
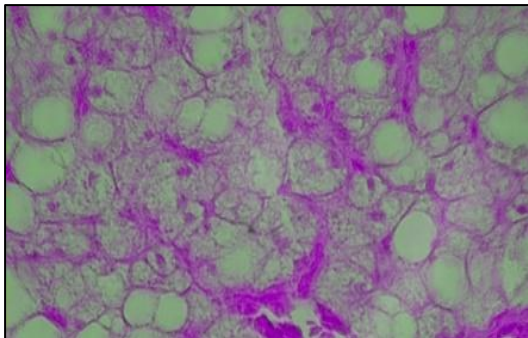


Figura 5- Coloração H&E 40X). Secções hepáticas de *A. Heckelli* expostas a diferentes tratamentos durante 90 dias: A) Controle: ração comercial, hepatócitos com grandes vacúolos e núcleos periféricos. (B) Ração artificial, apresentando secção hepática com pouco v acúolos de gordura e núcleos localizados na periferia da célula.

A)



B)

