

UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARANÁ

JAILSON NOVODWORSKI

EXIGÊNCIA PROTEICA PARA TILÁPIA-DO-NILO (*OREOCHROMIS NILOTICUS*) NA
FASE FINAL DE CRESCIMENTO COM DIETAS *FISH MEAL-FREE*

CURITIBA

2025

JAILSON NOVODWORSKI

EXIGÊNCIA PROTEICA PARA TILÁPIA-DO-NILO (*OREOCHROMIS NILOTICUS*) NA
FASE FINAL DE CRESCIMENTO COM DIETAS *FISH MEAL-FREE*

Tese apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Zootecnia, Setor de Ciências Agrárias, Universidade Federal do Paraná, como requisito parcial para a obtenção do título de Doutor em Zootecnia.

Orientador: Prof. Dr. Fábio Meurer (UFPR)
Coorientador: Prof. Dr. Robie Allan Bombardelli (Unioeste)

CURITIBA

2025

DADOS INTERNACIONAIS DE CATALOGAÇÃO NA PUBLICAÇÃO (CIP)
UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARANÁ
SISTEMA DE BIBLIOTECAS – BIBLIOTECA DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS

Novodworski, Jailson

Exigência proteica para tilápia-do-nilo (*Oreochromis niloticus*)
na fase final de crescimento com dietas fish meal-free / Jailson
Novodworski. – Curitiba, 2025.

1 recurso online: PDF.

Tese (Doutorado) – Universidade Federal do Paraná, Setor de
Ciências Agrárias, Programa de Pós-Graduação em Zootecnia.

Orientador: Prof. Dr. Fábio Meurer

Coorientador: Prof. Dr. Robie Allan Bombardelli

1. Aquicultura. 2. Peixes - Alimentação e rações. 3. Nutrição
animal. I. Meurer, Fábio. II. Bombardelli, Robie Alan. III.
Universidade Federal do Paraná. Programa de Pós-Graduação
em Zootecnia. IV. Título.

TERMO DE APROVAÇÃO

Os membros da Banca Examinadora designada pelo Colegiado do Programa de Pós-Graduação ZOOTECNIA da Universidade Federal do Paraná foram convocados para realizar a arguição da tese de Doutorado de **JAILSON NOVODWORSKI**, intitulada: **Exigência proteica para tilápia-do-nilo (*Oreochromis niloticus*) na fase final de crescimento com dietas fish meal-free**, sob orientação do Prof. Dr. FÁBIO MEURER, que após terem inquirido o aluno e realizada a avaliação do trabalho, são de parecer pela sua APROVAÇÃO no rito de defesa.

A outorga do título de doutor está sujeita à homologação pelo colegiado, ao atendimento de todas as indicações e correções solicitadas pela banca e ao pleno atendimento das demandas regimentais do Programa de Pós-Graduação.

CURITIBA, 12 de Março de 2025.

Assinatura Eletrônica
17/03/2025 12:56:23.0

FÁBIO MEURER
Presidente da Banca Examinadora

Assinatura Eletrônica
17/03/2025 16:57:57.0

DARCI CARLOS FORNARI
Avaliador Externo (UNIVER. FEDERAL DO RIO GRANDE DO SUL)

Assinatura Eletrônica
17/03/2025 10:13:29.0

LILIAN CAROLINA ROSA DA SILVA
Avaliador Externo (UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARANÁ)

Assinatura Eletrônica
17/03/2025 09:49:11.0

RODRIGO DE ALMEIDA TEIXEIRA
Avaliador Interno (UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARANÁ)

Dedico esta pesquisa aos meus familiares, amigos e, especialmente, à minha esposa, cuja confiança, incentivo e apoio foram fundamentais para a realização deste trabalho.

AGRADECIMENTOS

Sou imensamente grato a Deus pelas bênçãos, pelos desafios que me fortaleceram, pelas pessoas que colocou em meu caminho e por Sua constante guia e sustento em minha jornada.

À minha esposa, Juliana, agradeço pelo incentivo, compreensão e apoio incondicional ao longo desta caminhada. Obrigado por estar ao meu lado, enfrentando tudo comigo e sendo meu porto seguro. Esta conquista é nossa!

Ao meu orientador, professor Dr. Fábio Meurer, expressei minha mais sincera gratidão pela oportunidade, confiança e amizade construída ao longo dos últimos anos. Sua orientação, dedicação e generosidade ao transmitir conhecimento foram essenciais para a realização deste trabalho, além de ser uma referência de excelência pessoal e profissional.

Ao meu coorientador, professor Dr. Robie Allan Bombardelli, minha gratidão pelo apoio e valiosa contribuição para a realização deste estudo.

Ao meu colega de doutorado, Emerson José Alves Matos, pela parceria inestimável durante todo o período experimental. Sua disponibilidade e o tempo dedicado para me auxiliar foram indispensáveis para o sucesso deste trabalho. Tenho certeza de que ainda realizaremos muitos trabalhos juntos. Sua amizade e parceria marcaram profundamente esta etapa da minha vida.

À equipe do LATAq - UFPR, em especial à Dr^a Patrícia da Silva Dias, aos doutorandos Diego Pantoja e Rafaela Mocoichinski, e aos alunos de iniciação científica Lucas Amorim e Matheus Meireles, pelo apoio e auxílio na execução dos experimentos e nas análises, bem como pelos conhecimentos compartilhados, indispensáveis para a realização deste trabalho.

À equipe de segurança do LATAq — Fabiano do Nascimento, Júlio Gonçalves, Júlio Mendonça e Douglas Fulini —, cuja vigilância dos tanques, atenção ao funcionamento das bombas e suporte durante as quedas de energia foram fundamentais para a continuidade dos experimentos.

À equipe do LATRAAC – UNIOESTE, em especial ao doutorado Leonardo A. Baumgartner e ao mestrando Nicolas C. R. Cesar, pelo apoio na execução das análises e pelas contribuições técnicas e científicas.

À Universidade Federal do Paraná pela oportunidade, especialmente ao Programa de Pós-Graduação em Zootecnia da UFPR. Minha gratidão, em particular, à secretária do PPGZ, Sílvia Igarashi, por sua competência, dedicação e prontidão em ajudar.

Ao Comitê de Orientação, Prof. Dr. Antônio O. Neto e Prof. Dr. Rafael E. Balen, pelas valiosas contribuições ao desenvolvimento deste trabalho.

Por fim, meus agradecimentos aos membros da banca examinadora, Prof. Dr. Rodrigo de A. Teixeira, Profa. Dra. Lilian C. R. da Silva, Dr. Darci C. Fornari, Profa. Dra. Laila T. Dias e Prof. Dr. Álvaro J. de A. Bicudo, por gentilmente aceitarem meu convite para integrá-la e contribuírem de forma valiosa para o aperfeiçoamento deste trabalho.

“Se consegui ver mais longe é porque estava aos ombros de gigantes”

Isaac Newton

RESUMO

O crescimento exponencial da aquicultura tem consolidado a tilápia-do-nilo (*Oreochromis niloticus*) como uma das espécies de peixes de água doce de maior importância comercial do mundo, impulsionando a busca por estratégias nutricionais que otimizem sua produção. Nesse contexto, a proteína, principal nutriente da dieta de peixes, desempenha um papel determinante no desempenho zootécnico, influenciando diretamente os custos de produção e a sustentabilidade da atividade aquícola. Este estudo investigou as exigências proteicas para a fase final de crescimento da tilápia-do-nilo, utilizando dietas *fish meal-free*. No capítulo 1, foi realizada uma revisão abrangente das necessidades proteicas da tilápia-do-nilo em diferentes estágios de desenvolvimento, destacando a importância de dietas balanceadas para maximizar o crescimento, manter a qualidade de água dos viveiros e aumentar a eficiência produtiva. Foram observadas variações nas exigências de proteína em função do peso, da idade e do sistema de cultivo. Notou-se uma diminuição gradual das necessidades proteicas com o crescimento dos peixes, atingindo um ponto mínimo durante a fase de crescimento, seguido por um aumento durante a fase de engorda. Esses dados evidenciam a importância de identificar níveis ideais de proteína para cada estágio de desenvolvimento, especialmente diante da escassez de fontes tradicionais, como a farinha de peixe. No Capítulo 2, foram avaliados os níveis ótimos de proteína bruta (PB) em dietas baseadas em farelo de soja e milho, *fish meal-free*, para tilápias-do-nilo na fase de engorda. Os resultados demonstraram que os níveis de proteína afetaram significativamente ($p \leq 0,05$) os parâmetros de desempenho, rendimento e composição corporal. A análise indicou que a tilápia-do-nilo possui elevada plasticidade metabólica em relação às concentrações de proteína na dieta. O nível recomendado foi de 298 g kg⁻¹ de PB (267 g kg⁻¹ de proteína digestível, PD) para peixes com peso entre 400 e 700 g, mostrando que dietas sem farinha de peixe podem atender plenamente às exigências nutricionais da espécie. Por fim, no Capítulo 3, foram investigados os efeitos da redução nos níveis de proteína associados à suplementação de aminoácidos essenciais, analisando parâmetros zootécnicos, composição corporal e a sustentabilidade da produção. Dietas isoenergéticas e isoaminoacídicas com níveis decrescentes de PB (300, 275, 249, 222 e 197 g kg⁻¹ PB) foram testadas. Os resultados indicaram que a redução do nível de PB de 300 g kg⁻¹ (269 g kg⁻¹ PD) para 248 g kg⁻¹ PB (228 g kg⁻¹ PD) não impactou negativamente o desempenho de crescimento. Assim, foi possível sugerir uma faixa de proteína ótima para tilápias com peso entre 300 e 530 g, evidenciando que a suplementação de aminoácidos essenciais pode viabilizar dietas com menor teor de proteína, sem comprometer o desempenho.

Palavras-chave: Exigências nutricionais; exigência proteica; formulação de rações; nutrição de peixes; suplementação de aminoácidos.

ABSTRACT

The exponential growth of aquaculture has consolidated Nile tilapia (*Oreochromis niloticus*) as one of the most commercially important freshwater fish species in the world, driving the search for nutritional strategies that optimize its production. In this context, protein, the main nutrient in the fish diet, plays a decisive role in zootechnical performance, directly influencing production costs and the sustainability of aquaculture activity. This study investigated the protein requirements for the final growth phase of Nile tilapia, using fish-meal-free diets. In chapter 1, a comprehensive review of the protein requirements of Nile tilapia at different stages of development was carried out, highlighting the importance of balanced diets to maximize growth, maintain pond water quality, and increase production efficiency. Variations in protein requirements were observed as a function of weight, age and culture system. A gradual decrease in protein requirements was noted with the growth of the fish, reaching a minimum point during the growth phase, followed by an increase during the fattening phase. These data highlight the importance of identifying optimal protein levels for each stage of development, especially in the face of the scarcity of traditional sources, such as fishmeal. In Chapter 2, the optimal levels of crude protein (CP) in diets based on soybean meal and corn, fish meal-free, for Nile tilapia in the fattening phase were evaluated. The results showed that protein levels significantly affected ($p \leq 0.05$) the parameters, yield, and body composition parameters. The analysis indicated that Nile tilapia has high metabolic plasticity in relation to protein concentrations in the diet. The recommended level was 298 g kg⁻¹ of CP (267 g kg⁻¹ digestible protein, DP) for fish weighing between 400 and 700 g, showing that diets without fishmeal can fully meet the nutritional requirements of the species. Finally, in Chapter 3, the effects of the reduction in protein levels associated with essential amino acid supplementation were investigated, analyzing zootechnical parameters, body composition and production sustainability. Isoenergetic and isoaminoacidic diets with decreasing CP levels (300, 275, 249, 222 and 197 g kg⁻¹ CP) were tested. The results indicated that the reduction of the protein level from 300 g kg⁻¹ CP (269 g kg⁻¹ DP) to 248 g kg⁻¹ CP (228 g kg⁻¹ DP) did not negatively impact growth performance. Thus, it was possible to suggest an optimal protein range for tilapia weighing between 300 and 530 g, showing that the supplementation of essential amino acids can make diets with lower protein content feasible, without compromising performance.

Keywords: Amino acid supplementation; feed formulation; fish nutrition; nutritional requirements; protein requirement.

LISTA DE FIGURAS

CAPÍTULO I

- FIGURA 1** - Distribuição dos estudos de exigência de proteína da tilápia-do-nilo por estágio de desenvolvimento (N: 65); N: Número total de estudos realizados; RBAA: Estudos utilizando rações com balanço de aminoácidos; ROV: Ração de origem vegetal (sem ingredientes de origem animal); Referências: Tabelas 4, 5, 6, 7 e 8. 30
- FIGURA 2** - Exigências de proteína (média) da tilápia-do-nilo relatadas em estudos realizados após o ano 2000; N: Número de estudos; PB: Proteína bruta; PD: Proteína digestível; Valor = média \pm desvio-padrão; Referências: Tabelas 4, 5, 6, 7 e 8. 31

CAPÍTULO II

- FIGURA 1** - Conversão alimentar de tilápias-do-nilo alimentadas com dietas contendo diferentes concentrações de PD (**a**) e PB (**b**) durante a fase de engorda, analisada por meio da combinação de modelos de regressão linear-platô (*broken-line*) e regressão quadrática polinomial. 74
- FIGURA 2** - Rendimento de filé de tilápias-do-nilo alimentadas com dietas contendo diferentes concentrações de PD (**a**) e PB (**b**) durante a fase de engorda, analisadas por meio de uma combinação de modelos de regressão linear-platô (*broken-line*) e regressão quadrática polinomial. 75

CAPÍTULO III

- FIGURA 1** - Ganho de peso diário da tilápia-do-nilo alimentada com diferentes concentrações de PD (**a**) e PB (**b**), estimadas por meio da regressão linear-platô (*broken-line*). 96
- FIGURA 2** - Conversão alimentar da tilápia-do-nilo alimentada com diferentes concentrações de PD (**a**) e PB (**b**), estimadas por meio da regressão linear-platô (*broken-line*). 96

LISTA DE TABELAS

CAPÍTULO I

- TABELA 1** - Estágios de desenvolvimento da tilápia-do-nilo definidos no presente estudo. 28
- TABELA 2** - Níveis de exigência de proteína em dietas para a tilápia-do-nilo (*Oreochromis niloticus*) em estudos realizados anteriormente ao ano 2000.29
- TABELA 3** - Exigências médias de proteína da tilápia-do-nilo (g kg^{-1}) durante os diferentes estágios de desenvolvimento (média \pm desvio padrão).32
- TABELA 4** - Exigências proteicas da tilápia-do-nilo (*Oreochromis niloticus*) na fase pós-larvas - Estudos classificados em ordem crescente de peso final médio.33
- TABELA 5** - Exigências proteicas de alevinos de tilápia-do-nilo (*Oreochromis niloticus*) - Estudos classificados em ordem crescente de peso final médio.35
- TABELA 6** - Níveis de exigência de proteína de juvenis de tilápia-do-nilo (*Oreochromis niloticus*) - Estudos classificados em ordem crescente do peso médio final. ...37
- TABELA 7** - Níveis de exigência de proteína na fase de crescimento da tilápia-do-nilo (*Oreochromis niloticus*) - Estudos classificados em ordem crescente do peso médio final.40
- TABELA 8** - Níveis de exigência de proteína da fase de engorda da tilápia-do-nilo (*Oreochromis niloticus*) - Estudos classificados em ordem crescente do peso médio final.43

CAPÍTULO II

- TABELA 1** - Dietas experimentais e composição de ingredientes com níveis crescentes de proteína para tilápia-do-nilo durante a fase de engorda.70
- TABELA 2** - Parâmetros de qualidade da água determinados em sistemas experimentais na fase de engorda da tilápia-do-nilo alimentadas com dietas contendo níveis crescentes de proteína.72
- TABELA 3** - Parâmetros de desempenho na fase de engorda da tilápia-do-nilo alimentadas com diferentes níveis de proteína.73
- TABELA 4** - Parâmetros de desempenho corporal na fase de engorda de tilápias do Nilo alimentadas com dietas contendo diferentes níveis de proteína.74
- TABELA 5** - Composições químicas corporais e filés de tilápias-do-nilo na fase de engorda alimentadas com diferentes níveis de proteína.75

CAPÍTULO III

TABELA 1 - Composição dos ingredientes das dietas experimentais (g kg^{-1}) formuladas com diferentes níveis de proteína e suplementadas com aminoácidos essenciais....	92
TABELA 2 - Análise centesimal das dietas experimentais (base natural).....	92
TABELA 3 - Parâmetros de desempenho de tilápias-do-nilo alimentadas com dietas com níveis decrescentes de proteína com suplementação de aminoácidos.	96
TABELA 4 - Parâmetros de desempenho corporal de tilápias-do-nilo alimentadas com diferentes níveis de proteína.	97
TABELA 5 - Composições químicas corporais e dos filés de tilápias-do-nilo alimentadas com diferentes níveis de proteína.	98

LISTA DE ABREVIATURAS OU SIGLAS

AACE	Aminoácidos condicionalmente essenciais
AAEs	Aminoácidos essenciais
AANE	Aminoácidos não essenciais
AFC	Aquário com fluxo contínuo de água
AT	Altura do tronco
BFT	Tecnologia de bioflocos
CA	Conversão alimentar
CP	Comprimento padrão
CT	Comprimento total
EB	Energia bruta
ED	Energia digestível
EE	Extrato etéreo
GP	Ganho de peso
GPD	Ganho de peso diário
GV	Gordura visceral
IHS	Índice hepatossomático
IVS	Índice viscerossomático
MM	Matéria mineral
NT	Níveis testados
P/D	Relação proteína energia
PB	Proteína bruta
PD	Proteína digestível
PF	Peso final
PI	Peso inicial
RAS	Sistema de recirculação de água
RBAA	Ração com balanço de aminoácidos
RC	Rendimento de carcaça
RF	Rendimento de filé
ROV	Ração de origem vegetal (sem ingredientes de origem animal)
Sal.	Salinidade da água
SC	Sistema de cultivo
TCE	Taxa de crescimento específico

Temp.	Temperatura da água
TEP	Taxa de eficiência proteica
TR	Tanque rede

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO GERAL	18
1.1	OBJETIVOS.....	19
1.1.1	Objetivo geral.....	19
1.1.2	Objetivos específicos.....	20
	REFERÊNCIAS	21
2	CAPÍTULO I - REVISÃO: EXIGÊNCIA PROTEICA DA TILÁPIA-DO-NILO (<i>OREOCHROMIS NILOTICUS</i>) DURANTE AS FASES DE PRODUÇÃO E REPRODUÇÃO	23
2.1	INTRODUÇÃO.....	24
2.2	CARACTERIZAÇÃO DO ESTUDO	25
2.3	PROTEÍNA NA ALIMENTAÇÃO DA TILÁPIA-DO-NILO.....	26
2.3.1	Proteína digestível	26
2.3.2	Relação proteína/energia	27
2.4	EXIGÊNCIA PROTEICA.....	27
2.4.1	Fase pós-larvas ($\leq 0,4$ g)	32
2.4.2	Alevinos de tilápia-do-nylo (0,5 – 20 g)	34
2.4.3	Juvenis de tilápia-do-nylo (21 – 200 g).....	36
2.4.4	Fase de crescimento da tilápia-do-nylo (201 – 550 g)	39
2.4.5	Fase de engorda da tilápia-do-nylo (> 551 g)	42
2.4.6	Fase de reprodução da tilápia-do-nylo	44
2.5	CONCLUSÃO.....	46
	REFERÊNCIAS	47
3	CAPÍTULO II - EXIGÊNCIA PROTEICA NA FASE DE ENGORDA DA TILÁPIAS-DO-NILO (<i>OREOCHROMIS NILOTICUS</i>) ALIMENTADA COM DIETAS ISENTAS DE FARINHA DE PEIXE	66
3.1	INTRODUÇÃO.....	67
3.2	MATERIAIS E MÉTODOS	68
3.2.1	Peixes e estrutura experimental.....	69
3.2.2	Dietas experimentais e manejo alimentar dos peixes	69
3.2.3	Qualidade da água	71
3.2.4	Desempenho e composição corporal e do filé da tilápia-do-nylo	72
3.2.5	Análise estatística	72

3.3	RESULTADOS	73
3.3.1	Desempenho zootécnico	73
3.3.2	Rendimentos corporais	74
3.3.3	Composição bromatológica	75
3.4	DISCUSSÃO.....	76
3.5	CONCLUSÃO.....	80
	REFERÊNCIAS	81
4	CAPÍTULO III - REDUÇÃO DO NÍVEL DE PROTEÍNA EM DIETAS À BASE DE FARELO DE SOJA E MILHO SUPLEMENTADAS COM AMINOÁCIDOS ESSENCIAIS DURANTE A FASE DE ENGORDA DA TILÁPIA-DO-NILO .88	
4.1	INTRODUÇÃO.....	89
4.2	MATERIAL E MÉTODOS.....	90
4.2.1	Projeto experimental e infraestrutura	90
4.2.2	Alimentação e dietas experimentais	91
4.2.3	Qualidade de água	93
4.2.4	Análise de desempenho	94
4.2.5	Análise bromatológica das dietas, composição corporal e do filé	94
4.2.6	Análise estatística	95
4.3	RESULTADOS	95
4.3.1	Desempenho de crescimento	95
4.3.2	Composição corporal.....	97
4.4	DISCUSSÃO.....	98
4.5	CONCLUSÃO.....	103
	REFERÊNCIAS	104

1 INTRODUÇÃO GERAL

A aquicultura tem se consolidado como uma das principais atividades agropecuárias globais, desempenhando um papel essencial na produção de alimentos e no desenvolvimento socioeconômico. Em 2022, alcançou um crescimento recorde, com 94,4 milhões de toneladas produzidas, correspondendo a 51% da produção mundial de animais aquáticos, contribuindo significativamente para a segurança alimentar e a geração de renda (FAO, 2024). No Brasil, a piscicultura, especialmente a criação de tilápia-do-nylo (*Oreochromis niloticus*), se destaca, representando 68,36% de toda a produção aquícola nacional. Em 2024, o país produziu 968.745 toneladas de peixes de cultivo, das quais 662.230 toneladas foram de tilápia, consolidando o Brasil como o quarto maior produtor mundial da espécie. O Paraná liderou a produção nacional de tilápia, sendo responsável por 37% (245115 toneladas) desse total (PEIXE-BR, 2025).

A alimentação, que pode representar até 70% dos custos totais de produção na piscicultura (NOSKOSKI et al., 2023), continua sendo um dos principais desafios na criação de tilápias. A proteína, por ser o componente mais caro das rações, deve ser utilizada de forma eficiente para assegurar tanto o desempenho zootécnico quanto a viabilidade econômica da atividade (ABDEL-TAWWAB et al., 2010; CARNEIRO et al., 2020; LEONARDO et al., 2018). Diversos estudos apontam que o uso adequado de proteína na formulação de rações pode não apenas melhorar o crescimento e a saúde dos peixes, mas também reduzir os custos operacionais e favorecer um manejo mais eficiente da qualidade da água nos sistemas de cultivo (CARNEIRO et al., 2020; FURUYA et al., 2012).

As exigências proteicas para tilápia têm sido amplamente investigadas em diferentes fases de desenvolvimento. Na fase de reversão sexual, Hayashi et al. (2002) identificaram uma exigência de 38,6% de proteína digestível (PD), enquanto Sousa et al. (2013) concluíram que níveis de 28% seriam suficientes para garantir o desempenho zootécnico. Na fase juvenil, Furuya et al. (2005) e Carneiro et al. (2017) determinaram níveis ideais de PD entre 27,5% e 28,3%. Estudos mais recentes, como os de Koch et al. (2016) e Liu et al. (2017), indicaram que, na fase final de crescimento, níveis entre 24% e 29% de PD são suficientes para garantir um crescimento saudável. Esses dados são particularmente relevantes porque essa fase representa o maior consumo de ração e, conseqüentemente, a maior parte dos custos operacionais.

Além disso, a relação entre proteína digestível e energia digestível (PD:ED) é outro fator crítico na formulação de dietas. Pesquisas de Kabir et al. (2019a, 2019b) mostraram que, em condições de manejo semi-intensivo, é possível reduzir o teor de proteína bruta de 32% para 25% sem comprometer o desempenho zootécnico. Carneiro et al. (2020) corroboraram essas

descobertas, identificando que níveis de 24% de PD e 3.000 kcal kg⁻¹ de ED proporcionam um excelente custo-benefício na criação de tilápias adultas.

Embora a redução nos teores de proteína nas rações seja economicamente vantajosa, é fundamental garantir o equilíbrio adequado de aminoácidos essenciais. Estudos como os de Nascimento et al. (2020) e Rodrigues et al. (2020) destacam que a formulação de dietas deve considerar as necessidades específicas de cada fase de criação, evitando deficiências que possam comprometer o desempenho dos peixes. Adicionalmente, as proporções ideais de aminoácidos, como proposto por Furuya et al. (2010), são fundamentais para a eficiência nutricional e econômica das dietas.

Além de atender às demandas econômicas e ambientais, o fortalecimento da cadeia produtiva de tilápias no Brasil é estratégico para sua competitividade internacional. Estudos recentes mostram que a nutrição e o manejo alimentar são fatores determinantes para aumentar a produtividade e reduzir custos (ANDRADE et al., 2015; FRASCA-SCORVO et al., 2018). Esse esforço requer a integração de dados científicos e práticas inovadoras que garantam um produto de alta qualidade, promovendo um manejo sustentável da produção e assegurando a qualidade da água nos sistemas de cultivo.

O presente estudo busca preencher lacunas na literatura ao determinar as exigências proteicas para tilápias-do-nilo na fase final de crescimento, considerando aspectos teóricos e aplicados. Inicialmente, é apresentada uma revisão abrangente das necessidades nutricionais dessa espécie em diferentes estágios de desenvolvimento, enfatizando a relevância de dietas balanceadas para maximizar o crescimento, assegurar a qualidade da água nos sistemas de cultivo e melhorar a eficiência produtiva. Esse panorama destaca os desafios associados à formulação de dietas diante da crescente escassez de ingredientes tradicionais, como a farinha de peixe. A pesquisa também avalia os níveis ótimos de proteína utilizando rações isentas de farinha de peixe, investigando os impactos da redução da proteína combinada à suplementação de aminoácidos essenciais.

1.1 OBJETIVOS

1.1.1 Objetivo geral

Determinar a exigência proteica com manutenção de aminoácidos essenciais para a fase final de crescimento da tilápia-do-nilo, em rações isentas de farinha de peixe.

1.1.2 Objetivos específicos

Identificar o menor nível de proteína necessário para a fase final de crescimento da tilápia-do-nylo, utilizando rações isentas de farinha de peixe. Avaliar o efeito da redução do teor de proteína dessa dieta, assegurando a manutenção de um perfil equilibrado de aminoácidos essenciais. Avaliar o efeito dos tratamentos nos parâmetros de qualidade de água como o nitrogênio amoniacal, nitrito e fósforo. Analisar o efeito dos tratamentos nos parâmetros zootécnicos referente à peso final, ganho de peso, ganho de peso diário, consumo diário, conversão alimentar aparente, sobrevivência, eficiência alimentar, taxa de eficiência proteica, taxa de crescimento específico, percentagem de gordura visceral, rendimento de carcaça, filé, composição centesimal corporal e do filé (matéria seca, proteína bruta, extrato etéreo e matéria mineral). Verificar a influência dos tratamentos no índice hepatossomático (IHS).

REFERÊNCIAS

- ABDEL-TAWWAB, M.; AHMAD, M. H.; KHATTAB, Y. A. E.; SHALABY, A. M. E. Effect of dietary protein level, initial body weight, and their interaction on the growth, feed utilization, and physiological alterations of Nile tilapia, *Oreochromis niloticus* (L.). **Aquaculture**, [S. l.], v. 298, n. 3–4, p. 267–274, 2010. DOI: 10.1016/j.aquaculture.2009.10.027.
- ANDRADE, C. L.; RODRIGUES, F. S.; CARVALHO, D. P.; PIRES, S. F.; PIRES, M. F. Nutrition and feeding Nile tilapia. **Nutri Time**, [S. l.], v. 12, n. 6, p. 4464–4469, 2015.
- CARNEIRO, W. F.; COLPINI, L. M. S.; SOUZA, R. C. T. De; BOMBARDELLI, R. A.; BALEN, R. E.; MEURER, F. Effect of the digestible protein-energy relationship on the growth performance of Nile tilapia (*Oreochromis niloticus*) fed fishmeal-free diets. **Animal Feed Science and Technology**, [S. l.], v. 262, n. May 2019, p. 114379, 2020. DOI: 10.1016/j.anifeedsci.2019.114379.
- CARNEIRO, W. F.; PANDINI, F.; SILVA, L. C. R. Da; SANTOS, L. D. Dos; ROSSATO, K. A.; MEURER, F. Digestible protein requirement for Nile tilapia fed with rations based on soybean meal and corn. **Acta Scientiarum. Animal Sciences**, [S. l.], v. 39, n. 4, p. 343, 2017. DOI: 10.4025/actascianimsci.v39i4.36122..
- FAO. **The State of World Fisheries and Aquaculture 2024. Blue Transformation in action.** [s.l.] : FAO, 2024. DOI: 10.4060/cd0683en.
- FRASCA-SCORVO, C. M. D.; SCORVO FILHO, J. D.; TURCO, P. H. N.; ALVES, J. M. C.; QUEIROZ, J. F. De; LOSEKANN, M. E. Desempenho da tilápia criada em tanques-rede em represa rural, alimentada com rações de diferentes concentrações de proteína bruta. **Boletim de Pesquisa e Desenvolvimento, 79 / Embrapa Meio Ambiente**, [S. l.], v. 79, p. 20, 2018.
- FURUYA, W. M.; BOTARO, D.; MACEDO, R. M. G. De; SANTOS, V. G. Dos; SILVA, L. C. R.; SILVA, Tarcila De Castro; FURUYA, V. R. B.; SALES, P. J. P. Ideal Protein Concept for Dietary Protein Reduction of Juvenile Nile Tilapia (*Oreochromis niloticus*). **Revista Brasileira de Zootecnia**, [S. l.], v. 34, n. 5, p. 1433–1441, 2005. DOI: 10.1590/S1516-35982005000500002.
- FURUYA, W. M.; FURUYA, V. R. B.; NAGAE, M. Y.; GRACIANO, T. S.; MICHELATO, M.; XAVIER, T. O.; VIDAL, L. V. Nutrition of tilapias in Brazil. **Scientia Agraria Paranaensis**, [S. l.], v. 11, n. 1, p. 19–34, 2012. DOI: 10.18188/1983-1471/sap.v11n1p19-34.
- FURUYA, W. M.; ROSSETTO, V.; FURUYA, B. Nutritional innovations on amino acids supplementation in Nile tilapia diets. [S. l.], 2010.
- HAYASHI, C.; BOSCOLO, W. R.; SOARES, C. M.; MEURER, F. Digestible Protein Requirement for Nile Tilapia Larvae (*Oreochromis niloticus*) during the Sexual Reversion. **Revista Brasileira de Zootecnia**, [S. l.], v. 31, n. 2 suppl, p. 823–828, 2002. DOI: 10.1590/S1516-35982002000400003.
- KABIR, K. A.; SCHRAMA, J. W.; VERRETH, J. A. J.; PHILLIPS, M. J.; VERDEGEM, M. C. J. Effect of dietary protein to energy ratio on performance of Nile tilapia and food web enhancement in semi-intensive pond aquaculture. **Aquaculture**, [S. l.], v. 499, p. 235–242, 2019. a. DOI: 10.1016/j.aquaculture.2018.09.038.

KABIR, K. A.; VERDEGEM, M. C. J.; VERRETH, J. A. J.; PHILLIPS, M. J.; SCHRAMA, J. W. Effect of dietary protein to energy ratio, stocking density and feeding level on performance of Nile tilapia in pond aquaculture. **Aquaculture**, [S. l.], v. 511, n. June, p. 634200, 2019. b. DOI: 10.1016/j.aquaculture.2019.06.014.

KOCH, J. F.; RAWLES, S. D.; WEBSTER, C. D.; CUMMINS, V.; KOBAYASHI, Y.; THOMPSON, K. R.; GANNAM, A. L.; TWIBELL, R. G.; HYDE, N. M. Optimizing fish meal-free commercial diets for Nile tilapia, *Oreochromis niloticus*. **Aquaculture**, [S. l.], v. 452, p. 357–366, 2016. DOI: 10.1016/j.aquaculture.2015.11.017.

LEONARDO, A. F.; BACCARIN, A. E.; SCORVO FILHO, J. D.; FRASCA-SCORVO, C. M. D. Custo De Produção Da Tilápia-do-nilo (*Oreochromis niloticus*) e do Pacu (*Piaractus mesopotamicus*) no Vale O Ribeira, Estado De São Paulo. **Informações Econômicas**, [S. l.], v. 48, n. jan./mar., 2018, 2018.

LIU, W.; JIANG, M.; WU, J. P.; WU, F.; TIAN, J.; YANG, C. G.; WEN, H. Dietary Protein Level Affects the Growth Performance of Large Male Genetically Improved Farmed Tilapia, *Oreochromis niloticus*, Reared in Fertilized Freshwater Cages. **Journal of the World Aquaculture Society**, [S. l.], v. 48, n. 5, p. 718–728, 2017. DOI: 10.1111/jwas.12384.

NASCIMENTO, T. M. T. Do; MANSANO, C. F. M.; PERES, H.; RODRIGUES, F. H. F.; KHAN, K. u.; ROMANELI, R. S.; SAKOMURA, N. K.; FERNANDES, J. B. K. Determination of the optimum dietary essential amino acid profile for growing phase of Nile tilapia by deletion method. **Aquaculture**, [S. l.], v. 523, n. March, p. 735204, 2020. DOI: 10.1016/j.aquaculture.2020.735204.

NOSKOSKI, Luís Eduardo Carvalho; DURIGON, Emerson Giuliani; SCHMIDT, Mara Rúbia; CHRISTOFARI, Luciana Fagundes; LAZZARI, Rafael; VAZ, Ricardo Zambarda. Analysis of zootechnical and economic indicators in carp and tilapia production. **Concilium**, [S. l.], v. 23, n. 18, p. 507–521, 2023. DOI: 10.53660/CLM-1973-23N42.

PEIXE-BR, Associação Brasileira da Piscicultura. **Anuário 2025 - Peixe BR da Piscicultura**. São Paulo, 2025. Disponível em: <https://peixebr.com.br>. Acesso em: 13 mar. 2025.

RODRIGUES, A. T.; MANSANO, C. F. M.; KHAN, K. U.; NASCIMENTO, T. M. T.; BOARATTI, A. Z.; SAKOMURA, N. K.; FERNANDES, J. B. K. Ideal profile of essential amino acids for Nile tilapia (*Oreochromis niloticus*) in the finishing growth phase. **Aquaculture Research**, [S. l.], v. 51, n. 11, p. 4724–4735, 2020. DOI: 10.1111/are.14819.

SOUSA, S. M. de N.; FRECCIA, A.; SANTOS, L. D. Dos; MEURER, F.; TESSARO, L.; BOMBARDELLI, R. A. Growth of Nile tilapia post-larvae from broodstock fed diet with different levels of digestible protein and digestible energy. **Revista Brasileira de Zootecnia**, [S. l.], v. 42, n. 8, p. 535–540, 2013. DOI: 10.1590/S1516-35982013000800001.

2 CAPÍTULO I - REVISÃO: EXIGÊNCIA PROTEICA DA TILÁPIA-DO-NILO (*OREOCHROMIS NILOTICUS*) DURANTE AS FASES DE PRODUÇÃO E REPRODUÇÃO

“Protein requirements in Nile tilapia (*Oreochromis niloticus*) during production and reproduction phases”

(Artigo publicado em 25 de abril de 2024 na revista *Aquaculture and Fisheries*. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.aaf.2024.03.004>.) Este capítulo foi redigido conforme diretrizes do periódico *Aquaculture and Fisheries* (ISSN: 2468-550X).

RESUMO

O crescimento acelerado da aquicultura mundial impulsionou a cadeia produtiva da tilápia-do-nilo (*Oreochromis niloticus*), atualmente a terceira espécie mais cultivada em todo o mundo. Este peixe desempenha um papel crucial na segurança alimentar global. A proteína é o principal nutriente da dieta dos peixes, e sua qualidade, bem como as variações no nível de proteína, afetam direta e significativamente a cadeia produtiva dessa espécie. Neste estudo, realizamos uma revisão abrangente das exigências proteicas em diferentes estágios de desenvolvimento da tilápia, ressaltando a importância fundamental de uma dieta balanceada para promover o crescimento eficiente. O estudo identificou variações na necessidade de proteína com base no peso, idade e diferentes sistemas de cultivo de tilápia. Além disso, são discutidos os desafios associados à formulação de dietas balanceadas, especialmente diante da escassez de fontes tradicionais de proteína, como a farinha de peixe. Vários fatores são considerados nesta revisão, incluindo o estágio de desenvolvimento da tilápia, sistema de criação, densidade de estocagem, qualidade dos ingredientes, requisitos nutricionais e cepas específicas da tilápia, manejo alimentar, temperatura e qualidade da água. Observa-se uma diminuição gradual das necessidades proteicas à medida que os peixes crescem e atingem um ponto mínimo durante a fase de crescimento, seguida de um ligeiro aumento durante a fase de engorda subsequente. As exigências de proteína da tilápia são influenciadas por vários fatores, incluindo a fase de crescimento e as características do sistema de cultivo. Identificar os níveis ideais de proteína em cada estágio é crucial para orientar as práticas sustentáveis de aquicultura de tilápia e aumentar a eficiência geral da produção da espécie.

Palavras-chave: Exigências nutricionais, formulação de dieta, formulação de ração, nutrição de peixes.

2.1 INTRODUÇÃO

O crescimento acelerado da aquicultura global nas últimas décadas tem consolidando essa atividade como uma alternativa sustentável à pesca extrativa. Esse avanço é impulsionado tanto pelo aumento da demanda por pescado quanto pela necessidade de preservar os estoques naturais, contribuindo para a segurança alimentar e a conservação dos ecossistemas aquáticos (FAO, 2020). No contexto brasileiro, a produção aquícola passou por desenvolvimentos significativos nas últimas duas décadas, especialmente no que diz respeito à cadeia produtiva da tilápia (Pedroza Filho et al., 2020). A tilápia-do-nilo (*Oreochromis niloticus*) é a terceira espécie de peixe mais cultivada globalmente, representando 9% da produção mundial (FAO, 2022), sendo também a principal espécie cultivada no Brasil, respondendo por 63,93% da produção nacional (Peixe BR, 2023). Esta espécie se destaca por sua adaptabilidade, resistência a doenças, crescimento rápido e conversão alimentar eficiente, tornando-se uma espécie de destaque na aquicultura global (Li et al., 2024; Vieira et al., 2005).

Peixes criados em ambientes confinados requerem quantidades adequadas de ração de qualidade para atender às necessidades nutricionais e garantir desempenho produtivo adequado, saúde e retornos econômicos (Furuya, 2010). A produção global de tilápia é amplamente baseada em ração comercial, representando aproximadamente 92% do total mundial (Tacon, 2020). Os custos de alimentação, que podem chegar a cerca de 70% dos custos totais de produção, destacam-se como um fator significativo nesse cenário (Leonardo et al., 2018; Noskoski et al., 2023). Assim, a escolha da alimentação e o manejo alimentar devem receber atenção especial (Frasca-Scorvo et al., 2018).

A proteína é o nutriente mais importante na alimentação dos peixes (Magbanua & Ragaza, 2024; Teles et al., 2020), desempenhando funções estruturais e metabólicas essenciais (NRC, 2011). Vários fatores, como hábitos alimentares, qualidade da fonte de proteína e sistema de criação, podem influenciar as necessidades proteicas (Francalossi & Cyrino, 2013). Uma compreensão adequada das necessidades proteicas é, portanto, crucial para a formulação de dietas de baixo custo e baixo impacto (Furuya et al., 2012). O equilíbrio dietético, principalmente em relação ao teor de proteína, contribui para a eficiência nutricional e produtiva da tilápia (Furuya et al., 2012; Konnert et al., 2022; Pontes et al., 2010).

O excesso de proteína na dieta pode comprometer a qualidade de água nos tanques de cultivo, enquanto níveis insuficientes afetam o desempenho zootécnico da tilápia (Carneiro et al., 2020). Apesar dos estudos sobre a composição de aminoácidos e demandas proteicas, persistem lacunas de conhecimento, tornando essenciais as atualizações das exigências

nutricionais da tilápia-do-nilo (Prabu et al., 2021). Nesse contexto, este estudo tem como objetivo realizar uma revisão abrangente sobre os níveis recomendados de proteína na dieta durante diferentes estágios de desenvolvimento da tilápia. Nosso objetivo é examinar a literatura existente para fornecer informações valiosas sobre os níveis ideais de proteína para otimizar o desempenho nutricional e a eficiência produtiva da tilápia na aquicultura sustentável.

2.2 CARACTERIZAÇÃO DO ESTUDO

Foi realizada uma revisão da literatura sobre os parâmetros de desempenho da tilápia-do-nilo, com foco nas variações proteicas e nos níveis ideais nas formulações de rações. Os estudos selecionados avaliaram a proteína bruta (PB), a proteína digestível (PD) ou a relação proteína/energia (P/E) em pelo menos três tratamentos. As informações sobre as necessidades de proteína da tilápia-do-nilo foram compiladas a partir dos bancos de dados Google Scholar e Scopus. As palavras-chave empregadas foram tilápia-do-nilo, *Oreochromis niloticus*, necessidades nutricionais, exigência proteica, níveis de proteína, nutrição proteica, necessidade de proteína e utilização de proteína.

Um total de 79 estudos foram pré-selecionados, 14 dos quais compõem a evolução histórica dos estudos de exigência de proteína da tilápia-do-nilo publicados entre 1981 e 1999. Os demais foram analisados e discutidos, compreendendo 65 estudos realizados nas últimas duas décadas. Esse corte temporal foi usado para identificar níveis de exigência de proteína mais adequados em relação às condições atuais de cultivo. Considerou-se a evolução da cadeia produtiva da tilápia-do-nilo (Peixe BR, 2022), bem como a utilização de novas linhagens, como Chitralada e GIFT (*Melhoramento Genético de Tilápia de Cultivo*), que são as linhagens mais cultivadas no Brasil (Barroso et al., 2018). Os dados de desempenho produtivo foram coletados e catalogados, categorizados em níveis de proteína e tratamentos (discriminando entre proteína e energia da dieta), formulações de dieta (uso ou não de ingredientes de origem animal e suplementação de aminoácidos), período experimental e sistema de criação, bem como variáveis de qualidade da água, temperatura e salinidade. Os estudos foram agrupados de acordo com o desfecho avaliado (PB, PD ou relação P/E).

Embora exista um consenso na literatura de que a exigência proteica da tilápia varia conforme a fase de crescimento, não há uma definição clara quanto à definição dessas fases. No presente estudo, após uma criteriosa análise das variáveis avaliadas, foram determinadas faixas de peso para cada fase de crescimento, permitindo a categorização dos estudos conforme essas referências. Diante disso, os estudos foram subdivididos em PB, PD e relação P/E, classificados em ordem crescente de peso final e analisados de acordo com faixas de

crescimento semelhantes. Além disso, foi realizada uma avaliação das exigências proteicas durante a fase reprodutiva e da relação entre a nutrição da matriz e a qualidade da prole.

2.3 PROTEÍNA NA ALIMENTAÇÃO DA TILÁPIA-DO-NILO

2.3.1 Proteína digestível

O conhecimento do valor nutricional dos ingredientes é primordial na formulação da ração para peixes (Tanaka et al., 2021). No entanto, o valor nutricional de um determinado alimento não se deve exclusivamente à sua composição química, mas sim à quantidade de nutrientes que podem ser absorvidos pelos peixes (Belal, 2005; Yimer & Tadesse, 2022). Determinar a digestibilidade é, portanto, o primeiro passo antes de usar um ingrediente (Geoff et al., 2001), com a qualidade e o teor de proteína desse ingrediente influenciando diretamente o desempenho e o crescimento dos peixes (Yu et al., 2013). Dessa forma, ao introduzir uma fonte proteica na dieta dos peixes é de extrema importância considerar a digestibilidade dessas fontes, proporcionando assim formulação de rações mais eficientes no aproveitamento de nutrientes.

A eficiência alimentar é um fenótipo complexo que pode ser influenciado por muitos mecanismos biológicos, incluindo crescimento, utilização de nutrientes e consumo de ração (Esmacili et al., 2022). A principal função do trato gastrointestinal de qualquer animal é a aquisição de alimentos seguida pela subsequente assimilação de nutrientes vitais (Bakke et al., 2010). No sistema digestório dos peixes, a digestão de proteínas começa no estômago, seguindo para o intestino, onde as proteínas são decompostas em aminoácidos livres ou pequenos peptídeos por várias proteases (Hallali et al., 2018). No entanto, uma fração desse nutriente ingerido não é usada de forma eficaz. A digestibilidade, portanto, descreve a fração do nutriente ingerido que não é excretada nas fezes. (Geoff et al., 2001).

Diante da evolução da aquicultura (Peixe BR, 2022) e das altas demandas por ingredientes para a fabricação de rações, fontes proteicas, como a farinha de peixe, têm se tornado cada vez mais escassas, intensificando assim a busca por fontes alternativas de proteína (Azaza et al., 2020). Nesse sentido, estudos têm sido desenvolvidos avaliando a digestibilidade de diversos ingredientes que podem ser aplicados em dietas da tilápia-do-nilo (Azaza et al., 2020; Boscolo et al., 2002; Meurer et al., 2003; Mmanda et al., 2020; Palupi et al., 2020; Suryaningrum & Samsudin, 2020; Tran-Ngoc et al., 2019; Wang et al., 2017; Yimer & Tadesse, 2022; X. Zeng et al., 2021), sendo possível identificar uma grande variabilidade na digestibilidade da proteína dentre os diversos ingredientes que podem compor a dieta dos

peixes. Dessa forma, é fundamental que as formulações de rações para tilápias sejam preparadas utilizando os teores de PD dos ingredientes, tornando extremamente necessária a determinação das exigências de proteína de tilápia de acordo com os teores de PD.

2.3.2 Relação proteína/energia

A formulação de dietas nutricionalmente balanceadas requer conhecimento sobre as necessidades nutricionais da espécie a qual se está trabalhando (Phan et al., 2022). Os níveis ideais de proteína na dieta de peixes estão diretamente associados ao equilíbrio da relação proteína/energia (P/E), bem como à composição e digestibilidade dos ingredientes e à quantidade e qualidade das fontes de proteína e energia (Francalossi & Cyrino, 2013; Wilson, 2002). Um equilíbrio dietético correto é a base para uma boa utilização de proteínas, o que pode aumentar a eficiência do uso de nutrientes (Pontes et al., 2010). As exigências desses nutrientes, mais especificamente macronutrientes, como proteínas, lipídios e carboidratos, devem ser equilibradas com os níveis de energia da dieta, pois os desequilíbrios podem afetar o metabolismo e, conseqüentemente, o desempenho dos peixes (Alam et al., 2020).

Vários estudos demonstraram que uma relação P/E adequada pode contribuir para a redução da excreção de nitrogênio amoniacal. Essa redução deve-se a ações de fontes de energia não proteicas para suprir as necessidades energéticas, ocorrendo assim uma redução na utilização de proteínas em função do uso de lipídeos e/ou carboidratos, o qual é conhecido como efeito poupador de proteína (Bureau et al., 2003). Os peixes são capazes de usar parte de sua proteína dietética como fonte de energia (Khan et al., 2019). A otimização da eficiência proteica na alimentação de peixes ocorre em função do equilíbrio na proporção de energia e proteína, também denominado como razão proteína/energia (P/E).

Do ponto de vista biológico, uma relação P/E ideal pressupõe que a deposição de proteínas é limitada pela proteína dietética ou disponibilidade de energia (Konnert et al., 2022). Como o crescimento dos peixes depende da disponibilidade de nutrientes da dieta, mudanças nessas relações têm efeitos lineares sobre o uso desses nutrientes pela tilápia-do-nylo, em particular a proteína. Manter uma relação P/E adequada é, portanto, essencial para a formulação de dietas nutricionalmente adequadas para tilápia-do-nylo (Li et al., 2013).

2.4 EXIGÊNCIA PROTEICA

A formulação e o processamento da dieta dos peixes são realizados há centenas de anos (Hardy & Barrows, 2003), embora a pesquisa sobre as necessidades de proteína dos peixes tenha começado apenas na década de 1950 (Wilson, 2002). De acordo com Tacon e Cowey

(1985), o primeiro estudo a investigar as necessidades proteicas dos peixes foi realizado por DeLong et al. (1958) para o salmão Chinook (*Oncorhynchus tshawytscha*). Em relação à tilápia, estudos pioneiros de exigência de proteína foram realizados a partir da década de 70 para *O. mossambicus*, *O. aureus* e *Tilapia zilli*, e na década de 80 para *O. niloticus* (De Silva et al., 1989; Tacon & Cowey, 1985).

Apesar dos hábitos onívoros da tilápia, os alimentos comerciais disponíveis no mercado contêm altos níveis de proteína (Furuya, 2010; Sumi et al., 2012). O estágio de crescimento é um fator influente no que diz respeito às necessidades de proteína do peixe, em que essas necessidades tendem a diminuir com o aumento do peso e da idade (Mjoun et al., 2010; NRC, 2011; Torres Novoa & Hurtado Nery, 2012; Wilson, 2002). Considerando as recomendações de manejo alimentar e exigências nutricionais para diferentes faixas de peso da tilápia-do-nilo (Borges & Berthier, 2019; Faria & Morais, 2019; NRC, 2011), juntamente com práticas comumente adotadas na criação de tilápia no Brasil, como o abate nos principais centros de produção brasileiros com pesos médios variando de 700 g a 950 g (Barroso et al., 2018), os estágios de desenvolvimento da tilápia-do-nilo foram definidos conforme descrito na Tabela 1.

TABELA 1 - Estágios de desenvolvimento da tilápia-do-nilo definidos no presente estudo.

Estágio de desenvolvimento	Faixa de peso (g)
Pós-larva – reversão sexual	≤ 0,4
Alevinos – Fase inicial	0,5 – 20
Juvenil	21 – 200
Crescimento	201 – 550
Engorda	> 551

Fonte: Autor

As exigências proteicas da tilápia-do-nilo em estudos realizados entre 1980 e 2000 estão listadas na Tabela 2. Um desses estudos foi realizado por Santiago et al. (1981), compreendendo também um dos três estudos que avaliaram as exigências proteicas na fase pós-larvas da tilápia. A maioria dos estudos realizados durante este período avaliou as necessidades de proteína apenas durante os estágios iniciais de desenvolvimento, com cerca de metade realizada em alevinos. Nenhum estudo durante este período foi realizado sobre o estágio final de desenvolvimento (engorda). É importante ressaltar que, de todos os estudos apresentados na Tabela 2, apenas um avaliou os requisitos de PD.

TABELA 2 - Níveis de exigência de proteína em dietas para a tilápia-do-nylo (*Oreochromis niloticus*) em estudos realizados anteriormente ao ano 2000.

PI (g)	PF (g)	Níveis avaliados			NT	Exigência proteica (g kg ⁻¹)	Referências
		Proteína (g kg ⁻¹)	Energia (kcal kg ⁻¹)	NT			
0,12	0,31	300 – 500 ^{PB}	3.000 – 5.000 ^{EB*}	5	450 ^{PB} /3.990 kcal kg ⁻¹ ^{EB}	(El-Sayed & Teshima, 1992)	
0,24	0,65	100 – 480 ^{PB}	4.200 – 5.000 ^{EB*}	7	300 ^{PB}	(ED Silva & Perera, 1985)	
1,25	-	200 – 400 ^{PB}	-	9	300 a 400 ^{PB}	(Teshima et al., 1985)	
0,56	-	250 – 400 ^{PB}	3.800 – 4.400 ^{EB*}	4	350 ^{PB}	(Teshima & Kanazawa, 1985)	
0,013	1,40	200 – 500 ^{PB}	5.770 ^{ED}	7	350 ^{PB}	(Santiago et al., 1981)	
2,88	7,00	0 – 560 ^{PB}	3.600 ^{ED}	8	240 ^{PD}	(Shiau & Huang, 1989)	
0,88	17,00	200 – 500 ^{PB}	2.915 ^{ED}	4	400 ^{PB}	(Siddiqui et al., 1988)	
4,00	25,00	73 – 440 ^{PB}	4.500 – 5.160 ^{EB*}	8	333 ^{PB}	(Ogunji & Wirth, 1999)	
8,00	26,50	0 – 350 ^{PD}	1.910 – 4.000 ^{ED*}	6	350 ^{PB}	(Kaushik et al., 1995)	
0,44	36,00	260 – 360 ^{PB}	3.990 ^{EB}	6	300 ^{PB}	(Furuya et al., 1996)	
0,51	75,00	250 – 450 ^{PB}	4.060 ^{ED}	5	400 ^{PB}	(Al Hafedh et al., 1999)	
40,00	133,00	200 – 500 ^{PB}	2.915 ^{ED}	4	300 ^{PB}	(Siddiqui et al., 1988)	
21,00	240,00	240 – 340 ^{PB}	4.300 ^{EB}	6	280 ^{PB}	(Twibell & Brown, 1998)	
96,00	520,00	250 – 450 ^{PB}	4.060 ^{ED}	5	300 ^{PB}	(Al Hafedh et al., 1999)	

PI: Peso Inicial; PF: Peso final; NT: Níveis testados; ^{PB} Proteína Bruta; ^{PD} Proteína Digestível; ^{EB} Energia Bruta; ^{ED} Energia digestível; * Nível de energia utilizado nas dietas (nesses estudos não foram avaliadas as relações proteína/energia).

Nas últimas duas décadas, a maioria dos estudos avaliaram os estágios iniciais de desenvolvimento da tilápia (Figura 1). Destes, 25% foram conduzidos na fase de alevinos e 45% em juvenis. Da mesma forma, a maioria dos estudos que avaliaram as necessidades de proteína da dieta com a inclusão de aminoácidos essenciais foi realizada na fase juvenil. No entanto, considerando todos os estudos, apenas 28% adicionaram aminoácidos às dietas experimentais. Esses fatores podem influenciar diretamente os níveis ideais de necessidade de proteína da tilápia, pois a ingestão de aminoácidos mais baixa do que as necessidades nutricionais da espécie pode levar à redução do crescimento (Nguyen et al., 2022). Dietas com um perfil de aminoácidos balanceado podem, por sua vez, proporcionar melhor utilização da proteína alimentar (Kaushik & Seiliez, 2010), sendo possível reduzir os níveis de proteína da dieta sem interferir no desempenho produtivo dos peixes (Nguyen et al., 2020).

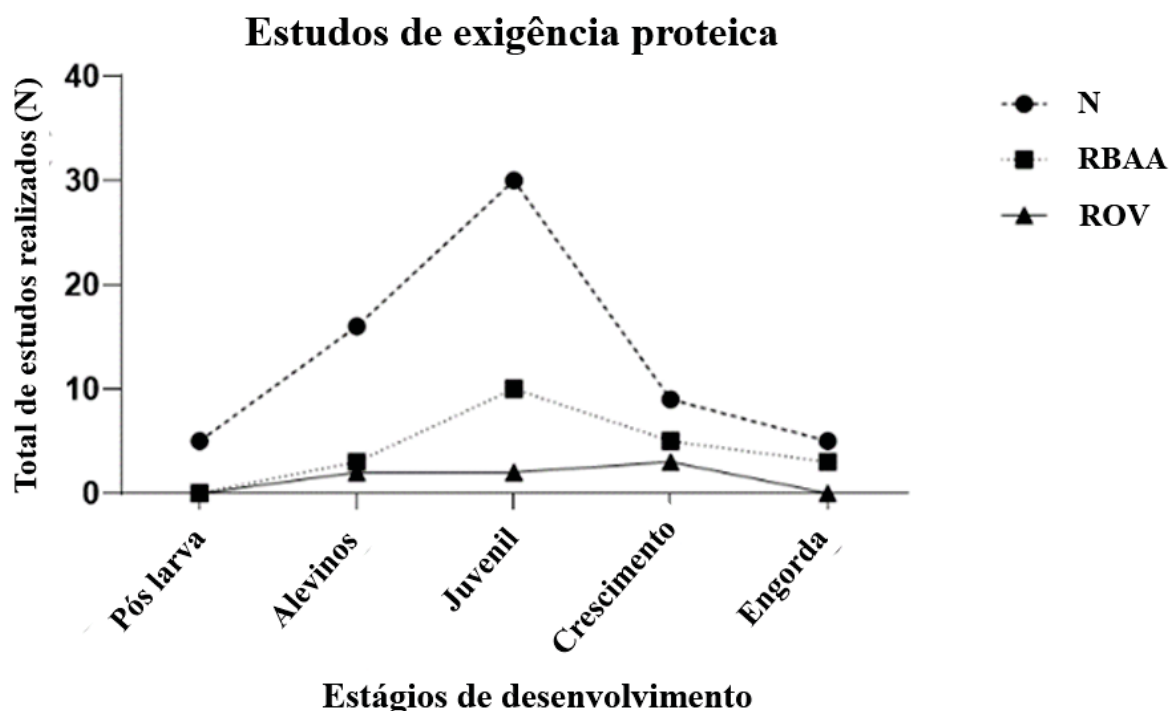


FIGURA 1 - Distribuição dos estudos de exigência de proteína da tilápia-do-nylo por estágio de desenvolvimento (N: 65); N: Número total de estudos realizados; RBAA: Estudos utilizando rações com balanço de aminoácidos; ROV: Ração de origem vegetal (sem ingredientes de origem animal); Referências: Tabelas 4, 5, 6, 7 e 8.

Observa-se uma diminuição nos níveis médios de exigência de PB e PD em função do peso e idade dos peixes, com menores exigências observadas na fase de crescimento (Figura 2). Em relação à fase de engorda, foram observadas maiores exigências proteicas em relação à fase de crescimento. Em geral, uma grande variação nos níveis de proteína recomendados é observada na literatura, especialmente em relação aos estágios mais jovens da tilápia. Por outro lado, a maior uniformidade dos resultados da fase de engorda pode estar associada à falta de

estudos durante esta fase (7% do total de estudos) ou ao sistema de criação empregado, o que pode afetar diretamente os resultados, uma vez que a maioria dos estudos realizados durante esta fase de desenvolvimento foram realizados em sistemas de criação semelhantes.

Vários fatores foram relatados como influentes nas exigências nutricionais da tilápia pelos estudos mais recentes, como a evolução da espécie devido a melhoramentos genéticos, exigências nutricionais específicas de cada fase de crescimento, a qualidade da matéria-prima, a qualidade da água e o sistema de criação, entre outros. As diferenças entre esses fatores interferem diretamente nos resultados, levando a divergências sobre os teores ideais de proteína da tilápia-do-nilo na dieta. Com o objetivo de identificar melhores adequações quanto às exigências proteicas da tilápia, os estudos selecionados foram agrupados associando fase de desenvolvimento e sistema de criação (Tabela 3).

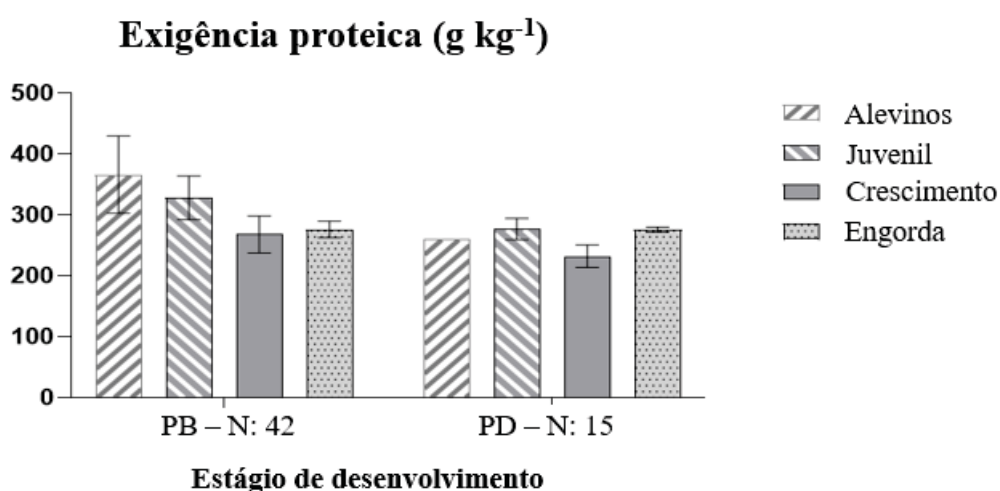


FIGURA 2 - Exigências de proteína (média) da tilápia-do-nilo relatadas em estudos realizados após o ano 2000; N: Número de estudos; PB: Proteína bruta; PD: Proteína digestível; Valor = média \pm desvio-padrão; Referências: Tabelas 4, 5, 6, 7 e 8.

As variações mais significativas na necessidade de proteína para a tilápia-do-nilo são observadas durante a fase pós-larval, com uma faixa substancial de níveis de proteína (Tabela 3). Essas discrepâncias tendem a diminuir em juvenis de tilápia-do-nilo, apresentando necessidades de nível de PD mais consistentes entre os peixes criados em diferentes sistemas de cultivo. Em relação à Tabela 3, a tilápia-do-nilo cultivada em dietas desprovidas de ingredientes de origem animal pode produzir resultados de desempenho muito semelhantes aos de outros grupos. No entanto, ainda faltam estudos que forneçam validação científica mais robusta quanto ao uso de rações à base de ingredientes de origem animal em todas as fases de desenvolvimento, especialmente na fase de engorda.

TABELA 3 - Exigências médias de proteína da tilápia-do-nilo (g kg^{-1}) durante os diferentes estágios de desenvolvimento (média \pm desvio padrão).

Sistema de cultivo	Estágios de desenvolvimento da tilápia-do-nilo (g)					
	$\leq 0,4$		0,5 - 20		21 - 200	
	PB	PD	PB	PD	PB	PD
AFC	-	386 \pm 0,00 ⁽¹⁾	393 \pm 4,84 ⁽⁸⁾	-	336 \pm 3,83 ⁽⁸⁾	263 \pm 1,77 ⁽²⁾
RAS	-	-	319 \pm 5,06 ⁽³⁾	-	325 \pm 3,42 ⁽⁶⁾	292 \pm 1,30 ⁽²⁾
TBF	220 \pm 0,0 ⁽¹⁾	-	-	260 \pm 0,00 ⁽²⁾	290 \pm 1,41 ⁽²⁾	260 \pm 0,00 ⁽¹⁾
TE/TR	320 \pm 5,66 ⁽²⁾	-	340 \pm 10,15 ⁽³⁾	-	342 \pm 3,60 ⁽⁶⁾	292 \pm 0,0 ⁽¹⁾
ROV	-	-	300 \pm 2,83 ⁽²⁾	-	-	279 \pm 0,56 ⁽²⁾

Sistema de cultivo	Estágios de desenvolvimento da tilápia-do-nilo (g)			
	201 - 550		> 551	
	PB	PD	PB	PD
AFC	-	-	-	-
RAS	-	243 \pm 0,37 ⁽²⁾	-	-
TBF	220 \pm 0,00 ⁽¹⁾	-	-	277 \pm 0,00 ⁽¹⁾
TE/TR	268 \pm 3,22 ⁽⁵⁾	243 \pm 0,0 ⁽¹⁾	307 \pm 1,91 ⁽²⁾	275 \pm 0,71 ⁽²⁾
ROV	-	242 \pm 0,21 ⁽²⁾	-	-

AFC: Aquário com fluxo contínuo de água; RAS: Sistema de recirculação de água; TBF: Tecnologia Bioflocos; TE/TR: Tanque escavado e tanque rede; ROV: Ração de origem vegetal (sem ingredientes de origem animal); PB: Proteína bruta; PD: Proteína digestível;⁽⁻⁾ Número de estudos; Referências: Tabelas 4, 5, 6, 7 e 8.

2.4.1 Fase pós-larvas ($\leq 0,4$ g)

A fase pós-larvas corresponde ao período imediatamente após a absorção do saco vitelino, quando os peixes já iniciaram a alimentação exógena, até atingirem o estágio de alevinos, com tamanho adequado para comercialização. (Meurer et al., 2005). Nesse período, atender às exigências nutricionais é fundamental para garantir o desenvolvimento adequado dos peixes, influenciando diretamente o sucesso das etapas subsequentes da criação (Hayashi et al., 2002).

Em relação aos estudos apresentados na Tabela 4, observam-se variações consideráveis nas exigências de proteína, variando de 220 a 360 g kg^{-1} de PB e 386 g kg^{-1} de PD. Um fator relevante é que nenhum dos estudos empregou suplementação de aminoácidos. As principais divergências entre os autores podem ser em relação ao sistema de cultivo. A exigência de 220 g kg^{-1} PB (Zablón et al., 2022) foi determinada em um sistema de bioflocos, enquanto 386 g kg^{-1} PD (Hayashi et al., 2002) foi estabelecida em aquários com renovação de água. Por outro lado, a exigência de 280 g kg^{-1} de PB determinada por Safir et al. (2022), pode estar subdimensionada, uma vez que esse foi o maior nível testado no estudo.

TABELA 4 - Exigências proteicas da tilápia-do-nylo (*Oreochromis niloticus*) na fase pós-larvas - Estudos classificados em ordem crescente de peso final médio.

PI (g)	PF (g)	Níveis avaliados			SC	Sal. (g L ⁻¹)	Temp. (°C)	Exigência		Referências
		Proteína (g kg ⁻¹)	Energia (kcal kg ⁻¹)	NT				proteica (g kg ⁻¹)		
0,01	0,12	370 – 720 ^{PB}	-	3	TR	28	29	720 ^{PB}	(Abou Zied, 2015)	
0,012	0,22	350 – 500 ^{PB}	-	8	TR	-	29	360 ^{PB}	(Sumi et al., 2012)	
-	0,22	300 – 460 ^{PD}	3.990 ^{ED}	5	AFC	-	25	386 ^{PD}	(Hayashi et al., 2002)	
0,07	2,00	220 – 350 ^{PB}	-	3	BFT	-	28	220 ^{PB}	(Zablon et al., 2022)	
0,102	-	200 – 280 ^{PB}	3.990 ^{EB}	3	TR/AFC	-	29	280 ^{PB}	(Safir et al., 2022)	

PI: Peso Inicial; PF: Peso final; NT: Níveis testados; SC: Sistema de cultivo; Sal.: Salinidade da água; Temp.: Temperatura da água; AFC: Aquário com fluxo contínuo de água; BFT: Tecnologia de bioflocos; TR: Tanque de rede; RAS: Sistemas de recirculação de água; ^{PB} Proteína Bruta; ^{PD} Proteína Digestível; ^{ED} Energia bruta; ^{EB} Energia digestível; *Diets experimentais sem a adição de qualquer ingrediente de origem animal.

Uma exigência de 720 g kg⁻¹ de PB (Abou Zied, 2015) (Tabela 4) foi determinada aplicando-se uma dieta exclusivamente à base de farinha de peixe, onde os autores substituíram parcialmente a farinha de peixe por farelo de trigo e dietas comerciais. No entanto, mesmo que isso tenha levado a melhores resultados de desempenho, os custos de produção aumentaram mais de 100%, inviabilizando seu uso comercial. Embora a farinha de peixe contenha um perfil de aminoácidos mais apropriado para a tilápia-do-nilo em comparação com o farelo de cereais, ela é recomendada como ingrediente em uma dieta balanceada, e não como a única fonte de alimento.

2.4.2 Alevinos de tilápia-do-nilo (0,5 – 20 g)

Ao observar os estudos realizados na fase de alevinos da tilápia-do-nilo (Tabela 5) é possível identificar uma discordância entre autores, com exigência de proteína bruta variando de 250 a 450 g kg⁻¹. De acordo com o NRC (2011), a exigência de proteína nesta fase de desenvolvimento é de 400 g kg⁻¹, semelhante à relatada por Singha et al. (2020). A menor exigência de PB (250 g kg⁻¹) foi determinada em estudo realizado em tanque escavado, com a possível presença de alimento natural (Abou-Shabana et al., 2010), o que pode ter influenciado as estimativas de PB. Além disso, uma melhor conversão alimentar foi identificada a 300 g kg⁻¹ de PB no mesmo estudo. Em contraste, estudos que identificaram níveis mais altos de necessidade de proteína (Abdel-Tawwab, 2012; Abdel-Tawwab et al., 2010; Daudpota et al., 2014; Khattab et al., 2001; Singha et al., 2020, 2021; Subandiyono & Hastuti, 2020; Thirunavukkarasar et al., 2022) foram determinados usando aquários com fluxos contínuos de renovação de água como meio de cultivo, indicando a possível influência do meio de cultivo nos resultados. Em estudos que utilizaram dietas isentas de farinha de peixe suplementadas com aminoácidos, foram alcançados bons resultados de desempenho com uma exigência média de proteína de 30 g kg⁻¹ PB (Bomfim et al., 2008; Furuya et al., 2000). Esses achados são altamente relevantes, pois demonstram a viabilidade do uso de dietas exclusivamente à base de plantas.

Em relação aos valores de PD/ED na fase de alevinos (Tabela 5), foi observada uma exigência de 26 g kg⁻¹ de PD (Durigon et al., 2020; Sgnaulin et al., 2020) com 3.000 kcal kg⁻¹ EB em água doce (Sgnaulin et al., 2020) e 3.130 kcal kg⁻¹ DE em uma salinidade de água de 10 g L⁻¹ (Durigon et al., 2020). Essa redução da exigência de proteína dietética na fase de alevinos em comparação com outros estudos realizados na mesma fase de desenvolvimento pode estar associada a uma melhor adequação das exigências nutricionais da tilápia-do-nilo bem como do sistema de criação (tecnologia de bioflocos), onde os estudos que incluíram ingredientes de origem animal não realizaram nenhuma suplementação de aminoácidos essenciais (Tabela 5).

TABELA 5 - Exigências proteicas de alevinos de tilápia-do-nylo (*Oreochromis niloticus*) - Estudos classificados em ordem crescente de peso final médio.

PI (g)	PF (g)	Níveis avaliados		NT	SC	Sal. (g L ⁻¹)	Temp. (°C)	Exigência proteica (g kg ⁻¹)	Referencias
		Proteína (g kg ⁻¹)	Energia (kcal kg ⁻¹)						
1,25	4,75	220 - 300 ^{PD}	3.000 - 3.300 ^{ED*}	9	BFT	-	26	260 ^{PD} / 3.130 kcal kg ⁻¹ ^{ED}	(Durigon et al., 2020)
1,00	5,70	200 - 400 ^{PB}	4.850 ^{EB}	4	AFC	150	28	350 ^{PB}	(Daudpota et al., 2014)
0,20	6,70	350 - 450 ^{PB}	4.490 ^{EB}	3	TR	-	28	450 ^{PB}	(Elfeki et al., 2018)
0,99	7,20	220 - 300 ^{PD}	3.000 - 3.330 ^{ED*}	9	BFT	-	27	260 ^{PD} / 2.990 kcal kg ⁻¹ ^{ED}	(Sgnaulin et al., 2020)
2,10	8,20	250 - 450 ^{PB}	4.560 ^{EB}	3	AFC	-	27	450 ^{PB}	(Khattab et al., 2001)
1,80	8,20	250 - 450 ^{PB}	4.400 ^{ED}	3	AFC	-	27	450 ^{PB}	(Abdel-Tawwab, 2012)
0,50	10,30	250 - 450 ^{PB}	4.590 ^{EB}	3	AFC	-	27	450 ^{PB}	(Abdel-Tawwab et al., 2010)
0,43	11,50	240 - 360 ^{PB**}	2.840 ^{EB}	6	TE	-	24	320 ^{PB}	(Furuya et al., 2000)
1,25	11,80	210 - 450 ^{PB}	1.740 - 2.650 ^{EB}	5	RAS	-	30	376 ^{PB}	(Loum et al., 2013)
0,80	13,40	270 - 320 ^{PB**}	3.000 ^{ED}	6	RAS	-	28	280 ^{PB}	(Bomfim et al., 2008)
2,68	13,50	200 - 500 ^{PB}	4.000 ^{ED}	7	AFC	5	28	345 a 381 ^{PB}	(Singha et al., 2021)
2,68	16,00	200 - 500 ^{PB}	4.000 ^{EB}	7	AFC	10	28	377 a 409 ^{PB}	(Singha et al., 2020)
0,31	18,00	200 - 300 ^{PB}	4.350 ^{EB}	3	TR	2,0 - 3,5	22	250 ^{PB}	(Abou-Shabana et al., 2010)
0,25	20,00	200 - 500 ^{PB}	3.725 - 4.680 ^{EB*}	4	RAS	15	26	300 ^{PB}	(Larumbe-Morán et al., 2010)
3,00	22,00	300 - 450 ^{PB}	3.500 - 3.990 ^{ED*}	4	AFC	10	28	350 ^{PB}	(Thirunavukkarasar et al., 2022)
5,00	23,50	280 - 400 ^{PB}	3.700 ^{EB}	4	AFC	-	29	374 ^{PB}	(Subandiyono & Hastuti, 2020)

PI: Peso Inicial; PF: Peso final; NT: Níveis testados; SC: Sistema de cultivo; Sal: Salinidade da água; Temp: Temperatura da água; AFC: Aquário com fluxo contínuo de água; BFT: Tecnologia de bioflocos; TE: Tanque escavado; TR: Tanque de rede; RAS: Sistemas de recirculação de água; PB: Proteína Bruta; PD: Proteína Digestível; EB: Energia bruta; ED: Energia digestível; *Estudos que avaliaram as relações proteína/energia; **Diets experimentais sem adição de qualquer ingrediente de origem animal.

Durigon et al. (2020) e Sgnaulin et al. (2020), por outro lado, além da inclusão da farinha de peixe, também suplementaram dietas de tilápia com lisina, metionina e treonina.

2.4.3 Juvenis de tilápia-do-nilo (21 – 200 g)

No estágio juvenil de tilápia-do-nilo, as exigências de PB foram determinadas variando de 270 a 400 g kg⁻¹ (Tabela 6). Essa variação pode ser devida a uma melhor adequação às exigências nutricionais da tilápia, bem como à influência do meio de cultivo. Os requisitos de 350 – 360 g kg⁻¹ de PB (Abdel-Tawwab et al., 2010; Abdel-Tawwab & Ahmad, 2009; De Silva et al., 2017; Hooley et al., 2014; Kpundeh et al., 2015; Liu et al., 2018) foram determinadas usando dietas à base de farinha de plantas e peixes suplementadas com uma mistura de vitaminas e minerais em sistemas RAS (Hooley et al., 2014; Kpundeh et al., 2015; Liu et al., 2018) e em tanques-rede (Abdel-Tawwab & Ahmad, 2009; De Silva et al., 2017), sob variáveis adequadas de qualidade da água de cultivo de tilápia-do-nilo. Ao determinar a exigência de 300 g kg⁻¹ de PB (Bahnasawy, 2009), os autores aplicaram dietas com ingredientes semelhantes aos estudos citados, porém utilizando tanques de concreto de 4 m³ onde, além das dietas experimentais, também foram aplicados fertilizantes inorgânicos (superfosfato e ureia).

Ao determinar o requisito de 280 g kg⁻¹ PB (da Silva et al., 2018; Hisano et al., 2020) (Table 2.6), os autores utilizaram ingredientes semelhantes aos estudos descritos acima, embora também aplicassem suplementação de lisina e metionina. Além disso, as tilápias foram criadas em um sistema de tecnologia de bioflocos, considerada uma fonte natural de alimentação de alto valor nutricional (Khanjani et al., 2022; Khanjani & Sharifinia, 2020), o que pode melhorar a eficiência e o desempenho da utilização de proteínas (Zablon et al., 2022). Por outro lado, as maiores exigências de PB foram determinadas usando aquários com renovação de água (Ali et al., 2007; Qiang et al., 2012). Ao avaliar as respostas pós-ingestivas associadas ao controle do consumo, as tilápias foram capazes de ajustar seu consumo de PB em 318,6 g kg⁻¹ por meio da autosseleção da dieta (Costa et al., 2022), corroborando Abdel-Hakim e Moustafa (2000), que utilizaram tanques-rede em diferentes densidades de estocagem, e Abdel-Hakim et al. (2001), em policultivo de peixes.

Considerando que as exigências de PD são geralmente menores do que as de PB devido à digestibilidade dos ingredientes, esses achados podem estar próximos de 275 g kg⁻¹ (Furuya et al., 2005) e 283 g kg⁻¹ PD (Carneiro et al., 2017), a 3.100 e 3.000 kcal kg⁻¹ EB, respectivamente (Tabela 6), determinados pela aplicação de dietas à base de plantas com (Furuya et al., 2005) e sem (Carneiro et al., 2017) suplementação de aminoácidos. A menor exigência de proteína de juvenis de tilápia (250 g kg⁻¹ PD) foi determinada por Meurer et al.

TABELA 6 - Níveis de exigência de proteína de juvenis de tilápia-do-nilo (*Oreochromis niloticus*) - Estudos classificados em ordem crescente do peso médio final.

PI (g)	PF (g)	Níveis avaliados		NT	SC	Sal. (g L ⁻¹)	Temp. (°C)	Exigência proteica (g kg ⁻¹)	Referências
		Proteína (g kg ⁻¹)	Energia (kcal kg ⁻¹)						
15,40	26,30	200 – 300 ^{PB}	3.000 – 3.600 ^{ED*}	9	AFC	-	-	300 ^{PB} / 3.000 kcal kg ⁻¹ ^{ED}	(Soltan et al., 2002)
6,00	30,00	280 – 360 ^{PB}	3.200 ^{ED}	3	BFT	-	22	280 ^{PB}	(Hisano et al., 2020)
9,90	30,00	200 – 400 ^{PD}	3.000 ^{ED}	5	AFC	-	22	250 ^{PD}	(Meurer et al., 2007)
2,00	34,00	250 – 450 ^{PB}	4.570 ^{EB}	3	TR	-	25	350 ^{PB}	(Abdel-Tawwab & Ahmad, 2009)
8,00	34,10	190 – 300 ^{PB}	.4150 – 4.500 ^{EB}	3	BFT	-	26	300 ^{PB}	(Eid et al., 2020)
15,00	35,00	250 – 350 ^{PB}	4.040 ^{EB}	6	RAS	-	30	350 ^{PB}	(Liu et al., 2018)
7,44	36,00	200 – 300 ^{PB}	2.600 – 3.00 ^{ED*}	9	RAS	-	26	***	(Li et al., 2013)
6,70	40,00	360 – 480 ^{PD}	4.180 – 5.250 ^{ED*}	6	RAS	-	28	***	(Haidar et al., 2018)
2,50	45,00	170 – 350 ^{PB}	4.165 ^{EB}	4	TE	-	18 - 32	300 ^{PB}	(Bahnasawy, 2009)
3,70	45,00	250 – 450 ^{PB}		5	RAS	-	29	350 ^{PB}	(Kpundeh et al., 2015)
10,00	50,00	270 – 360 ^{PB}	3.000 ^{ED}	4	AFC	-	25,5	330 ^{PB}	(Sayed, 2018)
14,00	52,00	150 – 360 ^{PB}	4.490 – 4.995 ^{EB*}	4	AFC	8	27	290 ^{PB} / 4.565 kcal kg ⁻¹ ^{EB}	(Mohammadi et al., 2020)
16,00	55,00	260 – 360 ^{PB}	3.820 – 5.250 ^{EB*}	9	AFC	-	28	360 ^{PB} / 4.565 kcal kg ⁻¹ ^{EB}	(Ali et al., 2007)
13,85	57,00	150 – 360 ^{PB}	4.540 ^{EB}	4	AFC	8	27	353 ^{PB}	(Mohammadi et al., 2014)
10,00	60,00	170 – 330 ^{PB}	2.800 ^{ED}	5	BFT	-	27	280 ^{PB}	(Da Silva et al., 2018)
20,00	65,00	250 – 450 ^{PB}	4.590 ^{EB}	3	AFC	-	27	350 ^{PB}	(Abdel-Tawwab et al., 2010)
27,64		250 – 500 ^{PB}		5	AFC	-	30	400 ^{PB}	(Qiang et al., 2012)
34,50		280 – 360 ^{PB}	4.580 ^{EB}	3	RAS	-	22	360 ^{PB}	(Hooley et al., 2014)
12,70	87,60	240 – 320 ^{PB}		10	RAS	3,94	28	272 ^{PB}	(Nguyen et al., 2020)
66,41		0 – 420 ^{PB}	3.800 ^{ED}		RAS	-	27	318 ^{PB}	(Costa et al., 2022)
14,8	106,50	200 – 350 ^{PD}	4.590 ^{EB}	4	RAS	-	24 - 27	300 a 350 ^{PD}	(Abdel-Warith, 2008)
5,00	125,00	255 – 300 ^{PD**}	3.100 ^{ED}	4	AFC	-	26	275 ^{PD}	(Furuya et al., 2005)
2,94	129,40	260 – 360 ^{PB}		6	TR	-	-	360 ^{PB}	(De Silva et al., 2017)

30,00	130,00	200 – 400 ^{PD**}	3.000 ^{ED}	5	RAS	-	22	283 ^{PD}	(Carneiro et al., 2017)
30,00	165,00	220 – 340 ^{PD}	3.000 – 3.585 ^{ED*}	12	RAS	-	27	300 ^{PD} / 3.000 kcal kg ⁻¹ ^{ED}	(Gonçalves et al., 2009)
2,00	167,10	400 – 500 ^{PB}		5	TR	-	-	400 ^{PB}	(Effiong, 2015)
38,75	175,50	209 – 456 ^{PB}	4.780 ^{EB}	6	RAS	-	22; 28;	374 ^{PB} , 302 ^{PB} e 305 ^{PB}	(Zeng et al., 2021)
							34	para temperaturas de	
								22°C, 28°C e 34°C	
30,00	200,00	200 – 320 ^{PB}	3.300 ^{EB}	4	TR	-	-	320 ^{PB}	(Abdel-Hakim & Moustafa, 2000)
20,28	200,00	200 – 440 ^{PB}	3.180 – 4.130 ^{EB}	3	TE	-	-	320 ^{PB}	(Abdel - Hakim et al., 2001)
43,80		260 - 387 ^{PD}	4.300 ^{EB}	6	TR	-	32 – 36	292 ^{PD}	(Huang et al., 2022)

PI: Peso Inicial; PF: Peso final; NT: Níveis testados; SC: Sistema de cultivo; Sal.: Salinidade da água; Temp.: Temperatura da água; AFC: Aquário com fluxo contínuo de água; BFT: Tecnologia de bioflocos; TE: Tanque escavado; TR: Tanque de rede; RAS: Sistemas de recirculação de água; ^{PB} Proteína Bruta; ^{PD} Proteína Digestível; ^{EB} Gross Energy; ^{ED} Energia digestível; *Estudos que avaliaram as relações proteína/energia; **Diets experimentais sem adição de qualquer ingrediente de origem animal; *** Não foi possível determinar a relação proteína/energia.

(2007), utilizando dietas contendo farinha de peixe, com níveis de 200 a 400 g kg⁻¹ PD.

Novamente, não há consenso ao avaliar a relação P/E de dietas de juvenis de tilápia (Tabela 6), com níveis de exigência de 360 g kg⁻¹ de PB (Ali et al., 2007) e 290 g kg⁻¹ de PB (Mohammadi et al., 2020), ambos apresentando EB próximo a 4.500 kcal kg⁻¹. Como em estudos anteriores, isso pode estar associado a uma melhor adequação das necessidades nutricionais de tilápia por meio de um balanço adequado de aminoácidos, com ambos os estudos avaliando estágios idênticos de desenvolvimento de tilápias criadas sob sistemas de temperatura e cultivo semelhantes, embora Mohammadi et al. (2020) tenham aplicado suplementação de metionina e treonina. Esses achados corroboram Haidar et al. (2018), onde não foi possível estimar PD/DE ideal para tilápia, muito provavelmente porque essa relação está abaixo dos valores avaliados, onde as dietas foram formuladas com níveis variando entre 360 g kg⁻¹ e 480 g kg⁻¹ PD.

Mesmo não avaliando a relação P/E ideal da tilápia-do-nylo na dieta, da Silva et al. (2018) e Hisano et al. (2020) (Tabela 6) definiram níveis de exigência de 280 g kg⁻¹ de PB aplicando dietas isoenergéticas apresentando 2.800 e 3.200 kcal kg⁻¹ ED, respectivamente. Esses teores são inferiores aos determinados por Mohammadi et al. (2020), sugerindo que a tecnologia de bioflocos pode contribuir para a diminuição das necessidades de PB e EB, ou que as exigências ideais de P/E ou EB podem estar abaixo dos valores relatados por Mohammadi et al. (2020) (4.565 kcal kg⁻¹ EB), pois os níveis avaliados estavam acima de 4.500 kcal kg⁻¹. Esses dados indicam a possibilidade de muitos estudos avaliarem níveis de proteína acima das exigências nutricionais da tilápia-do-nylo. De modo geral, os estudos que relataram os melhores resultados de exigência proteica também aplicaram níveis de energia variando de 2.800 a 3.200 kcal kg⁻¹, enfatizando a hipótese de que o excesso de energia dietética leva a um efeito negativo de exigência proteica.

2.4.4 Fase de crescimento da tilápia-do-nylo (201 – 550 g)

As exigências de PB na fase de crescimento da tilápia-do-nylo foram determinadas variando de 220 a 320 g kg⁻¹ (Tabela 7). Essa variação provavelmente se deve ao sistema de cultivo aplicado, pois outras variáveis (fase de crescimento, ingredientes da ração animal e vegetal, suplementação de aminoácidos e temperatura da água) foram semelhantes, exceto para o estudo realizado por Frasca-Scorvo et al. (2018), que utilizou rações comerciais.

TABELA 7 - Níveis de exigência de proteína na fase de crescimento da tilápia-do-nylo (*Oreochromis niloticus*) - Estudos classificados em ordem crescente do peso médio final.

PI (g)	PF (g)	Níveis avaliados		NT	SC	Sal. (g L ⁻¹)	Temp. (°C)	Exigência proteica (g kg ⁻¹)	Referência
		Proteína (g kg ⁻¹)	Energia (kcal kg ⁻¹)						
62,00	204,00	250 - 300 ^{PB**}	4.060 ^{EB}	6	TE	-	27	250 ^{PB}	(El-Saidy & Gaber, 2005)
39,80	220,00	200 - 300 ^{PB}	2.500 - 3.500 ^{EB*}	9	TE	-	25-27	250 ^{PB} / 3.000 kcal kg ⁻¹ ^{EB}	(Sweilum et al., 2005)
60,00	230,00	170 - 330 ^{PB}	2.800 ^{ED}	5	BFT	2	27	220 ^{PD}	(Da Silva et al., 2018)
9,30	250,00	220 - 340 ^{PD}	3.600 - 4.500 ^{ED*}	5	RAS	-	29	Relação PD/ED de 16,5 e 17,20 (mg kJ ⁻¹) promoveu o máximo desempenho de crescimento;	(Peres et al., 2022)
22,00	250,00	250 - 320 ^{PB}	4.300 ^{EB}	4	TE	-	-	250 ^{PB} (melhoria da viabilidade da criação)	(Kabir et al., 2019)
35,00	250,00	227 - 270 ^{PD**}	3.070 ^{ED}	4	TR	-	28	243 ^{ED}	(Botaro et al., 2007)
193,00	450,00	140 - 340 ^{PD**}	2.600 - 3.200 ^{ED}	20	RAS	-	26	240 ^{PD} / 3.000 kcal kg ⁻¹ ^{ED}	(Carneiro et al., 2020)
40,00	500,00	280 - 360 ^{PB}	-	3	TR	-	21	320 ^{PB}	(Frasca-Scorvo et al., 2018)
100,00	500,00	222 - 267 ^{PD}	3.980 ^{ED}	4	RAS	-	25-27	245 ^{ED}	(Righetti et al., 2011)

PI: Peso Inicial; PF: Peso final; NT: Níveis testados; SC: Sistema de cultivo; Sal.: Salinidade da água; Temp.: Temperatura da água; BFT: Tecnologia de bioflocos; TE: Tanque escavado; TR: Tanque de rede; RAS: Sistemas de recirculação de água; ^{PB} Proteína Bruta; ^{PD} Proteína Digestível; ^{ED} Gross Energy; ^{ED} Energia digestível; *Estudos que avaliaram as relações proteína/energia; ** Dietas experimentais sem adição de qualquer ingrediente de origem animal.

El-Saidy e Gaber (2005) e Kabir et al. (2019) realizaram estudos em tanques de concreto e tanques escavados, respectivamente, relatando uma exigência de 250 g kg⁻¹ de PB. Este sistema de criação pode proporcionar produção planctônica, que apresenta alto valor biológico e, se ingerido pela tilápia, pode contribuir para a diminuição das exigências proteicas. A menor exigência de PB (220 g kg⁻¹) (da Silva et al., 2018) foi determinada em um sistema de cultivo de bioflocos, que atua como uma fonte complementar de alimento natural com alto valor nutricional (Mugwanya et al., 2021; Robles-Porchas et al., 2020). Já a exigência de 320 g kg⁻¹ de PB (Frasca-Scorvo et al., 2018), foi determinada em tanque-rede, com densidade de estocagem de 125 m³ de peixes.

Em relação aos valores de PB/EB (Tabela 7), Sweilum et al. (2005) e Kabir et al. (2019) determinaram uma exigência de PB de tilápias criadas em tanques de 250 g kg⁻¹, corroborando El-Saidy e Gaber, (2005). Esses achados demonstram que o sistema de criação aplicado pode favorecer o desenvolvimento do fitoplâncton, contribuindo como fonte natural de dietas para peixes, reduzindo assim as exigências de proteína quando comparado a estudos realizados em aquários com renovação hídrica (Gonçalves et al., 2009; Twibell & Brown, 1998).

De acordo com Peres et al. (2022), valores de PD/ED entre 16,5 – 17,2 mg kJ⁻¹ na fase de crescimento da tilápia-do-nilo promoveram desempenhos máximos de crescimento. Essa relação é inferior aos valores de 18,9 e 19,1 mg kJ⁻¹ determinados por Botaro et al. (2007) e Carneiro et al. (2020), respectivamente, que aplicaram dietas à base de plantas sem adição de qualquer ingrediente de origem animal. Por outro lado, em relação aos níveis de PB, os valores recomendados por Peres et al. (2022) (de cerca de 270 g kg⁻¹ PB), são muito superiores aos recomendados por Botaro et al. (2007), Righetti et al. (2011) e Carneiro et al. (2020) (240 ± 0,27 g kg⁻¹ PB). Peres et al. (2022), no entanto, realizaram experimentos em tanques de 250 L alimentados com fluxo contínuo de água filtrada, enquanto Botaro et al. (2007) utilizaram tanques de rede de 2 m³ e Righetti et al. (2011) e Carneiro et al. (2020), caixas de 1000 L em sistema RAS. Isso pode explicar as diferenças observadas nas necessidades de proteína entre os diferentes estudos, conforme mencionado anteriormente. As diferenças em relação aos valores de PD/ED podem estar relacionadas ao alto teor energético das dietas aplicadas (níveis variando de 3.600 a 4.000 kcal kg⁻¹ ED) (Peres et al., 2022), muito superior ao de outros estudos, contribuindo assim para uma menor relação PD/ED, mesmo com maiores exigências de proteína na dieta.

2.4.5 Fase de engorda da tilápia-do-nilo (> 551g)

Na fase de engorda da tilápia-do-nilo, as exigências de PB (Tabela 8) foram determinadas em 293 g kg⁻¹ (Liu et al., 2017b) e 320 g kg⁻¹ (Costa et al., 2009), sendo ambos os estudos realizados em tanques-rede, embora Liu et al. (2017b) tenham utilizado uma biomassa menor (20 peixes/m³), em comparação com Costa et al. (2009) (entre 100 e 150 peixes/m³).

Quanto às exigências de PD na fase de engorda, observam-se valores semelhantes entre os estudos, de 270 g kg⁻¹ (Koch et al., 2017) e 280 g kg⁻¹ (Fernandes Junior et al., 2016) para peixes criados em tanques-rede e 277 g kg⁻¹ (Green et al., 2019) em sistema de tecnologia de bioflocos. Isso pode ser devido a uma melhor adequação nutricional da dieta, pois ambos os estudos foram baseados na exigência de PD e suplementação de aminoácidos.

O efeito da densidade de estocagem nas exigências de proteína não pôde ser avaliado, pois compreende uma variável divergente entre os estudos, com maiores exigências de proteína observadas devido a uma maior densidade de estocagem de 25 peixes/m³ em um sistema de tecnologia de bioflocos e 100 e 150 peixes/m³ em tanques-rede.

Resultados contrastantes são observados para os dados relatados (Tabelas 4, 5, 6, 7 e 8) sobre o teor ideal de proteína na dieta, conforme discutido anteriormente. No entanto, considerando os estágios de desenvolvimento produtivo da tilápia (Tabela 1), notou-se uma ligeira redução da exigência de proteína em função do crescimento dos peixes, mesmo sob diferentes recomendações de exigência de proteína (Tabelas 4, 5, 6, 7 e 8), aumentando novamente na fase de engorda (> 551 g), confirmando a necessidade de realizar estudos considerando os estágios de desenvolvimento da tilápia. Esses fatores podem ter influenciado as recomendações proteicas em muitos dos estudos analisados, que foram realizados apenas durante dois ou três estágios de desenvolvimento da tilápia, não avaliando as reais exigências de proteína durante o crescimento dos peixes, mas sim um valor médio do período avaliado.

TABELA 8 - Níveis de exigência de proteína da fase de engorda da tilápia-do-nylo (*Oreochromis niloticus*) - Estudos classificados em ordem crescente do peso médio final.

PI (g)	PF (g)	Níveis avaliados		NT	SC	Sal. (g L ⁻¹)	Temp. (°C)	Exigência proteica (g kg ⁻¹)	Referência
		Proteína (g kg ⁻¹)	Energia (kcal kg ⁻¹)						
32,00	545,00	225 - 323 ^{PD}	4.700 ^{EB}	3	BFT	-	21-29	277 ^{PD}	(Green et al., 2019)
215,00	550,00	180 - 399 ^{PB}	4.530 ^{EB}	6	TR	-	31	293 ^{PB}	(Liu et al., 2017a)
148,00	800,00	240 - 320 ^{PD}	3.200 - 3.465 ^{ED*}	20	TR	-	20,5	280 ^{PD} / 3.200 kcal kg ⁻¹ ^{ED} (custos de produção mais baixos) e 300 ^{ED} / 3.200 kcal kg ⁻¹ ^{ED} (> produção de filés),	(Fernandes Junior et al., 2016)
450,00	800,00	200 - 320 ^{PD}	3.011 - 3.298 ^{ED*}	10	TR	-	25	270 ^{PD} / 3.035 kcal kg ⁻¹ ^{ED}	(Koch et al., 2017)
80,00	1000,00	280 - 360 ^{PB}	-	3	TR	-	28	320 ^{PB}	(Costa et al., 2009)

PI: Peso Inicial; PF: Peso final; NT: Níveis testados; SC: Sistema de cultivo; Sal.: Salinidade da água; Temp.: Temperatura da água; BFT: Tecnologia de bioflocos; TR: Tanque de rede; ^{PB} Proteína Bruta; ^{PD} Proteína Digestível; ^{EB} Gross Energy; ^{ED} Gross Energy; ^{ED} Energia digestível; *Estudos que avaliaram as relações proteína/energia.

2.4.6 Fase de reprodução da tilápia-do-nilo

A alimentação correta, a matriz nutricional e o manejo das matrizes são importantes (Bhujel et al., 2007; Tsadik & Bart, 2007), pois ambos influenciam diretamente o desempenho reprodutivo dos peixes (Watanabe & Vassallo-Agius, 2003). Nesse contexto, as dietas afetam a fecundidade, a gametogênese e a qualidade dos gametas (Bobe & Labbé, 2010; Bromage, 1995; Tyler & Sumpter, 1996), além da qualidade do embrião e da larva. Conseqüentemente, a alimentação, bem como o manejo nutricional, compreende uma influência significativa no desenvolvimento, crescimento, sobrevivência e vigor inicial da prole (Bombardelli et al., 2009; do Nascimento et al., 2023; Izquierdo et al., 2001).

A relação entre a nutrição da matriz e a qualidade da prole é estabelecida nas fêmeas por meio da mobilização de reservas corporais para manter a vitelogênese hepática (Fernández-Palacios et al., 2011; Mommsen & Korsgaard, 2008) e subsequente transporte de nutrientes através da corrente sanguínea para os oócitos (Ding, 2005; Harvey & Carolsfels, 1993). As reservas mobilizadas servem como fontes de nutrientes no período inicial de desenvolvimento (Mazorra et al., 2003), quando as larvas permanecem dependentes exclusivamente das reservas endógenas (Fernández-Palacios et al., 2011; Mazorra et al., 2003), até o desenvolvimento funcional do trato digestivo, quando se inicia a alimentação exógena (Watanabe & Vassallo-Agius, 2003). Isso determina o vigor e a qualidade da prole (Bombardelli et al., 2009; Ng & Wang, 2011) e modula a saúde e o vigor feminino, determinando a capacidade de tolerar o estresse metabólico imposto pelo intenso processo reprodutivo e cuidado parental característico da tilápia (Bombardelli, Mewes, et al., 2021; de Lima et al., 2020; Lupatsch et al., 2010).

Nas fêmeas, os teores de proteína dietética (Oliveira et al., 2014) e lipídios (Ng & Wang, 2011) são importantes, ambos desempenhando um papel fundamental na vitelogênese e na composição da gema do oócito (Sargent et al., 2002), refletindo na reprodução e na qualidade da prole. Em geral, as proteínas desempenham um papel importante na manutenção e reparo tecidual e na produção de enzimas, hormônios e anticorpos (Tu et al., 2015), enquanto os lipídios estão mais diretamente ligados à síntese de esteróides gonadais e ao processo reprodutivo (Cerdà et al., 1997).

Pesquisas pioneiras sobre a nutrição de matrizes de tilápia-do-nilo submetidas a atividades reprodutivas identificaram os efeitos dos níveis de proteína nas dietas sobre a idade de início da maturidade sexual, fecundidade e qualidade da prole, além da qualidade dos ovos. As fêmeas alimentadas com dietas purificadas contendo os níveis mais altos de proteína (400 g kg⁻¹ PB) atingiram a maturidade sexual mais cedo, embora nenhuma alteração na composição

do ovo centesimal tenha sido observada (Gunasekera et al., 1995). Experimentos semelhantes testando níveis máximos de PB de 350 g kg⁻¹ produziram ovos de maior viabilidade e larvas mais morfológicamente normais (Gunasekera et al., 1996). Ao utilizar dietas contendo 350 g kg⁻¹ de PB, fêmeas e machos atingiram sua primeira maturação mais cedo (Al Hafedh et al., 1999), enquanto a dieta contendo entre 380 g kg⁻¹ (Oliveira et al., 2014), 400 e 450 g kg⁻¹ de PB aumentou a fecundidade e a fertilidade das fêmeas (El-Sayed et al., 2003; Siddiqui et al., 1988).

A aparente alta exigência nutricional de proteínas de fêmeas de tilápia durante as atividades reprodutivas não é surpreendente, pois esses animais demandam uma grande quantidade de energia metabólica para atender aos processos de crescimento e reprodução (Lupatsch et al., 2010). Sua deficiência ou excesso, por sua vez, potencialmente interfere nos processos de crescimento (NRC, 2011) e/ou reprodução (Bombardelli et al., 2017).

Esse desequilíbrio P/E merece atenção, pois os peixes usam facilmente as proteínas como fonte de energia metabólica (Melo et al., 2006) e as gorduras fornecem energia e ácidos graxos essenciais importantes para a fisiologia reprodutiva (Sargent, 1995). Portanto, estudos que visam determinar as exigências nutricionais dos melhoristas em termos de P/E merecem destaque, pois garantem o uso adequado das gorduras como fator de economia de proteínas e fornecem ácidos graxos de importância metabólica (Bombardelli et al., 2017), evitando assim limitações na ingestão de nutrientes devido aos altos níveis de energia (El-Sayed & Kawanna, 2008; Oliva-Teles, 2012) e prevenir o acúmulo de gordura em níveis que comprometem a saúde do fígado e a longevidade dos reprodutores (Bombardelli et al., 2009; Tessaro et al., 2012). Além disso, a determinação dessas exigências em termos de nutrientes digestíveis é importante, pois otimiza seu uso (Cho & Bureau, 2001; Riche, 2009) e promove o aumento da qualidade da dieta.

Experimentos mostraram que fêmeas de tilápia-do-nilo alimentadas com dietas à base de milho e farelo de soja contendo 311,2 g kg⁻¹ PD e 3.700 kcal kg⁻¹ DE (relação 11,89 kcal ED:1g PD) melhoram o vigor da prole em detrimento do acúmulo de gordura hepática feminina (Bombardelli et al., 2009). Apesar da difícil comparação entre os resultados experimentais, as fêmeas alimentadas com dietas contendo 385 g kg⁻¹ de PD e 3.600 kcal kg⁻¹ de ED produziram individualmente o maior número de ovos (Orlando et al., 2017).

Ajustar o requisito correto de P/E é, portanto, importante para os criadores de tilápia, pois a alimentação das matrizes é comumente focada na promoção do desempenho reprodutivo. No entanto, menos atenção é dada aos efeitos deletérios que podem aparecer a médio ou longo prazo (Bombardelli, de Oliveira, et al., 2021; Mewes et al., 2016), bem como aqueles que podem comprometer a longevidade dos criadores. Por exemplo, acúmulo de gordura hepática

e consequente vacuolização de hepatócitos que leva ao aumento do tamanho das células e, finalmente, esteatose hepática (Bombardelli et al., 2009; Tessaro et al., 2012), podem ser comuns em pisciculturas.

Fêmeas de tilápia-do-nilo submetidas a atividades reprodutivas apresentaram o maior crescimento corporal quando alimentadas com dietas contendo $400 \text{ g kg}^{-1} \text{ PD}/4.000 \text{ kcal kg}^{-1} \text{ ED}$. Por outro lado, essas fêmeas necessitaram de $280 \text{ g kg}^{-1} \text{ PD}/2.800 \text{ kcal kg}^{-1} \text{ ED}$ para atingir a maior produção de ovos, enquanto as rações contendo $280 \text{ g kg}^{-1} \text{ PD}/4.000 \text{ kcal kg}^{-1} \text{ ED}$ levaram a uma ligeira redução na fecundidade, que é compensada pela produção de ovos maiores e pode gerar descendentes mais vigorosos durante os primeiros dias de vida (Bombardelli et al., 2017; Sousa et al., 2013).

2.5 CONCLUSÃO

A análise detalhada das exigências proteicas da tilápia-do-nilo em diferentes estádios de desenvolvimento destaca a complexidade dessa questão, influenciada por fatores como o sistema de cultivo, a fase específica e o balanço proteico e energético. As necessidades proteicas variáveis foram evidentes nos estágios de alevinos, juvenis, crescimento e engorda, com valores médios de 366 g kg^{-1} , 307 g kg^{-1} , 268 g kg^{-1} e 306 g kg^{-1} de PB e 277 g kg^{-1} , 276 g kg^{-1} , 232 g kg^{-1} e 275 g kg^{-1} de PD, respectivamente. Quanto à fase de reprodução, a recomendação de níveis ideais de proteína envolve considerações específicas em relação à proteína e energia, visando otimizar o desempenho reprodutivo sem comprometer a saúde a longo prazo. O ajuste desses requisitos pode depender de metas específicas de produção, como maximizar a produção de ovos, o vigor da prole ou o crescimento do corpo da fêmea.

REFERÊNCIAS

- Abdel - Hakim, N., Bakcer, M. N., & Soltan, M. (2001). Effect of dietary protein levels on growth performance and pond productivity of Nile tilapia (*Oreochromis niloticus*) & eel (*Anguilla anguilla*) and grey mullet (*Mugil cephalus*) reared in polyculture system. *Egyptian Journal of Aquatic Biology and Fisheries*, 5(4), 61–85. <https://doi.org/10.21608/ejabf.2001.1709>
- Abdel-Hakim, N., & Moustafa, E. (2000). Performance of Nile tilapia (*Oreochromis niloticus*) raised in cages as affected with stocking density and dietary protein level. *Egyptian Journal of Aquatic Biology and Fisheries*, 4(2), 95–116. <https://doi.org/10.21608/ejabf.2000.1663>
- Abdel-Tawwab, M. (2012). Effects of dietary protein levels and rearing density on growth performance and stress response of Nile tilapia, *Oreochromis niloticus* (L.). *International Aquatic Research*, 4(1), 1–13. <https://doi.org/10.1186/2008-6970-4-3>
- Abdel-Tawwab, M., Ahmad, M. H., Khattab, Y. A. E., & Shalaby, A. M. E. (2010). Effect of dietary protein level, initial body weight, and their interaction on the growth, feed utilization, and physiological alterations of Nile tilapia, *Oreochromis niloticus* (L.). *Aquaculture*, 298(3–4), 267–274. <https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2009.10.027>
- Abdel-Tawwab, M. n, & Ahmad, M. H. (2009). Effect of dietary protein regime during the growing period on growth performance, feed utilization and whole-body chemical composition of Nile Tilapia, *Oreochromis niloticus* (L.). *Aquaculture Research*, 40(13), 1532–1537. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2109.2009.02254.x>
- Abdel-Warith, A. A. (2008). Effect of dietary protein levels on growth performance, feed utilization and body composition of monosex Nile tilapia (*Oreochromis niloticus*) fingerling. *Journal of Agricultural Science, Mansoura University*, 33(10), 7111–7123.
- Abou Zied, R. (2015). Effect of Protein Level and Hapa Exchange Times on Growth Performance and Profitability of Nile Tilapia (*Oreochromis niloticus*) Fry During Sex Reversal Stage in Commercial Hatchery, Fayoum Governorate, Egypt. *Egyptian Journal of Nutrition and Feeds*, 18(2), 311–318. <https://doi.org/10.21608/ejnf.2015.105820>
- Abou-Shabana, N. M., El, M., El-Absawey, -G, Zaki, M. A., Shehata, S. M. A., & Al-Abssawy, A. N. (2010). Optimum dietary protein level in supplementary feed for *Oreochromis niloticus* fry reared in net enclosures. *Egyptian Journal of Aquatic Research*, 36(4), 683–689.

- Al Hafedh, Y. S., Siddiqui, A. Q., & Al-Saiady, M. Y. (1999). Effects of dietary protein levels on gonad maturation, size and age at first maturity, fecundity and growth of Nile tilapia. *Aquaculture International*, 7(5), 319–332. <https://doi.org/10.1023/A:1009276911360>
- Alam, M. S., Liang, X. F., & Liu, L. (2020). Indirect effect of different dietary protein to energy ratio of bait fish mori diets on growth performance, body composition, nitrogen metabolism and relative AMPK & mTOR pathway gene expression of Chinese perch. *Aquaculture Reports*, 16(January), 100276. <https://doi.org/10.1016/j.aqrep.2020.100276>
- Ali, A., Al-Ogaily, S. M., Al-Asgah, N. A., Goddard, J. S., & Ahmed, S. I. (2007). Effect of feeding different protein to energy (P/E) ratios on the growth performance and body composition of *Oreochromis niloticus* fingerlings. *Journal of Applied Ichthyology*, 24(1), 31–37. <https://doi.org/10.1111/j.1439-0426.2007.00897.x>
- Azaza, M. S., Saidi, S. A., Dhraief, M. N., & EL-feki, A. (2020). Growth Performance, Nutrient Digestibility, Hematological Parameters, and Hepatic Oxidative Stress Response in Juvenile Nile Tilapia, *Oreochromis niloticus*, Fed Carbohydrates of Different Complexities. *Animals*, 10(10), 1913. <https://doi.org/10.3390/ani10101913>
- Bahnasawy, M. H. (2009). Effect of Dietary Protein Levels on Growth Performance and Body Composition of Monosex Nile Tilapia, *Oreochromis niloticus* L. Reared in Fertilized Tanks. *Pakistan Journal of Nutrition*, 8(5), 674–678. <https://doi.org/10.3923/pjn.2009.674.678>
- Bakke, A. M., Glover, C., & Krogdahl, Å. (2010). Feeding, digestion and absorption of nutrients. In *Fish Physiology* (Vol. 30, Issue C, pp. 57–110). [https://doi.org/10.1016/S1546-5098\(10\)03002-5](https://doi.org/10.1016/S1546-5098(10)03002-5)
- Barroso, R. M., Munoz, A. E. P., Tahim, E. F., Webber, D. C., Albuquerque-Filho, A. da C., Pedrosa-Filho, M. X., Tenorio, R. A., Carmo, F. J., Barreto, L. E. G. de S., Muehlmann, L. D., Silva, F. M., & Hein, G. (2018). *Diagnóstico da cadeia de valor da tilapicultura no Brasil*. Embrapa Pesca e Aquicultura.
- Belal, I. E. H. (2005). A review of some fish nutrition methodologies. *Bioresource Technology*, 96(4), 395–402. <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2003.11.030>
- Bhujel, R. C., Little, D. C., & Hossain, A. (2007). Reproductive performance and the growth of pre-stunted and normal Nile tilapia (*Oreochromis niloticus*) broodfish at varying feeding rates. *Aquaculture*, 273(1), 71–79. <https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2007.09.022>
- Bobe, J., & Labbé, C. (2010). Egg and sperm quality in fish. *general and Comparative Endocrinology*, 165(3), 535–548. <https://doi.org/10.1016/j.ygcen.2009.02.011>

- Bombardelli, R. A., de Oliveira, E. J., Syperreck, M. A., Pedreira, A. C. de O., de Freitas, J. M. A., Marques, A. E. M., Cestari, M. M., & Meurer, F. (2021). Silver catfish (*Rhamdia quelen*) breeders fed on crude glycerin-containing diets exhibited metabolic alterations and increased sperm concentration. *Aquaculture*, *530*, 735724. <https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2020.735724>
- Bombardelli, R. A., dos Reis Goes, E. S., de Negreiros Sousa, S. M., Syperreck, M. A., Goes, M. D., de Oliveira Pedreira, A. C., & Meurer, F. (2017). Growth and reproduction of female Nile tilapia fed diets containing different levels of protein and energy. *Aquaculture*, *479*(July), 817–823. <https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2017.07.031>
- Bombardelli, R. A., Hayashi, C., Natali, M. R. M., Sanches, E. A., & Piana, P. A. (2009). Reproductive and animal performance and lipids deposition in hepatocytes for Nile tilapia females fed different levels of energy in the ration energéticos. *Revista Brasileira de Zootecnia*, *38*(8), 1391–1399. <https://doi.org/10.1590/S1516-35982009000800001>
- Bombardelli, R. A., Mewes, J. K., Buzzi, A. H., de Oliveira Pedreira, A. C., Syperreck, M. A., Dalmaso, A. C. S., Chagas, T. V., Chiella, R. J., & Meurer, F. (2021). Diets containing crude glycerin modify the ovary histology, cause reproductive harm on Nile tilapia females and impair the offspring quality. *Aquaculture*, *533*, 736098. <https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2020.736098>
- Bomfim, M. A. D., Lanna, E. A. T., Donzele, J. L., Ferreira, A. S., Ribeiro, F. B., & Takishita, S. S. (2008). Methionine plus cystine requirement, based on ideal protein concept, in diets for Nile tilapia fingerlings. *Revista Brasileira de Zootecnia*, *37*(5), 783–790. <https://doi.org/10.1590/S1516-35982008000500001>
- Borges, A. M., & Berthier, F. M. (2019). *Criação de Tilápias* (3^a).
- Boscolo, W. R., Hayashi, C., & Meurer, F. (2002). Digestibilidade Aparente da Energia e Nutrientes de Alimentos Convencionais e Alternativos para a Tilápia do Nilo (*Oreochromis niloticus*, L.). *Revista Brasileira de Zootecnia*, *31*(2), 539–545. <https://doi.org/10.1590/S1516-35982002000300001>
- Botaro, D., Furuya, W. M., Silva, L. C. R., Santos, L. D. dos, Silva, T. S. de C., & Santos, V. G. dos. (2007). Dietary protein reduction based on ideal protein concept for Nile Tilapia (*Oreochromis niloticus*) cultured in net pens. *Revista Brasileira de Zootecnia*, *36*(3), 517–525. <https://doi.org/10.1590/S1516-35982007000300001>
- Bromage, N. (1995). Broodstock management and seed quality – general considerations. In N. R. BROMAGE & R. J. ROBERTS (Eds.), *Broodstock management and egg and larval quality* (pp. 1–25). Blackwell Science Ltd.

- Bureau, D. P., Kaushik, S. J., & Cho, C. Y. (2003). Bioenergetics. In *Essentials of Biochemistry (For Medical Students)* (pp. 11–11). Jaypee Brothers Medical Publishers (P) Ltd. https://doi.org/10.5005/jp/books/11965_2
- Carneiro, W. F., Colpini, L. M. S., Souza, R. C. T. de, Bombardelli, R. A., Balen, R. E., & Meurer, F. (2020). Effect of the digestible protein-energy relationship on the growth performance of Nile tilapia (*Oreochromis niloticus*) fed fishmeal-free diets. *Animal Feed Science and Technology*, 262(May 2019), 114379. <https://doi.org/10.1016/j.anifeedsci.2019.114379>
- Carneiro, W. F., Pandini, F., Silva, L. C. R. da, Santos, L. D. dos, Rossato, K. A., & Meurer, F. (2017). Digestible protein requirement for Nile tilapia fed with rations based on soybean meal and corn. *Acta Scientiarum. Animal Sciences*, 39(4), 343. <https://doi.org/10.4025/actascianimsci.v39i4.36122>
- Cerdà, J., Zanuy, S., & Carrillo, M. (1997). Evidence for dietary effects on plasma levels of sexual steroids during spermatogenesis in the sea bass. *Aquaculture International*, 5(5), 473–477. <https://doi.org/10.1023/A:1018392913775>
- Cho, C. Y., & Bureau, D. P. (2001). A review of diet formulation strategies and feeding systems to reduce excretory and feed wastes in aquaculture. *Aquaculture Research*, 32, 349–360. <https://doi.org/10.1046/j.1355-557x.2001.00027.x>
- Costa, L. da S., Melo, F. P. de, & Caorreia, E. de S. (2009). Effect of different feeding regimes on the growth of tilapia Chitralada (*Oreochromis niloticus* linnaeus, 1757), culture in cages. *Boletim de Pesquisa e Desenvolvimento*, 79 / *Embrapa Meio Ambiente*, 35(2), 285–294. https://www.pesca.agricultura.sp.gov.br/35_2_285-294.pdf
- Costa, L. S., Guilherme, H. O., Bahiense, R. N., Santos, F. A. C., Gamarano, P. G., Olmeda, J. F. L., Ribeiro, P. A. P., & Luz, R. K. (2022). Effect of protein on the post-ingestive response of tilapia fed encapsulated diets. *Aquaculture*, 556(January), 738289. <https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2022.738289>
- da Silva, M. A., de Alvarenga, É. R., de O Alves, G. F., Manduca, L. G., Turra, E. M., de Brito, T. S., de Sales, S. C. M., da Silva Junior, A. F., Borges, W. J. M., & Teixeira, E. de A. (2018). Crude protein levels in diets for two growth stages of Nile tilapia (*Oreochromis niloticus*) in a biofloc system. *Aquaculture Research*, 49(8), 2693–2703. <https://doi.org/10.1111/are.13730>
- Daudpota, A. M., Siddiqui, P. J. A., Abbas, G., Narejo, N. T., Shah, S. S. A., Khan, N., & Dastagir, G. (2014). Effect of dietary protein level on growth performance, protein

- utilization and body composition of Nile tilapia cultured in low salinity water. *Journal of Interdisciplinary and Multidisciplinary Research*, 2(2), 135–147.
- de Lima, S. A., Pedreira, A. C. de O., de Freitas, J. M. A., Dalmaso, A. C. S., Chiella, R. J., Meurer, F., Romão, S., & Bombardelli, R. A. (2020). Diets containing purified nucleotides reduce oxidative stress, interfere with reproduction, and promote growth in Nile tilapia females. *Aquaculture*, 528(May), 735509. <https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2020.735509>
- De Silva, M. P. K. S. K., WARK, S., & Liyanage, N. P. P. (2017). Title-Combinatory Effects of Diets with Three Protein Levels and Two Fat Levels on Growth Performance and Fillet Composition of Cage Cultured genetically Improved Farmed Tilapia (GIFT). *Journal of Aquaculture Research & Development*, s2(July 2018). <https://doi.org/10.4172/2155-9546.S2-008>
- De Silva, S. S., Gunasekera, R. M., & Atapattu, D. (1989). The dietary protein requirements of young tilapia and an evaluation of the least cost dietary protein levels. *Aquaculture*, 80(3–4), 271–284. [https://doi.org/10.1016/0044-8486\(89\)90175-0](https://doi.org/10.1016/0044-8486(89)90175-0)
- De Silva, S. S., & Perera, M. K. (1985). Effects of Dietary Protein Level on Growth, Food Conversion, and Protein Use in Young Tilapia nilotica at Four Salinities. *Transactions of the American Fisheries Society*, 114(4), 584–589. [https://doi.org/10.1577/1548-8659\(1985\)114584:eodplo>2.0.co;2](https://doi.org/10.1577/1548-8659(1985)114584:eodplo>2.0.co;2)
- DeLong, D. C., Halver, J. E., & Mertz, E. T. (1958). Nutrition of Salmonoid Fishes. *The Journal of Nutrition*, 65(4), 589–599. <https://doi.org/10.1093/jn/65.4.589>
- Ding, J. L. (2005). Vitellogenesis and Vitellogenin Uptake into Oocytes. In P. MELAMED & N. SHERWOOD (Eds.), *Hormones And Their Receptors In Fish Reproduction* (pp. 254–276). https://doi.org/10.1142/9789812569189_0008
- do Nascimento, C. Z., Meurer, F., Romão, S., Cazarolli, L. He., Marcon, S., Chagas, T. V., & Bombardelli, R. A. (2023). Feed for Nile tilapia broodstock and offspring supplemented with purified nucleotides boosts the juvenile's health, growth, and the resistance face to transport and Aeromonas hydrophila challenges. *Animal Feed Science and Technology*, 297(December 2022). <https://doi.org/10.1016/j.anifeedsci.2023.115568>
- Durigon, E. G., Lazzari, R., Uczay, J., Lopes, D. L. de A., Jerônimo, G. T., Sgnaulin, T., & Emerenciano, M. G. C. (2020). Biofloc technology (BFT): Adjusting the levels of digestible protein and digestible energy in diets of Nile tilapia juveniles raised in brackish water. *Aquaculture and Fisheries*, 5(1), 42–51. <https://doi.org/10.1016/j.aaf.2019.07.001>

- Effiong, M. U. (2015). Optimum dietary protein requirement of genetically male tilapia (*Oreochromis niloticus*) cultured in floating hapa system. *Animal Research International*, 12(3), 2292–2297. <https://doi.org/10.4314/ARI.V12I3>
- Eid, A. E., Ali, B. A., Aboelyzed, M., Abdel-Ghany, M. F., Khames, D. K., Ahmed, R. A., Baghdady, E. S., & Abdlrhman, A. M. (2020). Effect of Protein Levels on Growth Performance, Feed Utilization and Economic Evaluation of Fingerlings Nile Tilapia Fingerlings under Biofloc System. *Journal of Animal, Poultry & Fish Production*, 9(1), 17–26. <https://doi.org/10.21608/japfp.2020.130631>
- Elfeki, A., Eid, A., El Sayed, K., Mostafa, B., & Salama, F. (2018). Effect of dietary protein levels and sex on growth performance, feed utilization and body composition of Nile tilapia (*Oreochromis niloticus*) fry cultured in haps. *Egyptian Journal of Nutrition and Feeds*, 21(1), 279–288. <https://doi.org/10.21608/ejnf.2018.75467>
- El-Saidy, D. M. S. D., & Gaber, M. M. A. (2005). Effect of dietary protein levels and feeding rates on growth performance, production traits and body composition of Nile tilapia, *Oreochromis niloticus* (L.) cultured in concrete tanks. *Aquaculture Research*, 36(2), 163–171. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2109.2004.01201.x>
- El-Sayed, A. F. M., & Kawanna, M. (2008). Effects of dietary protein and energy levels on spawning performance of Nile tilapia (*Oreochromis niloticus*) broodstock in a recycling system. *Aquaculture*, 280(1–4), 179–184. <https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2008.04.030>
- El-Sayed, A. F. M., Mansour, C. R., & Ezzat, A. A. (2003). Effects of dietary protein level on spawning performance of Nile tilapia (*Oreochromis niloticus*) broodstock reared at different water salinities. *Aquaculture*, 220(1–4), 619–632. [https://doi.org/10.1016/S0044-8486\(02\)00221-1](https://doi.org/10.1016/S0044-8486(02)00221-1)
- El-Sayed, A. F. M., & Teshima, S. I. (1992). Protein and energy requirements of Nile tilapia, *Oreochromis niloticus*, fry. *Aquaculture*, 103(1), 55–63. [https://doi.org/10.1016/0044-8486\(92\)90278-S](https://doi.org/10.1016/0044-8486(92)90278-S)
- Esmaeili, M., Carter, C. G., Wilson, R., Walker, S. P., Miller, M. R., Bridle, A. R., & Symonds, J. E. (2022). Protein metabolism in the liver and white muscle is associated with feed efficiency in Chinook salmon (*Oncorhynchus tshawytscha*) reared in seawater: Evidence from proteomic analysis. *Comparative Biochemistry and Physiology Part D: genomics and Proteomics*, 42(February), 100994. <https://doi.org/10.1016/j.cbd.2022.100994>
- FAO. (2020). *The State of World Fisheries and Aquaculture 2020*. FAO. <https://doi.org/10.4060/ca9229en>

- FAO. (2022). *The State of World Fisheries and Aquaculture 2022*. FAO. <https://doi.org/10.4060/cc0461en>
- Faria, R. H. S. de, & Morais, M. (2019). Manual de criação de peixes em viveiros. In *Companhia de Desenvolvimento dos Vales São Francisco e do Parnaíba – Codevasf* (Vol. 1). <http://www.codevasf.gov.br/principal/publicacoes/publicacoes-atuais>
- Fernandes Junior, A. C., Carvalho, P. L. P. F. de, Pezzato, L. E., Koch, J. F. A., Teixeira, C. P., Cintra, F. T., Damasceno, Fl. M., Amorin, R. L., Padovani, C. R., & Barros, M. M. (2016). The effect of digestible protein to digestible energy ratio and choline supplementation on growth, hematological parameters, liver steatosis and size-sorting stress response in Nile tilapia under field condition. *Aquaculture*, 456, 83–93. <https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2016.02.001>
- Fernández-Palacios, H., Norberg, B., Izquierdo, M., & Hamre, K. (2011). Effects of Broodstock Diet on Eggs and Larvae. In *Larval Fish Nutrition* (pp. 151–181). Wiley. <https://doi.org/10.1002/9780470959862.ch5>
- Françalossi, D. M., & Cyrino, J. E. P. (2013). *Nutriaqua: Nutrição e alimentação de espécies de interesse para a aquicultura brasileira*.
- Frasca-Scorvo, C. M. D., Scorvo Filho, J. D., Turco, P. H. N., Alves, J. M. C., QUEIROZ, J. F. de, & Losekann, M. E. (2018). Desempenho da tilápia criada em tanques-rede em represa rural , alimentada com rações de diferentes concentrações de proteína bruta . *Boletim de Pesquisa e Desenvolvimento*, 79 / *Embrapa Meio Ambiente*, 79, 20. <https://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/item/186047/1/2018AP03.pdf>
- Furuya, W. M. (2010). *Tabelas Brasileiras para a Nutrição de Tilápias*. GFM Gráfica e Editora Ltda.
- Furuya, W. M., Botaro, D., Macedo, R. M. G. de, Santos, V. G. dos, Silva, L. C. R., Silva, T. D. C., Furuya, V. R. B., & Sales, P. J. P. (2005). Ideal Protein Concept for Dietary Protein Reduction of Juvenile Nile Tilapia (*Oreochromis niloticus*). *Revista Brasileira de Zootecnia*, 34(5), 1433–1441. <https://doi.org/10.1590/S1516-35982005000500002>
- Furuya, W. M., Furuya, V. R. B., Nagae, M. Y., Graciano, T. S., Michelato, M., Xavier, T. O., & Vidal, L. V. (2012). Nutrition of tilapias in Brazil. *Scientia Agraria Paranaensis*, 11(1), 19–34. <https://doi.org/10.18188/1983-1471/sap.v11n1p19-34>
- Furuya, W. M., Hayashi, C., Furuya, V. R. B., Ribeiro, R. P., & Sakaguti, E. S. (1996). Protein requirements for reversed Nile tilapia (*Oreochromis niloticus* L.) males in juvenile phase. *Revista UNIMAR*, 18(3), 307–319. <https://periodicos.uem.br/ojs/index.php/RevUNIMAR/article/view/56291/751375151004>

- Furuya, W. M., Hayashi, C., Furuya, V. R. B., & Soares, C. M. (2000). Protein Requirements for Reversed Fingerling Nile Tilapia (*Oreochromis niloticus*). *Revista Brasileira de Zootecnia*, 29(6), 1912–1917.
- Geoff, L. A., Parkinson, S., Booth, M. A., Stone, D. A. J., Rowland, S. J., Frances, J., & Warner-Smith, R. (2001). Replacement of fish meal in diets for Australian silver perch, *Bidyanus bidyanus*. *Aquaculture*, 196(1–2), 67–85. [https://doi.org/10.1016/S0044-8486\(00\)00578-0](https://doi.org/10.1016/S0044-8486(00)00578-0)
- Gonçalves, G. S., Pezzato, L. E., Barros, M. M., Hisano, H., & Rosa, M. J. S. (2009). Level of digestible protein and digestible energy in diets for Nile tilapia formulated based on the concept of ideal protein. *Revista Brasileira de Zootecnia*, 38(12), 2289–2298. <https://doi.org/10.1590/S1516-35982009001200001>
- Green, B. W., Rawles, S. D., Schrader, K. K., Gaylord, T. G., & McEntire, M. E. (2019). Effects of dietary protein content on hybrid tilapia (*Oreochromis aureus* × *O. niloticus*) performance, common microbial off-flavor compounds, and water quality dynamics in an outdoor biofloc technology production system. *Aquaculture*, 503(September 2018), 571–582. <https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2019.01.034>
- Gunasekera, R. M., Shim, K. F., & Lam, T. J. (1995). Effect of dietary protein level on puberty, oocyte growth and egg chemical composition in the tilapia, *Oreochromis niloticus* (L.). *Aquaculture*, 134(1–2), 169–183. [https://doi.org/10.1016/0044-8486\(95\)00028-Z](https://doi.org/10.1016/0044-8486(95)00028-Z)
- Gunasekera, R. M., Shim, K. F., & Lam, T. J. (1996). Influence of protein content of broodstock diets on larval quality and performance in Nile tilapia, *Oreochromis niloticus* (L.). *Aquaculture*, 146(3–4), 245–259. [https://doi.org/10.1016/S0044-8486\(96\)01380-4](https://doi.org/10.1016/S0044-8486(96)01380-4)
- Haidar, M. N., Bleeker, S., Heinsbroek, L. T. N., & Schrama, J. W. (2018). Effect of constant digestible protein intake and varying digestible energy levels on energy and protein utilization in Nile tilapia. *Aquaculture*, 489(December 2016), 28–35. <https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2017.12.035>
- Hallali, E., Kokou, F., Chourasia, T. K., Nitzan, T., Con, P., Harpaz, S., Mizrahi, I., & Cnaani, A. (2018). Dietary salt levels affect digestibility, intestinal gene expression, and the microbiome, in Nile tilapia (*Oreochromis niloticus*). *PLOS ONE*, 13(8), e0202351. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0202351>
- Hardy, R. W., & Barrows, F. T. (2003). Diet Formulation and Manufacture. In *Fish Nutrition* (pp. 505–600). Elsevier. <https://doi.org/10.1016/B978-012319652-1/50010-0>
- Harvey, B., & Carolsfels, J. (1993). Induced Breeding In Tropical Fish Culture. (Vol. 4, Issue 1). International Development Research Centre. <https://www.nzdl.org/cgi->

bin/library?e=d-00000-00---off-0hdl--00-0----0-10-0---0---0direct-10---4-----0-11--11-en-50---20-about---00-0-1-00-0-0-11----0-0-&cl=CL1.9&d=HASH016eeb3fd93e4e349784808a>=2

- Hayashi, C., Boscolo, W. R., Soares, C. M., & Meurer, F. (2002). Digestible Protein Requirement for Nile Tilapia Larvae (*Oreochromis niloticus*) during the Sexual Reversion. *Revista Brasileira de Zootecnia*, 31(2 suppl), 823–828. <https://doi.org/10.1590/S1516-35982002000400003>
- Hisano, H., Parisi, J., Cardoso, I. L., Ferri, G. H., & Ferreira, P. M. F. (2020). Dietary protein reduction for Nile tilapia fingerlings reared in biofloc technology. *Journal of the World Aquaculture Society*, 51(2), 452–462. <https://doi.org/10.1111/jwas.12670>
- Hooley, C. G., Barrows, F. T., Paterson, J., & Sealey, W. M. (2014). Examination of the Effects of Dietary Protein and Lipid Levels on Growth and Stress Tolerance of Juvenile Tilapia, *Oreochromis niloticus*. *Journal of the World Aquaculture Society*, 45(2), 115–126. <https://doi.org/10.1111/jwas.12110>
- Huang, D., Liang, H., Zhu, J., Ren, M., & G, X. (2022). Dietary Protein Modifies Hepatic Glycolipid Metabolism, Intestinal Immune Response, and Resistance to *Streptococcus agalactiae* of genetically Improved Farmed Tilapia (GIFT: *Oreochromis niloticus*) Exposed to High Temperature. *Fishes*, 7(4), 202. <https://doi.org/10.3390/fishes7040202>
- Izquierdo, M. S., Fernández-Palacios, H., & Tacon, A. G. J. (2001). Effect of broodstock nutrition on reproductive performance of fish. *Aquaculture*, 197(1–4), 25–42. [https://doi.org/10.1016/S0044-8486\(01\)00581-6](https://doi.org/10.1016/S0044-8486(01)00581-6)
- Kabir, K. A., Verdegem, M. C. J., Verreth, J. A. J., Phillips, M. J., & Schrama, J. W. (2019). Effect of dietary protein to energy ratio, stocking density and feeding level on performance of Nile tilapia in pond aquaculture. *Aquaculture*, 511(June), 634200. <https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2019.06.014>
- Kaushik, S. J., Doudet, T., Médale, F., Aguirre, P., & Blanc, D. (1995). Protein and energy need for maintenance and growth of Nile tilapia (*Oreochromis niloticus*). *Journal of Applied Ichthyology*, 11(3–4), 290–296. <https://doi.org/10.1111/j.1439-0426.1995.tb00029.x>
- Kaushik, S. J., & Seiliez, I. (2010). Protein and amino acid nutrition and metabolism in fish: Current knowledge and future needs. *Aquaculture Research*, 41(3), 322–332. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2109.2009.02174.x>
- Khan, K. U., Rodrigues, A. T., Mansano, C. F. M., Queiroz, D. M. de A., Sakomura, N. K., Romaneli, R. de S., Do Nascimento, T. M. T., & Fernandes, J. B. K. (2019). Dietary protein quality and proper protein to energy ratios: A bioeconomic approach in aquaculture

- feeding practices. *Latin American Journal of Aquatic Research*, 47(2), 232–239. <https://doi.org/10.3856/vol47-issue2-fulltext-3>
- Khanjani, M. H., & Sharifinia, M. (2020). Biofloc technology as a promising tool to improve aquaculture production. *Reviews in Aquaculture*, 12(3), raq.12412. <https://doi.org/10.1111/raq.12412>
- Khanjani, M. H., Sharifinia, M., & Hajirezaee, S. (2022). Recent progress towards the application of biofloc technology for tilapia farming. *Aquaculture*, 552, 738021. <https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2022.738021>
- Khattab, Y. A. E., Abdel-Tawwab, M., & Ahmad, M. H. (2001). Effect of protein level and stocking density on growth performance, survival rate, feed utilization and body composition of Nile tilapia fry (*Oreochromis niloticus* L.). *Egyptian Journal of Aquatic Biology and Fisheries*, 5(3), 195–212. <https://doi.org/10.21608/ejabf.2001.1700>
- Koch, J. F. A., Barros, M. M., Teixeira, C. P., Carvalho, P. L. P. F., Fernandes Junior, A. C., Cintra, F. T., & Pezzato, L. E. (2017). Protein-to-energy ratio of 21.43 g MJ⁻¹ improves growth performance of Nile tilapia at the final rearing stage under commercially intensive rearing conditions. *Aquaculture Nutrition*, 23(3), 560–570. <https://doi.org/10.1111/anu.12423>
- Konnert, G. D. P., Gerrits, W. J. J., Gussekloo, S. W. S., & Schrama, J. W. (2022). Balancing protein and energy in Nile tilapia feeds: A meta-analysis. *Reviews in Aquaculture*. <https://doi.org/10.1111/raq.12671>
- Kpundeh, M. D., Qiang, J., He, J., Yang, H., & Xu, P. (2015). Effects of dietary protein levels on growth performance and haemato-immunological parameters of juvenile genetically improved farmed tilapia (GIFT), *Oreochromis niloticus*. *Aquaculture International*, 23(5), 1189–1201. <https://doi.org/10.1007/s10499-014-9876-1>
- Larumbe-Morán, E., Hernández-Vergara, M. P., Olvera-Novoa, M. A., & Pérez Rostro, C. I. (2010). Protein requirements of Nile tilapia (*Oreochromis niloticus*) fry cultured at different salinities. *Aquaculture Research*, 41(8), 1150–1157. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2109.2009.02402.x>
- Leonardo, A. F., Baccarin, A. E., SCORVO FILHO, J. D., & FRASCA-SCORVO, C. M. D. (2018). Custo De Produção Da Tilápia-do-nilo (*Oreochromis niloticus*) e do Pacu (*Piaractus mesopotamicus*) no Vale O Ribeira, Estado De São Paulo. *Informações Econômicas*, 48(jan./mar., 2018). <http://www.iea.sp.gov.br/ftpiea/ie/2018/tec2-1.pdf>

- Li, M., Sun, L., Zhou, L., & Wang, D. (2024). Tilapia, a good model for studying reproductive endocrinology. *general and Comparative Endocrinology*, 345, 114395. <https://doi.org/10.1016/j.ygcen.2023.114395>
- Li, Y., Bordinhon, A. M., Davis, D. A., Zhang, W., & Zhu, X. (2013). Protein: energy ratio in practical diets for Nile tilapia *Oreochromis niloticus*. *Aquaculture International*, 21(5), 1109–1119. <https://doi.org/10.1007/s10499-012-9616-3>
- Liu, W., Jiang, M., Wu, J. P., Wu, F., Tian, J., Yang, C. G., & Wen, H. (2017a). Dietary Protein Level Affects the Growth Performance of Large Male genetically Improved Farmed Tilapia, *Oreochromis niloticus*, Reared in Fertilized Freshwater Cages. *Journal of the World Aquaculture Society*, 48(5), 718–728. <https://doi.org/10.1111/jwas.12384>
- Liu, W., Jiang, M., Wu, J.-P., Wu, F., Tian, J., Yang, C.-G., & Wen, H. (2017b). Dietary Protein Level Affects the Growth Performance of Large Male genetically Improved Farmed Tilapia, *Oreochromis niloticus*, Reared in Fertilized Freshwater Cages. *Journal of the World Aquaculture Society*, 48(5), 718–728. <https://doi.org/10.1111/jwas.12384>
- Liu, W., Wen, H., & Luo, Z. (2018). Effect of dietary protein levels and feeding rates on the growth and health status of juvenile genetically improved farmed tilapia (*Oreochromis niloticus*). *Aquaculture International*, 26(1), 153–167. <https://doi.org/10.1007/s10499-017-0202-6>
- Loum, A., Sagne, M., Fall, J., Ndong, Di., Diouf, M., Sarr, A., & Thiaw, O. T. (2013). Effects of Dietary Protein Level on Growth Performance, Carcass Composition and Survival Rate of Fry Monosex Nile Tilapia, *Oreochromis niloticus* Reared under Re-circulating System. *Journal of Biology and Life Science*, 4(2), 13–22. <https://doi.org/10.5296/jbls.v4i2.3043>
- Lupatsch, I., Deshev, R., & Magen, I. (2010). Energy and protein demand for optimal egg production including maintenance requirements of female tilapia *Oreochromis niloticus*. *Aquaculture Research*, 41(5), 763–769. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2109.2009.02229.x>
- Magbanua, T. O., & Ragaza, J. A. (2024). Selected dietary plant-based proteins for growth and health response of Nile tilapia *Oreochromis niloticus*. *Aquaculture and Fisheries*, 9(1), 3–19. <https://doi.org/10.1016/j.aaf.2022.04.001>
- Mazorra, C., Bruce, M., Bell, J. G., Davie, A., Alorend, E., Jordan, N., Rees, J., Papanikos, N., Porter, M., & Bromage, N. (2003). Dietary lipid enhancement of broodstock reproductive performance and egg and larval quality in Atlantic halibut (*Hippoglossus hippoglossus*). *Aquaculture*, 227(1–4), 21–33. [https://doi.org/10.1016/S0044-8486\(03\)00493-9](https://doi.org/10.1016/S0044-8486(03)00493-9)

- Melo, J. F. B., Lundstedt, L. M., Metón, I., Baanante, I. V., & Moraes, G. (2006). Effects of dietary levels of protein on nitrogenous metabolism of *Rhamdia quelen* (Teleostei: Pimelodidae). *Comparative Biochemistry and Physiology - A Molecular and Integrative Physiology*, 145(2), 181–187. <https://doi.org/10.1016/j.cbpa.2006.06.007>
- Meurer, F., Hayashi, C., & Boscolo, W. R. (2003). Digestibilidade aparente de alguns alimentos protéicos pela tilápia do Nilo (*Oreochromis niloticus*). *Revista Brasileira de Zootecnia*, 32(6 suppl 2), 1801–1809. <https://doi.org/10.1590/S1516-35982003000800001>
- Meurer, F., Hayashi, C., Boscolo, W. R., Santos, L. D. dos, Wolf, L., & Colpini, L. M. S. (2007). Digestible protein requirements to juveniles of Nile tilapia (*Oreochromis niloticus*) in low temperature Temperatura. *Revista Científica de Produção Animal*, 9(1). <http://www.ojs.ufpi.br/index.php/rcpa/article/view/413/389>
- Meurer, F., Hayashi, C., Boscolo, W. R., Schamber, C. R., & Bombardelli, R. A. (2005). Protein sources supplemented with amino acids and minerals to Nile tilapia during sex reversal phase. *Revista Brasileira de Zootecnia*, 34(1), 1–6. <https://doi.org/10.1590/s1516-35982005000100001>
- Mewes, J. K., Meurer, F., Tessaro, L., Buzzi, A. H., Syperreck, M. A., & Bombardelli, R. A. (2016). Diets containing crude glycerin damage the sperm characteristics and modify the testis histology of Nile tilapia broodstock. *Aquaculture*, 465, 164–171. <https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2016.08.035>
- Mjoun, K., Kurt.A, & Brown Michael L. (2010). Tilápia: Environmental Biology and Nutritional Requirements. *South Dakota Coopertaive Extension Service Fs963-02, 1975*, 7. http://pubstorage.sdstate.edu/AgBio_Publications/articles/FS963-02.pdf
- Mmanda, F. P., Lindberg, J. E., Norman Haldén, A., Mtolera, M. S. P., Kitula, R., & Lundh, T. (2020). Digestibility of Local Feed Ingredients in Tilapia *Oreochromis niloticus* Juveniles, Determined on Faeces Collected by Siphoning or Stripping. *Fishes*, 5(4), 32. <https://doi.org/10.3390/fishes5040032>
- Mohammadi, M., Sarsangi, A. H., Haghighi, T. D., Webster, C., Rajabipour, F., Mashaii, N., Bitaraf, A., & Hafeziyeh, M. (2014). Optimization of dietary protein in all male Nile tilapia (*Oreochromis niloticus*) reared in inland saline water. *Animal Nutrition and Feed Technology*, 14(1), 91–99.
- Mohammadi, M., Sarsangi, A. H., Rajabipour, F., Mashaii, N., Bitaraf, A., Hafeziyeh, M., & Imani, A. (2020). Lipid utilization, protein sparing effects and protein requirement of all male Nile tilapia (*Oreochromis niloticus* Linnaeus, 1758) in underground brackish water.

- Iranian Journal of Fisheries Sciences*, 19(3), 1517–1531.
<https://doi.org/10.22092/ijfs.2019.119506>
- Mommsen, P. T., & Korsgaard, B. (2008). Vitellogenesis. In M. Rocha, A. Arukwe, & B. G. Kapoor (Eds.), *Fish Reproduction* (1st ed., p. 632). Science Publisher.
- Mugwanya, M., Dawood, M. A. O., Kimera, F., & Sewilam, H. (2021). Biofloc Systems for Sustainable Production of Economically Important Aquatic Species: A Review. *Sustainability*, 13(13), 7255. <https://doi.org/10.3390/su13137255>
- Ng, W. K., & Wang, Y. (2011). Inclusion of crude palm oil in the broodstock diets of female Nile tilapia, *Oreochromis niloticus*, resulted in enhanced reproductive performance compared to broodfish fed diets with added fish oil or linseed oil. *Aquaculture*, 314(1–4), 122–131. <https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2011.01.034>
- Nguyen, L., Dinh, Hi., & Davis, D. A. (2020). Efficacy of reduced protein diets and the effects of indispensable amino acid supplements for Nile tilapia *Oreochromis niloticus*. *Animal Feed Science and Technology*, 268. <https://doi.org/10.1016/j.anifeedsci.2020.114593>
- Nguyen, L., Salem, S. M. R., & Davis, D. A. (2022). Indispensable and dispensable amino acid supplementation in diets offered to Nile tilapia *Oreochromis niloticus*. *Animal Feed Science and Technology*, 290, 115361. <https://doi.org/10.1016/j.anifeedsci.2022.115361>
- Noskoski, L. E. C., Durigon, E. G., Schmidt, M. R., Christofari, L. F., Lazzari, R., & Vaz, R. Z. (2023). Analysis of zootechnical and economic indicators in carp and tilapia production. *Concilium*, 23(18), 507–521. <https://doi.org/10.53660/CLM-1973-23N42>
- NRC, N. R. C. (2011). *Nutrient requirement of Fish*. The National Academy Press.
- Ogunji, J. O., & Wirth, M. (1999). Effect of Dietary Protein Content and Sources, on Growth, Food Conversion and Body Composition of Tilapia. *Journal of Aquaculture in the Tropics*, 15(1), 381–389.
- Oliva-Teles, A. (2012). Nutrition and health of aquaculture fish. *Journal of Fish Diseases*, 35(2), 83–108. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2761.2011.01333.x>
- Oliveira, M. M., Ribeiro, T., Orlando, T. M., de Oliveira, D. G. S., Drumond, M. M., de Freitas, R. T. F., & Rosa, P. V. (2014). Effects crude protein levels on female Nile tilapia (*Oreochromis niloticus*) reproductive performance parameters. *Animal Reproduction Science*, 150(1–2), 62–69. <https://doi.org/10.1016/j.anireprosci.2014.08.006>
- Orlando, T. M., Oliveira, M. M. de, Paulino, R. R., Costa, A. C., Allaman, I. B., & Rosa, P. V. (2017). Reproductive performance of female Nile tilapia (*Oreochromis niloticus*) fed diets with different digestible energy levels. *Revista Brasileira de Zootecnia*, 46(1), 1–7. <https://doi.org/10.1590/s1806-92902017000100001>

- Palupi, E. T., Setiawati, M., Lumlertdacha, S., & Suprayudi, M. A. (2020). Growth performance, digestibility, and blood biochemical parameters of Nile tilapia (*Oreochromis niloticus*) reared in floating cages and fed poultry by-product meal. *Journal of Applied Aquaculture*, 32(1), 16–33. <https://doi.org/10.1080/10454438.2019.1605324>
- Pedroza Filho, M. X., Ribeiro, V. S., Rocha, H. S., Ummus, M. E., & Vale, T. M. do. (2020). Caracterização da cadeia produtiva da tilápia nos principais polos de produção do Brasil. *Boletim de Pesquisa e Desenvolvimento*, 26 / *Embrapa Pesca e Aquicultura*. <https://www.embrapa.br/pesca-e-aquicultura/busca-de-publicacoes/-/publicacao/1125358/caracterizacao-da-cadeia-produtiva-da-tilapia-nos-principais-polos-de-producao-do-brasil#:~:text=Apesar de ser produzida em,regiões Sul%2C Sudeste e Nordeste.>
- Peixe BR. (2022). Anuário 22 - Peixe BR da Piscicultura. *Anuario 2022*, 1–140.
- Peixe BR. (2023). Anuário 2023 - Peixe BR da Piscicultura. *Anuario 2023*. <https://www.peixebr.com.br/anuario/>
- Peres, H., Freitas, J. M. A., Carvalho, P. L. P., Furuya, W. M., Satori, M. M. P., Oliva-Teles, A., Pezzato, L. E., & Barros, M. M. (2022). Growth performance and metabolic responses of Nile tilapia fed diets with different protein to energy ratios. *Aquaculture*, 547(April 2021), 737493. <https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2021.737493>
- Phan, L. T. T., Kals, J., Masagounder, K., Mas-Muñoz, J., & Schrama, J. W. (2022). Energy utilisation efficiencies of digestible protein, fat and carbohydrates for African catfish (*Clarias gariepinus*). *Aquaculture Reports*, 23(September 2021), 101051. <https://doi.org/10.1016/j.aqrep.2022.101051>
- Pontes, E. da C., Oliveira, M. M. de, Rosa, P. V., Freitas, R. T. F. de, Pimenta, M. E. de S. G., & Rodrigues, P. B. (2010). Níveis de farinha de peixe em rações para juvenis de tilápia. *Revista Brasileira de Zootecnia*, 39(8), 1626–2632. <https://doi.org/10.1590/S1516-35982010000800002>
- Prabu, E., Felix, N., & Uma, A. (2021). Optimizing amino acid balance in fish meal-free diets for GIFT strain of Nile tilapia (*Oreochromis niloticus*) by deletion method. *Aquaculture Nutrition*, 27(4), 1031–1041. <https://doi.org/10.1111/anu.13244>
- Qiang, J., Yang, H., Wang, H., Kpundeh, M. D., & Xu, P. (2012). Interactive effects of temperature-dietary protein level on somatotropic gene expression and its interrelationship with growth in juvenile GIFT tilapia *Oreochromis niloticus*. *Aquaculture*, 364–365, 263–271. <https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2012.08.021>

- Riche, M. (2009). Evaluation of Digestible Energy and Protein for Growth and Nitrogen Retention in Juvenile Florida Pompano, *Trachinotus carolinus*. *Journal of the World Aquaculture Society*, 40(1), 45–57. <https://doi.org/10.1111/j.1749-7345.2008.00234.x>
- Righetti, J. S., Furuya, W. M., Conejero, C. I., Graciano, T. S., Vidal, L. V. O., & Michellato, M. (2011). Protein reduction in diets for Nile tilapia by amino acids supplementation based on the ideal protein concept. *Revista Brasileira de Zootecnia*, 40(3), 469–476. <https://doi.org/10.1590/S1516-35982011000300002>
- Robles-Porchas, G. R., Gollas-Galván, T., Martínez-Porchas, M., Martínez-Cordova, L. R., Miranda-Baeza, A., & Vargas-Albores, F. (2020). The nitrification process for nitrogen removal in biofloc system aquaculture. *Reviews in Aquaculture*, 12(4), 2228–2249. <https://doi.org/10.1111/raq.12431>
- Safir, M., Alimuddin, A., Setiawati, M., Suprayudi, M. A., & Junior, M. Z. (2022). Effect of feedings with different protein levels and dietary supplemental rELGH on culture performances of sex reversed *Oreochromis niloticus* (Linnaeus, 1758). *Depik*, 11(1), 49–54. <https://doi.org/10.13170/depik.11.1.22550>
- Santiago, C. B., Bañes-Aldaba, M., & Laron, M. A. (1981). Dietary crude protein requirement of *Tilapia nilotica* fry. *SEAFDEC Aquaculture Department Quarterly Research Report*, 5(3), 9–13.
- Sargent, J. G., TOCHER, D. R., & BELL, J. G. (2002). The lipids. In J. E. Halver & R. W. Hardy (Eds.), *Fish nutrition* (pp. 181–257). Elsevier.
- Sargent, J. R. (1995). Origins and functions of egg lipids: nutritional implications. In *Broodstock management and egg and larval quality* (pp. 353–372). Blackwell Science Ltd.
- Sayed, A. N. (2018). Optimum Crude Protein Requirement of the Fingerlings Nile Tilapia (*Oreochromis niloticus*). *Biological Sciences*, 2(1), 1. <https://doi.org/10.31058/j.bs.2018.21001>
- Sgnaulin, T., Durigon, E. G., Pinho, S. M., Jerônimo, G. T., Lopes, D. L. de A., & Emerenciano, M. G. C. (2020). Nutrition of genetically Improved Farmed Tilapia (GIFT) in biofloc technology system: Optimization of digestible protein and digestible energy levels during nursery phase. *Aquaculture*, 521(September 2019), 734998. <https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2020.734998>
- Shiau, S. Y., & Huang, S. L. (1989). Optimal dietary protein level for hybrid tilapia (*Oreochromis niloticus* × *O. aureus*) reared in seawater. *Aquaculture*, 81(2), 119–127. [https://doi.org/10.1016/0044-8486\(89\)90237-8](https://doi.org/10.1016/0044-8486(89)90237-8)

- Siddiqui, A. Q., Howlader, M. S., & Adam, A. A. (1988). Effects of dietary protein levels on growth, feed conversion and protein utilization in fry and young Nile tilapia, *Oreochromis niloticus*. *Aquaculture*, 70(1–2), 63–73. [https://doi.org/10.1016/0044-8486\(88\)90007-5](https://doi.org/10.1016/0044-8486(88)90007-5)
- Singha, K. P., Shamna, N., Sahu, N. P., Sardar, P., Harikrishna, V., Thirunavukkarasar, R., Chowdhury, Di. K., Maiti, M. K., & Krishna, G. (2021). Optimum dietary crude protein for culture of genetically improved farmed tilapia (GIFT), *Oreochromis niloticus* (Linnaeus, 1758) juveniles in low inland saline water: Effects on growth, metabolism and gene expression. *Animal Feed Science and Technology*, 271(September 2020), 114713. <https://doi.org/10.1016/j.anifeedsci.2020.114713>
- Singha, K. P., Shamna, N., Sahu, N. P., Sardar, P., HariKrishna, V., Thirunavukkarasar, R., Kumar, M., & Krishna, G. (2020). Feeding graded levels of protein to genetically Improved Farmed Tilapia (GIFT) juveniles reared in inland saline water: Effects on growth and gene expression of IGF I, IGF-IR and IGF-BPI. *Aquaculture*, 525(December 2019), 735306. <https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2020.735306>
- Soltan, M. A., Randwan, A. A., & Samra, I. M. (2002). Effect of varying protein, energy and protein to energy ratio on growth, feed efficiency and body composition of Nile tilapia, *Oreochromis niloticus*. *1st Annual Conference of the Egyptian Aquaculture Society*, 13–15.
- Sousa, S. M. de N., Freccia, A., Santos, L. D. dos, Meurer, F., Tessaro, L., & Bombardelli, R. A. (2013). Growth of Nile tilapia post-larvae from broodstock fed diet with different levels of digestible protein and digestible energy. *Revista Brasileira de Zootecnia*, 42(8), 535–540. <https://doi.org/10.1590/S1516-35982013000800001>
- Subandiyono, S., & Hastuti, S. (2020). Dietary protein levels affected on the growth and body composition of Tilapia (*Oreochromis niloticus*). *AACL Bioflux*, 13(5), 2468–2476.
- Sumi, K. R., Das, M., & Siddika, I. (2012). Effect of different protein levels of fry feed on the production of quality tilapia (*Oreochromis niloticus*) fry. *Journal of the Bangladesh Agricultural University*, 9(2), 365–374. <https://doi.org/10.3329/jbau.v9i2.11053>
- Suryaningrum, L. H., & Samsudin, R. (2020). Nutrient digestibility of green seaweed Ulva meal and the influence on growth performance of Nile tilapia (*Oreochromis niloticus*). *Emirates Journal of Food and Agriculture*, 32(7), 488. <https://doi.org/10.9755/ejfa.2020.v32.i7.2131>
- Sweilum, M. A., Abdella, M. M., & Salah El-Din, S. A. (2005). Effect of dietary protein-energy levels and fish initial sizes on growth rate, development and production of Nile tilapia,

- Oreochromis niloticus* L. *Aquaculture Research*, 36(14), 1414–1421.
<https://doi.org/10.1111/j.1365-2109.2005.01362.x>
- Tacon, A. G. J. (2020). Trends in Global Aquaculture and Aquafeed Production: 2000–2017. *Reviews in Fisheries Science & Aquaculture*, 28(1), 43–56.
<https://doi.org/10.1080/23308249.2019.1649634>
- Tacon, A. G. J., & Cowey, C. B. (1985). Protein and Amino Acid Requirements. In *Fish Energetics* (pp. 155–183). Springer Netherlands. https://doi.org/10.1007/978-94-011-7918-8_6
- Tanaka, R. A., Almeida, V. do N. S. de, Farias, C. V. T. de, Sousa, L. C., Carli, G. C., Mansano, C. F. M., & Takahashi, L. S. (2021). Energy and protein ingredients for use in piapara (*Megaleporinus obtusidens*) diets: nutritive value and intestinal morphometry. *Boletim Do Instituto de Pesca*, 47, 1–9. <https://doi.org/10.20950/1678-2305/bip.2021.47.e633>
- Teles, A. O., Couto, A., Enes, P., & Peres, H. (2020). Dietary protein requirements of fish – a meta-analysis. *Reviews in Aquaculture*, 12(3), 1445–1477.
<https://doi.org/10.1111/raq.12391>
- Teshima, S. I., & Kanazawa, A. (1985). Optimum Protein Levels in Casein-gelatin Diets for *Tilapia nilotica* Fingerlings. *Memoirs of Faculty of Fisheries Kagoshima University*, 34(1), 45–52.
- Teshima, S. I., Kanazawa, A., & Uchiyama, Y. (1985). Effects of Dietary Protein, Lipid, and Digestible Carbohydrate Levels on the Weight Gain, Feed Conversion Efficiency, and Protein Efficiency Ratio of *Tilapia nilotica*. *Memoirs of the Kagoshima University Research Center for the South Pacific*, 6(1), 56–71.
- Tessaro, L., de Toledo, C. P. R., Neumann, G., Krause, R. A., Meurer, F., Natali, M. R. M., & Bombardelli, R. A. (2012). Animal performance and reproductive aspects of female *Rhamdia quelen* fed on different levels of digestible energy. *Aquaculture Research*, 45(9), 1425–1433. <https://doi.org/10.1111/are.12087>
- Thirunavukkarasar, R., Kumar, P., Sardar, P., Sahu, N. P., Harikrishna, V., Singha, K. P., Shamna, N., Jacob, J., & Krishna, G. (2022). Protein-sparing effect of dietary lipid: Changes in growth, nutrient utilization, digestion and IGF-I and IGFBP-I expression of genetically Improved Farmed *Tilapia* (GIFT), reared in Inland Ground Saline Water. *Animal Feed Science and Technology*, 284(January 2021), 115150.
<https://doi.org/10.1016/j.anifeedsci.2021.115150>
- Torres Novoa, D. M., & Hurtado Nery, V. L. (2012). Requerimientos nutricionales para *Tilapia* del Nilo. *Orinoquia*, 16, 63–68. <http://www.scielo.org.co/pdf/rori/v16n1/v16n1a07.pdf>

- Tran-Ngoc, K. T., Haidar, M. N., Roem, A. J., Sendão, J., Verreth, J. A. J., & Schrama, J. W. (2019). Effects of feed ingredients on nutrient digestibility, nitrogen/energy balance and morphology changes in the intestine of Nile tilapia (*Oreochromis niloticus*). *Aquaculture Research*, 50(9), 2577–2590. <https://doi.org/10.1111/are.14214>
- Tsadik, G. G., & Bart, A. N. (2007). Effects of feeding, stocking density and water-flow rate on fecundity, spawning frequency and egg quality of Nile tilapia, *Oreochromis niloticus* (L.). *Aquaculture*, 272(1–4), 380–388. <https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2007.08.040>
- Tu, Y., Xie, S., Han, D., Yang, Y., Jin, J., Liu, H., & Zhu, X. (2015). Growth performance, digestive enzyme, transaminase and GH-IGF-I axis gene responsiveness to different dietary protein levels in broodstock allogonogynetic gibel carp (*Carassius auratus gibelio*) CAS III. *Aquaculture*, 446, 290–297. <https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2015.05.003>
- Twibell, R. G., & Brown, P. B. (1998). Optimal Dietary Protein Concentration for Hybrid Tilapia *Oreochromis niloticus* × *O. aureus* Fed All-Plant Diets. *Journal of the World Aquaculture Society*, 29(1), 9–16. <https://doi.org/10.1111/j.1749-7345.1998.tb00294.x>
- Tyler, C. R., & Sumpter, J. P. (1996). Oocyte growth and development in teleosts. *Reviews in Fish Biology and Fisheries*, 6(3), 287–318. <https://doi.org/10.1007/BF00122584>
- Vieira, V. P., Ribeiro, R. P., Moreira, H. L. M., Povh, J. A., Vargas, L., & Barrero, N. M. L. (2005). Evaluation of the Productive Performance of Strain of Tilapia of the Nile (*Oreochromis niloticus*) in Maringa-PR. *Revista Acadêmica: Ciência Animal*, 3(3), 19. <https://doi.org/10.7213/cienciaanimal.v3i3.9147>
- Wang, X., Chen, M., Wang, K., & Ye, J. (2017). Growth and metabolic responses in Nile tilapia (*Oreochromis niloticus*) subjected to varied starch and protein levels of diets. *Italian Journal of Animal Science*, 16(2), 308–316. <https://doi.org/10.1080/1828051X.2016.1275953>
- Watanabe, T., & Vassallo-Agius, R. (2003). Broodstock nutrition research on marine finfish in Japan. *Aquaculture*, 227(1–4), 35–61. [https://doi.org/10.1016/S0044-8486\(03\)00494-0](https://doi.org/10.1016/S0044-8486(03)00494-0)
- Wilson, R. P. (2002). Amino acids and proteins. In J. E. Halver & R. W. Hardy (Eds.), *Fish Nutrition, Third Edition Academic Press* (pp. 144–175).
- Yimer, A., & Tadesse, Z. (2022). Protein digestibility status of locally available feed ingredients fed to Nile tilapia (*Oreochromis niloticus*) in the hatchery, Sebeta, Ethiopia. *African Journal of Agricultural Research*, 18(1), 45–51. <https://doi.org/10.5897/AJAR2020.14931>
- Yu, H.-R., Zhang, Q., Cao, H., Wang, X.-Z., Huang, G.-Q., Zhang, B.-R., Fan, J.-J., Liu, S.-W., Li, W.-Z., & Cui, Y. (2013). Apparent digestibility coefficients of selected feed

- ingredients for juvenile snakehead, *Ophiocephalus argus*. *Aquaculture Nutrition*, 19(2), 139–147. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2095.2012.00947.x>
- Zablon, W. O., Ogello, E. O., Getabu, Al., & Omondi, R. (2022). Biofloc system improves protein utilization efficiency and growth performance of Nile tilapia, *Oreochromis niloticus* fry: Experimental evidence. *Aquaculture, Fish and Fisheries*, 2(2), 94–103. <https://doi.org/10.1002/aff2.32>
- Zeng, N., Jiang, M., Wen, H., Liu, W., Wu, F., Tian, J., Yu, L., Lu, X., & Guo, Z. (2021). Effects of water temperatures and dietary protein levels on growth, body composition and blood biochemistry of juvenile GIFT tilapia (*Oreochromis niloticus*). *Aquaculture Nutrition*, 27(1), 240–251. <https://doi.org/10.1111/anu.13181>
- Zeng, X., Zhang, X., Chen, B., Gao, L., Liu, S., Wu, F., & Pan, Q. (2021). Dietary four different woody forages differentially affect the growth, feed utilization, apparent digestibility, intestinal morphology and microbiota composition in Nile tilapia (*Oreochromis niloticus*). *Aquaculture Reports*, 21(June), 100786. <https://doi.org/10.1016/j.aqrep.2021.100786>

CAPÍTULO II - EXIGÊNCIA PROTEICA NA FASE DE ENGORDA DA TILÁPIA-DO-NILO (*OREOCHROMIS NILOTICUS*) ALIMENTADA COM DIETAS ISENTAS DE FARINHA DE PEIXE

“Protein requirements of fattening Nile tilapia (*Oreochromis niloticus*) fed fish meal-free diets”

(Artigo publicado em 13 de julho de 2024 na *Aquaculture Journal*, DOI: <https://doi.org/10.3390/aquacj4030010>). Este capítulo foi redigido de acordo com as diretrizes para autores do periódico *Aquaculture Journal* (ISSN: 2673-9496).

RESUMO

Este estudo teve como objetivo determinar as exigências proteicas da fase de engorda de tilápias-do-nylo (*Oreochromis niloticus*) alimentadas com dietas isentas de farelo de peixe. Um total de 75 tilápias, com peso inicial de $412 \pm 8,06$ g, foram mantidas em sistema de recirculação de água. Foram formuladas cinco dietas isoenergéticas com níveis crescentes de proteína, sendo avaliadas em três repetições cada. Os resultados indicaram que os níveis de proteína afetaram significativamente ($p \leq 0,05$) os parâmetros de desempenho, rendimento e composição corporal. Os valores dos parâmetros determinados indicaram claramente que a tilápia-do-nylo pode ser alimentada com dietas a base de farelo de soja e milho e isentas de farinha de peixe. Além disso, também foi demonstrada a plasticidade metabólica dessa espécie em relação às concentrações de proteína na dieta, com resultados de desempenho adequados alcançados em tratamentos contendo de 267 a 294 g kg⁻¹ de proteína digestível (PD), ou 298 a 327 g kg⁻¹ de proteína bruta (PB), onde o balanço entre aminoácidos essenciais e não essenciais e energia resultou em desempenho adequado correlacionado a valores satisfatórios de conversão alimentar e rendimentos e composição de filés. Uma concentração de PD de 267 g kg⁻¹ (298 g kg⁻¹ PB) é recomendada ao oferecer dietas à base de milho e farelo de soja durante a fase de engorda da tilápia-do-nylo para peixes com peso entre 400 e 700 g.

Palavras-chave: Exigências nutricionais; Formulação de rações; Nutrição de peixes.

2.6 INTRODUÇÃO

A aquicultura desempenha um papel fundamental na garantia da segurança alimentar global e é o setor de produção de alimentos que mais se expandiu nos últimos 50 anos, com estimativas de crescimento da produção total de peixes de mais de 15% até 2030 [1]. Nesse sentido, a tilápia-do-nilo (*Oreochromis niloticus*) destaca-se como a terceira espécie mais cultivada, contribuindo com 9% da produção global de 2020 [2]. Aproximadamente 92% da produção mundial desta espécie emprega ração comercial [3], representando cerca de 70% dos custos totais de produção [4].

Entre os nutrientes básicos da dieta da tilápia, a proteína se destaca como um componente dietético fundamental, afetando significativamente o desempenho da tilápia-do-nilo [5]. Níveis inadequados de proteína digestível (PD) podem resultar em vários problemas, como redução do consumo de ração e, conseqüentemente, o comprometimento do crescimento dos peixes [6].

A proteína é um componente essencial na construção e manutenção de estruturas celulares, tecidos e órgãos, desempenhando um papel crucial nos processos metabólicos [7]. Quando ingeridas, as proteínas passam por um processo de hidrólise [8], e parte dos aminoácidos derivados são absorvidos, seguindo várias vias metabólicas possíveis. O nitrogênio resultante dos processos oxidativos de aminoácidos é então excretado na água na forma de amônia (NH_3) [9], o que pode influenciar a qualidade da água nos sistemas de cultivo, podendo levar a processos como a eutrofização se não houver um manejo adequado [10,11]. Portanto, as formulações de dietas para peixes devem ser ajustadas para atender às necessidades específicas de cada espécie, garantindo um equilíbrio nutricional adequado para otimizar o crescimento e a saúde animal, além de contribuir para um manejo sustentável da qualidade da água nos sistemas de produção.

Recentemente, vários estudos determinaram os níveis ideais de proteína dietética para tilápia-do-nilo em diferentes estágios de desenvolvimento: $318 \pm 6,50 \text{ g kg}^{-1}$ [12-16], $292 \pm 18,19 \text{ g kg}^{-1}$ [17-21] e $255 \pm 16,5 \text{ g kg}^{-1}$ [6,22,23] para tilápia com peso final médio de $12 \pm 2,5 \text{ g}$, $57 \pm 2,39 \text{ g}$ e $415 \pm 3,37 \text{ g}$, respectivamente. Essas exigências são menores do que as apresentadas no NRC (2011) [7], onde peixes com peso médio inferior a 20 g, de 20 a 200 g e de 200 a 600 g têm necessidade de 400, 340 e 300 g kg^{-1} de proteína bruta, respectivamente. Nesse sentido, vale ressaltar que a evolução da cadeia produtiva da tilápia, aliada ao uso de novas linhagens com maior produtividade, demanda novos estudos para melhor atender às

exigências nutricionais dessa espécie. Além disso, há uma carência de estudos sobre as necessidades de proteínas na fase de engorda para peixes com peso médio superior a 500 g [24].

Para atender a essas necessidades nutricionais, a farinha de peixe tem sido reconhecida como a opção de fonte de proteína mais adequada para esta espécie, devido ao seu alto valor nutricional e palatabilidade [25]. No entanto, além de sua produção ter estagnado por alguns anos, observou-se uma redução na disponibilidade de farinha de peixe entre 2018 e 2020, contrariando as demandas do mercado. Esse declínio, impulsionado pelo rápido crescimento da produção aquícola e uso por outros animais, levou a aumentos significativos nos preços da farinha de peixe [2].

Nesse sentido, as fontes de proteína vegetal têm surgido como uma alternativa promissora, capaz de substituir parcial ou totalmente a farinha de peixe nas dietas de tilápia-do-nylo. Essa abordagem não apenas fornece resultados satisfatórios em termos de desempenho e aprimoramento da resposta imune, mas também contribui para reduzir os custos totais de alimentação [26].

Em geral, estudos que investigam as necessidades de proteína da tilápia empregando dietas sem farinha de peixe [6,27-31] relataram resultados positivos em comparação com outros estudos que avaliam estágios de desenvolvimento semelhantes, mas empregando dietas contendo ingredientes de origem animal. O estágio de desenvolvimento dos peixes influencia diretamente sua necessidade de proteína, com tendência a essa necessidade diminuir com o aumento do peso e da idade dos peixes [7,8,32,33]. No entanto, ao avaliar estudos realizados sobre a exigência de proteína da tilápia-do-nylo, Meurer et al. (2024) [24] identificaram que esses estudos têm se concentrado nos estágios iniciais de desenvolvimento dessa espécie, sendo que os poucos estudos realizados durante a fase de engorda (com peso médio final acima de 500 g) mostram uma tendência de aumento na exigência de proteína em relação à fase de crescimento desses peixes. Além disso, embora tenha sido cientificamente comprovado que é possível usar dietas sem farinha de peixe na alimentação de tilápias-do-nylo, nenhum estudo foi realizado nessa fase de desenvolvimento. Dessa forma, este estudo teve como objetivo determinar as exigências de proteína da fase de engorda da tilápia-do-nylo empregando dietas isentas de farelo de peixe.

2.7 MATERIAIS E MÉTODOS

Este estudo foi realizado no Laboratório de Tecnologia em Aquicultura (LATAq) pertencente à Universidade Federal do Paraná (UFPR), localizado no Campus Avançado de Jandaia do Sul (PR, Brasil). O protocolo dos procedimentos experimentais foi aprovado pelo

Comitê de Ética no Uso de Animais do Setor Palotina da UFPR (Protocolo nº 05/2021 – CEUA/Palotina).

2.7.1 Peixes e estrutura experimental

O experimento teve duração de 84 dias, começando no final de dezembro de 2022. Um total de 75 exemplares adultos tilápia-do-nilo (linhagem GIFT - Genetically Improved Farmed Tilapia) com peso médio inicial de $412 \pm 8,06$ g foram aclimatadas por 60 dias. Após esse período, os peixes foram anestesiados por imersão em solução de eugenol a 50 mg/L, pesados e distribuídos aleatoriamente em cinco tratamentos, compreendendo três repetições cada.

Utilizou-se um sistema de recirculação de água (RAS) composto por 15 tanques circulares de 1000 L instalados em estufa de cultivo. Os tanques foram conectados a um tanque de filtragem mecânica de 2000 L e um tanque de biofiltração de 30.000 L. Cada tanque de 1000 L foi considerado uma unidade experimental. Uma taxa de recirculação de água de 12 vezes ao dia foi mantida em cada unidade experimental durante o experimento. Os tanques de 1000 L foram arejados por meio de uma mangueira porosa conectada a um sistema de ar que foi conectado, por sua vez, a um soprador radial de 0,5 hp, com entrada e saída de água individual.

Todas as unidades experimentais foram equipadas com um sistema de autosifonamento no fundo do tanque, com inclinação centralizada de 5% e uma saída central para a remoção de fezes e outros resíduos. Os tanques de filtração mecânica e biofiltração foram sifonados semanalmente (500 L) para remoção de resíduos. O tanque de biofiltração foi parcialmente ocupado por *Eichornia crassipes*, que foram removidos conforme necessário, mantendo entre 50% e 80% de cobertura total.

2.7.2 Dietas experimentais e manejo alimentar dos peixes

Foram formuladas cinco dietas experimentais isentas de farinha de peixe, isoenergéticas, isocálcicas e isofosfóricas, compostas principalmente por farelo de soja e milho, e contendo níveis crescentes de PD (216, 244, 268, 294 e 316 g kg⁻¹) (Tabela 1). O farelo de soja, milho e dietas experimentais foram analisados quanto à umidade, proteína bruta, lipídios e teor de cinzas de acordo com os procedimentos internacionais da AOAC (2005) [34], e a energia bruta foi determinada usando uma bomba de calorimetria. Os valores de PD e energia digestível (ED) foram determinados com base nos coeficientes de digestibilidade do farelo de soja e do milho propostos por Boscolo et al. (2002) [35], e a composição calculada de aminoácidos essenciais foi determinada com base nos dados de Rostagno et al. (2017) [36]. As

dietas experimentais foram pesadas diariamente e fornecidas igualmente aos peixes em todas as unidades experimentais em dois arraçoamentos diários, um às 8h e outro às 17h.

TABELA 1 - Dietas experimentais e composição de ingredientes com níveis crescentes de proteína para tilápia-do-nilo durante a fase de engorda.

Ingredientes	Milho	FS	T22	T24	T27	T29	T32
	Quantidade (g kg ⁻¹)						
Milho	1.000,00	-	561,61	490,22	418,88	347,46	276,07
Farelo de soja	-	1.000,00	381,42	453,68	525,94	598,20	670,46
Óleo de soja	-	-	19,53	19,83	20,13	20,44	20,74
CaHPO ₄	-	-	25,31	23,74	22,13	20,59	19,03
CaCO ₃	-	-	5,93	6,32	6,71	7,11	7,50
Premix ¹	-	-	5,00	5,00	5,00	5,00	5,00
Sal	-	-	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00
BHT ²	-	-	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10
Adsorvente ³	-	-	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10
Nutrientes (g kg⁻¹)							
Proteína bruta	93,50	496,00	240,60	271,62	298,75	327,94	353,49
Proteína digestível ⁴	87,73	443,60	216,94	244,31	268,30	294,09	316,61
Energia bruta (kcal kg ⁻¹)	4,088	4,298	4,280	4,364	4,290	4,298	4,340
Energia digestível (kcal kg ⁻¹) ⁴	3,143	3,068	3,222	3,268	3,198	3,188	3,200
Lipídios	34,50	19,00	45,95	45,16	44,37	43,58	42,79
Matéria seca	927,20	906,60	931,42	930,35	933,21	930,04	928,92
Extrato etéreo	13,50	59,70	30,35	33,70	37,05	40,40	43,75
Amido	661,00	30,00	382,65	337,66	292,67	247,67	202,66
Cálcio ⁵	0,20	3,50	10,00	10,00	10,00	10,00	10,00
Fósforo ⁵	1,90	5,90	8,00	8,00	8,00	8,00	8,00
Composição calculada de aminoácidos essenciais (g kg⁻¹) ⁵							
Arginina	4,20	34,90	15,67	17,89	20,11	22,34	24,56
Fenilalanina	4,20	24,80	11,82	13,31	14,80	16,29	17,79
Histidina	2,60	12,50	6,23	6,95	7,66	8,38	9,10
Isoleucina	2,90	22,23	10,13	11,54	12,94	14,39	15,75
Leucina	10,60	36,50	19,87	21,76	23,64	25,52	27,40
Lisina	2,60	29,10	12,56	14,48	16,39	18,31	20,23
Metionina	1,80	6,30	3,41	3,74	4,07	4,39	4,72
Met.+cist. ⁶	3,70	13,60	7,26	7,98	8,70	9,42	10,14
Treonina	3,40	18,70	9,04	10,15	11,26	12,37	13,48
Triptofano	0,60	6,70	2,89	3,33	3,77	4,22	4,66
Valina	4,1	22,90	11,04	12,40	13,76	15,12	16,48

FS: Farelo de soja. ¹ Níveis garantidos de suplementos vitamínicos e minerais por quilograma de produto: vit. A = 1200,000 IU; vit. D3 = 200,000 IU; vit. E = 12,000 mg; vit. K3 = 2400 mg; vit. B1 = 4800 mg; vit. B2 = 4800 mg; vit. B6 = 4000 mg; vit. B12 = 4800 mg; ácido fólico = 1200 mg; pantotenato de cálcio = 12,000 mg; vit. C = 48,000 mg; biotina = 48 mg; colina = 65,000 mg; Niacina = 24,000 mg; Fe = 10,000 mg; Cu = 6000 mg; Mn = 4000 mg; Zn = 6000 mg; I = 20 mg; Co = 2 mg; Se = 20 mg. ² Butylated Hydroxytoluene (antioxidante). ³ Adsorvente de micotoxinas. ⁴ Valores calculados utilizando o coeficiente de digestibilidade determinado por [35]. ⁵ Valores calculados usando dados tabulados [36]. ⁶ Metionina mais cistina.

As dietas foram preparadas por meio de moagem fina de farelo de soja e milho em peneira de 0,7 mm e, posteriormente, mistura desses componentes com outros ingredientes, de acordo com cada formulação (Tabela 1), utilizando-se um misturador com capacidade de mistura de 63 L (27,5 rpm, ciclo de mistura de 10 min). O processamento da ração incorporou 175 g kg⁻¹ de água, adicionada de forma homogênea, seguida de processamento em extrusora (Ex laboratório, Exteec® Máquinas, Ribeirão Preto, Brasil) empregando uma matriz de 3 mm, obtendo-se pellets extrusados de 5,5 mm após o processo de secagem. O óleo de soja foi adicionado por pulverização.

A ração produzida foi seca a 55 °C em estufa de recirculação de ar (MA035/1152, Marconi, SP, Brasil) por 24 h, resfriada e armazenada sob refrigeração. Este procedimento proporcionou 100% de fluabilidade dos pellets extrudados, conforme determinado em testes de fluabilidade e integridade da extrusora de zero a sessenta minutos.

2.7.3 Qualidade da água

A temperatura ($25,58 \pm 1,64$ °C) e o oxigênio dissolvido ($6,59 \pm 5,06$ mg/L) foram monitorados diariamente durante o experimento, enquanto o pH ($8,1 \pm 0,13$) foi avaliado semanalmente às 9h e às 17h por meio de uma sonda multiparâmetro Ak88 (Akso®, São Leopoldo, RS, Brasil).

Amostras de água foram coletadas de todas as unidades experimentais no 40º e 80º dia do experimento para determinações de amônia total (método nº 4500-B), nitrito (método nº 4500-B) e ortofosfato dissolvido (PO₄³⁻) (método nº 4500-PE), de acordo com a APHA (2017) [37].

A Tabela 2 apresenta os resultados dos parâmetros de qualidade da água dos sistemas experimentais durante a fase de engorda da tilápia-do-nilo. Os dados são categorizados em cinco tratamentos e englobam diversas variáveis. As concentrações de amônia total, nitrito e ortofosfato dissolvido (PO₄³⁻) não foram significativamente diferentes ($p > 0,05$) entre os tratamentos (Tabela 2). Todos os valores dos parâmetros físico-químicos da água foram semelhantes entre os tratamentos e dentro dos padrões apropriados estabelecidos na literatura [38].

TABELA 2 - Parâmetros de qualidade da água determinados em sistemas experimentais na fase de engorda da tilápia-do-nylo alimentadas com dietas contendo níveis crescentes de proteína.

Variável (mg/L)	Tratamento					CV ¹	Valor de <i>p</i>
	T22	T24	T27	T29	T32		
40º dia							
Amônia total	0,0260	0,0300	0,0305	0,0330	0,03635	16,45	0,2341
PO ₄ ³⁻	0,2483	0,2505	0,2702	0,2480	0,24,35	11,90	0,8296
Nitrito	0,0644	0,0786	0,0667	0,0747	0,0744	12,71	0,3377
80º dia							
Amônia total	0,0201	0,0224	0,0285	0,0272	0,0288	21,13	0,3005
PO ₄ ³⁻	0,2588	0,2497	0,2580	0,2683	0,2591	9,57	0,9254
Nitrito	0,0542	0,0456	0,0677	0,0657	0,0551	26,51	0,4358

¹ Coeficiente de variação; PO₄³⁻ - Ortofosfato dissolvido.

2.7.4 Desempenho e composição corporal e do filé da tilápia-do-nylo

Ao final do experimento, todos os peixes foram mantidos em jejum por 24 h, anestesiados por imersão em solução de eugenol a 120 mg/L, contados e pesados. Foram calculados o ganho de peso (GP), o ganho de peso diário (GPD), a taxa de conversão alimentar (CA), a eficiência alimentar (EA), a taxa de crescimento específico (TCE) e a taxa de eficiência proteica (TEP). Seis peixes por tratamento (dois indivíduos por unidade experimental escolhida aleatoriamente) foram dissecados para determinar o rendimento de carcaça (RC), o rendimento de filé (RF), o índice hepatossomático (IHS), a gordura visceral (GV) e o índice viscerossomático (IVS).

Um peixe inteiro, duas carcaças e os filés de outros dois peixes foram escolhidos aleatoriamente de cada unidade experimental para determinar as composições bromatológicas. Todas as análises foram realizadas de acordo com as metodologias AOAC (2005) [34] para matéria seca (MS; método nº 930.15), proteína bruta (PB; método nº 984.13), extrato etéreo (EE; método nº 920.39) e matéria mineral (MM; método nº 924.05). Os respectivos valores de cada parâmetro foram então determinados para peixes inteiros, carcaças (peixes sem vísceras) e filés.

2.7.5 Análise estatística

Os dados obtidos foram submetidos a uma análise de variância (ANOVA) e, quando identificado efeito significativo ($p \leq 0,05$), aplicou-se o teste de Tukey para discriminar as médias. Além disso, realizou-se uma análise de regressão para determinar o modelo que melhor se ajustava aos dados, avaliando modelos como linear, linear-platô (broken-line), polinomial quadrático e combinações entre linear-platô e polinomial quadrático. Nos casos em que os

modelos de regressão foram significativos ou apresentaram alto coeficiente de determinação ($R^2 > 70$), os dados foram ajustados com a combinação de modelos de regressão linear-platô (*broken-line*) e polinomial quadrático. Esse ajuste foi realizado para avaliar a exigência ideal de proteína, sendo o primeiro ponto definido pela intersecção da reta de regressão quadrática ao cruzar o platô da linha tracejada, de acordo com o modelo descrito por [39]. As análises estatísticas foram realizadas com o software RStudio 4.3.1 [40].

2.8 RESULTADOS

2.8.1 Desempenho zootécnico

Os resultados do desempenho zootécnico de tilápias-do-nilo alimentadas com dietas isentas de farinha de peixe contendo níveis crescentes de proteína durante a fase de engorda são apresentados na Tabela 3. Os níveis de proteína oferecidos influenciaram significativamente ($p \leq 0,05$) GP, GPD, TCE, CA e TEP. Melhores resultados de GP, GPD e TCE foram observados nos tratamentos T27 e T29. O pior resultado foi observado para a dieta T22, sendo que as dietas T24 e T32 não diferiram entre si ou dos demais tratamentos. Observou-se uma redução linear do TEP ($y = 3,55 - 0,0057x$ $R^2 = 0,94$) devido ao aumento dos níveis de proteína na dieta.

TABELA 3 - Parâmetros de desempenho na fase de engorda da tilápia-do-nilo alimentadas com diferentes níveis de proteína.

Variável	Tratamento					CV ¹	Valor de <i>p</i>
	T22	T24	T27	T29	T32		
PI (g) ²	414	411	414	414	407	2,27	0,8745
PF (g) ³	684	691	721	721	684	2,74	0,0693
GP (g) ⁴	270 ^b	280 ^{ab}	307 ^a	307 ^a	277 ^{ab}	4,53	0,0135
GPD (g/dia) ⁵	3,21 ^b	3,34 ^{ab}	3,65 ^a	3,66 ^a	3,30 ^{ab}	4,53	0,0135
CR (g/dia) ⁶	6,48	6,46	6,61	6,60	6,16	3,36	0,1485
TCE ⁷	0,60 ^b	0,62 ^{ab}	0,66 ^a	0,66 ^a	0,62 ^{ab}	3,45	0,0115
TEP ⁸	2,28 ^a	2,12 ^b	2,06 ^b	1,88 ^c	1,69 ^d	2,21	0,0001
CA ⁹	2,02 ^c	1,93 ^{bc}	1,81 ^a	1,80 ^a	1,87 ^b	2,31	0,0006
Sobrevivência (%)	100	100	100	100	100	0,00	-

¹ Coeficiente de variação. ² Peso inicial. ³ Peso final. ⁴ Ganho de peso = (peso médio final – peso médio inicial). ⁵ Ganho de peso diário = ((peso médio final – peso médio inicial) / dias experimentais). ⁶ consumo de ração. ⁷ Taxa de crescimento específico = ((\ln peso médio final – \ln peso médio inicial) / (dias experimentais) x 100). ⁸ Taxa de eficiência proteica = ((ganho de peso (g) / proteína ingerida (g)). ⁹ Conversão alimentar = (consumo de ração (g) / ganho de peso (g)). ^{a-c} As médias dentro da linha com sobrescritos diferentes diferem ($p \leq 0,05$).

A CA (Figura 1) exibiu efeito quadrático em função do aumento da proteína da dieta, com pontos mínimos em 285,76 g kg⁻¹ de PD (Figura 1a) e 319,07 g kg⁻¹ de PB (Figura 1b). Ao analisar a CA usando a combinação de modelos de regressão de platô linear (*broken-line*) e

regressão polinomial quadrática, os pontos de intercepção das linhas indicam valores de 267,36 g kg⁻¹ PD e 298,75 g kg⁻¹ PB.

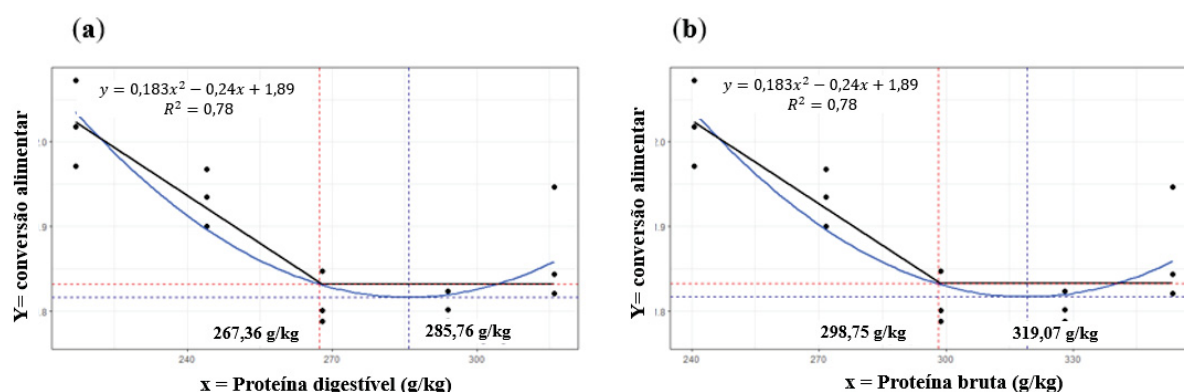


FIGURA 1 - Conversão alimentar de tilápias-do-nylo alimentadas com dietas contendo diferentes concentrações de PD (a) e PB (b) durante a fase de engorda, analisada por meio da combinação de modelos de regressão linear-platô (*broken-line*) e regressão quadrática polinomial.

2.8.2 Rendimentos corporais

Os parâmetros de rendimento corporal da tilápia-do-nylo em peixes que receberam dietas isentas de farinha de peixe contendo níveis crescentes de proteína na fase de engorda são apresentados na Tabela 4. O RC foi significativamente influenciado ($p \leq 0,05$) pelos níveis de proteína da dieta, sendo o melhor desempenho obtido no T29 e o pior, no T22. Não foram observadas diferenças entre os demais tratamentos, e não foram observadas diferenças significativas ($p > 0,05$) para IHS, GV, IVS, CT, CP e AT.

TABELA 4 - Parâmetros de desempenho corporal na fase de engorda de tilápias-do-nylo alimentadas com dietas contendo diferentes níveis de proteína.

Variáveis	Tratamento					CV ¹	Valor de P
	T22	T24	T27	T29	T32		
RF ²	31,96 ^b	33,00 ^{ab}	33,19 ^a	33,30 ^a	33,20 ^a	1,25	0,0141
RC (g/100 g) ³	84,37 ^b	85,29 ^{ab}	85,72 ^{ab}	87,16 ^a	86,43 ^{ab}	0,91	0,0128
IHS (g/100 g) ⁴	2,26	1,75	1,90	1,78	1,76	13,93	0,1725
GV (g/100g) ⁵	5,96	3,85	3,14	3,09	3,29	39,09	0,1818
IVS (g/100 g) ⁶	11,35	9,79	8,99	9,71	9,07	13,03	0,2339
CT (cm) ⁷	30,80	31,62	31,73	31,46	31,30	1,79	0,3428
CP (cm) ⁸	26,10	26,51	26,70	26,47	26,30	1,02	0,1539
AT (cm) ⁹	11,50	11,45	11,31	11,24	11,03	4,57	0,8111

¹ Coeficiente de variação. ² Rendimento do filé = (peso do filé (g) / peso corporal (g)). ³ Rendimento de carcaça = ((peso da carcaça / peso corporal) x 100). ⁴ Índice hepatossomático = ((peso do fígado / peso corporal) x 100). ⁵ Gordura visceral = ((peso da gordura visceral / peso corporal) / 100). ⁶ Índice viscerossomático = ((peso das vísceras / peso corporal) x 100). ⁷ Comprimento total; ⁸ Comprimento padrão; ⁹ Altura do tronco. ^{a-b} As médias dentro da linha com sobrescritos diferentes diferem ($p \leq 0,05$).

O RF (Figura 2) exibiu um efeito quadrático dependendo do aumento da proteína da dieta, com um valor máximo de 281,45 g kg⁻¹ PD e 314,19 PB. Ao analisar o mesmo parâmetro usando uma combinação de modelos de regressão de linear-platô (*broken-line*) e regressão polinomial quadrática, os pontos de intercepção das linhas indicaram um valor de 256,78 g kg⁻¹ PD e 286,20 g kg⁻¹ PB (Figura 2a, b).

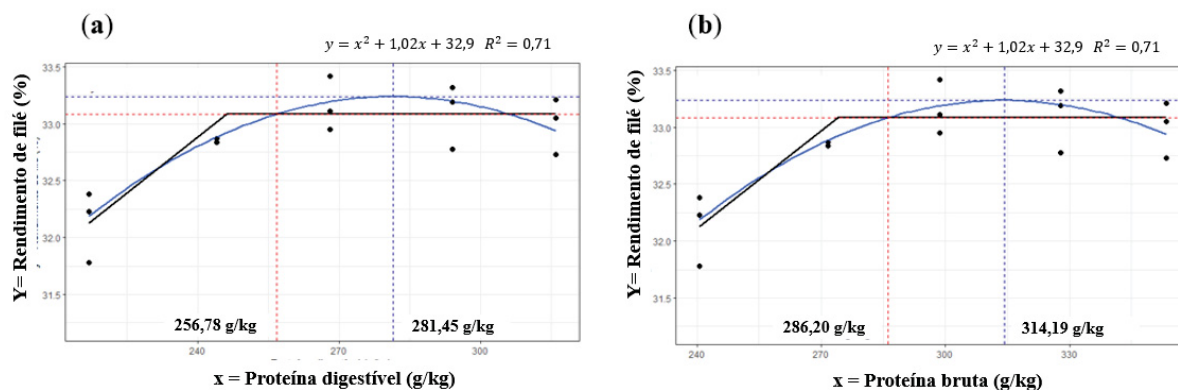


FIGURA 2 - Rendimento de filé de tilápias-do-nylo alimentadas com dietas contendo diferentes concentrações de PD (a) e PB (b) durante a fase de engorda, analisadas por meio de uma combinação de modelos de regressão linear-platô (*broken-line*) e regressão quadrática polinomial.

2.8.3 Composição bromatológica

A Tabela 5 apresenta os valores bromatológicos de umidade, proteína bruta, matéria mineral e extrato etéreo do peixe inteiro, da carcaça e do filé de tilápias-do-nylo submetidas a dietas contendo níveis crescentes de proteína. Observou-se uma diminuição linear ($p \leq 0,05$) para o parâmetro extrato etéreo da carcaça ($y = 155 - 2281x$, $R^2 = 0,60$) com o aumento dos níveis de proteína. O mesmo parâmetro avaliado pelo teste de médias revelou que o maior valor foi obtido em T22 e o menor valor foi obtido em T32. Os demais tratamentos não diferiram entre si, e os demais parâmetros bromatológicos não foram influenciados ($p > 0,05$) pelos tratamentos dietéticos.

TABELA 5 - Composições químicas corporais e filés de tilápias-do-nylo na fase de engorda alimentadas com diferentes níveis de proteína.

Variável (g/100g)	Tratamento					CV ¹	Valor de <i>p</i>
	T22	T24	T27	T29	T32		
Umidade							
Peixe	63,84	63,86	62,53	65,18	65,83	3,57	0,7424
Carcaça	66,45	67,12	68,03	67,72	68,43	1,72	0,3180
Filé	74,86	74,61	74,69	73,94	74,79	0,97	0,5558

Proteína							
Peixe	17,47	18,04	17,48	18,45	18,52	3,66	0,2127
Carcaça	18,40	18,77	18,71	19,00	19,53	3,56	0,3778
Filé	20,45	21,18	21,20	21,57	21,96	5,82	0,6625
Matéria mineral							
Peixe	5,07	5,24	4,64	4,80	4,56	10,98	0,5146
Carcaça	4,46	4,79	4,57	4,67	4,61	10,06	0,9220
Filé	1,25	1,31	1,27	1,29	1,30	5,73	0,8494
Extrato etéreo							
Peixe	13,53	12,76	12,25	11,52	10,95	15,06	0,4952
Carcaça*	10,55 ^a	9,18 ^{ab}	8,53 ^{ab}	8,29 ^{ab}	7,73 ^b	9,63	0,0202
Filé	3,38	2,86	2,80	3,12	1,90	42,90	0,6429

¹ CV: Coeficiente de variação. ^{a-b} As médias dentro da linha com sobrescritos diferentes diferem ($p \leq 0.05$).

2.9 DISCUSSÃO

Os peptídeos e as proteínas são compostos de aminoácidos. Assim, as necessidades de proteína, sejam brutas ou digestíveis, devem ser traduzidas em termos de necessidades de aminoácidos. Os aminoácidos podem ser essenciais ou não essenciais, sendo classificados de acordo com a capacidade do organismo de sintetizá-los em quantidades suficientes para atender às suas demandas metabólicas. A avaliação dos níveis de proteína é importante, pois as exigências de aminoácidos devem ser consideradas a referência mais precisa para a formulação de dietas. No entanto, as avaliações de proteínas são facilitadas pelo fato de que suas análises são muito mais baratas do que as análises do perfil aminoacídico e podem ser realizadas facilmente em fábricas de ração. Além disso, especificamente em relação a este estudo, os valores de composição do farelo de soja variam apenas ligeiramente [36]. Assim, quando comparados a outros ingredientes, as dietas formuladas com farelo de soja permitem estimativas adequadas do nível de aminoácidos indiretos.

O desempenho da tilápia-do-nilo é diretamente influenciado pelos níveis de proteína da dieta, que estão, por sua vez, associados a diversos processos bioquímicos e fisiológicos que afetam diretamente o crescimento, o desenvolvimento e a saúde dos peixes. As proteínas desempenham papéis cruciais na síntese de tecidos, regulação metabólica, respostas imunes e outras funções vitais do organismo dos peixes [41]. Portanto, se forem oferecidas quantidades inadequadas de proteína na dieta ou aminoácidos essenciais desequilibrados, a síntese proteica pode ser comprometida, afetando negativamente os índices de desempenho [7,8,42]. Isso foi evidenciado pela análise dos dados de acordo com o teste de Tukey ou os modelos de regressão polinomial linear (*broken-line*) e quadrática (Tabela 3, Figuras 1 e 2), que revelaram que tanto

os níveis mais baixos quanto os mais altos de proteína foram associados a declínios no desempenho da tilápia-do-nilo. Essa resposta não linear destaca a necessidade de formulações dietéticas precisas, em que os níveis adequados de proteína são essenciais para otimizar o crescimento e a composição corporal da tilápia-do-nilo. Isso, por sua vez, sugere uma resposta otimizada da tilápia-do-nilo a uma concentração específica de PD, indicando a importância de formulações dietéticas adequadas para maximizar as taxas de crescimento dos peixes durante a fase de engorda.

Como mencionado anteriormente, nossos achados indicam que a variação das concentrações de proteína na dieta influencia significativamente os índices de desempenho da tilápia-do-nilo (Tabela 3). O tratamento T27 resultou nos maiores valores para várias das variáveis avaliadas. Esses resultados estão de acordo com estudos anteriores que indicam a sensibilidade da tilápia às variações da composição da dieta, especialmente no que diz respeito ao PD [22,29,31,43–45].

A relação entre o GP, TCE e CA é complexa e interdependente. Observou-se uma relação direta e proporcional entre o TCE e a CA, onde melhores resultados nesses índices resultaram em um aumento proporcional do GP em relação ao peso inicial. Este estudo demonstrou que, embora não tenha havido diferenças significativas nos níveis de proteína entre os tratamentos T24 e T32, foram observados melhores GP e CA no tratamento T27, seguidos por um declínio do tratamento T29. Da mesma forma, os melhores índices de CA foram fornecidos pelo T27, com piora dos níveis mais elevados de proteína. Essa tendência foi corroborada por Liu et al. (2017) [46], que, ao avaliar a tilápia-do-nilo com peso médio final de 550 g, determinaram uma exigência de 293,1 g kg⁻¹ de PB para o máximo GP, notando uma redução após esse nível. Da mesma forma, Carneiro et al. (2020) [6] observaram o melhor GP e TCE em peixes alimentados com 240 g kg⁻¹ de PD, influenciando significativamente o GP ($p \leq 0,05$) e a eficiência de utilização do PD.

O aumento dos níveis de proteína resultou em diminuição do TEP (Tabela 3), refletindo a eficiência de conversão da proteína consumida em ganho de peso corporal. Estudos adicionais [31,43,46–49] apoiam essa observação, sugerindo que dietas isoenergéticas com altos níveis de proteína utilizam proteína como fonte de energia, justificando a redução linear do TEP.

A CA é um parâmetro crucial, correlacionando o GP e o consumo de ração, e é essencial para avaliar a eficácia da dieta. Com base no modelo polinomial quadrático, a melhor CA foi estimada em 1,82, correspondendo a uma exigência de 285,76 g kg⁻¹ PD (Figura 1a). A abordagem combinada do *broken-line* e dos modelos polinomiais quadráticos é preferível para

uma análise mais precisa das necessidades de proteínas, conforme sugerido por Lamberson e Firman (2002) [50] e Sakomura e Rostagno (2016) [39]. Assim, foram determinados os requisitos de PD variando de 267,36 a 304,20 g kg⁻¹, indicando que os níveis de PD fora dessa faixa impactam negativamente a CA. A proteína insuficiente na dieta compromete o crescimento [8], enquanto o excesso de proteína aumenta os custos metabólicos [51], e pode resultar na excreção excessiva de nitrogênio no ambiente aquático [9]. Além disso, aumenta o custo da dieta, uma vez que a proteína é o ingrediente com maior valor econômico [5].

A literatura indica que a exigência de proteína dos peixes é influenciada pelo estágio de crescimento, sendo maior na fase inicial devido à maior demanda metabólica [7,8,32,33,52,53]. Estudos com tilápia-do-nilo em estágios semelhantes de desenvolvimento indicam que a CA deste estudo está ligeiramente acima dos valores encontrados na literatura, apesar de apresentar menor exigência de proteína [22,54–56]. Essa variação pode ser atribuída ao peso inicial do peixe nos estudos comparativos. Por exemplo, Green et al. (2019) [22] determinaram uma necessidade de 277 g kg⁻¹ PD com uma CA de 1,40 em um estudo com tilápia variando de 32 a 545 g. Fernandes Junior et al. (2016) [55] estimaram uma necessidade de 289 g kg⁻¹ PD para uma CA de 1,45 em peixes de 148 a 800 g, enquanto Costa et al. (2009) [54], trabalhando com tilápia de 80 a 1000 g, encontraram uma exigência proteica de 320 g kg⁻¹ PB para uma CA de 1,63. Por outro lado, Koch et al. (2017) [57], ao avaliarem tilápias de 450 a 800 g, observaram uma CA de 1,72 com exigência de 320 g kg⁻¹ PD

Em relação ao RC (Tabela 4), o tratamento T29 apresentou valores superiores aos demais tratamentos. Esse achado é semelhante ao observado por Youssef et al. (2023) [58], que relataram o maior RC em peixes (7 a 45 g) alimentados com uma dieta contendo 280 g kg⁻¹ de PB. Da mesma forma, Furuya et al. (2005) [59], ao avaliarem os impactos da redução dos níveis de proteína em dietas de tilápia-do-nilo (5 a 125 g) por meio do conceito de proteína ideal, observaram um efeito quadrático sobre o RC, com o ponto máximo estimado em peixes alimentados com dietas com 277 g kg⁻¹ de PD. Esse fator pode estar relacionado a um melhor equilíbrio de aminoácidos nessas dietas, o que pode otimizar a utilização da fração nitrogenada pelos peixes, melhorando a eficiência na síntese proteica corporal. Isso, por sua vez, contribui para um melhor crescimento muscular e um maior rendimento de carcaça [59,60].

Outro parâmetro importante compreende o RF (Figura 2), pois o filé é o produto mais nobre da tilápia-do-nilo. Aqui, o melhor valor de PD foi determinado como 256,78 g kg⁻¹ de acordo com a análise *broken-line*. Fernandes Junior et al. (2016) [55] enfatizaram a importância das análises de custo-benefício e incentivaram a escolha dos níveis ideais de proteína com base no produto final desejado da tilápia-do-nilo. Esses autores avaliaram cinco níveis de PD (240,

260, 280, 300 e 320 g kg⁻¹ PD) e dois níveis de energia digestível (ED) (3.200 kcal e 3.500 kcal kg⁻¹ de ED na dieta), relatando a maior rentabilidade em 300 g kg⁻¹ PD/3.200 kcal kg⁻¹ quando se visa a produção de filés. Em contraste, Carneiro et al. (2017) [29] relataram rendimentos de filé para tilápia-do-nilo pesando de 30 g a 130 g variando de acordo com o peso, com peixes mais pesados resultando em maiores rendimentos de filé.

Níveis mais elevados de proteína não influenciaram nem o IHS, que pode ser indicativo de síntese e reservas de glicogênio hepático, nem o GV, indicativo de síntese e reservas lipídicas. Ambos os parâmetros resultam em excesso de energia dietética ou desequilíbrios nutricionais. Esses achados são semelhantes aos relatados por Carneiro et al. (2020) [6], que também avaliaram tilápias-do-nilo alimentadas com dietas *fish meal-free* e não observaram diferenças estatísticas para o IHS e GV em relação aos diferentes níveis de proteína.

O IVS também não foi afetado pelos diferentes tratamentos de PD, embora Youssef et al. (2023) [58] apontem que a redução dos níveis de PD resulta em maiores valores de IHS e IVS, devido ao aumento dos níveis de amido, que pode ser depositado no fígado e nas vísceras como gordura. As medidas morfométricas de CT, CP e AT (Tabela 4) também não foram influenciadas pelos tratamentos. Tais valores são críticos, pois os índices morfométricos favorecem o rendimento industrial dos filés de tilápia [61].

A quantidade e a qualidade da proteína dietética afetam diretamente a capacidade do corpo de sintetizar novas proteínas, incluindo proteínas musculares de peixes. Uma dieta contendo níveis limitados de proteína pode restringir a disponibilidade de aminoácidos essenciais necessários para a síntese proteica adequada [62,63]. Assim, o aumento da deposição de proteínas corporais relatado por vários estudos [6,18,45,46,64,65] pode estar associado a um aumento da capacidade de síntese proteica.

No presente estudo, a composição em termos de umidade, proteína e matéria mineral em tilápias inteiras, carcaças ou filés (Tabela 5) não foi influenciada pelos tratamentos, corroborando estudos anteriores [19,22,23,66]. Entretanto foi observado uma redução linear a medida em que os níveis de PD da dieta aumentaram, resultados que concordam com estudos anteriores que identificaram um aumento no teor de lipídeos dos peixes em resposta à redução da proteína nas dietas [22,48,67]. Isso pode estar associado à possível conversão do excesso de carboidratos, particularmente glicose, em lipídios por meio do processo metabólico da lipogênese [68].

Os resultados do presente estudo sobre a exigência proteica da tilápia na fase de engorda com dietas isentas de farinha de peixe são pioneiros, conforme identificado por Meurer et al. (2024) [24]. No entanto, para estágios mais jovens, há alguma divergência na literatura

entre estudos que utilizaram ou não dietas à base de milho e farelo de soja. Estudos em alevinos (0,5 a 25 g) relataram uma necessidade de $319 \pm 5,06 \text{ g kg}^{-1}$ de PB em sistemas de recirculação de água (RAS) e $340 \pm 10,15 \text{ g kg}^{-1}$ de PB em tanques escavados ou tanques-rede [24]. Bomfim et al. (2008) [28] e Furuya et al. (2000) [27] determinaram uma exigência de 280 e 320 g kg^{-1} de PB em sistemas RAS e tanques escavados, respectivamente, na fase de alevinos, mas utilizando dietas isentas de farinha de peixe. Em relação à fase juvenil (25 a 200 g), enquanto a exigência de proteína determinada no sistema RAS foi de 300 g kg^{-1} PD [69], Carneiro et al. (2017) [29], com dietas isentas de farinha de peixe, determinaram uma exigência de 283 g kg^{-1} . Na fase de crescimento (200 a 500 g), a exigência proteica de 245 g kg^{-1} PD determinada no sistema RAS [43] foi semelhante à exigência de 240 g kg^{-1} PD [6] e 243 g kg^{-1} PD [31], determinada com dietas isentas de farinha de peixe nos sistemas RAS e tanque de rede, respectivamente. Esses resultados mostram que o uso de ingredientes com diferentes perfis nutricionais, como farelo de soja e farinha de peixe, proporciona uma composição proteica distinta nas dietas, o que pode influenciar na exigência proteica dos animais.

De acordo com os parâmetros aqui avaliados, a tilápia-do-nilo pode de fato ser alimentada com uma dieta isenta de farelo de peixe à base de farinha de soja e milho. A plasticidade metabólica da espécie em relação às concentrações de proteína na dieta também foi verificada, com resultados de desempenho adequados observados para os tratamentos PD contendo 268 a 294 g kg^{-1} , ou 298 a 327 g kg^{-1} PB. Nesse sentido, o balanço entre aminoácidos essenciais e não essenciais e energia resulta em desempenho adequado da tilápia-do-nilo correlacionado a bons valores de conversão alimentar, rendimento de filé e composição.

2.10 CONCLUSÃO

Uma concentração de PD de 267 g kg^{-1} (298 g kg^{-1} PB) é recomendada para tilápias-do-nilo que são alimentadas com uma dieta à base de milho e farelo de soja e que pesam entre 400 e 700 g na fase de engorda.

REFERÊNCIAS

1. FAO *The State of World Fisheries and Aquaculture - Sustainability in Action*; FAO: Rome, 2020; ISBN 978-92-5-132692-3.
2. FAO, F. and A.O. of the U.N. *The State of World Fisheries and Aquaculture 2022*; FAO, 2022; ISBN 978-92-5-136364-5.
3. Tacon, A.G.J. Trends in Global Aquaculture and Aquafeed Production: 2000–2017. *Reviews in Fisheries Science & Aquaculture* **2020**, *28*, 43–56, doi:10.1080/23308249.2019.1649634.
4. Noskoski, L.E.C.; Durigon, E.G.; Schmidt, M.R.; Christofari, L.F.; Lazzari, R.; Vaz, R.Z. Analysis of Zootechnical and Economic Indicators in Carp and Tilapia Production. *Concilium* **2023**, *23*, 507–521, doi:10.53660/CLM-1973-23N42.
5. Teles, A.O.; Couto, A.; Enes, P.; Peres, H. Dietary Protein Requirements of Fish – a Meta-Analysis. *Rev Aquac* **2020**, *12*, 1445–1477, doi:10.1111/raq.12391.
6. Carneiro, W.F.; Colpini, L.M.S.; Souza, R.C.T. de; Bombardelli, R.A.; Balen, R.E.; Meurer, F. Effect of the Digestible Protein-Energy Relationship on the Growth Performance of Nile Tilapia (*Oreochromis Niloticus*) Fed Fishmeal-Free Diets. *Anim Feed Sci Technol* **2020**, *262*, 114379, doi:10.1016/j.anifeedsci.2019.114379.
7. NRC, N.R.C. *Nutrient Requirement of Fish.*; The National Academy Press: Washington, DC, USA, 2011;
8. Wilson, R.P. Amino Acids and Proteins. In *Fish Nutrition, Third Edition Academic Press*; Halver, J.E., Hardy, R.W., Eds.; San Diego, 2002; pp. 144–175 ISBN 9780080494920.
9. Peres, H.; Oliva-Teles, A. Effect of Dietary Protein and Lipid Level on Metabolic Utilization of Diets by European Sea Bass (*Dicentrarchus Labrax*) Juveniles. *Fish Physiol Biochem* **2003**, 269–275, doi:10.1023/A:1023239819048.
10. Macedo, C.F.; Sipuba-Tavare, L.H. *Eutrophication and Water Quality in Pisciculture: Consequences and Recommendations*; 2010; Vol. 36;.
11. Medeiros, G.O.; Silva, S.W.; Tosta, M.C.R. Water as a Barrier to Semi-Intensive Pisciculture in the State of Espírito Santo, Brazil. *Revista brasileira de meio ambiente* **2022**, *10*, 259–280, doi:10.5281/zenodo.7321845.
12. Durigon, E.G.; Lazzari, R.; Uczay, J.; Lopes, D.L. de A.; Jerônimo, G.T.; Sgnaulin, T.; Emerenciano, M.G.C. Biofloc Technology (BFT): Adjusting the Levels of Digestible Protein and Digestible Energy in Diets of Nile Tilapia Juveniles Raised in Brackish Water. *Aquac Fish* **2020**, *5*, 42–51, doi:10.1016/j.aaf.2019.07.001.

13. Sgnaulin, T.; Durigon, E.G.; Pinho, S.M.; Jerônimo, G.T.; Lopes, D.L. de A.; Emerenciano, M.G.C. Nutrition of Genetically Improved Farmed Tilapia (GIFT) in Biofloc Technology System: Optimization of Digestible Protein and Digestible Energy Levels during Nursery Phase. *Aquaculture* **2020**, *521*, 734998, doi:10.1016/j.aquaculture.2020.734998.
14. Singha, K.P.; Shamna, N.; Sahu, N.P.; Sardar, P.; HariKrishna, V.; Thirunavukkarasar, R.; Kumar, M.; Krishna, G. Feeding Graded Levels of Protein to Genetically Improved Farmed Tilapia (GIFT) Juveniles Reared in Inland Saline Water: Effects on Growth and Gene Expression of IGF I, IGF-IR and IGF-BPI. *Aquaculture* **2020**, *525*, 735306, doi:10.1016/j.aquaculture.2020.735306.
15. Singha, K.P.; Shamna, N.; Sahu, N.P.; Sardar, P.; Harikrishna, V.; Thirunavukkarasar, R.; Chowdhury, Di.K.; Maiti, M.K.; Krishna, G. Optimum Dietary Crude Protein for Culture of Genetically Improved Farmed Tilapia (GIFT), *Oreochromis Niloticus* (Linnaeus, 1758) Juveniles in Low Inland Saline Water: Effects on Growth, Metabolism and Gene Expression. *Anim Feed Sci Technol* **2021**, *271*, 114713, doi:10.1016/j.anifeedsci.2020.114713.
16. Thirunavukkarasar, R.; Kumar, P.; Sardar, P.; Sahu, N.P.; Harikrishna, V.; Singha, K.P.; Shamna, N.; Jacob, J.; Krishna, G. Protein-Sparing Effect of Dietary Lipid: Changes in Growth, Nutrient Utilization, Digestion and IGF-I and IGFBP-I Expression of Genetically Improved Farmed Tilapia (GIFT), Reared in Inland Ground Saline Water. *Anim Feed Sci Technol* **2022**, *284*, 115150, doi:10.1016/j.anifeedsci.2021.115150.
17. Hisano, H.; Parisi, J.; Cardoso, I.L.; Ferri, G.H.; Ferreira, P.M.F. Dietary Protein Reduction for Nile Tilapia Fingerlings Reared in Biofloc Technology. *J World Aquac Soc* **2020**, *51*, 452–462, doi:10.1111/jwas.12670.
18. Mohammadi, M.; Sarsangi, A.H.; Rajabipour, F.; Mashaii, N.; Bitaraf, A.; Hafeziyeh, M.; Imani, A. Lipid Utilization, Protein Sparing Effects and Protein Requirement of All Male Nile Tilapia (*Oreochromis Niloticus* Linnaeus, 1758) in Underground Brackish Water. *Iran J Fish Sci* **2020**, *19*, 1517–1531, doi:10.22092/ijfs.2019.119506.
19. Nguyen, L.; Dinh, Hi.; Davis, D.A. Efficacy of Reduced Protein Diets and the Effects of Indispensable Amino Acid Supplements for Nile Tilapia *Oreochromis Niloticus*. *Anim Feed Sci Technol* **2020**, *268*, doi:10.1016/j.anifeedsci.2020.114593.
20. Costa, L.S.; Guilherme, H.O.; Bahiense, R.N.; Santos, F.A.C.; Gamarano, P.G.; Olmeda, J.F.L.; Ribeiro, P.A.P.; Luz, R.K. Effect of Protein on the Post-Ingestive Response of

- Tilapia Fed Encapsulated Diets. *Aquaculture* **2022**, *556*, 738289, doi:10.1016/j.aquaculture.2022.738289.
21. Eid, A.E.; Ali, B.A.; Aboelyzed, M.; Abdel-Ghany, M.F.; Khames, D.K.; Ahmed, R.A.; Baghdady, E.S.; Abdlrhman, A.M. Effect of Protein Levels on Growth Performance, Feed Utilization and Economic Evaluation of Fingerlings Nile Tilapia Fingerlings under Biofloc System. *Journal of Animal, Poultry & Fish Production* **2020**, *9*, 17–26, doi:10.21608/japfp.2020.130631.
 22. Green, B.W.; Rawles, S.D.; Schrader, K.K.; Gaylord, T.G.; McEntire, M.E. Effects of Dietary Protein Content on Hybrid Tilapia (*Oreochromis Aureus* × *O. Niloticus*) Performance, Common Microbial off-Flavor Compounds, and Water Quality Dynamics in an Outdoor Biofloc Technology Production System. *Aquaculture* **2019**, *503*, 571–582, doi:10.1016/j.aquaculture.2019.01.034.
 23. Kabir, K.A.; Verdegem, M.C.J.; Verreth, J.A.J.; Phillips, M.J.; Schrama, J.W. Effect of Dietary Protein to Energy Ratio, Stocking Density and Feeding Level on Performance of Nile Tilapia in Pond Aquaculture. *Aquaculture* **2019**, *511*, 634200, doi:10.1016/j.aquaculture.2019.06.014.
 24. Meurer, F.; Novodvorski, J.; Bombardelli, R.A. Protein Requirements in Nile Tilapia (*Oreochromis Niloticus*) during Production and Reproduction Phases. *Aquac Fish* **2024**, doi:10.1016/j.aaf.2024.03.004.
 25. Trosvik, K.A.; Webster, C.D.; Thompson, K.R.; Metts, L.A.; Gannam, A.; Twibell, R. Effects on Growth Performance and Body Composition in Nile Tilapia, *Oreochromis Niloticus*, Fry Fed Organic Diets Containing Yeast Extract and Soyabean Meal as a Total Replacement of Fish Meal without Amino Acid Supplementation. *Biological Agriculture and Horticulture* **2013**, *29*, 173–185, doi:10.1080/01448765.2013.810123.
 26. Magbanua, T.O.; Ragaza, J.A. Selected Dietary Plant-Based Proteins for Growth and Health Response of Nile Tilapia *Oreochromis Niloticus*. *Aquac Fish* **2022**, doi:10.1016/j.aaf.2022.04.001.
 27. Furuya, Wi.M.; Hayashi, C.; Furuya, V.R.B.; Soares, C.M. Protein Requirements for Reversed Fingerling Nile Tilapia (*Oreochromis Niloticus*). *Revista Brasileira de Zootecnia* **2000**, *29*, 1912–1917.
 28. Bomfim, M.A.D.; Lanna, E.A.T.; Donzele, J.L.; Ferreira, A.S.; Ribeiro, F.B.; Takishita, S.S. Methionine plus Cystine Requirement, Based on Ideal Protein Concept, in Diets for Nile Tilapia Fingerlings. *Revista Brasileira de Zootecnia* **2008**, *37*, 783–790, doi:10.1590/S1516-35982008000500001.

29. Carneiro, W.F.; Pandini, F.; Silva, L.C.R. da; Santos, L.D. dos; Rossato, K.A.; Meurer, F. Digestible Protein Requirement for Nile Tilapia Fed with Rations Based on Soybean Meal and Corn. *Acta Sci* **2017**, *39*, 343, doi:10.4025/actascianimsci.v39i4.36122.
30. El-Saidy, D.M.S.D.; Gaber, M.M.A. Effect of Dietary Protein Levels and Feeding Rates on Growth Performance, Production Traits and Body Composition of Nile Tilapia, *Oreochromis Niloticus* (L.) Cultured in Concrete Tanks. *Aquac Res* **2005**, *36*, 163–171, doi:10.1111/j.1365-2109.2004.01201.x.
31. Botaro, D.; Furuya, W.M.; Silva, L.C.R.; Santos, L.D. dos; Silva, T.S. de C.; Santos, V.G. dos Dietary Protein Reduction Based on Ideal Protein Concept for Nile Tilapia (*Oreochromis Niloticus*) Cultured in Net Pens. *Revista Brasileira de Zootecnia* **2007**, *36*, 517–525, doi:10.1590/S1516-35982007000300001.
32. Mjoun, K.; Kurt, A.; Brown, Michael L. Tilapia: Environmental Biology and Nutritional Requirements. *South Dakota Cooperative Extension Service* **2010**, *Fs963-02*, 7.
33. Torres Novoa, D.M.; Hurtado Nery, V.L. Requerimientos Nutricionales Para Tilapia Del Nilo. *Orinoquia* **2012**, *16*, 63–68.
34. AOAC, A. of O.A.C. *Official Methods of Analysis*; 18th ed.; M.D, USA: Gaithersburg, M.D, USA., 2005;
35. Boscolo, W.R.; Hayashi, C.; Meurer, F. Apparent Digestibility of the Energy and Nutrients of Conventional and Alternatives Foods for Nile Tilapia (*Oreochromis Niloticus*). *Revista Brasileira de Zootecnia* **2002**, *31*, 539–545, doi:10.1590/S1516-35982002000300001.
36. Rostagno, H.S.; Albino, L.F.T.; Donzele, J.L.; Gomes, P.C.; de Oliveira, R.F.; Lopes, D.C.; Ferreira, A.S.; Barreto, S.L.T.; Euclides, R. *Brazilian Tables for Poultry and Swine: Composition of Feedstuffs and Nutritional Requirements*; 4th ed.; Departamento de Zootecnia, UFV, Viçosa, 2017; ISBN 9788560249725.
37. APHA *Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater*; Baird, R.B., Eaton, A.D., Rice, W.W., Eds.; 23rd ed.; American Public Health Association: Washington DC, 2017;
38. Sá, M.V.C. *Limnocultura: Limnologia Para Aquicultura*; Edições UFC: Fortaleza, 2012;
39. Sakomura, N.K.; Rostagno, H.S. *Métodos de Pesquisa Em Nutrição de Monogástricos*; 2nd ed.; FUNEP: Jaboticabal, SP, Brasil, 2016; ISBN 978-85-7805-154-9.
40. R Core Team. *R: A Language and Environment for Statistical Computing*_ 2023.
41. Webster, C.D., Lim, C. *Nutrient Requirements and Feeding of Finfish for Aquaculture*; Eds.; CABI Publishing: UK, 2002; ISBN 9780851995199.

42. Francalossi, D.M.; Cyrino, J.E.P. *Nutriaqua: Nutrição e Alimentação de Espécies de Interesse Para a Aquicultura Brasileira*; Florianópolis, 2013; ISBN 978-85-60190-03-4.
43. Righetti, J.S.; Furuya, W.M.; Conejero, C.I.; Graciano, T.S.; Vidal, L.V.O.; Michellato, M. Protein Reduction in Diets for Nile Tilapia by Amino Acids Supplementation Based on the Ideal Protein Concept. *Revista Brasileira de Zootecnia* **2011**, *40*, 469–476, doi:10.1590/S1516-35982011000300002.
44. Huang, D.; Liang, H.; Zhu, J.; Ren, M.; Ge, X. Dietary Protein Modifies Hepatic Glycolipid Metabolism, Intestinal Immune Response, and Resistance to *Streptococcus Agalactiae* of Genetically Improved Farmed Tilapia (GIFT: *Oreochromis Niloticus*) Exposed to High Temperature. *Fishes* **2022**, *7*, 202, doi:10.3390/fishes7040202.
45. Meurer, F.; Hayashi, C.; Boscolo, W.R.; Santos, L.D. dos; Wolf, L.; Colpini, L.M.S. Digestible Protein Requirements to Juveniles of Nile Tilapia (*Oreochromis Niloticus*) in Low Temperature Temperatura. *Revista Científica de Produção Animal* **2007**, *9*.
46. Liu, W.; Jiang, M.; Wu, J.P.; Wu, F.; Tian, J.; Yang, C.G.; Wen, H. Dietary Protein Level Affects the Growth Performance of Large Male Genetically Improved Farmed Tilapia, *Oreochromis Niloticus*, Reared in Fertilized Freshwater Cages. *J World Aquac Soc* **2017**, *48*, 718–728, doi:10.1111/jwas.12384.
47. da Silva, M.A.; de Alvarenga, É.R.; de O Alves, G.F.; Manduca, L.G.; Turra, E.M.; de Brito, T.S.; de Sales, S.C.M.; da Silva Junior, A.F.; Borges, W.J.M.; Teixeira, E. de A. Crude Protein Levels in Diets for Two Growth Stages of Nile Tilapia (*Oreochromis Niloticus*) in a Biofloc System. *Aquac Res* **2018**, *49*, 2693–2703, doi:10.1111/are.13730.
48. Peres, H.; Freitas, J.M.A.; Carvalho, P.L.P.; Furuya, W.M.; Satori, M.M.P.; Oliva-Teles, A.; Pezzato, L.E.; Barros, M.M. Growth Performance and Metabolic Responses of Nile Tilapia Fed Diets with Different Protein to Energy Ratios. *Aquaculture* **2022**, *547*, 737493, doi:10.1016/j.aquaculture.2021.737493.
49. Sweilum, M.A.; Abdella, M.M.; Salah El-Din, S.A. Effect of Dietary Protein-Energy Levels and Fish Initial Sizes on Growth Rate, Development and Production of Nile Tilapia, *Oreochromis Niloticus* L. *Aquac Res* **2005**, *36*, 1414–1421, doi:10.1111/j.1365-2109.2005.01362.x.
50. Lamberson, W.R.; Firman, J.D. A Comparison of Quadratic versus Segmented Regression Procedures for Estimating Nutrient Requirements. *Poult Sci* **2002**, *81*, 481–484, doi:10.1093/ps/81.4.481.
51. Nelson, D.L.; Cox, M.M. *Princípios de Bioquímica de Lehninger*; 6th ed.; Artmed: Porto Alegre, 2014; ISBN 9781429234146.

52. Árnason, J.; Björnsdóttir, R.; Arnarsson, I.; Árnadóttir, G.S.; Thorarensen, H. Protein Requirements of Atlantic Cod *Gadus Morhua* L. *Aquac Res* **2010**, *41*, 385–393, doi:10.1111/j.1365-2109.2009.02439.x.
53. Vielma Rondon, R.; Ovalles Duran, J.; León Leal, A.; Medina, A. Valor Nutritivo de La Harina de Lombriz (*Eisenia Foetida*) Como Fuente de Aminoácidos y Su Estimación Cuantitativa Mediante Cromatografía En Fase Reversa (HPLC) y Derivatización Precolumna Con o-Ftalaldehído (OPA). *Ars Pharmaceutica* **2003**, 43–58.
54. Costa, L. da S.; Melo, F.P. de; Caorreia, E. de S. Effect of Different Feeding Regimes on the Growth of Tilapia Chitralada (*Oreochromis Niloticus* Linnaeus, 1757), Culture in Cages. *Boletim de Pesquisa e Desenvolvimento*, 79 / *Embrapa Meio Ambiente* **2009**, *35*, 285–294.
55. Fernandes Junior, A.C.; Carvalho, P.L.P.F. de; Pezzato, L.E.; Koch, J.F.A.; Teixeira, C.P.; Cintra, F.T.; Damasceno, Fl.M.; Amorin, R.L.; Padovani, C.R.; Barros, M.M. The Effect of Digestible Protein to Digestible Energy Ratio and Choline Supplementation on Growth, Hematological Parameters, Liver Steatosis and Size-Sorting Stress Response in Nile Tilapia under Field Condition. *Aquaculture* **2016**, *456*, 83–93, doi:10.1016/j.aquaculture.2016.02.001.
56. Koch, J.F.A.; Barros, M.M.; Teixeira, C.P.; Carvalho, P.L.P.F.; Fernandes Junior, A.C.; Cintra, F.T.; Pezzato, L.E. Protein-to-Energy Ratio of 21.43 g MJ⁻¹ Improves Growth Performance of Nile Tilapia at the Final Rearing Stage under Commercially Intensive Rearing Conditions. *Aquac Nutr* **2017**, *23*, 560–570, doi:10.1111/anu.12423.
57. Koch, J.F.; Rawles, S.D.; Webster, C.D.; Cummins, V.; Kobayashi, Y.; Thompson, K.R.; Gannam, A.L.; Twibell, R.G.; Hyde, N.M. Optimizing Fish Meal-Free Commercial Diets for Nile Tilapia, *Oreochromis Niloticus*. *Aquaculture* **2016**, *452*, 357–366, doi:10.1016/j.aquaculture.2015.11.017.
58. Youssef, S.; Salem, S.M.R.; Mahmoud, R.E.; Mohamed, T.I. Effect of Protein Reduction with Indispensable Amino Acid Supplementation at Different Levels in Practical Diets of Nile Tilapia (*Oreochromis Niloticus*) Fish. *Mansoura Veterinary Medical Journal* **2023**, *0*, 0–0, doi:10.21608/mvmj.2023.164547.1122.
59. Furuya, W.M.; Botaro, D.; Macedo, R.M.G. de; Santos, V.G. dos; Silva, L.C.R.; Silva, T.D.C.; Furuya, V.R.B.; Sales, P.J.P. Ideal Protein Concept for Dietary Protein Reduction of Juvenile Nile Tilapia (*Oreochromis Niloticus*). *Revista Brasileira de Zootecnia* **2005**, *34*, 1433–1441, doi:10.1590/S1516-35982005000500002.

60. Li, X.; Han, T.; Zheng, S.; Wu, G. Nutrition and Functions of Amino Acids in Aquatic Crustaceans. In *Amino Acids in Nutrition and Health: Amino Acids in the Nutrition of Companion, Zoo and Farm Animals*; 2021; pp. 169–198.
61. da Silva, L.M.; Savay-Da-Silva, L.K.; de Abreu, J.G.; Figueiredo, E.E.S. Determination of Morphometric Indices to Promote Fillets of Tilapia (*Oreochromis Niloticus*) Industrial Yield. *Boletim do Instituto de Pesca* **2016**, *42*, 252–257, doi:10.5007/1678-2305.2016v42n1p252.
62. Carter, C.G.; Houlihan, D.F. Protein Synthesis. In; 2001; pp. 31–75.
63. Cleveland, B.M.; Radler, L.M. Essential Amino Acids Exhibit Variable Effects on Protein Degradation in Rainbow Trout (*Oncorhynchus Mykiss*) Primary Myocytes. *Comp Biochem Physiol A Mol Integr Physiol* **2019**, *229*, 33–39, doi:10.1016/j.cbpa.2018.11.019.
64. Liu, W.; Wen, H.; Luo, Z. Effect of Dietary Protein Levels and Feeding Rates on the Growth and Health Status of Juvenile Genetically Improved Farmed Tilapia (*Oreochromis Niloticus*). *Aquaculture International* **2018**, *26*, 153–167, doi:10.1007/s10499-017-0202-6.
65. Zeng, N.; Jiang, M.; Wen, H.; Liu, W.; Wu, F.; Tian, J.; Yu, L.; Lu, X.; Guo, Z. Effects of Water Temperatures and Dietary Protein Levels on Growth, Body Composition and Blood Biochemistry of Juvenile GIFT Tilapia (*Oreochromis Niloticus*). *Aquac Nutr* **2021**, *27*, 240–251, doi:10.1111/anu.13181.
66. Kabir, K.A.; Schrama, J.W.; Verreth, J.A.J.; Phillips, M.J.; Verdegem, M.C.J. Effect of Dietary Protein to Energy Ratio on Performance of Nile Tilapia and Food Web Enhancement in Semi-Intensive Pond Aquaculture. *Aquaculture* **2019**, *499*, 235–242, doi:10.1016/j.aquaculture.2018.09.038.
67. Santos, W.M.; Costa, L.S.; López-Olmeda, J.F.; Costa, N.C.S.; Santos, F.A.C.; Oliveira, C.G.; Guilherme, H.O.; Bahiense, R.N.; Luz, R.K.; Ribeiro, P.A.P. Dietary Protein Modulates Digestive Enzyme Activities and Gene Expression in Red Tilapia Juveniles. *Animal* **2020**, *14*, 1802–1810, doi:10.1017/S1751731120000543.
68. Enes, P.; Panserat, S.; Kaushik, S.; Oliva-Teles, A. Nutritional Regulation of Hepatic Glucose Metabolism in Fish. *Fish Physiol Biochem* **2009**, *35*, 519–539, doi:10.1007/s10695-008-9259-5.
69. Gonçalves, G.S.; Pezzato, L.E.; Barros, M.M.; Hisano, H.; Rosa, M.J.S. Level of Digestible Protein and Digestible Energy in Diets for Nile Tilapia Formulated Based on the Concept of Ideal Protein. *Revista Brasileira de Zootecnia* **2009**, *38*, 2289–2298, doi:10.1590/S1516-35982009001200001.

3 CAPÍTULO III - REDUÇÃO DO NÍVEL DE PROTEÍNA EM DIETAS À BASE DE FARELO DE SOJA E MILHO SUPLEMENTADAS COM AMINOÁCIDOS ESSENCIAIS DURANTE A FASE DE ENGORDA DA TILÁPIA-DO-NILO

“Protein level reduction in corn and soybean meal-based diets supplemented with essential amino acids during the fattening phase of Nile tilapia”

(Artigo publicado em 08/06/2025 na *Annals of Animal Science*: DOI: 10.2478/aoas-2025-0055). Este capítulo foi redigido de acordo com as diretrizes para autores do periódico *Annals of Animal Science* (ISSN: 2300-8733).

RESUMO

Este estudo investiga o impacto da redução dos níveis de proteína com a suplementação de aminoácidos essenciais (AAEs), em dietas *fish meal-free* para a tilápia-do-nilo durante a fase final de crescimento. Um total de 195 tilápias da linhagem GIFT, com peso inicial médio de $297 \pm 5,06$ g, foram distribuídas em delineamento experimental com cinco tratamentos e três repetições com níveis decrescentes de proteína bruta (300, 275, 249, 222 a 197 g kg⁻¹ PB) durante um período de 70 dias. As dietas baseadas em milho e farelo de soja, foram isoenergéticas e isoaminoácídicas para os AAEs. Os resultados indicaram que as tilápias alimentadas com dietas com níveis mais altos de proteína bruta (PB) (250, 275 e 300 g kg⁻¹) exibiram um desempenho de crescimento significativamente melhor ($P \leq 0,05$), incluindo peso final, ganho de peso, taxa de crescimento específico e conversão alimentar, em comparação com aquelas em dietas com níveis mais baixos de proteína. O teor de proteína na carcaça também foi maior nos tratamentos com 275 e 300 g kg⁻¹ PB. A redução do nível de proteína de 300 g kg⁻¹ PB (269 g kg⁻¹ PD) para 248 g kg⁻¹ PB (228 g kg⁻¹ PD) não impactou negativamente o desempenho de crescimento, sugerindo uma faixa de proteína ótima para tilápias com peso entre 300 a 530 g.

Palavras-chave: Exigências nutricionais; Formulação de rações; Nutrição de peixes.

3.1 INTRODUÇÃO

A tilápia-do-nilo (*Oreochromis niloticus*) é amplamente reconhecida por suas inúmeras vantagens em sistemas produtivos comerciais. Esta espécie de peixe destaca-se pela sua notável capacidade de adaptação a diversos sistemas de cultivo, ampla tolerância a variados parâmetros ambientais e físico-químicos da água, facilidade de reprodução em cativeiro e aceitação de dietas comerciais (Tesfaye et al. 2021; Mugwanya et al. 2022; Engdaw and Geremew 2024; Nunes et al. 2024). Por esses motivos, tornou-se uma das espécies de peixes de água doce de maior importância comercial no mundo (FAO 2024).

A otimização precisa dos níveis de proteína na dieta de tilápias-do-nilo representa um desafio crucial na aquicultura, essencial para assegurar o crescimento robusto, a sustentabilidade ambiental e a viabilidade econômica da produção (Meurer et al. 2024). Sendo o componente mais oneroso na formulação de rações (Deck et al. 2023; Ramakrishnan et al. 2023). Um perfil equilibrado de aminoácidos na dieta é essencial para maximizar o crescimento e a saúde dos peixes, ao mesmo tempo que ajuda a reduzir custos de produção. Além disso, a otimização proteica contribui para minimizar o excesso de nutrientes excretados no ambiente aquático, prevenindo alterações na qualidade da água dos viveiros, como a eutrofização (Teodósio et al. 2020; Furuya et al. 2023).

Os desafios relacionados ao custo da proteína têm levado a uma crescente demanda por fontes alternativas de proteína na aquicultura (Magbanua and Ragaza 2024; Matos et al. 2024; Ma and Hu 2024)). A farinha de peixe (FP), reconhecida como uma fonte proteica de alta qualidade, com perfil de aminoácidos equilibrado, altamente digerível e palatável aos peixes (Cho and Kim 2011), possui uma produção limitada, principalmente devido aos efeitos negativos da sobrepesca, que resultaram no declínio dos estoques de peixes marinhos (FAO 2020; Tacon and Metian 2015). Esses fatores, aliados ao crescimento exponencial da aquicultura mundial, têm contribuído para a alta demanda por FP (FAO 2022), inflacionando o preço desse ingrediente em mais de 300% nos últimos anos (Beal et al. 2018).

Em resposta a esses desafios, o uso de fontes alternativas de proteína de origem vegetal, como o farelo de soja, tornou-se uma realidade na aquicultura, sendo amplamente utilizado na alimentação de peixes (Glencross et al. 2020; Ayyat et al. 2021; Al-Dubakel and Taher 2021; Ragab et al. 2024). Entre as vantagens do seu uso, é possível destacar o bom conteúdo proteico, o baixo custo e o fornecimento estável (Hussain et al. 2024). No entanto, a soja contém vários fatores antinutricionais que, em sua maioria, são desnaturados durante o processamento térmico ao qual os grãos são submetidos na indústria (Ansia and Drackley 2020; Kohli and Singha

2024). Após a extração do óleo, o resíduo sólido resultante, chamado de "farelo de soja", é destinado a inúmeros mercados, incluindo a indústria de rações aquícola, onde apresenta um coeficiente de digestibilidade aparente da proteína de $90,26 \pm 1,19\%$ para tilápia-do-nilo (Boscolo et al. 2002; Pezzato et al. 2002; Yimer and Tadesse 2022).

Embora seja possível encontrar diversos estudos nas fases iniciais e de crescimento avaliando a exigência proteica da tilápia-do-nilo com rações *fish meal-free* (Bomfim et al., 2008a; Botaro et al., 2007; Carneiro et al., 2020; El-Saidy and Gaber, 2005) e, que a substituição da farinha de peixe por farelo de soja pode possibilitar a redução de custos de produção sem comprometer o desempenho de crescimento (Stockhausen et al. 2022; Moyo and Rapatsa-Malatji 2023). Já os trabalhos que avaliam a necessidade proteica em rações *fish meal-free* na fase final de crescimento são escassas (Meurer et al. 2024).

A utilização de níveis proteicos adequados, aliada à manutenção da concentração balanceada de aminoácidos essenciais, tem se mostrado uma estratégia eficiente para aumentar a utilização da proteína dietética, reduzir a excreção de nitrogênio e otimizar a conversão alimentar em tilápias (Furuya et. al, 2023). Estudos anteriores demonstraram que tilápias com peso entre 400 e 700 g requerem 298 g kg^{-1} de PB (267 g kg^{-1} de PD) quando alimentadas com dietas *fish meal-free* à base de farelo de soja e milho, sem suplementação de aminoácidos (Novodworski et al., 2024). Dessa forma, o presente trabalho investiga a viabilidade de reduzir o teor proteico na fase final de crescimento da tilápia-do-nilo, mantendo a adequação do perfil de aminoácidos essenciais, com o intuito de aprimorar o desempenho zootécnico, reduzir os custos de produção e promover uma formulação de dieta mais sustentável e economicamente viável.

3.2 MATERIAL E MÉTODOS

O estudo foi realizado no Laboratório de Tecnologia em Aquicultura (LATAq) da Universidade Federal do Paraná (UFPR), Campus Avançado de Jandaia do Sul (PR, Brasil). O protocolo dos procedimentos experimentais foi aprovado pela Comissão de Ética no Uso de Animais do Setor Palotina da UFPR (Protocolo nº 05/2021 - CEUA/Palotina).

3.2.1 Projeto experimental e infraestrutura

Após um período de aclimação de trinta dias, 195 exemplares adultos de tilápia-do-nilo (linhagem GIFT - Genetically Improved Farmed Tilapia), com peso médio inicial de $297 \pm 5,06\text{g}$, foram anestesiados (imersão em solução de eugenol - 50 mg/L), pesados e

distribuídos aleatoriamente em 5 tratamentos com 3 repetições cada. O experimento teve a duração de 70 dias, ocorrendo entre novembro de 2023 e janeiro de 2024.

A estrutura experimental foi composta por 15 tanques-rede circulares, cada um com capacidade de 0,3 m³ e densidade de 43 peixes por m³. Cada tanque-rede foi considerado uma unidade experimental. Esses tanques foram instalados em um tanque circular de 30.000 litros, conectado tanto a um tanque de filtragem mecânica de 2.000 litros quanto a um tanque de biofiltragem de 30.000 litros, todos interligados em circulação, formando um sistema de recirculação aquícola (RAS). A taxa de recirculação no sistema foi de 14 vezes ao dia e a aeração foi realizada por meio de mangueiras porosas instaladas no tanque de 30.000 litros, conectadas a um soprador radial de 2,25 cv, garantindo uma oxigenação homogênea em todos os tanques. O tanque de biofiltragem teve parte de sua superfície coberta por *Eichornia crassipes*, que era retirada conforme necessário, mantendo uma cobertura entre 50% e 80%.

3.2.2 Alimentação e dietas experimentais

As dietas foram formuladas e processadas no Laboratório de Tecnologia em Aquicultura (LATAq/UFPR). Os níveis de proteína foram selecionados tendo como base o valor de exigência de 298 g kg⁻¹ PB (267 g kg⁻¹ PD) determinado por Novodworski et al. (2024) com rações a base de farelo e soja e milho e sem suplementação de aminoácidos. Dessa forma, foram formuladas cinco dietas experimentais com níveis decrescentes de proteína, isoenergéticas, isofosfóricas, isocálcicas e isoaminoacídicas para os aminoácidos essenciais (AAEs) (arginina, histidina, isoleucina, leucina, lisina, metionina, fenilalanina, treonina, triptofano e valina), com suplementação de fontes sintéticas (Tabelas 1 e 2). Os valores de PD e energia digestível (ED) foram determinados com base nos coeficientes de digestibilidade do farelo de soja e do milho propostos por Boscolo et al. (2002). As dietas experimentais foram pesadas diariamente e fornecidas igualmente aos peixes em todas as unidades experimentais (1,5% da biomassa média dos peixes), em duas alimentações diárias, uma às 8h e outra às 17h.

TABELA 1 - Composição dos ingredientes das dietas experimentais (g kg⁻¹) formuladas com diferentes níveis de proteína e suplementadas com aminoácidos essenciais.

Ingredientes	T 195	T 220	T 250	T 275	T 300
	Quantidade (g kg ⁻¹)				
Milho	749,41	653,18	556,71	460,25	363,81
Farelo de soja	102,68	217,60	332,53	447,46	562,35
Óleo de soja	23,52	27,46	31,39	35,33	39,27
CaHPO ₄	32,27	29,59	26,92	24,25	21,57
CaCO ₃	3,87	4,60	5,33	6,06	6,79
Mistura mineral-vitaminico ¹	5,00	5,00	5,00	5,00	5,00
Sal	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00
BHT ²	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10
Adsorvente ³	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10
Arginina	13,76	10,32	6,88	3,43	-
Histidina	4,72	3,54	2,36	1,18	-
Isoleucina	9,43	7,07	4,71	2,36	-
Leucina	13,25	9,93	6,62	3,31	-
Lisina	10,44	7,83	5,22	2,61	-
Metionina	2,23	1,67	1,12	0,56	-
Fenilalanina	9,73	7,29	4,86	2,43	-
Treonina	7,03	5,27	3,51	1,76	-
Triptofano	2,20	1,16	1,10	0,55	-
Valina	9,02	6,79	4,51	2,26	-

¹ Níveis garantidos de suplementos vitamínicos e minerais por quilograma de produto: vit. A = 1200.000 IU; vit. D3 = 200.000 IU; vit. E = 12.000 mg; vit. K3 = 2400 mg; vit. B1 = 4800 mg; vit. B2 = 4800 mg; vit. B6 = 4000 mg; vit. B12 = 4800 mg; ácido fólico = 1200 mg; pantotenato de cálcio = 12.000 mg; vit. C = 48.000 mg; biotina = 48 mg; colina = 65.000 mg; Niacina = 24.000 mg; Fe = 10.000 mg; Cu = 6000 mg; Mn = 4000 mg; Zn = 6000 mg; I = 20 mg; Co = 2 mg; Se = 20 mg; ² Butylated Hydroxytoluene (antioxidante); ³ Adsorvente de micotoxinas.

TABELA 2 - Análise centesimal das dietas experimentais (base natural).

Nutrientes	Milho	FS	T 195	T 220	T 250	T 275	T 300
	Quantidade (g kg ⁻¹)						
Proteína bruta	91,00	470,02	196,88	221,53	249,21	275,30	299,67
Proteína digestível ¹	85,00	419,80	187,65	207,31	229,87	250,83	269,01
Energia bruta (kcal kg ⁻¹)	3,938	4,151	3,960	4,000	4,039	4,077	4,130
Energia digestível (kcal kg ⁻¹) ¹	3,028	2,963	3,100	3,100	3,100	3,100	3,100
Amido	661,00	63,80	502,06	445,63	389,92	371,44	276,35
Lipídios	34,50	29,40	52,17	56,12	60,00	62,30	67,95
Matéria seca	927,50	908,00	933,58	930,41	927,23	925,28	920,89
Cinzas	14,00	74,50	18,14	25,36	32,57	37,12	46,98
Cálcio	0,20	3,50	10,00	10,00	10,00	10,00	10,00
Fósforo	1,90	5,90	8,00	8,00	8,00	8,00	8,00
Composição de aminoácidos essenciais							
Arginina	4,00	32,70	19,84	19,84	19,84	19,84	19,84
Histidina	2,90	12,50	8,08	8,08	8,08	8,08	8,08
Isoleucina	3,10	22,70	13,89	13,89	13,89	13,89	13,89

Leucina	10,80	37,30	24,90	24,90	24,90	24,90	24,90
Lisina	2,30	24,30	14,50	14,50	14,50	14,50	14,50
Metionina	1,00	5,60	3,51	3,51	3,51	3,51	3,51
Met.+cist ²	1,90	10,36	4,66	5,12	5,57	6,03	6,49
Fenilalanina	4,00	24,10	15,01	15,01	15,01	15,01	15,01
Treonina	2,90	17,50	10,90	10,90	10,90	10,90	10,90
Triptofano	0,60	5,20	3,14	3,14	3,14	3,14	3,14
Valina	0,40	22,60	14,16	14,16	14,16	14,16	14,16
Composição de aminoácidos não essenciais							
Ácido aspártico	5,30	53,30	5,47	11,59	17,72	23,85	29,98
Ácido glutâmico	15,80	83,60	20,42	28,51	36,59	44,68	5,27
Alanina	6,00	20,70	2,12	4,50	6,88	9,26	11,64
Cistina	0,90	4,70	1,15	1,61	2,06	2,52	2,98
Glicina	3,20	20,30	4,48	5,52	8,53	10,55	12,58
Prolina	8,10	23,90	8,53	10,49	12,46	14,42	16,38
Serina	4,20	25,60	5,78	8,31	10,85	13,39	15,92
Tirosina	2,60	17,50	3,75	5,50	7,27	9,03	10,78

FS: Farelo de soja; ¹ Valor calculado usando o coeficiente de digestibilidade determinado por Boscolo et al. (2002); ² Metionina mais cistina.

Para o processamento das rações, o milho e o farelo de soja foram finamente moídos e posteriormente homogeneizados aos micros ingredientes. Em seguida foi adicionado 175 mL kg⁻¹ de água e as rações experimentais foram processadas utilizando uma extrusora (Ex laboratorial. Exteec® Máquinas, Ribeirão Preto, Brasil) com matriz de 3 mm a uma temperatura de 60 °C. Isso resultou na obtenção de pellets extrudados com 5,5 mm de diâmetro, os quais apresentaram 100% de flutuabilidade em testes realizados durante um período de zero a 60 minutos (teste de flutuação e integridade dos pellets extrudados).

3.2.3 Qualidade de água

Durante o período experimental, a temperatura ($25,95 \pm 2,88$ °C) e o oxigênio dissolvido ($8,15 \pm 1,05$ mg/L) foram monitorados diariamente, enquanto o pH ($7,22 \pm 0,43$) foi avaliado semanalmente às 9h00min e 17h00min, ambos utilizando uma sonda multiparâmetros (Akso®, modelo Ak88, São Leopoldo, RS, Brasil). A cada 21 dias, foram coletadas amostras de água para análise das seguintes variáveis: amônia total ($0,1014 \pm 0,003$ mg/L), nitrito ($0,0162 \pm 0,002$ mg/L) e nitrato ($0,1453 \pm 0,142$ mg/L) pelo método n° 4500-N; ortofosfato dissolvido (PO₄³⁻) ($1,0050 \pm 0,052$ mg/L) pelo método n° 4500-P; alcalinidade ($223,50 \pm 12,02$ mg/L) pelo método n° 2320; e dureza ($255 \pm 35,35$ mg/L) pelo método n° 2340, de acordo com APHA (2017).

3.2.4 Análise de desempenho

Ao final do experimento os peixes foram mantidos em jejum por 24h, anestesiados (imersão em solução de eugenol - 120 mg / L), contados e pesados. Desses valores foram calculados ganho de peso (GP), ganho de peso diário (GPD), conversão alimentar aparente (CA), taxa de crescimento específico (TCE), taxa de eficiência proteica (TEP) e eficiência alimentar (EA). Doze peixes por tratamentos, ou quatro indivíduos por unidade experimental, foram escolhidos de maneira aleatória e dissecados para determinação do rendimento de carcaça (RC), rendimento de filé (RF), percentagem de vísceras e percentagem de gordura visceral, sendo:

$$GP = \text{peso final (g)} - \text{peso inicial(g)}$$

$$GPD = \frac{\text{ganho de peso (g)}}{\text{periodo experimental (dias)}}$$

$$CA = \frac{\text{consumo de ração (g)}}{\text{ganho de peso (g)}}$$

$$TCE = \frac{(\ln \text{ peso médio final} - \ln \text{ peso médio inicial})}{\text{periodo experimental (dias)}} * 100$$

$$TEP = \frac{\text{ganho de peso (g)}}{\text{proteína ingerida (g)}}$$

$$EA = \frac{\text{ganho de peso(g)}}{\text{consumo de ração(g)}}$$

$$RC = \frac{\text{peso da carcaça(g)}}{\text{peso do peixe inteiro(g)}}$$

$$RF = \frac{\text{peso do filé(g)}}{\text{peso do peixe inteiro(g)}}$$

3.2.5 Análise bromatológica das dietas, da composição corporal e do filé

O farelo de soja, o milho, as dietas experimentais e a composição corporal e o filé foram analisados quanto à matéria seca (MS; método nº 930.15), proteína bruta (PB; método nº 984.13), extrato etéreo (EE; método nº 920.39) e matéria mineral (MM; método nº 924.05), de acordo com os procedimentos internacionais da AOAC (2005). A energia bruta do farelo de soja e do milho foi determinada por meio de bomba calorimétrica e a composição de aminoácidos realizada em laboratório especializado (C.B.O. Análises Laboratoriais Ltda®).

Após amostrar os animais para coleta de dados de desempenho, foram escolhidos aleatoriamente, de cada unidade experimental, um peixe inteiro, duas carcaças e os filés de

outros dois peixes para determinação da composição centesimal, quanto aos teores de MS, PB, EE e MM (AOAC 2005).

3.2.6 Análise estatística

Os dados obtidos foram submetidos à análise de variância (ANOVA) seguindo um delineamento inteiramente casualizado (DIC). Quando um efeito significativo ($P \leq 0,05$) foi identificado na análise de variância, aplicou-se o teste de Tukey para discriminar as médias. Além disso, realizou-se uma análise de regressão para determinar qual modelo (linear, linear-platô (*broken-line*), polinomial quadrático ou a combinação dos modelos de regressão linear-platô (*broken-line*) e polinomial quadrático) melhor se ajustava aos dados. As análises estatísticas foram realizadas com o software RStudio 4.3.1 (R Core Team 2023).

3.3 RESULTADOS

3.3.1 Desempenho de crescimento

Os parâmetros de desempenho de tilápias-do-nilo (Tabela 3), alimentadas com dietas contendo diferentes níveis de proteína com suplementação de aminoácidos mostraram que os tratamentos T250, T275 e T300 resultaram em pesos finais significativamente maiores (553,66 g, 559,06 g e 560,37 g) e ganhos diários de peso superiores (3,66 g/dia, 3,73 g/dia e 3,72 g/dia) em comparação aos tratamentos T195 e T220. A taxa de crescimento específico e a eficiência alimentar também foram significativamente melhores nesses tratamentos: TCE (0,88; 0,90; 0,89); EA (0,63; 0,64; 0,64). Além disso, a conversão alimentar foi mais eficiente nos tratamentos T250, T275 e T300, com valores de 1,58, 1,56, e 1,57, respectivamente, enquanto a taxa de eficiência proteica foi maior no tratamento T250 (2,78) e menor no tratamento T300 (2,39).

O desempenho nutricional e a eficiência de utilização do alimento em tilápias alimentadas com diferentes níveis de proteína foram avaliados utilizando análise de regressão linear-platô (*broken-line*) para as variáveis GPD e CA (Figuras 1 e 2). Essa abordagem permitiu identificar os pontos de quebra nos dados, evidenciando os efeitos dos diferentes níveis de proteína sobre o desempenho dos peixes. O GPD apresentou uma tendência crescente linear até o ponto de quebra, com valores de exigência de 230,52 g kg⁻¹ PD (Figura 1a) e 250,50 g kg⁻¹ PB (Figura 1b). Já a CA mostrou uma tendência decrescente linear ($R^2=0,8861$) com o aumento da concentração de proteína na dieta até o ponto de quebra, com exigência de 228,63 g kg⁻¹ PD

(Figura 2a) e 248,13 g kg⁻¹ PB (Figura 2b).

TABELA 3 - Parâmetros de desempenho de tilápias-do-nylo alimentadas com dietas com níveis decrescentes de proteína com suplementação de aminoácidos.

Variável	Tratamento					CV ¹	Valor de P
	T 195	T 220	T 250	T 275	T 300		
PI (g)	297,00	291,79	297,31	297,68	299,87	1,69	0,4236
PF (g)	487,64 ^b	511,56 ^b	553,66 ^a	559,06 ^a	560,37 ^a	1,94	1,44e-05
GP (g)	190,64 ^c	219,76 ^b	256,35 ^a	261,36 ^a	260,5 ^a	3,79	6,06e-06
GPD (g/dia)	2,73 ^c	3,14 ^b	3,66 ^a	3,73 ^a	3,72 ^a	3,79	6,06e-06
CRD (g/dia)	5,81	5,81	5,80	5,82	5,83	0,46	0,7158
TCE	0,71 ^c	0,81 ^b	0,88 ^a	0,90 ^a	0,89 ^a	3,35	2,68e-05
TEP	2,50 ^{ab}	2,61 ^{ab}	2,78 ^a	2,6 ^{ab}	2,39 ^b	4,14	0,0132
CA	2,13 ^c	1,86 ^b	1,58 ^a	1,56 ^a	1,57 ^a	4,38	9,69e-06
EA	0,46 ^c	0,54 ^b	0,63 ^a	0,64 ^a	0,64 ^a	3,93	8,18e-06
Sobrevivência (%)	89,74	89,74	94,87	92,31	95,21	9,34	0,8824

¹ Coeficiente de variação; PI: Peso inicial; PF: Peso final; GP: Ganho de peso; GPD: Ganho de peso diário. TCE: Taxa de crescimento específico; TEP: Taxa de eficiência proteica ($y = 2,58 - 0,13x - 0,455x^2$ $R^2 = 0,62$); CA: Conversão alimentar; EA: Eficiência alimentar. ^{a-c} Médias seguidas de letras diferentes nas linhas. diferem estatisticamente pelo teste de Tukey ($p \leq 0,05$).

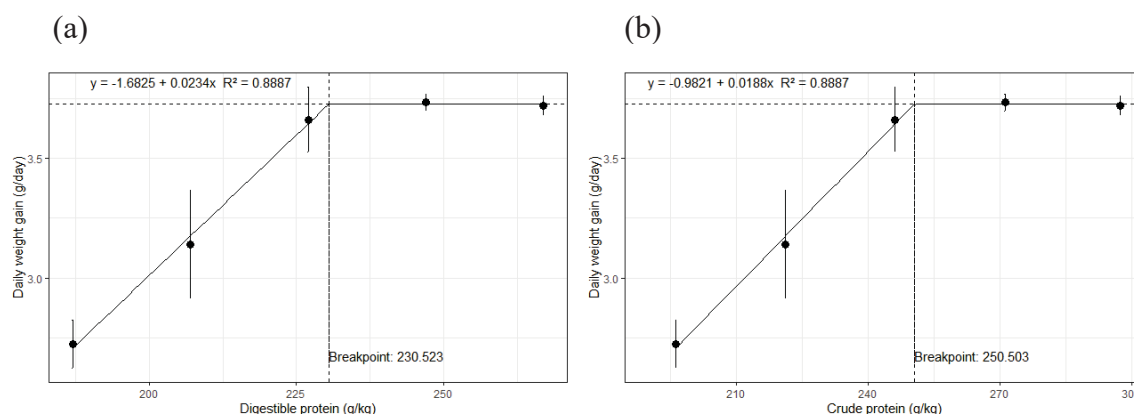


FIGURA 1 - Ganho de peso diário da tilápia-do-nylo alimentada com diferentes concentrações de PD (a) e PB (b), estimadas por meio da regressão linear-platô (*broken-line*).

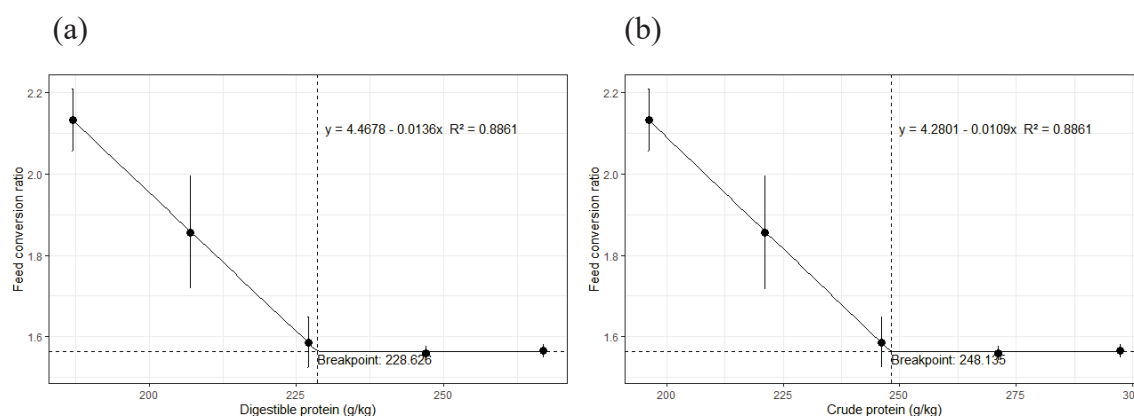


FIGURA 2 - Conversão alimentar da tilápia-do-nylo alimentada com diferentes concentrações de PD (a) e PB (b), estimadas por meio da regressão linear-platô (*broken-line*).

Os parâmetros de desempenho corporal de tilápias-do-nilo alimentadas com diferentes níveis de proteína (Tabela 4) foram influenciados de forma significativa para as variáveis de GV, RF e CT. O tratamento T195 apresentou a maior GV (3,02 g/100 g) e menor RF (32,68 g/100 g), enquanto T300 apresentou a menor GV (1,56 g/100 g) e o maior rendimento de filé (34,59 g/100g). Os tratamentos intermediários (T220, T250 e T275) não diferiram significativamente entre si em relação GV e RF. O CT variou significativamente, com T275 apresentando o maior valor (30,32 cm) e T195 e T220 apresentando os menores valores (28,46 cm e 28,81 cm, respectivamente). Não houve diferenças significativas ($P > 0,05$) para os IVS, RC, CP e AT.

TABELA 4 - Parâmetros de desempenho corporal de tilápias-do-nilo alimentadas com diferentes níveis de proteína.

Variável	Tratamento					CV	Valor de P
	T 195	T 220	T 250	T 275	T 300		
GV (g/100g)	3,02 ^a	2,71 ^{ab}	2,73 ^{ab}	2,28 ^{ab}	1,56 ^b	17,77	0,0171
IVS (g/100 g)	11,20	9,05	9,34	9,87	10,73	10,79	0,1519
RC (g/100 g)	85,66	87,46	87,85	87,85	87,75	1,08	0,0741
RF	32,68 ^b	33,43 ^{ab}	34,08 ^{ab}	34,15 ^{ab}	34,59 ^a	1,78	0,0234
CT (cm)	28,46 ^c	28,81 ^b	30,11 ^{ab}	30,32 ^a	30,01 ^{ab}	1,78	0,0042
CP (cm)	23,92	24,22	25,25	25,28	25,22	2,45	0,0488
AT (cm)	10,00	10,11	10,50	10,56	10,53	3,41	0,2320

CV: Coeficiente de variação; GV: Gordura visceral = ((peso da gordura visceral / peso corporal) / 100); IVS: Índice viscerossomático = ((peso das vísceras / peso corporal) * 100); RC: Rendimento de carcaça = ((peso da carcaça / peso corporal) * 100); CP: Comprimento padrão; AT: Altura do tronco; CT: Comprimento total; ^{a-c}. As médias dentro da linha com sobrescritos diferentes diferem ($p \leq 0,05$).

3.3.2 Composição corporal

Os parâmetros de composição química do peixe inteiro, da carcaça e do filé de tilápias-do-nilo (Tabela 5), indicam que, apesar de algumas variações, a maioria dos parâmetros de composição química não foi significativamente influenciada pelos níveis de proteína nas dietas dos peixes. Não houve diferenças significativas ($P > 0,05$) para umidade e proteína nos peixes, carcaças e filés, exceto pela proteína na carcaça, onde os tratamentos T275 e T300 apresentaram valores significativamente maiores (17,35 g/100 g e 17,08 g/100 g, respectivamente) comparados aos tratamentos T195, T220 e T250. A matéria mineral e o extrato etéreo também não apresentaram diferenças significativas em nenhuma das frações analisadas (peixe, carcaça e filé).

TABELA 5 - Composições químicas corporais e dos filés de tilápias-do-nilo alimentadas com diferentes níveis de proteína.

Variável (g/100 g)	Tratamento					CV ¹	Valor de <i>p</i>
	T 195	T 220	T 250	T 275	T 300		
Umidade							
Peixe	67,27	66,40	67,19	68,74	68,43	2,36	0,4145
Carcaça	69,10	69,16	69,79	67,64	69,14	1,37	0,1549
Filé	76,05	75,73	76,00	75,63	76,73	1,39	0,7404
Proteína							
Peixe	15,22	15,35	15,45	15,43	15,26	2,44	0,9225
Carcaça	16,34 ^b	16,59 ^b	16,34 ^b	17,35 ^a	17,08 ^a	1,97	0,0118
Filé	19,84	19,72	19,32	19,14	19,23	3,64	0,6805
Matéria mineral							
Peixe	4,14	4,12	3,87	4,14	4,42	6,91	0,3156
Carcaça	4,72	4,55	4,30	4,43	4,69	6,46	0,4080
Filé	1,24	1,24	1,25	1,25	1,12	7,68	0,6648
Extrato etéreo							
Peixe	13,17	14,81	13,37	11,20	12,36	20,20	0,5671
Carcaça	11,27	11,31	11,45	12,25	10,32	8,58	0,2762
Filé	3,82	4,00	4,72	5,09	4,57	17,39	0,3105

¹ CV: Coeficiente de variação. ^{a-b} As médias dentro da linha com sobrescritos diferentes diferem ($p \leq 0.05$).

3.4 DISCUSSÃO

A determinação da exigência proteica da tilápia-do-nilo pode ser impactada por diversos fatores metodológicos e biológicos, acarretando divergências em resultados nas diversas fases de desenvolvimento (Meurer et al. 2024). Algo semelhante é observado quanto a exigência de aminoácidos, onde as diferenças entre as abordagens metodológicas e modelos estatísticos utilizados proporcionaram inconsistência entre os requisitos de aminoácidos disponíveis na literatura (Furuya et al. 2023; Xing et al. 2024). Assim como ocorrido com a exigência proteica (NRC 2011; Meurer et al. 2024), os requisitos de aminoácidos da dieta também são influenciados de acordo com a idade e o peso dos peixes (Furuya et al. 2010), bem como pelas diferenças genéticas entre as linhagens, onde Fatan et al. (2023) identificaram que o melhoramento genético melhorou o desempenho e alterou a exigência de lisina em um estudo comparando linhagens de tilápias GIFT da 16^a à 17^a geração.

Diferentemente do observado em estudos que avaliam a exigência proteica, onde são escassos os trabalhos utilizando dietas a base de ingredientes de origem vegetal (Meurer et al. 2024), na determinação da exigência de aminoácidos, diversos trabalhos foram realizados utilizando dietas *fish meal-free* (Bomfim et al. 2008a, b, 2010; Prabu et al., 2021a; Muniz Junior

et al., 2023) ou, em outros casos, utilizando uma dieta controle contendo farinha de peixe mas a inclusão de aminoácidos sintéticos sendo realizada em dietas de origem vegetal (Diógenes et al. 2016; Prabu et al. 2020b, a, 2021b; Nascimento et al. 2020). Esse é um dado relevante diante da demanda eminente por fontes alternativas a farinha de peixe, como mencionado anteriormente, e da predominância de cadeias produtivas de proteína animal, como a avicultura e a suinocultura, que tradicionalmente utilizam rações à base de farelo de soja e milho, suplementadas com aminoácidos essenciais.

Além dos fatores já mencionados, o teor de proteína da dieta também pode ter contribuído para os distintos requisitos de aminoácidos relatados na literatura. Por exemplo, alguns trabalhos que avaliaram a exigência de lisina em tilápia-do-nilo determinaram requisitos variando de 13,1 g kg⁻¹ a 24,1 g kg⁻¹, utilizando dietas com 250 a 350 g kg⁻¹ de PB (Furuya et al. 2013; Diógenes et al. 2016; Michelato et al. 2016; Nascimento et al. 2020; Fatan et al. 2023; Muniz Junior et al. 2023). Coincidentemente, desses estudos, a maior exigência de lisina (24,1 g kg⁻¹) foi relatada no estudo que utilizou a dieta com maior teor de proteína (350 g kg⁻¹ PB) (Fatan et al. 2023). Embora um balanço adequado de aminoácidos seja mais importante que o teor de proteína da dieta em si (Wilson 2002; Furuya et al. 2005; NRC 2011), este também deve ser levado em consideração, pois, como identificado em diversos estudos, níveis de proteína acima ou abaixo das exigências dos peixes podem ser igualmente prejudiciais ao desempenho (Carneiro et al. 2017, 2020; Thirunavukkarasar et al., 2022). O mesmo pode acontecer com os aminoácidos, onde interações antagônicas entre aminoácidos, causadas pelo excesso de um, podem aumentar a necessidade de outros (Peres and Oliva 2017; Wang et al. 2021; Ahmad et al. 2021; Xing et al. 2024).

Em estudo anterior, foi determinado que a exigência proteica para tilápias com peso médio entre 400 e 700 g, alimentadas com rações *fish meal-free* à base de farelo de soja e milho, sem suplementação de aminoácidos, foi de 298 g kg⁻¹ PB (267 g kg⁻¹ PD) (Novodworski et al. 2024). No estudo atual, considerando essa dieta como ideal, foi investigado os efeitos da redução desse teor de proteína, mantendo as dietas isoaminoacídicas para os aminoácidos essenciais, através da suplementação destes. Os resultados demonstraram que os tratamentos com níveis de proteína bruta entre 250 e 300 g kg⁻¹ da dieta (T250, T275 e T300) resultaram em PF, GP, TCE, CA e EA substancialmente melhores em comparação aos tratamentos com menores níveis de proteína (T195 e T220) (Tabela 3), mesmo que com os mesmos teores de aminoácidos essenciais. Esses achados corroboram estudos anteriores, que enfatizam a importância da nutrição adequada, especialmente em termos de proteína e balanço adequado de

aminoácidos, para otimizar o crescimento e a eficiência produtiva em tilápias (Schrama et al. 2018; Khan et al. 2019; Konnert et al. 2022; Meurer et al. 2024).

Além disso, com base nesses resultados de desempenho, podemos identificar que a redução de proteína do T300 para T250 não comprometeu de forma significativa nenhum dos índices avaliados. Esses achados corroboram com estudos que avaliaram a exigência proteica da tilápia utilizando o conceito de proteína ideal, porém em fases mais jovens, onde foi possível reduzir a exigência de 320 para 280 g kg⁻¹ PB em peixes de 0,8 a 13,4 g (Bomfim et al. 2008c) de 300 para 275 g kg⁻¹ PD em peixes 5 a 125g (Furuya et al. 2005), de 340 para 300 g kg⁻¹ PD em peixes de 30 a 165 g (Gonçalves et al. 2009), de 270 para 243 g kg⁻¹ PD (Botaro et al. 2007) e de 267 para 245 g kg⁻¹ PD em peixes de 100 a 500 g (Righetti et al. 2011). Entretanto, avaliando o efeito da relação proteína-energia na fase de crescimento da tilápia (190 - 450 g) utilizando dietas à base de farelo de soja e milho, sem suplementação de aminoácidos sintéticos, foi identificado o nível ideal de 240 g kg⁻¹ de PB com 3.000 kcal kg⁻¹ de ED (Carneiro et al. 2020), resultado semelhante ao observado em alguns dos estudos acima. Por outro lado, é importante destacar que se observa uma redução nas necessidades proteicas em função do crescimento dos peixes, com menor exigência na fase de crescimento, aumentando novamente em peixes maiores (Meurer et al. 2024). Dessa forma, nossos achados discordam dos expressos na literatura em estudos realizados em peixes com peso médio final semelhante, os quais apresentaram uma exigência média de 275 ± 5,13 g kg⁻¹ PD em dietas contendo ingredientes de origem animal e suplementação de aminoácidos sintéticos (Fernandes Junior et al. 2016; Koch et al. 2017; Green et al. 2019).

Ainda em relação à Tabela 3, a TCE, a CA e a EA mostraram melhorias significativas nos tratamentos com maiores níveis de proteína, indicando uma melhor utilização do alimento para crescimento corporal. Isso sugere que a quantidade ideal de proteína na dieta com balanço adequado de aminoácidos pode maximizar a conversão de alimento em peso corporal (Yu and Fukagawa 2020). A TEP foi mais alta no tratamento T250, promovendo uma utilização eficiente dos nutrientes para a síntese proteica, essencial para o crescimento muscular (Liu et al., 2018). Por outro lado, o tratamento T300 apresentou uma eficiência proteica reduzida, possivelmente indicando um excesso de proteína na dieta que não foi totalmente aproveitado pelos peixes. Da mesma forma, os tratamentos T195 e T220, com menores níveis de proteína, também mostraram TEP reduzida, indicando insuficiência proteica mesmo com suplementação de aminoácidos. Esses resultados sugerem que há um intervalo específico onde a proteína é utilizada de maneira mais eficaz. Isso corrobora com o observado por Righetti et al. (2011),

onde a melhor TEP foi encontrada em tratamentos intermediários, coincidindo com os melhores resultados das demais variáveis de desempenho.

Diferente do observado por Novodworski et al. (2024), onde níveis de proteína acima ou abaixo de 285 g kg⁻¹ PD proporcionaram efeito negativo no desempenho dos peixes, neste estudo, através da suplementação com aminoácidos sintéticos foi possível reduzir o nível de proteína de 300 g kg⁻¹ PB (269 g kg⁻¹ PD) para 250 g kg⁻¹ PB (230 g kg⁻¹ PD) sem impactar negativamente os resultados de desempenho (Figuras 1 e 2). No entanto, mesmo mantendo as dietas isoaminoacídicas para os aminoácidos essenciais (arginina, histidina, isoleucina, leucina, lisina, metionina, fenilalanina, treonina, triptofano e valina), ocorreu uma piora nos resultados de desempenho nos tratamentos com menor teor de proteína. Em virtude do aumento na proporção de milho e a redução do farelo de soja na composição dessas dietas, houve uma redução proporcional nos níveis de aminoácidos não essenciais (AANE) (Tabela 2). Esse fator pode ter contribuído para um maior desequilíbrio entre os aminoácidos essenciais e não essenciais, ocasionando a redução nos índices de desempenho.

Segundo Furuya et al. (2023) existem evidências recentes que sugerem que a suplementação de AANE pode ter efeitos benéficos e significativos no desempenho. Os autores relatam que embora os peixes possam sintetizar os AANE, a limitação desses aminoácidos nas dietas pode fazer com que as taxas de utilização dos AANE excedam suas taxas de síntese, tornando-os aminoácidos condicionalmente essenciais (AACE). Um ponto que deve ser destacado em relação aos aminoácidos, essenciais ou não, é a sua importância como elemento doador de nitrogênio para a síntese de outras moléculas nitrogenadas biologicamente necessárias ao organismo. Dessa forma é importante a manutenção de um nível de proteína adequado para a síntese proteica e as demais reações metabólicas dependentes dos aminoácidos.

Além disso, os aminoácidos sintéticos são absorvidos mais rapidamente do que os aminoácidos ligados a proteínas. Segundo da Cruz et al. (2021), a rápida absorção de aminoácidos sintéticos, especialmente quando suplementados em excesso, pode causar desequilíbrios na disponibilidade de aminoácidos no sangue, resultando em menor eficiência na síntese proteica. Em estudo com tilápias, os referidos autores observaram que o tempo de pico da lisina e metionina plasmática foi mais curto em peixes alimentados com uma alta quantidade de aminoácidos sintéticos, comparado àqueles com uma quantidade moderada ou sem suplementação, resultando em menor eficiência na utilização desses aminoácidos para síntese proteica. Resultados semelhantes ao observado no presente estudo, onde dietas com menor conteúdo proteico e quantidades mais elevadas de aminoácidos sintéticos também proporcionaram uma redução no desempenho dos peixes. A rápida absorção dos aminoácidos

sintéticos pode ter causado um desbalanço entre aminoácidos essenciais e não essenciais, interferindo na eficiência da síntese proteica e dessa forma crescimento dos peixes.

A GV também foi influenciada de forma significativa, onde o T195, com menor teor de proteína, acarretou na maior GV, podendo ser um indicativo do aumento da síntese de reservas lipídicas. A redução do teor de proteína resulta em aumento de carboidratos na dieta, o que pode levar a uma maior deposição de glicogênio hepático. O excesso de carboidratos pode favorecer a lipogênese e, conseqüentemente, contribuir para o acúmulo de gordura visceral nos peixes, conforme observado por Coutinho et al. (2018), que relataram um aumento no índice hepatossomático em dietas com maiores proporções de carboidratos, principalmente devido ao acúmulo de lipídios no fígado. Liu et al. (2017) também observaram que o IVS foi influenciado pelos níveis de proteína na dieta, sugerindo uma possível relação entre menor teor proteico e maior deposição de reservas nas vísceras, mas sem avaliar diretamente a deposição de gordura visceral, o que não foi observado no presente estudo. Estudos anteriores também não observaram efeito significativo da variação dos níveis de proteína sobre a deposição de gordura visceral (da Silva et al., 2018; Furuya et al., 2005; Carneiro et al., 2020).

As variáveis morfométricas de RF e CT também sofreram impacto significativo pelos níveis de proteína na dieta. Observou-se que o tratamento com menor nível de proteína, resultou em um menor RF (32,68 g/100g) e no menor CT (28,46 cm), o que sugere que uma dieta com proteína insuficiente pode limitar o crescimento muscular e o desenvolvimento estrutural dos peixes, mesmo quando suplementada com aminoácidos essenciais. Em contraste, os tratamentos com maiores níveis de proteína (T220, T250, T275 e T300 para RF, e T250, T275 e T300 para CT) não apresentaram diferenças significativas entre si para estas variáveis, sugerindo que há um nível de proteína ótimo que maximiza o crescimento sem os efeitos negativos associados a variações extremas de proteína na dieta. Esses achados corroboram com a literatura existente (Furuya et al. 2005; Oliveira et al. 2014; Youssef et al. 2023), indicando que a redução de proteína abaixo da exigência dos peixes promove um menor crescimento muscular e, conseqüentemente, redução no RF. Esse efeito pode ser atribuído a um equilíbrio mais adequado de aminoácidos essenciais e não essenciais nessas dietas, o que otimiza a utilização da fração nitrogenada pelos peixes e aumenta a eficiência da síntese proteica corporal (Furuya et al. 2005; Li et al. 2021), promovendo assim um melhor crescimento muscular e impactando tanto o RF quanto o CT.

As composições químicas corporais e do filé das tilápias-do-nilo apresentadas na Tabela 5 mostram variações, embora nem todas sejam estatisticamente significativas. A umidade, tanto do peixe inteiro quanto da carcaça e do filé não foram influenciadas pelos níveis de proteína na

dieta, corroborando com estudos anteriores (Green et al. 2019; Kabir et al. 2019; Zeng et al. 2021b). No entanto, a proteína da carcaça mostrou diferenças significativas, com os tratamentos T275 e T300 apresentando maiores teores de proteína (17,35 g/100 g e 17,08 g/100 g, respectivamente) em comparação com os tratamentos T195, T220 e T250 (todos em torno de 16,34 g/100 g). Isso sugere que níveis mais altos de proteína na dieta podem melhorar a deposição de proteína na carcaça. Por outro lado, a proteína no peixe inteiro e no filé não apresentou variações significativas entre os tratamentos, também em concordância com estudos anteriores (Green et al. 2019; Carneiro et al. 2020; Zeng et al. 2021a; Peres et al. 2022). Embora alguns estudos indiquem uma maior concentração de lipídeos com a redução do teor de proteína na dieta (Santos et al. 2020; Nguyen et al. 2020; Zeng et al. 2021a; Peres et al. 2022), isso não foi confirmado no presente estudo. A matéria mineral e o extrato etéreo, tanto no peixe inteiro quanto na carcaça e no filé, não mostraram diferenças significativas entre os tratamentos, corroborando com Green et al. (2019) e Carneiro et al. (2020).

A avaliação das necessidades proteicas da tilápia-do-nilo com dietas *fish meal-free*, especialmente à base de milho e farelo de soja, é relevante devido ao alto custo e à capacidade de produção limitada da FP. Embora a FP tenha excelente composição aminoacídica, o farelo de soja também oferece bom valor proteico e aminoacídico, além de ser amplamente disponível e utilizado na formulação de rações comerciais. As tilápias têm uma excelente capacidade de utilizar bem as proteínas vegetais sem afetar seu crescimento e desenvolvimento. No presente estudo, foram avaliados os efeitos de uma dieta *fish meal-free* suplementada com aminoácidos essenciais, e os resultados indicam que a tilápia pode ser alimentada com uma dieta à base de farelo de soja e milho com teores de proteína na faixa de 250 a 300 g kg⁻¹ sem comprometer índices de desempenho e composição. Adicionalmente, a interação entre a quantidade e a qualidade da proteína dietética pode influenciar o metabolismo de compostos nitrogenados, impactando diretamente a eficiência alimentar e o crescimento dos peixes. Investigações futuras focadas nos efeitos metabólicos dos diferentes perfis de aminoácidos podem proporcionar insights valiosos para o desenvolvimento de dietas mais eficientes e sustentáveis.

3.5 CONCLUSÃO

É possível reduzir o nível de PB de 300 g kg⁻¹ (269 g kg⁻¹ PD) para de 248 g kg⁻¹ PB (228 g kg⁻¹ PD) para a tilápia-do-nilo com peso entre 300 à 530 g, quando alimentadas com uma dieta à base de milho e farelo de soja suplementada com aminoácidos essenciais.

REFERÊNCIAS

- Ahmad, I., Ahmed, I., Fatma, S., & Peres, H. (2021). Role of branched-chain amino acids on growth, physiology and metabolism of different fish species: A review. *Aquac. Nutr.*, 27(5), 1270–1289. <https://doi.org/10.1111/anu.13267>
- Al-Dubakel, A. Y., & Taher, M. M. (2021). Use of moringa, *Moringa oleifera* leaf meal as partial replacement of soybean meal in common carp feed. *Iraqi J. Aquacult.*, 17(2). <https://doi.org/10.58629/ijaq.v17i2.22>
- Ansia, I., & Drackley, J. K. (2020). Graduate Student Literature Review: The past and future of soy protein in calf nutrition. *J. Dairy Sci.*, 103(8), 7625–7638. <https://doi.org/10.3168/jds.2020-18280>
- AOAC (2005). Official methods of analysis. In Van Nostrand's Encyclopedia of Chemistry (18th ed.). AOAC International.
- APHA. (2017). Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater (R. B. Baird, A. D. Eaton, & W. W. Rice, Eds.; 23rd ed.). American Public Health Association. <https://doi.org/https://doi.org/10.2105/SMWW.2882.216>
- Ayyat, M. S., Abdel-Rahman, G., Ayyat, A. M. N., Abdel-Rahman, M. S., & Al-Sagheer, A. A. (2021). Evaluation of leaf protein concentrate from *Beta vulgaris* and *Daucus carota* as a substitute for soybean meal in *Oreochromis niloticus* fingerlings diets. *Aquac. Res.*, 52(7), 3256–3269. <https://doi.org/10.1111/are.15171>
- Beal, C. M., Gerber, L. N., Thongrod, S., Phromkunthong, W., Kiron, V., Granados, J., Archibald, I., Greene, C. H., & Huntley, M. E. (2018). Marine microalgae commercial production improves sustainability of global fisheries and aquaculture. *Sci. Rep.*, 8(1), 15064. <https://doi.org/10.1038/s41598-018-33504-w>
- Bomfim, M. A. D., Lanna, E. A. T., Donzele, J. L., Abreu, M. L. T. de, Ribeiro, F. B., & Quadros, M. (2008). Reduction of crude protein with amino acid supplementation, based on ideal protein concept, in diets for Nile tilapia fingerlings. *Rev. Bras. Zootec.*, 37(10), 1713–1720. <https://doi.org/10.1590/S1516-35982008001000001>
- Bomfim, M. A. D., Lanna, E. A. T., Donzele, J. L., Ferreira, A. S., Ribeiro, F. B., & Takishita, S. S. (2008). Methionine plus cystine requirement, based on ideal protein concept, in diets for Nile tilapia fingerlings. *Rev. Bras. Zootec.*, 37(5), 783–790. <https://doi.org/10.1590/S1516-35982008000500001>
- Bomfim, M. A. D., Lanna, E. A. T., Donzele, J. L., Quadros, M., Ribeiro, F. B., & Araújo, W. A. G. de. (2008). Digestible threonine requirement of Nile tilapia fingerlings using ideal

- protein concept. *Rev. Bras. Zootec.*, 37(12), 2077–2084. <https://doi.org/10.1590/S1516-35982008001200001>
- Bomfim, M. A. D., Lanna, E. A. T., Donzele, J. L., Quadros, M., Ribeiro, F. B., & Sousa, M. P. de. (2010). Lysine levels, based on the ideal protein concept, in diets for Nile tilapia fingerlings. *Rev. Bras. Zootec.*, 39(1), 1–8. <https://doi.org/10.1590/S1516-35982010000100001>
- Boscolo, W. R., Hayashi, C., & Meurer, F. (2002). Apparent Digestibility of the Energy and Nutrients of Conventional and Alternatives Foods for Nile Tilapia (*Oreochromis niloticus*). *Rev. Bras. Zootec.*, 31(2), 539–545. <https://doi.org/10.1590/S1516-35982002000300001>
- Botaro, D., Furuya, W. M., Silva, L. C. R., Santos, L. D. dos, Silva, T. S. de C., & Santos, V. G. dos. (2007). Dietary protein reduction based on ideal protein concept for Nile Tilapia (*Oreochromis niloticus*) cultured in net pens. *Rev. Bras. Zootec.*, 36(3), 517–525. <https://doi.org/10.1590/S1516-35982007000300001>
- Carneiro, W. F., Colpini, L. M. S., Souza, R. C. T. de, Bombardelli, R. A., Balen, R. E., & Meurer, F. (2020). Effect of the digestible protein-energy relationship on the growth performance of Nile tilapia (*Oreochromis niloticus*) fed fishmeal-free diets. *Anim. Feed Sci. Technol.*, 262(May 2019), 114379. <https://doi.org/10.1016/j.anifeedsci.2019.114379>
- Carneiro, W. F., Pandini, F., Silva, L. C. R. da, Santos, L. D. dos, Rossato, K. A., & Meurer, F. (2017). Digestible protein requirement for Nile tilapia fed with rations based on soybean meal and corn. *Acta Sci. Anim. Sci.*, 39(4), 343. <https://doi.org/10.4025/actascianimsci.v39i4.36122>
- Cho, J. H., & Kim, I. H. (2011). Fish meal – nutritive value. *Journal of Animal Physiology and Animal Nutrition*, 95(6), 685–692. <https://doi.org/10.1111/j.1439-0396.2010.01109.x>
- Costa, L. da S., Melo, F. P. de, & Caorreira, E. de S. (2009). Effect of different feeding regimes on the growth of tilápia Chitralada (*Oreochromis niloticus* linnaeus, 1757), culture in cages. *Boletim de Pesquisa e Desenvolvimento*, 79 / Embrapa Meio Ambiente, 35(2), 285–294. https://www.pesca.agricultura.sp.gov.br/35_2_285-294.pdf
- Coutinho, J. J. de O., Neira, L. M., de Sandre, L. C. G., da Costa, J. I., Martins, M. I. E. G., Portella, M. C., & Carneiro, D. J. (2018). Carbohydrate-to-lipid ratio in extruded diets for Nile tilapia farmed in net cages. *Aquaculture*, 497, 520–525. <https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2018.08.014>
- da Cruz, T. P., Michelato, M., Dal-Pai-Silva, M., de Paula, T. G., Macedo, E. A., Peres, H., Oliva-Teles, A., Urbich, A. V., Furuya, V. R. B., & Furuya, W. M. (2021). Growth

- performance, amino acid retention and mRNA levels of mTORC1 signaling pathway genes in Nile tilapia fingerlings fed protein-bound and crystalline amino acids. *Aquaculture*, 543(February), 1–8. <https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2021.736953>
- da Silva, M. A., de Alvarenga, É. R., de O Alves, G. F., Manduca, L. G., Turra, E. M., de Brito, T. S., de Sales, S. C. M., da Silva Junior, A. F., Borges, W. J. M., & Teixeira, E. de A. (2018). Crude protein levels in diets for two growth stages of Nile tilapia (*Oreochromis niloticus*) in a biofloc system. *Aquac. Res.*, 49(8), 2693–2703. <https://doi.org/10.1111/are.13730>
- Deck, C. A., Salger, S. A., Reynolds, H. M., Tada, M. D., Severance, M. E., Ferket, P., Egna, H. S., Fatema, M. K., Haque, S. M., & Borski, R. J. (2023). Nutritional programming in Nile tilapia (*Oreochromis niloticus*): Effect of low dietary protein on growth and the intestinal microbiome and transcriptome. *PLOS ONE*, 18(10), e0292431. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0292431>
- Diógenes, A. F., Fernandes, J. B. K., Dorigam, J. C. P., Sakomura, N. K., Rodrigues, F. H. F., Lima, B. T. M., & Gonçalves, F. H. (2016). Establishing the optimal essential amino acid ratios in juveniles of Nile tilapia (*Oreochromis niloticus*) by the deletion method. *Aquac. Nutr.*, 22(2), 435–443. <https://doi.org/10.1111/anu.12262>
- El-Saidy, D. M. S. D., & Gaber, M. M. A. (2005). Effect of dietary protein levels and feeding rates on growth performance, production traits and body composition of Nile tilapia, *Oreochromis niloticus* (L.) cultured in concrete tanks. *Aquac. Res.*, 36(2), 163–171. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2109.2004.01201.x>
- Engdaw, F., & Geremew, A. (2024). Broodstock nutrition in Nile tilapia and its implications on reproductive efficiency. *Front. Aquac.*, 3. <https://doi.org/10.3389/faquc.2024.1281640>
- FAO. (2020). The State of World Fisheries and Aquaculture - sustainability in action. FAO. <https://doi.org/10.4060/ca9229en>
- FAO. (2024). The State of World Fisheries and Aquaculture 2024. Blue Transformation in action. In *The State of World Fisheries and Aquaculture 2024*. FAO. <https://doi.org/10.4060/cd0683en>
- FAO, F. and A. O. of the U. N. (2022). The State of World Fisheries and Aquaculture 2022. FAO. <https://doi.org/10.4060/cc0461en>
- Fatan, N. A., Sivajothy, K., & Yossa, R. (2023). Comparative estimation of the lysine requirements in two generations of improved strain of Nile tilapia (*Oreochromis niloticus*) at the grow-out stage. *Heliyon*, 9(6), e17221. <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2023.e17221>

- Fernandes Junior, A. C., Carvalho, P. L. P. F. de, Pezzato, L. E., Koch, J. F. A., Teixeira, C. P., Cintra, F. T., Damasceno, Fl. M., Amorin, R. L., Padovani, C. R., & Barros, M. M. (2016). The effect of digestible protein to digestible energy ratio and choline supplementation on growth, hematological parameters, liver steatosis and size-sorting stress response in Nile tilapia under field condition. *Aquaculture*, 456, 83–93. <https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2016.02.001>
- Furuya, W. M., Botaro, D., Macedo, R. M. G. de, Santos, V. G. dos, Silva, L. C. R., Silva, T. D. C., Furuya, V. R. B., & Sales, P. J. P. (2005). Ideal Protein Concept for Dietary Protein Reduction of Juvenile Nile Tilapia (*Oreochromis niloticus*). *Rev. Bras. Zootec.*, 34(5), 1433–1441. <https://doi.org/10.1590/S1516-35982005000500002>
- Furuya, W. M., Cruz, T. P. da, & Gatlin, D. M. (2023). Amino Acid Requirements for Nile Tilapia: An Update. *Animals*, 13(5), 900. <https://doi.org/10.3390/ani13050900>
- Furuya, W. M., Michelato, M., Graciano, T. S., Vidal, L. V. O., Xavier, T. O., Furuya, V. R. B., & Moura, L. B. de. (2013). Digestible lysine requirement of Nile tilapia from 86 to 227 g fed arginine to lysine balanced diets. *Semina: Ciênc. Agrár.*, 34(4), 1945. <https://doi.org/10.5433/1679-0359.2013v34n4p1945>
- Furuya, W. M., & Furuya, V. R. B. (2010). Nutritional innovations on amino acids supplementation in Nile tilapia diets. *R. Bras. Zootec.*, 39(supl. especial), 88–94. <https://doi.org/10.1590/S1516-35982010001300010>
- Glencross, B. D., Baily, J., Berntssen, M. H. G., Hardy, R., MacKenzie, S., & Tocher, D. R. (2020). Risk assessment of the use of alternative animal and plant raw material resources in aquaculture feeds. *Rev. Aquac.*, 12(2), 703–758. <https://doi.org/10.1111/raq.12347>
- Gonçalves, G. S., Pezzato, L. E., Barros, M. M., Hisano, H., & Rosa, M. J. S. (2009). Level of digestible protein and digestible energy in diets for Nile tilapia formulated based on the concept of ideal protein. *Rev. Bras. Zootec.*, 38(12), 2289–2298. <https://doi.org/10.1590/S1516-35982009001200001>
- Green, B. W., Rawles, S. D., Schrader, K. K., Gaylord, T. G., & McEntire, M. E. (2019). Effects of dietary protein content on hybrid tilapia (*Oreochromis aureus* × *O. niloticus*) performance, common microbial off-flavor compounds, and water quality dynamics in an outdoor biofloc technology production system. *Aquaculture*, 503(September 2018), 571–582. <https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2019.01.034>
- Hussain, S. M., Bano, A. A., Ali, S., Rizwan, M., Adrees, M., Zahoor, A. F., Sarker, P. K., Hussain, M., Arsalan, M. Z. ul H., Yong, J. W. H., & Naeem, A. (2024). Substitution of

- fishmeal: Highlights of potential plant protein sources for aquaculture sustainability. *Heliyon*, 10(4), e26573. <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2024.e26573>
- Kabir, K. A., Verdegem, M. C. J., Verreth, J. A. J., Phillips, M. J., & Schrama, J. W. (2019). Effect of dietary protein to energy ratio, stocking density and feeding level on performance of Nile tilapia in pond aquaculture. *Aquaculture*, 511(June), 634200. <https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2019.06.014>
- Khan, K. U., Rodrigues, A. T., Mansano, C. F. M., Queiroz, D. M. de A., Sakomura, N. K., Romaneli, R. de S., Do Nascimento, T. M. T., & Fernandes, J. B. K. (2019). Dietary protein quality and proper protein to energy ratios: A bioeconomic approach in aquaculture feeding practices. *Lat. Am. J. Aquat. Res.*, 47(2), 232–239. <https://doi.org/10.3856/vol47-issue2-fulltext-3>
- Koch, J. F. A., Barros, M. M., Teixeira, C. P., Carvalho, P. L. P. F., Fernandes Junior, A. C., Cintra, F. T., & Pezzato, L. E. (2017). Protein-to-energy ratio of 21.43 g MJ⁻¹ improves growth performance of Nile tilapia at the final rearing stage under commercially intensive rearing conditions. *Aquac. Nutr.*, 23(3), 560–570. <https://doi.org/10.1111/anu.12423>
- Kohli, V., & Singha, S. (2024). Protein digestibility of soybean: how processing affects seed structure, protein and non-protein components. In *Discover Food* (Vol. 4, Issue 1). Springer Nature. <https://doi.org/10.1007/s44187-024-00076-w>
- Konnert, G. D. P., Gerrits, W. J. J., Gussekloo, S. W. S., & Schrama, J. W. (2022). Balancing protein and energy in Nile tilapia feeds: A meta-analysis. *Rev. Aquac.* <https://doi.org/10.1111/raq.12671>
- Li, X., Han, T., Zheng, S., & Wu, G. (2021). Nutrition and Functions of Amino Acids in Aquatic Crustaceans. In *Amino Acids in Nutrition and Health: Amino Acids in the Nutrition of Companion, Zoo and Farm Animals* (pp. 169–198). https://doi.org/10.1007/978-3-030-54462-1_9
- Liu, W., Jiang, M., Wu, J. P., Wu, F., Tian, J., Yang, C. G., & Wen, H. (2017). Dietary Protein Level Affects the Growth Performance of Large Male Genetically Improved Farmed Tilapia, *Oreochromis niloticus*, Reared in Fertilized Freshwater Cages. *J. World Aquac. Soc.*, 48(5), 718–728. <https://doi.org/10.1111/jwas.12384>
- Liu, W., Wen, H., & Luo, Z. (2018). Effect of dietary protein levels and feeding rates on the growth and health status of juvenile genetically improved farmed tilapia (*Oreochromis niloticus*). *Aquac. Int.*, 26(1), 153–167. <https://doi.org/10.1007/s10499-017-0202-6>

- Ma, M., & Hu, Q. (2024). Microalgae as feed sources and feed additives for sustainable aquaculture: Prospects and challenges. *Rev. Aquac.*, 16(2), 818–835. <https://doi.org/10.1111/raq.12869>
- Magbanua, T. O., & Ragaza, J. A. (2024). Selected dietary plant-based proteins for growth and health response of Nile tilapia *Oreochromis niloticus*. *Aquac. Fish.*, 9(1), 3–19. <https://doi.org/10.1016/j.aaf.2022.04.001>
- Matos, É. J. A., Urbinati, E. C., & Meurer, F. (2024). Farinha de folhas na nutrição de peixes/Leaf meal in fish nutrition. Atena Editora. <https://doi.org/10.22533/at.ed.603231212>
- Meurer, F., Novodworski, J., & Bombardelli, R. A. (2024). Protein requirements in Nile tilapia (*Oreochromis niloticus*) during production and reproduction phases. *Aquac. Fish.* <https://doi.org/10.1016/j.aaf.2024.03.004>
- Michelato, M., de Oliveira Vidal, L. V., Xavier, T. O., de Moura, L. B., de Almeida, F. L. A., Pedrosa, V. B., Furuya, V. R. B., & Furuya, W. M. (2016). Dietary lysine requirement to enhance muscle development and fillet yield of finishing Nile tilapia. *Aquaculture*, 457, 124–130. <https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2016.02.022>
- Moyo, N. A. G., & Rapatsa-Malatji, M. M. (2023). A review and meta-analysis of selected plant protein sources as a replacement of fishmeal in the diet of tilapias. *Ann. Anim. Sci.*, 23(3), 681–690. <https://doi.org/10.2478/aoas-2022-0084>
- Mugwanya, M., Dawood, M. A. O., Kimera, F., & Sewilam, H. (2022). Updating the Role of Probiotics, Prebiotics, and Synbiotics for Tilapia Aquaculture as Leading Candidates for Food Sustainability: a Review. *Probiotics Antimicrob. Proteins.*, 14(1), 130–157. <https://doi.org/10.1007/s12602-021-09852-x>
- Muniz Junior, J. C. B., Haidamus, S. L., Machado, N. de J. B., Dilelis, F., Brasil, R. J. M., Quaresma, D. V., & Lima, C. A. R. de. (2023). Requirement for digestible lysine in Nile tilapias (*Oreochromis niloticus*) with live weight between 500 and 600 g. *Acta Sci. Anim. Sci.*, 45, e61547. <https://doi.org/10.4025/actascianimsci.v45i1.61547>
- Nascimento, T. M. T. do, Mansano, C. F. M., Peres, H., Rodrigues, F. H. F., Khan, K. u., Romaneli, R. S., Sakomura, N. K., & Fernandes, J. B. K. (2020). Determination of the optimum dietary essential amino acid profile for growing phase of Nile tilapia by deletion method. *Aquaculture*, 523(March), 735204. <https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2020.735204>

- Nguyen, L., Dinh, Hi., & Davis, D. A. (2020). Efficacy of reduced protein diets and the effects of indispensable amino acid supplements for Nile tilapia *Oreochromis niloticus*. *Anim. Feed Sci. Technol.*, 268. <https://doi.org/10.1016/j.anifeedsci.2020.114593>
- Novodvorski, J., Matos, É. J. A., Gonçalves, R. M., Bombardelli, R. A., & Meurer, F. (2024). Protein Requirements of Fattening Nile Tilapia (*Oreochromis niloticus*) Fed Fish Meal-Free Diets. *Aquaculture Journal*, 4, 135–147. <https://doi.org/10.3390/aquacj4030010>
- NRC, N. R. C. (2011). Nutrient requirement of Fish. The National Academy Pres.
- Nunes, L. J. L., da Silva Campos, C. V. F., da Silva, S. M. B. C., Gálvez, A. O., Brito, L. O., & dos Santos, J. F. (2024). The culture of Nile tilapia (*Oreochromis niloticus*) juvenile at different culture technologies: autotrophic, bioflocs and synbiotic. *Aquaculture*, 588. <https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2024.740912>
- Oliveira, M. M., Ribeiro, T., Orlando, T. M., de Oliveira, D. G. S., Drumond, M. M., de Freitas, R. T. F., & Rosa, P. V. (2014). Effects crude protein levels on female Nile tilapia (*Oreochromis niloticus*) reproductive performance parameters. *Anim. Reprod. Sci.*, 150(1–2), 62–69. <https://doi.org/10.1016/j.anireprosci.2014.08.006>
- Peres, H., Freitas, J. M. A., Carvalho, P. L. P., Furuya, W. M., Satori, M. M. P., Oliva-Teles, A., Pezzato, L. E., & Barros, M. M. (2022). Growth performance and metabolic responses of Nile tilapia fed diets with different protein to energy ratios. *Aquaculture*, 547(April 2021), 737493. <https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2021.737493>
- Peres, H., & Oliva, A. (2017). Protein and amino acid nutrition of marine fish species. In L. E. , Cruz-Suárez, D. Ricque-Marie, M. Tapia-Salazar, M. G. Nieto-López, D. A. Villarreal-Cavazos, J. Gamboa-Delgado, L. M. López Acuña, & M. Galaviz-Espinoza (Eds.), *Res. Dev. Aquac. Nutr.* (pp. 438–492). <https://nutricionacuicola.uanl.mx/index.php/acu/article/view/25/25>
- Pezzato, L. E., Miranda, E. C. de, Barros, M. M., Pinto, L. G. Q., Furuya, W. M., & Pezzato, A. C. (2002). Digestibilidade Aparente de Ingredientes pela Tilápia do Nilo (*Oreochromis niloticus*). *Rev. Bras. Zootec.*, 31(4), 1595–1604. <https://doi.org/10.1590/S1516-35982002000700001>
- Prabu, E., Felix, N., & Uma, A. (2021a). Dietary arginine requirement in diets of GIFT strain of Nile tilapia, (*Oreochromis niloticus*): Effects on growth performance, whole-body composition, growth-related gene expression and haemato-biochemical responses. *Aquaculture Research*, 52(10), 4816–4828. <https://doi.org/10.1111/are.15315>

- Prabu, E., Felix, N., & Uma, A. (2021b). Optimizing amino acid balance in fish meal-free diets for GIFT strain of Nile tilapia (*Oreochromis niloticus*) by deletion method. *Aquaculture Nutrition*, 27(4), 1031–1041. <https://doi.org/10.1111/anu.13244>
- Prabu, E., Felix, N., Uma, A., Ahilan, B., & Antony, C. (2020). Metabolic responses of juvenile GIFT strain of Nile tilapia (*Oreochromis niloticus*) to dietary L-tryptophan supplementation. *Aquac. Nutr.*, 26(5), 1713–1723. <https://doi.org/10.1111/anu.13122>
- Prabu, E., Felix, N., Uma, A., & Praveenraj, J. (2020). Effects of dietary L-lysine supplementation on growth, body composition and muscle-growth-related gene expression with an estimation of lysine requirement of GIFT tilapia. *Aquac. Nutr.*, 26(2), 568–578. <https://doi.org/10.1111/anu.13018>
- R Core Team. (2023). *_R: A Language and Environment for Statistical Computing_* (R version 4.3.1 (2023-06-16 ucrt)). R Foundation for Statistical Computing. <https://www.R-project.org/>
- Ragab, S., Hoseinifar, S. H., Doan, H. V., & El-Haroun, E. (2024). Evaluation of Distillers Dried Grains With Solubles in Aquafeeds – A Review. *Ann. Anim. Sci.*, 24(1), 65–75. <https://doi.org/10.2478/aoas-2023-0051>
- Ramakrishnan, G. S., Pradhan, C., Singh, A. K., Das, S., Pillai, D., & Mohanta, K. N. (2023). Effect of alpha-ketoglutarate supplementation on growth, antioxidant capacity, gene expression and amino acid profile in Nile tilapia (*Oreochromis niloticus*) under varying protein diets. *Anim. Feed Sci. Technol.*, 306, 115808. <https://doi.org/10.1016/j.anifeedsci.2023.115808>
- Righetti, J. S., Furuya, W. M., Conejero, C. I., Graciano, T. S., Vidal, L. V. O., & Michellato, M. (2011). Protein reduction in diets for Nile tilapia by amino acids supplementation based on the ideal protein concept. *Rev. Bras. Zootec.*, 40(3), 469–476. <https://doi.org/10.1590/S1516-35982011000300002>
- Rostagno, H. S., Albino, L. F. T., Hannas, M. I., Donzele, J. L., Sakomura, N. K., Perazzo, F. G., Saraiva, A., Teixeira, M. L., Rodrigues, P. B., de Oliveira, R. F., Barreto, S. L. T., & Brito, C. O. (2017). *Brazilian tables for poultry and swine: composition of feedstuffs and nutritional requirements (4th ed.)*. Viçosa, MG: Departamento de Zootecnia, Universidade Federal de Viçosa. ISBN: 978-85-8179-120-3.
- Santos, W. M., Costa, L. S., López-Olmeda, J. F., Costa, N. C. S., Santos, F. A. C., Oliveira, C. G., Guilherme, H. O., Bahiense, R. N., Luz, R. K., & Ribeiro, P. A. P. (2020). Dietary protein modulates digestive enzyme activities and gene expression in red tilapia juveniles. *Animal*, 14(9), 1802–1810. <https://doi.org/10.1017/S1751731120000543>

- Schrama, J. W., Haidar, M. N., Geurden, I., Heinsbroek, L. T. N., & Kaushik, S. J. (2018). Energy efficiency of digestible protein, fat and carbohydrate utilisation for growth in rainbow trout and Nile tilapia. *Br. J. Nutr.*, 119(7), 782–791. <https://doi.org/10.1017/S0007114518000259>
- Stockhausen, L., Vilvert, M. P., Silva, M. da, Dartora, A., Krainz, r., Ferreira, G. B., Silva, L. R. da, & Jatobá, A. (2022). Practical diet with total replacement of fishmeal by soybean meal for Nile tilapia: growth performance and health effects. *Ciênc. Anim. Bras.*, 23. <https://doi.org/10.1590/1809-6891v22e-71567p>
- Tacon, A. G. J., & Metian, M. (2015). Feed matters: Satisfying the feed demand of aquaculture. *Rev. Fish. Sci. Aquac.*, 23(1), 1–10. <https://doi.org/10.1080/23308249.2014.987209>
- Teodósio, R., Engrola, S., Colen, R., Masagounder, K., & Aragão, C. (2020). Optimizing diets to decrease environmental impact of Nile tilapia (*Oreochromis niloticus*) production. *Aquac. Nutr.*, 26(2), 422–431. <https://doi.org/10.1111/anu.13004>
- Tesfaye, G., Curto, M., Meulenbroek, P., Englmaier, G. K., Tibihika, P. D., Alemayehu, E., Getahun, A., & Meimberg, H. (2021). Genetic diversity of Nile tilapia (*Oreochromis niloticus*) populations in Ethiopia: insights from nuclear DNA microsatellites and implications for conservation. *BMC Ecol. Evol.*, 21(1). <https://doi.org/10.1186/s12862-021-01829-2>
- Thirunavukkarasar, R., Kumar, P., Sardar, P., Sahu, N. P., Harikrishna, V., Singha, K. P., Shamna, N., Jacob, J., & Krishna, G. (2022). Protein-sparing effect of dietary lipid: Changes in growth, nutrient utilization, digestion and IGF-I and IGFBP-I expression of Genetically Improved Farmed Tilapia (GIFT), reared in Inland Ground Saline Water. *Anim. Feed Sci. Technol.*, 284(January 2021), 115150. <https://doi.org/10.1016/j.anifeedsci.2021.115150>
- Wang, Q., Xu, Z., & Ai, Q. (2021). Arginine metabolism and its functions in growth, nutrient utilization, and immunonutrition of fish. *Anim. Nutr.*, 7(3), 716–727. <https://doi.org/10.1016/j.aninu.2021.03.006>
- Wilson, R. P. (2002). Amino acids and proteins. In J. E. Halver & R. W. Hardy (Eds.), *Fish Nutrition, Third Edition* Academic Press (pp. 144–175).
- Xing, S., Liang, X., Zhang, X., Oliva-Teles, A., Peres, H., Li, M., Wang, H., Mai, K., Kaushik, S. J., & Xue, M. (2024). Essential amino acid requirements of fish and crustaceans, a meta-analysis. *Rev. Aquac.*, 16(3), 1069–1086. <https://doi.org/10.1111/raq.12886>

- Yimer, A., & Tadesse, Z. (2022). Protein digestibility status of locally available feed ingredients fed to Nile tilapia (*Oreochromis niloticus*) in the hatchery, Sebeta, Ethiopia. *Afr. J. Agric. Res.*, 18(1), 45–51. <https://doi.org/10.5897/AJAR2020.14931>
- Youssef, S., Salem, S. M. R., Mahmoud, R. E., & Mohamed, T. I. (2023). Effect of protein reduction with indispensable amino acid supplementation at different levels in practical diets of Nile tilapia (*Oreochromis niloticus*) fish. *Mansoura Vet. Med. J.*, 0(0), 0–0. <https://doi.org/10.21608/mvmj.2023.164547.1122>
- Yu, Y., & Fukagawa, N. K. (2020). Protein and amino acids. In *Present Knowledge in Nutrition* (pp. 15–35). Elsevier. <https://doi.org/10.1016/B978-0-323-66162-1.00002-0>
- Zeng, N., Jiang, M., Wen, H., Liu, W., Wu, F., Tian, J., Yu, L., Lu, X., & Guo, Z. (2021). Effects of water temperatures and dietary protein levels on growth, body composition and blood biochemistry of juvenile GIFT tilapia (*Oreochromis niloticus*). *Aquac. Nutr.*, 27(1), 240–251. <https://doi.org/10.1111/anu.13181>
- Zeng, X., Zhang, X., Chen, B., Gao, L., Liu, S., Wu, F., & Pan, Q. (2021). Dietary four different woody forages differentially affect the growth, feed utilization, apparent digestibility, intestinal morphology and microbiota composition in Nile tilapia (*Oreochromis niloticus*). *Aquac. Rep.*, 21(June), 100786. <https://doi.org/10.1016/j.aqrep.2021.100786>