

RESSALVA

Atendendo solicitação da autora, o texto completo desta dissertação será disponibilizado somente a partir de 23/02/2028.

**UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA (UNESP)
FACULDADE DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS E TECNOLÓGICAS
CAMPUS DE DRACENA**

Ana Camila Franchini

Médica Veterinária

**EFEITOS METABÓLICOS DA INCLUSÃO DA BIOMASSA DE
HAEMATOCOCCUS PLUVIALIS EM DIETAS COM ALTO
TEOR DE CARBOIDRATOS EM JUVENIS DE TILÁPIA-DO-
NILO (*OREOCHROMIS NILOTICUS*)**

Dracena

2026

UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA (UNESP)
FACULDADE DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS E TECNOLÓGICAS
CAMPUS DE DRACENA

Ana Camila Franchini

Médica Veterinária

**EFEITOS METABÓLICOS DA INCLUSÃO DA
BIOMASSA DE *HAEMATOCOCCUS PLUVIALIS* EM
DIETAS COM ALTO TEOR DE CARBOIDRATOS
EM JUVENIS DE TILÁPIA-DO-NILO
(*OREOCHROMIS NILOTICUS*)**

Dissertação apresentada à Faculdade de Ciências Agrárias e Tecnológicas – Unesp, Câmpus de Dracena como parte das exigências para obtenção do título de Mestre em Ciência e Tecnologia Animal.

Orientador: Prof. Dr. Leonardo Susumu Takahashi
Coorientadora: Prof.^a Dr^a. Mayara Galatti Tedesque

Dracena
2026

FICHA CATALOGRÁFICA
Desenvolvida pela Diretoria Técnica de Biblioteca e Documentação
Campus de Dracena

F816e

Franchini, Ana Camila

Efeitos metabólicos da inclusão da biomassa de *Haematococcus pluvialis* em dietas com alto teor de carboidratos em juvenis de tilápia-do-Nilo (*Oreochromis niloticus*) [recurso eletrônico] / Ana Camila Franchini. -- Dracena: [s.n.], 2026.

68 f. ; PDF.

Recurso educacional derivado de dissertação em Ciência e Tecnologia Animal - Universidade Estadual Paulista (Unesp), Faculdade de Ciências Agrárias e Tecnológicas, Dracena. Orientada por Leonardo Susumu Takahashi e coorientada por Mayara Galatti Tedesque. Área do conhecimento: Produção Animal, 2026.

1. Microalgas. 2. Sustentabilidade. 3. Metabolismo energético. I. Título.

Bibliotecário Fábio S. Rosas
CRB 8/6665

IMPACTO ESPERADO NA SOCIEDADE

O trabalho promove dietas sustentáveis na aquicultura ao utilizar *Haematococcus pluviialis* como fonte natural de astaxantina. Contribui para a qualidade do pescado, redução de custos e desenvolvimento de biotecnologias limpas, alinhando-se aos ODS 2, 9 e 12 da ONU.

CERTIFICADO DE APROVAÇÃO

TÍTULO DA DISSERTAÇÃO: Efeitos metabólicos da inclusão da biomassa de *Haematococcus pluvialis* em dietas com alto teor de carboidratos em juvenis de tilápia do Nilo (*Oreochromis niloticus*)

AUTORA: ANA CAMILA FRANCHINI

ORIENTADOR: LEONARDO SUSUMU TAKAHASHI

COORDENADORA: MAYARA GALATTI TEDESQUE

Aprovada como parte das exigências para obtenção do Título de Mestra em Ciências ,
pela Comissão Examinadora:

Documento assinado digitalmente
 **LEONARDO SUSUMU TAKAHASHI**
Data: 25/02/2026 17:32:25-0300
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Prof. Assoc. LEONARDO SUSUMU TAKAHASHI (Participação Presencial)
Departamento de Produção Animal / Unesp - FCAT - Câmpus de Dracena

Documento assinado digitalmente
 **CARLOS AUGUSTO PRATA GAONA**
Data: 25/02/2026 17:14:28-0300
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Prof. Dr. CARLOS AUGUSTO PRATA GAONA (Participação Virtual)
Departamento de Recursos Pesqueiros e Aquicultura / UNESP / Câmpus de Registro - FCAVR

Documento assinado digitalmente
 **YLLANA FERREIRA MARINHO**
Data: 24/02/2026 17:21:43-0300
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Profa. Dra. YLLANA FERREIRA MARINHO (Participação Virtual)
Coordenação de Engenharia de Pesca / Universidade Federal do Maranhão - UFMA

Dracena, 23 de fevereiro de 2026.

DADOS CURRICULARES DO AUTOR

Ana Camila Franchini, nascida em 25 de abril de 2000, na cidade de Votuporanga/SP. Graduou-se em Medicina Veterinária pela Universidade Brasil, campus Fernandópolis/SP, onde realizou estágios supervisionados em clínica de pequenos animais e em frigorífico de pescado no controle de qualidade, consolidando sua formação nas áreas de inspeção e sanidade de produtos de origem animal. Após a conclusão da graduação, atuou no setor de controle de qualidade de uma indústria de processamento de pescado e, posteriormente, em uma piscicultura localizada no município de Turvânia, interior do estado de Goiás. Atualmente é aluna do programa de pós-graduação Ciência e Tecnologia Animal (FCAT/UNESP), desenvolvendo pesquisa na área de nutrição e metabolismo de peixes.

DEDICATÓRIA

À minha avó Neide (*in memoriam*), por ter me ensinado a amar e respeitar todos os seres, principalmente os animais “não amáveis”.

AGRADECIMENTOS

A Deus e à espiritualidade, por guiarem e fortalecerem meus caminhos em todas as jornadas da minha vida. Aos meus pais, Camila e Ricardo, que nunca mediram esforços para me ver feliz e sempre lutaram junto comigo, devo tudo a vocês. Aos meus avós, Lúcia Motta e Amélio Favaro, que mesmo com a saudade rasgando o peito, sempre me incentivaram a ir mais longe, o amor de vocês me motiva todos os dias.

Às minhas amigas Rhaíra, Lígia, Gabriela e Thaise, que estiveram comigo nos meus piores dias, obrigada por cada palavra, abraço e presença sincera. Às minhas amigas, Maria Agostinho e Tânia, que mesmo à distância, sempre se fez presente e me incentivou desde o início, seu apoio foi essencial em todas as minhas escolhas. O amor da amizade realmente cura.

Ao pessoal do Laboratório de Produção de Plâncton, Douglas, Giovana e Anne, minha sincera gratidão por estarem comigo nos momentos de incerteza, por me ouvirem e me incentivarem sempre que pensei em desistir. Aos meus amigos do Laboratório de Nutrição e Metabolismo Animal (LANUMA), Affonso, Hugo, João Pedro e César Augusto pelo apoio, amizade e ajuda constante. Ter vocês ao meu lado nesta jornada foram fundamentais

Aos colegas do Laboratório de Tilapicultura, Thaisa, Maria Karoline e Luiz, expresso minha profunda gratidão pelo apoio, pela parceria e pela amizade durante os dias de trabalho. Agradeço de coração a cada integrante do Grupo de Aquicultura da UNESP de Dracena (GAUD) vocês foram parte essencial desta trajetória.

Em especial, a minha coorientadora Mayara, por ser muito mais que uma orientadora: uma amiga, inspiração e apoio constante. Obrigada por acreditar em mim quando até eu duvidava. Sua presença, paciência e generosidade fizeram toda diferença, você me salvou.

Ao meu orientador, Prof. Dr. Leonardo Susumu Takahashi, pela orientação, confiança, dedicação, paciência e compreensão em todas as etapas do mestrado. Sua confiança foi um incentivo essencial para o meu crescimento acadêmico e pessoal.

Por fim, agradeço a todos os técnicos e funcionários da Faculdade de Ciências Agrárias e Tecnológicas da UNESP – FCAT, campus de Dracena, pelo apoio e pela colaboração ao longo desta jornada.

Ao Programa de Mestrado e Doutorado Acadêmico para Inovação - MAI/DAI - Modalidade Mestrado (GM), junto à Plataforma do CNPq (Processo 132087/2025-1). O presente trabalho foi realizado com apoio da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior - Brasil (CAPES) - Código de Financiamento 001

“Depois do medo, vem o mundo.” (Clarice Lispector).

CERTIFICADO DA COMISSÃO DE ÉTICA NO USO DE ANIMAIS (CEUA)



UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA
"JÚLIO DE MESQUITA FILHO"
Câmpus de Dracena



Comissão de Ética no Uso de Animais

Certificado

Certificamos que a proposta intitulada "Efeitos metabólicos da inclusão da biomassa de *Haematococcus pluvialis* em dietas com alto teor de carboidratos em juvenis de tilápia do Nilo (*Oreochromis niloticus*)", registrada com o nº 06/2025.R1 – CEUA, sob a responsabilidade do(a) Prof(a). Dr.(a) Leonardo Susumu Takahashi – que envolve a produção, manutenção ou utilização de animais pertencentes ao filo Chordata, subfilo Vertebrata (exceto humanos), para fins de **pesquisa científica** – encontra-se de acordo com os preceitos da Lei nº 11.794, de 8 de outubro de 2008, do Decreto nº 6.899, de 15 de julho de 2009, e com as normas editadas pelo Conselho Nacional de Controle de Experimentação Animal (CONCEA), e foi aprovada pela COMISSÃO DE ÉTICA NO USO DE ANIMAIS – CEUA da Faculdade de Ciências Agrárias e Tecnológicas da UNESP - Câmpus de Dracena, em **30/07/2025**.

Dracena, 30 de julho de 2025.



Prof. Dr. Murillo Ceola Stefano Pereira
Presidente da Comissão de Ética no Uso de Animais

RESUMO

A tilápia-do-Nilo (*Oreochromis niloticus*) é uma espécie amplamente produzida devido ao seu rápido crescimento e carne com alto valor nutricional. Nesse contexto, a demanda por estratégias sustentáveis tem impulsionado o uso de ingredientes funcionais e alternativos nas dietas. As microalgas apresentam potenciais por serem fontes de nutrientes e compostos bioativos, incluindo pigmentos naturais. A *Haematococcus pluvialis* destaca-se por ser uma rica fonte de astaxantina, um carotenoide rico em propriedades antioxidantes e imunomoduladores que contribuem para o desempenho, metabolismo e qualidade do filé. Este estudo avaliou os efeitos de diferentes níveis de carboidratos e da inclusão de astaxantina proveniente da biomassa de *H. pluvialis* em dietas de tilápia. O experimento foi conduzido em delineamento fatorial 2×3 , com dois níveis de carboidratos (270 e 620 g kg⁻¹ de amido) e três níveis de inclusão de astaxantina proveniente da biomassa de *H. pluvialis* (0, 60 e 120 mg kg⁻¹), com quatro repetições por tratamento. Foram avaliadas desempenho zootécnico, metabólitos sanguíneos, reservas energéticas teciduais, atividade hepática de enzimas metabólicas e parâmetros de qualidade do filé. Observou-se interação entre os níveis de carboidratos e a inclusão com *H. pluvialis* para variáveis de desempenho. Peixes alimentados com dietas de maior teor de carboidratos apresentaram maiores valores de peso final e ganho de peso. A inclusão de 120 mg kg⁻¹ da biomassa esteve associada à conversão alimentar e maior eficiência no uso da energia dietética. Os metabólitos sanguíneos indicaram manutenção da homeostase glicêmica, enquanto o aumento do glicogênio hepático e a modulação da atividade de enzimas glicolíticas sugerem ajustes no metabolismo energético. Não foram observados sinais de estímulo excessivo da lipogênese ou alterações indicativas de comprometimento hepático. A qualidade do filé, incluindo pH e parâmetros instrumentais de cor, não foi influenciada pela inclusão, indicando que os níveis de carotenoides avaliados não foram suficientes para promover alteração de coloração muscular.

Palavras-chave: Microalgas. Sustentabilidade. Metabolismo energético.

ABSTRACT

Nile tilapia (*Oreochromis niloticus*) is a widely farmed species due to its rapid growth and high nutritional value of its flesh. In this context, the demand for sustainable strategies has driven the use of functional and alternative ingredients in aquafeeds. Microalgae show great potential as sources of nutrients and bioactive compounds, including natural pigments. *Haematococcus pluvialis* stands out as a rich source of astaxanthin, a carotenoid with antioxidant and immunomodulatory properties that contribute to growth performance, metabolism, and fillet quality. This study evaluated the effects of different dietary carbohydrate levels and astaxanthin supplementation derived from *H. pluvialis* biomass in diets for Nile tilapia. The experiment was conducted in a 2×3 factorial design, with two carbohydrate levels (270 and 620 g kg⁻¹ of starch) and three inclusion levels of astaxanthin from *H. pluvialis* biomass (0, 60, and 120 mg kg⁻¹), with four replicates per treatment. Growth performance, blood metabolites, tissue energy reserves, hepatic activity of metabolic enzymes, and fillet quality parameters were evaluated. An interaction between carbohydrate levels and *H. pluvialis* supplementation was observed for growth performance variables. Fish fed diets with higher carbohydrate content showed greater final weight and weight gain. The inclusion of 120 mg kg⁻¹ of biomass was associated with improved feed conversion ratio and greater efficiency in dietary energy utilization. Blood metabolites indicated maintenance of glycemic homeostasis, while increased hepatic glycogen content and modulation of glycolytic enzyme activity suggest adjustments in energy metabolism. No evidence of excessive stimulation of lipogenesis or indicators of hepatic impairment were observed. Fillet quality, including pH and instrumental color parameters, was not affected by supplementation, indicating that the evaluated carotenoid levels were insufficient to promote changes in muscle coloration.

Keywords: Microalga. Sustainability. Metabolism.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Ciclo de vida e biologia celular da microalga.....	22
Figura 2. Cultivo vegetativo de <i>H. pluvialis</i>	27
Figura 3. Cultivo da microalga após o período de estresse e processo de desnatação.....	27
Figura 4. Quantificação de astaxantina.	28
Figura 5. Tratamentos experimentais.	28
Figura 6. Gráfico de crescimento de <i>H. pluvialis</i> cultivada em WC no período vegetativo e no período de estresse.	36
Figura 7. Diferenças na fisiologia da microalga entre a fase vegetativa.	37
Figura 8. Diferenças na fisiologia da microalga sob condições de estresse.....	37
Figura 9. Ganho de peso (g) de juvenis de tilápia-do-Nilo alimentados com dietas contendo diferentes níveis de carboidratos e <i>H. pluvialis</i>	40
Figura 10. Concentração de triglicerídeos séricos em juvenis de tilápia do Nilo alimentados com diferentes níveis de <i>H. pluvialis</i> e carboidratos.	42
Figura 11. Concentração de albumina sérica em juvenis de tilápia do Nilo alimentados com diferentes níveis de <i>H. pluvialis</i> e carboidratos.	42
Figura 12. Glicogênio hepático em juvenis de tilápia-do-Nilo alimentados com diferentes níveis de <i>H. pluvialis</i> e carboidratos.	44
Figura 13. Índice hepatossomático (IHS) em juvenis de tilápia-do-Nilo alimentados com diferentes níveis de <i>H. pluvialis</i> e carboidratos.....	44
Figura 14. Atividade da enzima málica (ME) no fígado de juvenis de tilápia-do-Nilo alimentados com diferentes níveis de <i>H. pluvialis</i> e carboidratos.	47
Figura 15. Atividade da frutose-1,6-bisfosfatase (FBP) no fígado de juvenis de tilápia-do-Nilo alimentados com diferentes níveis de <i>H. pluvialis</i> e carboidratos.....	48

LISTA DE TABELAS

Tabela 1. Composição nutricional do meio de cultura WC.....**Error! Bookmark not defined.**

Tabela 2. Concentração das soluções para a preparação do meio. **Error! Bookmark not defined.**

Tabela 3. Formulação das dietas experimentais.....30

Tabela 4. Indicadores de qualidade de água.32

Tabela 5. Composições analisadas.38

Tabela 6. Desempenho zootécnico de juvenis de tilápia alimentados com dietas contendo diferentes níveis de carboidratos (CHO) e inclusão de *H. pluvialis*.**Error! Bookmark not defined.**

Tabela 7. Metabólitos sanguíneos de juvenis de tilápia-do-Nilo alimentados com diferentes níveis de *H. pluvialis* (*H. PLUVIALIS*) e carboidratos (CHO) na dieta.41

Tabela 8. Glicogênio hepático, índice hepatossomático (IHS) e índice de gordura visceral somático (IGVS) de juvenis de tilápia alimentados com dietas contendo diferentes níveis de carboidratos (CHO) e inclusão de *H. pluvialis*.43

Tabela 9. Atividades de enzimas metabólicas hepáticas de juvenis de tilápia alimentados com dietas contendo diferentes níveis de carboidratos e inclusão de *H. pluvialis*.....46

Tabela 10. pH e parâmetros de cor do filé de juvenis de tilápia alimentados com dietas contendo diferentes níveis de carboidratos e inclusão de *H. pluvialis*.49

LISTAS DE ABREVIATURAS E SIGLAS

AMSA – American Meat Science Association

AOAC – Association of Official Analytical Chemists

ALT – Alanina Aminotransferase

AST – Aspartato Aminotransferase

BVT – Bases Voláteis Totais

CA – Conversão Alimentar

CAUNESP – Centro de Aquicultura da Universidade Estadual Paulista

CHO – Carboidrato

CHO-H – Dieta com alto nível de carboidrato (High carbohydrate)

CHO-L – Dieta com baixo nível de carboidrato (Low carbohydrate)

CO₂ – Dióxido de Carbono

CT – Comprimento Total

DMSO – Dimetilsulfóxido

EE – Extrato Etéreo

ED – Energia Digestível

EPM – Erro Padrão da Média

FAO – Food and Agriculture Organization of the United Nations

FAS – Ácido Graxo Sintetase (Fatty Acid Synthase)

G6PDH – Glicose-6-Fosfato Desidrogenase

GP – Ganho de Peso

H* – Ângulo de tonalidade (Hue angle)

H. PLUVIALIS – *Haematococcus pluvialis*

HK – Hexoquinase

IHS – Índice Hepatossomático

IGVS – Índice Gorduro-Viscerossomático

LL – Baixa Intensidade de Luz (*Low Light*)

MA – Massa Atômica

ME – Enzima Málica (*Malic Enzyme*)

ML – Média Intensidade de Luz (*Medium Light*)

MM – Matéria Mineral

MDA – Malonaldeído

MS – Matéria Seca

NNP – Nitrogênio Não Proteico

OD – Oxigênio Dissolvido

ODS – Objetivos de Desenvolvimento Sustentável

O/M – Relação Oximioglobina/Metamioglobina

PB – Proteína Bruta

PF – Peso Final

PK – Piruvato Quinase

pH – Potencial Hidrogeniônico

RPM – Rotações Por Minuto

TCE – Taxa de Crescimento Específico

TEP – Tetraetoxipropano

TEP (%) – Taxa de Eficiência Proteica

TRIS – Tris (Hidroximetil) Aminometano

UI – Unidade Internacional

WC – *Water Culture* (meio de cultura para microalgas)

Zn – Zinco

LISTA DE SÍMBOLOS

% – Porcentagem

°C – Grau Celsius

μL – Microlitro

μmol – Micromol

β – Beta

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	15
2 OBJETIVOS	18
2.1 Objetivo Geral	18
2.1.2 Objetivos específicos.....	18
3 REVISÃO DE LITERATURA	19
3.1 Produção de Pescado	19
3.2 Microalgas na Piscicultura.....	20
3.3 <i>Haematococcus pluvialis</i>	21
3.4 Carboidratos na Nutrição de Peixes	23
4 MATERIAL E MÉTODOS	26
4.1 Produção da Microalga <i>Haematococcus pluvialis</i>	26
4.2 Caracterização da Biomassa de <i>H. pluvialis</i>	27
4.3 Dietas Experimentais.....	29
4.4 Instalações	31
4.5 Desempenho Produtivo	32
4.6 Metabólitos Sanguíneos.....	33
4.7 Reservas Energéticas Teciduais	33
4.8 Atividade Hepática De Enzimas-Chave Das Vias Metabólicas	33
4.9 Qualidade de Filé: Análises Físico-Químicas	34
4.9.1 Cor.....	34
4.9.2 Potencial hidrogeniônico (pH)	35
4.10 Análise Estatística	35
5. RESULTADOS	36
5.1 Produção e Caracterização da Biomassa de <i>H. pluvialis</i>	36

5.2 Desempenho Zootécnico.....	38
5.3 Metabólitos Sanguíneos	40
5.4 Reservas Energéticas Teciduais	43
5.5 Atividade Hepática de Enzimas-Chave das Vias Metabólicas.....	45
5.6 Qualidade De Filé: Análises Físico-Químicas	48
6 DISCUSSÃO	51
6.1 Cultivo Da Microalga	51
6.2 Desempenho Zootécnico.....	53
6.3 Respostas Fisiológicas.....	53
6.4 Qualidade de Filé	57
7 CONCLUSÃO.....	58
REFERÊNCIAS	60

1 INTRODUÇÃO

A tilápia destaca-se como uma das espécies de peixe mais consumidas no mundo devido ao seu rápido crescimento, elevada capacidade de adaptação e carne de alto valor nutricional. O filé de tilápia é altamente valorizado pelos consumidores, principalmente por suas propriedades nutricionais, alto conteúdo proteico e baixo teor de gordura (FAO, 2024). Nesse contexto, a utilização de aditivos alimentares surge como uma estratégia eficiente para aprimorar a qualidade dos produtos derivados da piscicultura. Aditivos contendo ácidos graxos, antioxidantes, probióticos e pigmentos naturais vêm sendo incorporados às dietas de peixes com o objetivo de melhorar características sensoriais e nutricionais dos filés, contribuindo também para maior estabilidade oxidativa e aumento da vida útil desses produtos (Hossain *et al.*, 2024).

Na piscicultura, a proteína constitui o principal componente de custo na formulação de dietas comerciais para peixes. Apesar de ser o nutriente mais importante para o crescimento e desenvolvimento dos animais, sua elevada participação na formulação das rações impacta diretamente o custo de produção. Diante desse desafio, diversos estudos têm buscado estratégias nutricionais que permitam otimizar a utilização de nutrientes nas dietas, promovendo crescimento eficiente e manutenção da saúde dos peixes, ao mesmo tempo em que reduzem os custos de produção (Azaza, 2020).

Nesse contexto, a nutrição de tilápias tem sido amplamente estudada com o objetivo de desenvolver dietas que maximizem o crescimento e a qualidade do produto final sem elevar significativamente os custos de produção. Estudos recentes têm investigado a inclusão de carboidratos como alternativa para reduzir o teor de proteína nas dietas, explorando seu efeito poupador de proteínas (Zhou *et al.*, 2021). Quando utilizada de forma adequada, essa estratégia permite a substituição parcial da proteína dietética, contribuindo para maior eficiência no uso dos nutrientes e redução do impacto ambiental associado à produção de ingredientes proteicos.

Entretanto, apesar da capacidade da tilápia em utilizar carboidratos na dieta, níveis elevados desse nutriente podem provocar alterações metabólicas importantes. Entre essas alterações destacam-se o aumento da deposição de glicogênio hepático, modificações na atividade de enzimas relacionadas ao metabolismo energético e alterações na homeostase fisiológica dos peixes (Hemre *et al.*, 2002; NRC, 2011). Essas respostas refletem a capacidade do organismo em redirecionar o destino

metabólico da glicose, podendo resultar em sobrecarga hepática e alterações no metabolismo intermediário (Polakof *et al.*, 2012). Nesse contexto, indicadores como o glicogênio hepático, a atividade de enzimas metabólicas e o índice hepatossomático tornam-se ferramentas importantes para compreender como os peixes utilizam e armazenam carboidratos em diferentes condições nutricionais.

Além disso, alterações no metabolismo energético podem repercutir diretamente na condição fisiológica dos peixes, influenciando respostas imunológicas e características do produto final. Estudos demonstram que dietas com diferentes proporções de macronutrientes podem afetar parâmetros imunológicos, respostas antioxidantes e a qualidade físico-química do filé, refletindo o estado metabólico dos animais (Li *et al.*, 2014; Youssef *et al.*, 2023).

Paralelamente ao avanço da piscicultura, outra área da aquicultura que tem recebido grande atenção científica é a produção de microalgas. As microalgas representam fontes promissoras de compostos bioativos, apresentando proteínas, lipídios, aminoácidos essenciais, ácidos graxos poli-insaturados, pigmentos naturais e compostos antioxidantes (Negappan *et al.*, 2021). Diversas espécies de microalgas apresentam compostos bioativos capazes de exercer funções antioxidantes, imunomoduladoras e reguladoras do metabolismo.

Entre essas espécies, destacam-se *Dunaliella salina* e *Haematococcus pluvialis*, reconhecidas por serem importantes fontes naturais de carotenoides. A espécie *D. salina* apresenta elevada concentração de β -caroteno, enquanto *H. pluvialis* é considerada uma das principais fontes naturais de astaxantina, um carotenoide amplamente estudado por suas propriedades antioxidantes e potenciais efeitos moduladores sobre o metabolismo e o sistema imunológico (Derner *et al.*, 2006; Sen Roy *et al.*, 2015; Ambati *et al.*, 2014).

Nesse contexto, cresce o interesse pelo uso de ingredientes alternativos que possam agregar funcionalidade às dietas sem comprometer a qualidade visual do filé. Estudos demonstraram que dietas suplementadas com *H. pluvialis* podem promover melhorias no desempenho produtivo, na capacidade antioxidante e na resposta imunológica dos peixes. Li *et al.* (2014), por exemplo, observaram que a inclusão dessa microalga resultou em maior ganho de peso, aumento da atividade de lisozima e do sistema complemento em *Pseudosciaena crocea*, sem efeitos negativos sobre a composição corporal ou aparência externa dos animais.

Além disso, a suplementação com astaxantina tem sido associada a melhorias na qualidade microbiológica e físico-química do filé de tilápia. Aracati *et al.* (2022) demonstraram que a inclusão de astaxantina em níveis de 100 a 200 mg/kg na dieta promoveu maior estabilidade oxidativa e prolongamento da vida útil do filé, sem comprometer sua aparência visual.

Dessa forma, compostos bioativos com propriedades antioxidantes e moduladoras do metabolismo têm despertado crescente interesse na nutrição de peixes. A biomassa de *Haematococcus pluvialis*, rica em astaxantina e outros compostos bioativos, apresenta potencial para atuar na neutralização de espécies reativas de oxigênio e na modulação de processos metabólicos e imunológicos, contribuindo para a manutenção da homeostase fisiológica dos organismos aquáticos (Ambati *et al.*, 2014; Hussein *et al.*, 2006).

Nesse sentido, levanta-se a hipótese de que a inclusão da biomassa de *H. pluvialis* em dietas com elevado teor de carboidratos seja capaz de modular alterações metabólicas induzidas por esse nutriente, promovendo melhor utilização energética, equilíbrio fisiológico e manutenção da qualidade do produto final.

Assim, o presente estudo teve como objetivo avaliar os efeitos da inclusão da biomassa de *Haematococcus pluvialis* em dietas com alto teor de carboidratos sobre o desempenho produtivo, metabolismo energético, respostas imunológicas e qualidade do filé de juvenis de tilápia-do-Nilo (*Oreochromis niloticus*).

7 CONCLUSÃO

Dietas com alto teor de carboidratos favoreceram o desempenho zootécnico de juvenis de tilápia-do-Nilo. A inclusão da biomassa de *H. pluvialis* promoveu efeitos positivos sobre variáveis de crescimento, especialmente no nível de 120 mg kg⁻¹ de

H. pluvialis, e esteve associada à modulação de indicadores do metabolismo energético, como reservas de glicogênio hepático e atividades enzimáticas relacionadas ao metabolismo de carboidratos. Os parâmetros físico-químicos de qualidade do filé, incluindo cor e pH, não foram influenciados pela inclusão, indicando que, nas doses avaliadas, a biomassa não promoveu alterações na coloração do filé.

REFERÊNCIAS

- ALIYU-PAIKO, M.; HASHIM, R.; SHU-CHIEN, A. C. Influence of dietary lipid/protein ratio on survival, growth, body indices and digestive lipase activity in snakehead (*Channa striatus*, Bloch 1793) fry reared in recirculating water system. **Aquaculture Nutrition**, Oxford, v. 16, p. 466–474, 2010. DOI 10.1111/j.1365-2095.2009.00683.x.
- AMADOU, L. M.; TIDIANE, B. C. Effect of dietary lipid level on growth, feed utilization and body composition by Nile perch juveniles (*Lates niloticus*). **European Scientific Journal**, Sofia, v. 12, n. 9, p. 423–437, 2016. DOI 10.19044/esj.2016.v12n9p423.
- ANVISA. **Resolução RDC nº 216, de 15 de setembro de 2004**. Dispõe sobre regulamento técnico de boas práticas para serviços de alimentação. Brasília, DF: Agência Nacional de Vigilância Sanitária, 2004.
- AOAC. **Official methods of analysis of the Association of Official Analytical Chemists**. 21. ed. Gaithersburg: AOAC International, 2019.
- ARACATI, M. F.; RODRIGUES, L. F.; OLIVEIRA, S. L.; RODRIGUES, R. A.; CONDE, G.; CAVALCANTI, E. N. F.; BORBA, H.; CHARLIE-SILVA, I.; FERNANDES, D. C.; ETO, S. F.; BELO, M. A. A. Astaxanthin improves the shelf-life of tilapia fillets stored under refrigeration. **Journal of the Science of Food and Agriculture**, Hoboken, v. 102, n. 7, p. 2861–2871, 2022. DOI 10.1002/jsfa.11780.
- AZAZA, M. S.; SAIDI, S. A.; DHRAIEF, M. N.; EL-FEKI, A. Growth performance, oxidative stress indices and hepatic carbohydrate metabolic enzymes activities of juvenile Nile tilapia, *Oreochromis niloticus* L., in response to dietary starch to protein ratios. **Aquaculture Research**, Oxford, v. 46, n. 1, p. 14–27, 2015.
- AZAZA, M. S.; SAIDI, S. A.; DHRAIEF, M. N.; EL-FEKI, A. Growth performance, nutrient digestibility, hematological parameters, and hepatic oxidative stress response in juvenile Nile tilapia, *Oreochromis niloticus*, fed carbohydrates of different complexities. **Animals**, Basel, v. 10, n. 10, e1987, 2020. DOI 10.3390/ani10101987.
- AZIZI, M.; MOTESHAFI, H.; HASHEMI, M. Distinctive nutrient designs using statistical approach coupled with light feeding strategy to improve the *Haematococcus pluvialis* growth performance and astaxanthin accumulation. **Bioresource Technology**, Amsterdam, v. 300, p. 122594, 2020. DOI 10.1016/j.biortech.2019.122594.
- BLIGH, E. G.; DYER, W. J. A rapid method for total lipid extraction and purification. **Canadian Journal of Biochemistry and Physiology**, Ottawa, v. 37, p. 911–917, 1959.
- BOEUF, G.; LE BAIL, P.-Y. Does light have an influence on fish growth? **Aquaculture**, Amsterdam, v. 177, n. 1–4, p. 129–152, 1999.
- BOONANUNTANASARN, S.; SUANGSUMRIT, W.; PAIBOONWATTANA, T.; WIWATANAROMAN, A. Adaptation of Nile tilapia (*Oreochromis niloticus*) to different levels of dietary carbohydrates: new insights from a long term nutritional study. **Aquaculture**, Amsterdam, v. 496, p. 58–65, 2018.
- BOONANUNTANASARN, S.; SUANGSUMRIT, W.; PAIBOONWATTANA, T.; WIWATANAROMAN, A.; BAEK, H. J. Molecular responses of Nile tilapia (*Oreochromis niloticus*) to different levels of dietary carbohydrates. **Aquaculture**, Amsterdam, v. 482, p. 117–123, 2018.

BOROWITZKA, M. A. High-value products from microalgae : their development and commercialisation. **Journal of Applied Phycology**, Dordrecht, v. 25, p. 743–756, 2013. DOI 10.1007/s10811-013-9983-9.

BOYD, C. E.; TUCKER, C. S. **Pond aquaculture water quality management**. Boston: Springer, 1998.

CARBONELL, J.; FELIÚ, J. E.; MARCO, R.; SOLS, A. Pyruvate kinase: classes of regulatory isoenzymes in mammalian tissues. **European Journal of Biochemistry**, Oxford, v. 37, n. 1, p. 148–156, 1973. DOI 10.1111/j.1432-1033.1973.tb02969.x.

CHENG, J.-H.; SUN, D.-W.; ZENG, X.-A.; LIU, D. Recent advances in methods and techniques for freshness quality determination and evaluation of fish and fish fillets: a review. **Critical Reviews in Food Science and Nutrition**, Boca Raton, v. 55, n. 7, p. 1012–1025, 2015. DOI 10.1080/10408398.2013.769934.

DENG, D. F.; REFSTIE, S.; HUNG, S. S. O. Glycemic and glycosuric responses in white sturgeon (*Acipenser transmontanus*) after oral administration of simple and complex carbohydrates. **Aquaculture**, Amsterdam, v. 199, p. 107–117, 2001.

DERNER, R. B.; OHSE, S.; VILLELA, M.; CARVALHO, S. M.; FETT, R. Microalgas, produtos e aplicações. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 36, n. 6, p. 1959–1967, 2006. DOI 10.1590/S0103-84782006000600050.

DETMANN, E. **Métodos para análise de alimentos**. Viçosa, MG: Suprema, 2012.

EDREES, A.; SHABAN, N. S.; SOBH, M. S.; HASSAN, N. E.-H. Y.; IBRAHIM, R. E. Acrylamide exposure induces growth retardation, neurotoxicity, stress, and immune/antioxidant disruption in Nile tilapia (*Oreochromis niloticus*): the alleviative effects of *Chlorella vulgaris* diets. **Fish & Shellfish Immunology**, Amsterdam, v. 148, p. 109411, 2024. DOI 10.1016/j.fsi.2024.109411.

ELBAHNASWY, S.; ELSHOPAKEY, G. E. Recent progress in practical applications of a potential carotenoid astaxanthin in aquaculture industry: a review. **Fish Physiology and Biochemistry**, Dordrecht, v. 50, p. 97–126, 2024. DOI 10.1007/s10695-022-01167-0.

ELDESSOUKI, E. A. A.; ELSHOPAKEY, G. E.; ELBAHNASWY, S.; SHAKWEER, M. S.; ABDELWARITH, A. A.; YOUNIS, E. M. Influence of astaxanthin-enriched *Haematococcus pluvialis* microalgae on the growth efficacy, immune response, antioxidant capacity, proinflammatory cytokines, and tissue histomorphology of hybrid red tilapia. **Aquaculture International**, Dordrecht, v. 32, p. 7447–7468, 2024. DOI 10.1007/s10499-024-01524-1.

EL-SAYED, A.-F. M. **Tilapia culture**. Wallingford: CABI Publishing, 2006.

ENES, P.; PANSEERAT, S.; KAUSHIK, S.; OLIVA-TELES, A. Nutritional regulation of hepatic glucose metabolism in fish. **Fish Physiology and Biochemistry**, Dordrecht, v. 35, n. 3, p. 519–539, 2009. DOI 10.1007/s10695-008-9259-5.

FAO. **The state of world fisheries and aquaculture 2020: sustainability in action**. Rome: Food and Agriculture Organization of the United Nations, 2020. DOI 10.4060/ca9229en.

FAO. **The state of world fisheries and aquaculture 2024: blue transformation in action**. Rome: Food and Agriculture Organization of the United Nations, 2024.

FURUYA, W. M. **Tabelas brasileiras para a nutrição de tilápias**. Toledo: GFM, 2010. 100 p.

GALASSO, C.; GENTILE, A.; OREFICE, I.; IANORA, A.; BRUNO, A.; NOONAN, D. M.; SANSONE, C.; ALBINI, A.; BRUNET, C. Microalgal derivatives as potential nutraceutical and food supplements for human health: a focus on cancer prevention and interception. **Nutrients**, Basel, v. 11, n. 6, p. 1226, 2019. DOI 10.3390/nu11061226.

GAO, J.; KOSHIO, S.; ISHIKAWA, M. Effects of dietary fatty acids and antioxidants on the quality and shelf life of tilapia fillets. **Aquaculture Nutrition**, Oxford, v. 22, n. 3, p. 678–685, 2016.

GENCER, Ö.; TURAN, G. Enhancing biomass and lipid productivities of *Haematococcus pluvialis* for industrial raw materials products. **Biotechnology for Biofuels and Bioproducts**, London, v. 18, p. 26, 2025. DOI 10.1186/s13068-025-02604-x.

GIANNELLI, L.; YAMADA, H.; KATSUDA, T.; YAMAJI, H. Effects of temperature on the astaxanthin productivity and light harvesting characteristics of the green alga *Haematococcus pluvialis*. **Journal of Bioscience and Bioengineering**, Amsterdam, v. 119, n. 3, p. 345–350, 2015. DOI 10.1016/j.jbiosc.2014.09.002.

GÓMEZ, A.; IBAÑEZ, C.; GUERRERO, J. The role of microalgae in aquatic ecosystems. In: MICROALGAE biotechnology for development. Cham: Springer, 2020. p. 1–30.

GÓMEZ-ESTACA, J. Effect of packaging methods on the quality of fish fillets. **Food Control**, Amsterdam, v. 21, n. 10, p. 1383–1389, 2010.

GUEDES, A. C.; MALCATA, F. X. Nutritional value and uses of microalgae in aquaculture. In: MUCHLISIN, Z. A. (ed.). **Aquaculture**. Rijeka: InTech, 2012. p. 59–78. DOI: 10.5772/30576.

GUILLARD, R. R. L.; LORENZEN, C. J. Yellow-green algae with chlorophyllide. **Journal of Phycology**, Hoboken, v. 8, n. 1, p. 10–14, 1972.

HAN, D.; LI, Y.; HU, Q. Biology and commercial aspects of *Haematococcus pluvialis*. In: RICHMOND, A.; HU, Q. (ed.). **Handbook of microalgal culture: applied phycology and biotechnology**. 2. ed. Hoboken, NJ: Blackwell, 2013. p. 388–405. DOI 10.1002/9781118567166.ch20.

HE, X.; CHEN, B.; CHEN, Y.; [...]. Astaxanthin regulates high carbohydrate diet-induced oxidative stress, inflammation and apoptosis in an organ specific manner in largemouth bass (*Micropterus salmoides*). **Aquaculture**, Amsterdam, 2024. DOI: 10.1016/j.aquaculture.2024.741400.

HEMRE, G.-I.; MOMMSEN, T. P.; KROGDAHL, Å. Carbohydrates in fish nutrition: effects on growth, glucose metabolism and hepatic enzymes. **Aquaculture Nutrition**, Oxford, v. 8, n. 3, p. 175–194, 2002.

HO, H. H.; LU, C. L.; HSIEH, P. S.; CHEN, C. W.; HSIEH, S. H.; KUO, Y. W.; LIN, J. H. Y. Metabolites of lactic acid bacteria in fish feed additives inhibit potential aquatic and food-safety pathogen growth and improve feed conversion. **Journal of Applied Aquaculture**, London, v. 35, n. 3, p. 722–742, 2022. DOI 10.1080/10454438.2021.2021343.

- HONG, M.-E.; HWANG, S. K.; CHANG, W. S.; KIM, B. W.; LEE, J.; SIM, S. J. Enhanced autotrophic astaxanthin production from *Haematococcus pluvialis* under high temperature via heat stress-driven Haber–Weiss reaction. **Applied Microbiology and Biotechnology**, Berlin, v. 99, p. 5203–5215, 2015. DOI 10.1007/s00253-015-6440-5.
- HOSSAIN, M. S.; SMALL, B. C.; KUMAR, V.; HARDY, R. Utilization of functional feed additives to produce cost-effective, ecofriendly aquafeeds high in plant-based ingredients. **Reviews in Aquaculture**, Oxford, v. 16, n. 1, p. 121–153, 2024.
- HOSSAIN, M. S.; SMALL, B. C.; KUMAR, V.; HARDY, R. Utilization of functional feed additives to produce cost-effective, ecofriendly aquafeeds high in plant-based ingredients. **Reviews in Aquaculture**, Oxford, v. 15, n. 5, p. 2484–2515, 2023. DOI 10.1111/raq.12824.
- HU, C.; CUI, D.; SUN, X.; SHI, J.; XU, N. Primary metabolism is associated with the astaxanthin biosynthesis in the green algae *Haematococcus pluvialis* under light stress. **Algal Research**, Amsterdam, v. 46, p. 101768, 2020. DOI 10.1016/j.algal.2019.101768.
- IMAMOGLU, E.; CONK DALAY, M.; VARDAR SUKAN, F. Influences of different stress media and high light intensities on accumulation of astaxanthin in the green alga *Haematococcus pluvialis*. **New Biotechnology**, Amsterdam, v. 26, n. 3–4, p. 199–204, 2009. DOI 10.1016/j.nbt.2009.08.007.
- INSTITUTO ADOLFO LUTZ. **Normas analíticas do Instituto Adolfo Lutz**. v. 1: Métodos químicos e físicos para análise de alimentos. 3. ed. São Paulo: IMESP, 1985. p. 274–275.
- KAMALAMA, B. S.; MÉDALE, F.; PANSEERAT, S. Utilisation of dietary carbohydrates in farmed fishes: new insights on influencing factors, biological limitations and future strategies. **Aquaculture**, Amsterdam, v. 467, p. 3–27, 2017. DOI 10.1016/j.aquaculture.2016.07.013.
- KHANDUAL, S. Fish feed formulation with microalgae *Haematococcus pluvialis* and *Arthrospira platensis*: effect of extrusion process on stability of astaxanthin and antioxidant capacity. **Journal of Food and Nutrition Sciences**, New York, v. 7, n. 1, p. 1–8, 2020.
- KLEIN, J.; WHITE, H. Post-harvest handling and quality control of fish products. **Seafood Science and Technology**, v. 17, n. 4, p. 112–118, 2013.
- LI, F.; CAI, M.; WU, Y.; LIAN, Q.; QIAN, Z.; LUO, J.; ZHANG, Y.; ZHANG, N.; LI, C.; HUANG, X. Effects of nitrogen and light intensity on the astaxanthin accumulation in motile cells of *Haematococcus pluvialis*. **Frontiers in Marine Science**, Lausanne, v. 9, e909237, 2022. DOI 10.3389/fmars.2022.909237.
- LI, M.; WU, W.; ZHOU, P.; XIE, F.; ZHOU, Q.; MAI, K. Comparison effect of dietary astaxanthin and *Haematococcus pluvialis* on growth performance, antioxidant status and immune response of large yellow croaker (*Pseudosciaena crocea*). **Aquaculture**, Amsterdam, v. 434, p. 227–232, 2014. DOI 10.1016/j.aquaculture.2014.08.022.
- LI, X.; WANG, X.; DUAN, C.; YI, S.; GAO, Z.; XIAO, C.; AGATHOS, S. N.; WANG, G.; LI, J. Biotechnological production of astaxanthin from the microalga

Haematococcus pluvialis. **Biotechnology Advances**, Amsterdam, v. 43, p. 107602, 2020. DOI 10.1016/j.biotechadv.2020.107602.

LIU, J.; DENG, K.; PAN, M.; [...]. Dietary carbohydrates influence muscle texture of olive flounder *Paralichthys olivaceus* through impacting mitochondria function and metabolism of glycogen and protein. **Scientific Reports**, v. 10, p. 21811, 2020. DOI 10.1038/s41598-020-76255-3.

LOHR, G. W.; WALLER, H. D. **Glucose 6 phosphate dehydrogenase**: methods of enzymatic analysis. London: Academic Press, v. 2, p. 636–641, 1960.

MANDAL, A. **Exploring the impact of probiotics on aquaculture**: a comprehensive overview. [S.l. : s.n.], 2023.

MAPA. **Instrução Normativa nº 62, de 26 de agosto de 2003**: métodos analíticos oficiais para controle de produtos de origem animal. Brasília, DF: Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento, 2003.

MARTINS, C. I. M.; EDING, E. H.; VERDEGEM, M. C. J.; HEINSBROEK, L. T. N.; SCHNEIDER, O.; BLANCHETON, J. P.; ROQUE D'ORBCASTEL, E.; VERRETH, J. A. J. New developments in recirculating aquaculture systems in Europe: a perspective on environmental sustainability. **Aquacultural Engineering**, Amsterdam, v. 43, p. 83–93, 2010. DOI 10.1016/j.aquaeng.2010.09.002.

MICAH, A. D.; WEN, B.; YUSUF, A.; ONIMISI, M. M.; ADEYEMI, S. O.; GAO, J.-Z.; CHEN, Z.-Z. Effects of dietary astaxanthin on chromatic, biochemical, and histological characteristics in juvenile blood parrotfish (*Vieja melanurus* ♀ × *Amphilophus citrinellus* ♂). **Aquaculture International**, Dordrecht, v. 32, p. 5977–5996, 2024. DOI: 10.1007/s10499-024-01451-1.

MULARCZYK, M.; MICHALAK, I.; MARYCZ, K. Astaxanthin and other nutrients from *Haematococcus pluvialis*—Multifunctional applications. **Marine Drugs**, Basel, v. 18, n. 9, p. 459, 2020. DOI 10.3390/md18090459.

NAGAPPAN, S.; DAS, P.; ABDULQUADIR, M.; THAHER, M.; KHAN, S.; MAHATA, C.; AL-JABRI, H.; VATLAND, A. K.; KUMAR, G. Potential of microalgae as a sustainable feed ingredient for aquaculture. **Journal of Biotechnology**, Amsterdam, v. 341, p. 1–20, 2021. DOI 10.1016/j.jbiotec.2021.09.003.

Naylor, R.L., Hardy, R.W., Buschmann, A.H. A 20-year retrospective review of global aquaculture. *Nature* **591**, 551–563 (2021). <https://doi.org/10.1038/s41586-021-03308-6>

OLSEN, Y.; EVANS, K.; BERGHEIM, A. Microalgae as feed for fish and other aquatic animals. In: **AQUACULTURE nutrition**. Hoboken: Wiley-Blackwell, 2006. p. 129–154.

ONU – ORGANIZAÇÃO DAS NAÇÕES UNIDAS. **Transformando nosso mundo**: a Agenda 2030 para o Desenvolvimento Sustentável. Disponível em: <https://nacoesunidas.org/wp-content/uploads/2015/10/agenda2030-pt-br.pdf>. Acesso em: 15 out. 2025.

OSLAN, S. N. H.; SHOPARWE, N. F.; YUSOFF, A. H.; RAHIM, A. A.; CHANG, C. S.; TAN, J. S.; OSLAN, S. N.; ARUMUGAM, K.; ARIFF, A. B.; SULAIMAN, A. Z. A review on *Haematococcus pluvialis* bioprocess optimization of green and red stage culture conditions for the production of natural astaxanthin. **Biomolecules**, Basel, v. 11, p. 256, 2021. DOI 10.3390/biom11020256.

PANIS, G.; ROSALES CARREON, J. Commercial astaxanthin production derived by green alga *Haematococcus pluvialis*: a microalgae process model and a techno-economic assessment all through production line. **Algal Research**, Amsterdam, v. 18, p. 175–190, 2016. DOI 10.1016/j.algal.2016.06.014.

PEIXE BR – ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DA PISCICULTURA. **Anuário PeixeBR da Piscicultura 2023**. São Paulo: Texto Comunicação Corporativa, 2023. 148 p. Disponível em: <https://www.peixebr.com.br/anuario2023>. Acesso em: 15 abr. 2025.

PÉREZ-JIMÉNEZ, A. Use of different combinations of macronutrients in diets for dentex (*Dentex dentex*): effects on intermediary metabolism. **Comparative Biochemistry and Physiology Part A**, Amsterdam, v. 152, p. 314–321, 2009.

PERRY, S. F.; WALSH, P. J.; MOMMSEN, T. P.; MOON, T. W. Metabolic consequences of hypercapnia in the rainbow trout *Salmo gairdneri*: β -adrenergic effects. **General and Comparative Endocrinology**, Amsterdam, v. 69, p. 439–447, 1988.

PHAN, L. T. T.; KALS, J.; MASAGOUNDER, K.; MAS-MUÑOZ, J.; LA, N. T. H.; SCHRAMA, J. W. Effect of dietary carbohydrate and fat supplementation on the yield and chemical composition of fillet and the location of fat deposition in striped catfish (*Pangasius hypophthalmus*), African catfish (*Clarias gariepinus*), and snakehead (*Channa striata*). **Aquaculture Reports**, Amsterdam, v. 21, p. 100806, 2021. DOI 10.1016/j.aqrep.2021.100806.

POLAKOF, S.; SOENGAS, J. L.; MOON, T. W. Glucose metabolism in fish: a review. **Journal of Comparative Physiology B**, Berlin, v. 182, n. 8, p. 1015–1045, 2012. DOI 10.1007/s00360-012-0658-7.

PRATT, C. W.; VOET, J. G.; VOET, D. **Fundamentos de bioquímica: a vida em nível molecular**. 4. ed. Porto Alegre: Artmed, 2014.

RECHT, L.; ZARKA, A.; BOUSSIBA, S. Patterns of carbohydrate and fatty acid changes under nitrogen starvation in the microalgae *Haematococcus pluvialis* and *Nannochloropsis* sp. **Applied Microbiology and Biotechnology**, Berlin, v. 94, p. 1495–1503, 2012. DOI 10.1007/s00253-012-3940-4.

REINHOLD, J. G. Total protein, albumin and globulin. In: REINER, M. (ed.). **Standard Methods of Clinical Chemistry**. [S.l.: s.n.], 1953. v. 1, p. 88.

REN, Y.; DENG, J.; HUANG, J.; WU, Z.; YI, L.; BI, Y.; CHEN, F. Using green alga *Haematococcus pluvialis* for astaxanthin and lipid co-production: advances and outlook. **Bioresource Technology**, Amsterdam, v. 337, p. 125736, 2021. DOI 10.1016/j.biortech.2021.125736.

SALEH, N. E.; WASSEF, E. A.; SHALABY, S. M. The role of dietary astaxanthin in European sea bass (*Dicentrarchus labrax*) growth, immunity, antioxidant competence and stress tolerance. **Egyptian Journal of Aquatic Biology & Fisheries**, Cairo, v. 22, n. 5, p. 189–200, 2018. Disponível em: <https://ejabf.journals.ekb.eg>. Acesso em: 15 abr. 2025.

Sandre LCG, Buzollo H, Neira LM, Nascimento TMT, Jomori RK, et al. (2017) Growth and Energy Metabolism of Tambaqui (*Colossoma Macropomum*) Fed Diets with Different Levels of Carbohydrates and Lipids. **Fish Aqua J** 8: 225. doi:10.4172/2150-3508.1000225

- SATIRO, T. M.; CARLI, G. C.; AMORIM, J. P. A.; KOCH, J. F. A.; ZANUZZO, F. S.; TAKAHASHI, L. S. Dietary β -glucan ameliorates metabolic stress caused by a high dietary carbohydrate level in Nile tilapia. **Aquaculture**, Amsterdam, v. 571, p. 740186, 2023. DOI 10.1016/j.aquaculture.2023.740186.
- SEN ROY, S.; PAL, R. Microalgae in aquaculture: a review with special references to nutritional value and fish dietetics. **Proceedings of the Zoological Society**, New Delhi, v. 68, n. 1, p. 1–8, 2015. DOI 10.1007/s12595-013-0089-9.
- SHAH, M. M. R.; LIANG, Y.; CHENG, J. J.; DAROCH, M. Astaxanthin-producing green microalga *Haematococcus pluvialis*: from single cell to high value commercial products. **Frontiers in Plant Science**, Lausanne, v. 7, p. 531, 2016. DOI 10.3389/fpls.2016.00531.
- SPOLAORE, P.; JOANNIS-CASSAN, C.; DURAN, E.; ISAMBERT, A. Commercial applications of microalgae. **Journal of Bioscience and Bioengineering**, Amsterdam, v. 101, n. 2, p. 87–96, 2006. DOI 10.1263/jbb.101.87.
- STONE, H.; SIDEL, J. L. **Sensory evaluation practices**. 3. ed. San Diego: Elsevier Academic Press, 2004.
- TACON, A. G. J.; METIAN, M. Fish matters: importance of aquatic foods in human nutrition and global food supply. **Reviews in Fisheries Science & Aquaculture**, London, v. 21, n. 1, p. 22–38, 2013.
- TAKAHASHI, L. S.; KOCH, J. F. A.; DEMARTINI, B. L.; SATIRO, T. M. Carbohydrate tolerance in the fruit-eating fish *Piaractus mesopotamicus* (Holmberg, 1887). **Aquaculture Research**, Oxford, v. 49, p. 1182–1188, 2018.
- TEJERA, N.; CEJAS, J. R.; RODRÍGUEZ, C.; BJERKENG, B.; JEREZ, S.; BOLAÑOS, A.; LORENZO, A. Pigmentation, carotenoids, lipid peroxides and lipid composition of skin of red porgy (*Pagrus pagrus*) fed diets supplemented with different astaxanthin sources. **Aquaculture, Amsterdam**, v. 270, n. 1–4, p. 218–230, 2007. DOI 10.1016/j.aquaculture.2007.01.019.
- TIBALDI, E. Growth performance and quality traits of European sea bass (*Dicentrarchus labrax*) fed diets including increasing levels of freeze-dried *Isochrysis* sp. (T-ISO) biomass as a source of protein and n-3 long-chain PUFA in partial substitution of fish derivatives. **Aquaculture**, Amsterdam, v. 444, p. 85–96, 2015. DOI 10.1016/j.aquaculture.2015.02.002.
- VIJAYAN, M. M.; BALLANTYNE, J. S.; LEATHERLAND, J. F. High stocking density alters the energy metabolism of brook charr, *Salvelinus fontinalis*. **Aquaculture**, Amsterdam, v. 88, p. 371–381, 1990.
- WANG, K.-W.; CHEN, J.-X.; LIU, Q.-Q.; DENG, X.; LUO, L.; LIN, S.-M.; CHEN, Y.-J. A comparison between high carbohydrate and high lipid diets reception on the growth, feed utilization and glucose homeostasis of genetically improved farmed tilapia *Oreochromis niloticus*. **Aquaculture Reports**, Amsterdam, v. 24, p. 101119, 2022. DOI 10.1016/j.aqrep.2022.101119.
- WANG, L. N.; *et al.* Effects of dietary non-protein energy sources on growth, physiology and biochemistry of yellow catfish (*Pelteobagrus fulvidraco*). **Journal of Nanjing Agricultural University**, Nanjing, v. 37, n. 1, p. 108–114, 2014.
- WILSON, R. P. Utilization of dietary carbohydrate by fish. **Aquaculture**, Amsterdam, v. 124, n. 1–4, p. 67–80, 1994.

XIE, D.; YANG, L.; YU, R.; CHEN, F.; LU, R.; QIN, C.; NIE, G. Effects of dietary carbohydrate and lipid levels on growth and hepatic lipid deposition of juvenile tilapia, *Oreochromis niloticus*. **Aquaculture**, Amsterdam, v. 479, p. 751–758, 2017. DOI 10.1016/j.aquaculture.2017.07.013.

XIE, N.; ZHANG, J.; JIANG, M.; MENG, X.; DONG, L.; LU, X.; WEN, H.; TIAN, J. Effects of lipid levels on growth performance and glucose and lipid metabolism of adult Nile tilapia (*Oreochromis niloticus*) fed with high carbohydrate diets. **Aquaculture Reports**, Amsterdam, v. 40, p. 102639, 2025. DOI 10.1016/j.aqrep.2025.102639.

YOUSSEF, I. M. I.; SALEH, E. S. E.; TAWFEEK, S. S.; ABDEL-FADEEL, A. A. A.; ABDEL-RAZIK, A.-R. H.; ABDEL-DAIM, A. S. A. Effect of *Spirulina platensis* on growth, hematological, biochemical, and immunological parameters of Nile tilapia (*Oreochromis niloticus*). **Tropical Animal Health and Production**, Dordrecht, v. 55, p. 275, 2023. DOI 10.1007/s11250-023-03690-5.

YU, WEI; LIN, HEIZHAO; YANG, YUKAI; ZHOU, QICUN; CHEN, HAIMIN; HUANG, XIAOLIN; ZHOU, CHUANPENG; HUANG, ZHONG; LI, TAO. Effects of supplemental dietary Haematococcus pluvialis on growth performance, antioxidant capacity, immune responses and resistance to *Vibrio harveyi* challenge of spotted sea bass (*Lateolabrax maculatus*). **Aquaculture Nutrition**, v. 27, n. 2, p. 357–370, 2021. DOI 10.1111/anu.13189.

ZHANG, W.; DENG, Y.; YANG, Z.; KONG, Q.; LIU, P.; LIAO, H.; TANG, H. Effects of partial replacement of fishmeal with *Spirulina platensis* powder and addition of *Spirulina platensis* polysaccharide on growth, nutrition, antioxidant capacity and gut microbiota of *Micropterus salmoides*. **Aquaculture**, Amsterdam, v. 582, p. 740802, 2024. DOI 10.1016/j.aquaculture.2024.740802.

ZHOU, Piaoping; WANG, Mengqiang; XIE, Fengjun; DENG, Dong-Fang; ZHOU, Qicun. Effects of dietary carbohydrate to lipid ratios on growth performance, digestive enzyme and hepatic carbohydrate metabolic enzyme activities of large yellow croaker (*Larmichthys crocea*). **Aquaculture**, v. 452, p. 45-51, 2016. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2015.10.010>.

ZOU, W.-H.; WU, C.-C.; LIMBU, S. M.; LI, R.-X.; CHEN, L.-Q.; QIAO, F.; LUO, Y.; ZHANG, M.-L.; HAN, T.; DU, Z.-Y. Simple carbohydrate diets cause alterations in glucose and lipid metabolism in Nile tilapia (*Oreochromis niloticus*). **Aquaculture**, Amsterdam, v. 546, p. 737857, 2021. DOI 10.1016/j.aquaculture.2021.737857.