



UNIVERSIDADE FEDERAL DA GRANDE DOURADOS
Faculdade de Ciências Agrárias
Programa de Pós-Graduação em Zootecnia



PIGMENTOS ANTOCIÂNICOS DE AMORA-PRETA E BATATA-DOCE-ROXA: CARACTERIZAÇÃO E VIABILIDADE DE UTILIZAÇÃO EM DIETAS PARA PEIXES ORNAMENTAIS

Annye Campos Venâncio Ferreira

Médica Veterinária

Dourados - MS

2025



UNIVERSIDADE FEDERAL DA GRANDE DOURADOS
Faculdade de Ciências Agrárias
Programa de Pós-Graduação em Zootecnia



PIGMENTOS ANTOCIÂNICOS DE AMORA-PRETA E BATATA-DOCE-ROXA: CARACTERIZAÇÃO E VIABILIDADE DE UTILIZAÇÃO EM DIETAS PARA PEIXES ORNAMENTAIS

Annye Campos Venâncio Ferreira

Prof^a. Dr^a. Claucia Aparecida Honorato da Silva

Dr^a. Giovanna Rodrigues Stringhetta

**Dissertação apresentada à Faculdade de
Ciências Agrárias da Universidade Federal
da Grande Dourados, como parte das
exigências para a obtenção do título de
Mestre em Zootecnia**

Dourados - MS

2025

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP).

F382p Ferreira, Annye Campos Venâncio

PIGMENTOS ANTOCIÂNICOS DE AMORA-PRETA E BATATA-DOCE-ROXA:
CARACTERIZAÇÃO E VIABILIDADE DE UTILIZAÇÃO EM DIETAS PARA PEIXES
ORNAMENTAIS [recurso eletrônico] / Annye Campos Venâncio Ferreira. -- 2025.

Arquivo em formato pdf.

Orientadora: Profª. Drª. Claucia Aparecida Honorato da Silva .

Coorientadora: Drª. Giovanna Rodrigues Stringhetta .

Dissertação (Mestrado em Zootecnia)-Universidade Federal da Grande Dourados,
2025.

Disponível no Repositório Institucional da UFGD em:

<https://portal.ufgd.edu.br/setor/biblioteca/repositorio>

1. aditivos nutricionais. 2. antioxidantes. 3. corantes naturais. 4. piscicultura. I. Silva,
Profª. Drª. Claucia Aparecida Honorato Da. II. Stringhetta, Drª. Giovanna Rodrigues. III.
Título.

Ficha catalográfica elaborada automaticamente de acordo com os dados fornecidos pelo(a) autor(a).

©Direitos reservados. Permitido a reprodução parcial desde que citada a fonte.



UNIVERSIDADE FEDERAL DA GRANDE DOURADOS
Faculdade de Ciências Agrárias
Programa de Pós-Graduação em Zootecnia



CERTIFICADO DE APROVAÇÃO

Pigmentos Antociânicos de Amora-Preta e Batata-Doce-Roxa: Caracterização e Viabilidade de Utilização em Dietas para Peixes Ornamentais

Annye Campos Venâncio Ferreira

O presente trabalho em nível de Mestrado foi avaliado e aprovado, em 21 de fevereiro de 2025, pela banca examinadora composta pelos seguintes membros:

Profª. Drª. Carolina Isabel Flores Quintana de Yanez
Instituição Universidad Nacional del Nordeste

Documento assinado digitalmente
gov.br ROBSON ANDRADE RODRIGUES
Data: 02/04/2025 15:34:01-0300
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Prof. Dr. Robson Andrade Rodrigues
Instituição Universidade Federal de Santa Catarina

Documento assinado digitalmente
gov.br CLAUCIA APARECIDA HONORATO DA SILVA
Data: 05/05/2025 11:53:17-0300
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Profª. Drª. Claucia Aparecida Honorato da Silva
Orientadora

BIOGRAFIA DO AUTOR

Annye Campos Venâncio Ferreira, filha de Ronaldo Venâncio Ferreira e Eliana Campos Ferreira, nascida na cidade de Franca, estado de São Paulo, no dia 01 de junho de 1998. Concluiu o ensino médio no ano de 2015 e em 2017 ingressou na graduação em Medicina Veterinária, na Faculdade Dr. Francisco Maeda-FAFRAM, finalizando o curso no ano de 2022. Ingressou na Pós-graduação, Mestrado em Zootecnia no ano de 2023 na Universidade Federal da Grande Dourados, com a linha de pesquisa de Criação de Animais Adaptados ao Pantanal e Cerrado, desenvolvendo seu trabalho junto ao grupo de pesquisa “GEPAq”. Foi bolsista pela CAPES no período de 2023/2024.

EPÍGRAFE

Tenha em mente que muitas pessoas morreram por aquilo em que acreditavam. De fato, isso é bem comum. A verdadeira coragem é viver e sofrer por aquilo em que você acredita (Paolini, 2001).

DEDICATÓRIA

Dedico este trabalho a minha família, em especial minha mãe Eliana, meu pai Ronaldo, meus irmãos Alysson, Jéssyca e João Antonnyo, minha cunhada Vanessa, e também as minhas cachorrinhas Lyla (*in memoriam*), Layla, Cloe e Maria Tereza.

Também a Deus, que me iluminou, guiou, e me deu força durante toda a trajetória. Aos meus avós, João (*in memoriam*) e Olinda (*in memoriam*), e aos meus familiares mais próximos.

AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente a minha família, que me apoiou em todos os momentos. Em especial minha mãe Eliana e meu pai Ronaldo, que me apoiaram, ajudaram, incentivaram e amaram desde o começo da minha vida. A minha irmã Jéssyca, que sempre esteve lá, me dando todo o suporte, durante a faculdade e o mestrado, desde conselhos, materiais que utilizei e trabalhos que fizemos juntas. Ao meu irmão Alysso e minha cunhada Vanessa, que também me apoiaram e ajudaram, e ao meu irmão João Antonnyo, que me animou e apoiou, além de ser fonte de muita afeição.

Bem como, para as fontes de amor e carinho infinito, minhas cachorrinhas Lyla (*in memoriam*), Layla, Cloe e Maria Tereza. Do mesmo modo, agradeço a Deus que esteve desde o princípio da minha jornada, me iluminando e me dando força.

A minha amiga Edna, que mesmo longe torce por mim. As minhas novas amigas que o mestrado me proporcionou, Barbara, Isabelly, Maria Ildilene, Leticia e Jéssica.

Um agradecimento especial a minha 1ª orientadora Profª. Drª. Rosângela K. Jomori e Leobino Dias, porque sem vocês eu não estaria aqui.

Assim como à minha orientadora, a Profª. Drª. Claucia Aparecida Honorato da Silva, que estava lá cooperando, apoiando e orientando, durante todo o processo do mestrado. Além de ser uma amiga que vou levar para a vida.

Um agradecimento especial para minha coorientadora Drª. Giovanna Rodrigues Stringhetti, que dispôs de tempo para me ajudar.

Agradeço aos Professores Membros da Banca Examinadora, a Profª. Drª. Carolina Isabel Flores Quintana De Yanez, o Prof. Dr. Dacley Hertes Neu e ao Prof. Dr. Robson Andrade Rodrigues, pela disponibilidade e contribuições a esse trabalho.

Também agradeço a todos do grupo GEPAq, que me ajudaram nos momentos de necessidade. E por fim, ao meu avô João (*in memoriam*) e vó Olinda (*in memoriam*), que foram importantes para o meu crescimento pessoal.

SUMÁRIO

CAPÍTULO 1 - CONSIDERAÇÕES INICIAIS	1
1. INTRODUÇÃO	1
2. REVISÃO DE LITERATURA	2
2.1 Aquicultura Ornamental	3
2.2 <i>Gymnocorymbus ternetzi</i>	4
2.3 <i>Hyphessobrycon eques</i>	5
2.4 Compostos bioativos utilizados na alimentação de peixes ornamentais	7
2.5 <i>Rubus spp</i>	9
2.6 <i>Ipomoea batatas</i> (L.)	10
2.7 Influência das antocianinas na coloração dos peixes	11
2.8 Microencapsulação de corantes naturais	14
3. OBJETIVO(S)	16
3.1 Objetivos específicos	16
4. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	16
CAPÍTULO 2.....	1
1. INTRODUÇÃO	1
2. MATERIAL E MÉTODOS	3
2.1 Material Vegetal e análises químicas	3
2.2 Dietas experimentais	3
2.3 Animais	4
2.4 Teste de inclusão de microcápsula	5
2.5 Atividade enzimática e antioxidante	6
2.6 Procedimento estatístico	7
3. RESULTADOS	7
4. DISCUSSÃO	10
5. CONCLUSÃO	14
6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	15
CAPÍTULO 3.....	1
1. INTRODUÇÃO	3
2. MATERIAL E MÉTODOS	5
2.1 Caracterização das microcápsulas	5
2.2 Dietas experimentais	6

2.3 Teste <i>in vivo</i>	7
2.4 Procedimento estatístico	9
3. RESULTADOS	9
4. DISCUSSÃO	16
5. CONCLUSÃO	19
6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	19
CAPÍTULO 4 – CONSIDERAÇÕES FINAIS	1

LISTA DE FIGURAS

Capítulo 1

- Figura 1** Exemplar de *Gymnocorymbus ternetzi*..... 5
- Figura 2** Exemplar da espécie *Hyphessobrycon eques*..... 6
- Figura 3** Alterações nas características das antocianinas por temperatura, pH, Hidroxila (OH) e Água (H₂O). Figura proveniente do estudo de De Barros et al. (2024). ACY-G (antocianina glicosídeo), CRB-G (Carbidol glicosídeo), QND-G (Khenidal glicosídeo), QNA-G (Aniônico kenoidal glicosídeo), CCN-G (Chalcona glicosídeo). Alterações na estrutura das antocianinas em função do pH..... 12
- Figura 4** Cinco tipos comuns de antocianinas. Figura proveniente do estudo de De Barros et al. (2024). Essas estruturas mostraram a presença de A,' B,' C,' D,' e E', que correspondem a OH, OCH₃, H, OH e OCH₃, respectivamente, em R1 e R2. A cianidina é formada pela combinação de A' e C', enquanto a peonidina é formada pela combinação de B' e C.' A delfinidina é formada pela combinação de A' e D' e a malvidina é formada pela combinação de B' e E.' A petunidina é formada pela combinação de A' e E.' O tipo de açúcar presente na molécula de antocianina é definido pela posição de R3.... 13

Capítulo 2

- Figura 1** Atividade das enzimas (A) Superóxido dismutase e (B) Catalase do tetra-negro (*Gymnocorymbus ternetzi*) alimentados com microcápsula com antocianinas provenientes da amora-preta (*Rubus spp*)..... 9
- Figura 2** Coloração da pele tetra-negro (*Gymnocorymbus ternetzi*) alimentados com microcápsula com antocianinas provenientes da amora-preta (*Rubus spp*). L* (-100 preto e, +100 branco), a cromaticidade de a*, representado pelas tonalidades de verde (-100) e vermelho (+100) e a cromaticidade de b*, representado pelas tonalidades de azul (-100) e amarelo (+100) (Rezende et al., 2012).... 9

- Figura 3** Efeito da inclusão de microcápsula com antocianinas provenientes da amora-preta (*Rubus spp.*) na pigmentação da pele de juvenis de tetrá negro (*Gymnocorymbus ternetzi*). Dietas experimentais: Controle (dieta comercial), M15 (dieta basal suplementada com 800 mg de antocianinas microencapsuladas de amora-preta (MAP)/kg de ração, com 15% de material de parede) e M20 (dieta basal suplementada com 800 mg de antocianinas microencapsuladas de amora-preta (MAP)/kg de ração, com 20% de material de parede)..... 10

Capítulo 3

- Figura 1** Coloração das dietas experimentais. Dados expressos em média $\pm$ desvio padrão. A) L* luminosidade (-100, preto e +100, branco), Cromaticidade de a*, verde (-100) e vermelho (+100); Cromaticidade de b*, de azul (-100) e amarelo (+100); B) Coloração das dietas utilizando o software LAB Color Chart..... 10
- Figura 2** Coloração e pH da água após inclusão das microcápsulas experimentais (ME e MEC) nas doses de controle, 0,25, 0,50 1,00 e 2,00g (ME ou MEC.L⁻¹). A) 'pH' da água após inclusão das microcápsulas experimentais (ME e MEC); B) L* luminosidade (-100, preto e +100, branco); C) Cromaticidade de a*, verde (-100) e vermelho (+100); D) Cromaticidade de b*, de azul (-100) e amarelo (+100)..... 11
- Figura 3** Coloração e pH da água após inclusão das dietas contendo as microcápsulas experimentais (ME e MEC). Dados expressos em média $\pm$ desvio padrão. A) 'pH' da água após inclusão das microcápsulas experimentais (ME e MEC); B) L* luminosidade (-100, preto e +100, branco); C) Cromaticidade de a*, verde (-100) e vermelho (+100); D) Cromaticidade de b*, de azul (-100) e amarelo (+100)..... 12

- Figura 4** Atividade da coloração da pele do peixe mato-grosso (*Hyphessobrycon eques*) em diferentes regiões, alimentados com microcápsula com antocianinas provenientes da batata-doce-roxa (*Ipomoea batatas* (L.)). *Médias seguidas de letras distintas reportam diferença pelo teste de Tukey ($P < 0,05$). Dados expressos em média $\pm$ desvio padrão. L* luminosidade (-100, preto e +100, branco), Cromaticidade de a*, verde (-100) e vermelho (+100); Cromaticidade de b*, de azul (-100) e amarelo (+100)..... 15
- Figura 5** Efeito da inclusão de microcápsula com antocianinas provenientes da batata-doce-roxa (*Ipomoea batatas* (L.)) na pigmentação da pele de juvenis de mato-grosso (*Hyphessobrycon eques*). Dietas experimentais: Controle (dieta comercial), ME (maltodextrina + 7% extrato de antocianina) e MEC (maltodextrina + 7% extrato de antocianina + controlador (acetofalato de celulose))..... 16

LISTA DE TABELAS

Capítulo 2

Tabela 1	Desempenho, atividade das enzimas digestivas, metabólicas e antioxidantes de tetra-negro (<i>Gymnocorymbus ternetzi</i>) alimentados com microcápsula com antocianinas provenientes da amora-preta (<i>Rubus spp</i>).....	8
-----------------	--	---

Capítulo 3

Tabela 1	Desenvolvimento, aproveitamento alimentar, atividade hepática e antioxidante de <i>Hyphessobrycon eques</i> alimentados com dietas acrescidas de microcápsula de antocianinas da batata-doce-roxa (<i>Ipomoea batatas</i>).....	13
-----------------	---	----

LISTA DE ABREVIATURAS

μg	→	Micrograma
ALT	→	Alanina aminotransferase
AST	→	Aspartato aminotransferase
CAT	→	Catalase
SOD	→	Superóxido dismutase
Kg	→	Quilograma
mg/L	→	Miligrama por litro
mg.kg^{-1}	→	Miligrama por quilo
g.kg^{-1}	→	Gramma por quilo
U.mg	→	Unidade de atividade enzimática por miligrama
MAP	→	Microcápsulas de antocianinas da amora-preta
MABDR	→	Microcápsulas de antocianinas da batata-doce-roxa
M15	→	Dieta com 15% de material de parede
M20	→	Dieta com 20% de material de parede
ME	→	Maltodextrina + 7% extrato
MEC	→	Maltodextrina + 7% extrato + controlador

PIGMENTOS ANTOCIÂNICOS DE AMORA-PRETA E BATATA-DOCE-ROXA: CARACTERIZAÇÃO E VIABILIDADE DE UTILIZAÇÃO EM DIETAS PARA PEIXES ORNAMENTAIS

RESUMO – A comercialização de peixes ornamentais é dependente das características fenotípicas destes. É relatado a diminuição da expressão da coloração da pele dos peixes, quando mantidos em sistemas de criação e em sistemas de aquariofilia. Como alternativa para mitigar esses efeitos, pode ser utilizado aditivos nutricionais. Neste trabalho foi averiguado se os pigmentos antociânicos microencapsulados de amora-preta e batata-doce-roxa são eficazes para modular respostas sobre os parâmetros de coloração de pele e respostas bioquímicas, quando adicionados na alimentação de peixes ornamentais. Este trabalho foi realizado em 2 experimentos distintos, o 1º utilizando as microcápsulas de antocianinas extraídas da amora-preta (MAP) como suplemento alimentar para o tetra-negro (*Gymnocorymbus ternetzi*); e o 2º, utilizando antocianinas da batata-doce-roxa microencapsuladas (MABDR) para o peixe mato-grosso (*Hyphessobrycon eques*) avaliando a aceitabilidade e as respostas bioquímicas dos peixes às dietas fornecidas. Para o experimento com MAP utilizou-se 90 juvenis de tetra-negro, distribuídos em nove aquários (60 L) em sistema de recirculação individual, densidade de 1 animal/6 L. Os peixes foram separados em três grupos e submetidos a dietas experimentais, compostos por grupo Controle (dieta comercial), grupo M15 (dieta suplementada com 800 mg.kg⁻¹ de corante e microcápsula com 15% de material de parede composto por maltodextrina) e grupo M20 (dieta suplementada com 800 mg.kg⁻¹ de corante e microcápsula com 20% de material de parede composto por maltodextrina). Os peixes foram alimentados duas vezes ao dia até a saciedade aparente por 21 dias. Os resultados sugerem que a utilização de corantes naturais de amora-preta na alimentação de tetra-negro apresenta capacidade antioxidante podendo ter efeito redutor na velocidade de reações, protegendo as células contra os efeitos dos radicais livres produzidos pelo organismo, podendo prolongar sua expectativa de vida em aquários. Já para o experimento com MABDR foram utilizados 135/L peixes distribuídos aleatoriamente em 9 unidades experimentais de 20L, em sistema de recirculação com filtro biológico, com densidade de estocagem de 15 peixes por unidade experimental. Os peixes foram submetidos a um experimento alimentar de 30 dias, período em que foram alimentados três vezes ao dia até a saciedade aparente. As dietas experimentais foram compostas dos seguintes tratamentos: Controle, ME (maltodextrina + 7% extrato) e MEC (maltodextrina + 7% extrato + controlador). As dietas ME e MEC foram enriquecidas com 800 mg.kg⁻¹ de antocianina. Os resultados sugerem que a utilização de microcápsula de antocianinas da batata-roxa apresenta potencial de ser utilizada na dieta pela aceitabilidade e modulação das respostas digestivas e de absorção para o peixe mato-grosso (*Hyphessobrycon eques*). Quando adicionado o controlador as microcápsulas da antocianina da batata-doce-roxa promoveram melhoras nos índices de coloração dos peixes.

Palavras-chaves: aditivos nutricionais, antioxidantes, corantes naturais, piscicultura

ANTHOCYNIC PIGMENTS FROM BLACKBERRY AND PURPLE SWEET POTATO: CHARACTERIZATION AND FEASIBILITY OF USE IN DIETS FOR ORNAMENTAL FISH

ABSTRACT - The commercialization of ornamental fish depends on their phenotypic characteristics. It has been reported that the expression of skin coloration in fish decreases when they are kept in breeding systems and aquariums. As an alternative to mitigate these effects, nutritional additives can be used. This study investigated whether microencapsulated anthocyanin pigments from blackberry and purple sweet potato are effective in modulating responses related to skin coloration parameters and biochemical responses when added to the diet of ornamental fish. This study was conducted in two distinct experiments: the first used microencapsulated anthocyanins extracted from blackberry (MAP) as a dietary supplement for black tetra (*Gymnocorymbus ternetzi*); and the second used microencapsulated anthocyanins from purple sweet potato (MABDR) for the Mato Grosso fish (*Hyphessobrycon eques*), evaluating the acceptability and biochemical responses of the fish to the provided diets. For the MAP experiment, 90 juvenile black tetras were used, distributed into nine aquariums (60 L) in an individual recirculation system, with a density of 1 fish/6 L. The fish were divided into three groups and subjected to experimental diets: Control group (commercial diet), M15 group (diet supplemented with 800 mg.kg⁻¹ of dye and microcapsules with 15% wall material composed of maltodextrin), and M20 group (diet supplemented with 800 mg.kg⁻¹ of dye and microcapsules with 20% wall material composed of maltodextrin). The fish were fed twice daily to apparent satiation for 21 days. The results suggest that the use of natural blackberry dyes in the diet of black tetra has antioxidant capacity, potentially reducing the rate of reactions, protecting cells against the effects of free radicals produced by the organism, and possibly prolonging their lifespan in aquariums. For the MABDR experiment, 135 fish were randomly distributed into 9 experimental units of 20 L, in a recirculation system with a biological filter, with a stocking density of 15 fish per experimental unit. The fish were subjected to a 30-day feeding experiment, during which they were fed three times daily to apparent satiation. The experimental diets consisted of the following treatments: Control, ME (maltodextrin + 7% extract), and MEC (maltodextrin + 7% extract + controller). The ME and MEC diets were enriched with 800 mg.kg⁻¹ of anthocyanin. The results suggest that the use of microencapsulated anthocyanins from purple sweet potato has the potential to be used in the diet due to its acceptability and modulation of digestive and absorption responses for the Mato Grosso fish (*Hyphessobrycon eques*). When the controller was added, the microencapsulated anthocyanins from purple sweet potato improved the fish's coloration indices.

Keywords: antioxidants, fish farming, natural dyes, nutritional additives

CAPÍTULO 1 - CONSIDERAÇÕES INICIAIS

1. INTRODUÇÃO

A aquicultura industrial é um segmento crescente do agronegócio, faz parte de uma cadeia que além da produção dos organismos aquáticos, envolve questões sobre sustentabilidade, recursos hídricos e humanos, investimento, biossegurança e saúde (Marques et al., 2020). Em países em desenvolvimento a aquicultura desempenha um papel importante na segurança alimentar e nutricional, na geração de renda, além de promover a biodiversidade local e preservação das tradições culturais (Vissio et al., 2021).

Abrangendo todas as formas de cultivo de organismos aquáticos, a aquicultura produz animais ou plantas, sejam em água doce, salobra e/ou salgada (FAO, 2015). Além disso, também abrange a propriedade individual, corporativa ou estatal, em contraste com a pesca de captura em que os organismos aquáticos são explorados como uma fonte de propriedade comum (Rana, 1997). Dentre a produção, a aquicultura ornamental vem se destacando, especialmente o cultivo de peixes.

Segundo Valenti et al. (2021), no Brasil mais de 250 espécies de peixes ornamentais, invertebrados e plantas aquáticas foram cultivadas. A piscicultura ornamental de água doce do Brasil é uma grande indústria centrada no Sudeste, particularmente nos estados de São Paulo e Minas Gerais. É relatado a produção de mais de 100 espécies nas últimas décadas, espécimes que são provenientes da bacia amazônica e da Ásia, com milhões de exemplares comercializados anualmente no mercado interno. Dentre as espécies produzidas estão o acará bandeira (*Pterophylum scalare*), acará disco (*Symphysodon aequifasciatus*), beta (*Betta splendens*), kinguio (*Carassius auratus*), nishikigoi ou carpa koy (*Cyprinus carpio*) e guppy (*Poecilia reticulata*).

A demanda por peixes ornamentais vem crescendo, pois integra uma atividade econômica em expansão. Em geral, os valores dos peixes comercializados aumentam em função da sua morfologia e coloração. Por isso, o desenvolvimento de técnicas para produção e manutenção destes peixes é fundamental. Dentre estas técnicas, destacam-se a inclusão de aditivos nutricionais (como o fornecimento de

carotenoides), o controle da densidade de estocagem e a manutenção de parâmetros ambientais adequados (Kaur e Shah, 2017; Rashidian et al., 2021; Lau et al., 2023), entre outros.

Nesse contexto, a inclusão de aditivos alimentares na dieta de peixes ornamentais pode reduzir custos, promover respostas de bem-estar, diminuir a atividade oxidativa, alterar a coloração e melhorar o crescimento e saúde dos peixes (Vanegas-Espinoza et al., 2019; Rashidian et al., 2021). Dentre os diversos aditivos alimentares, destacam-se os corantes naturais, que podem atuar diretamente nos cromatóforos, desempenhando um papel fundamental na dinâmica da coloração dos peixes e alterando o padrão de cor exibido (Scárdua et al., 2024). Dentre esses corantes naturais, os pigmentos antocianínicos destacam-se por sua capacidade de estimular a coloração e, possivelmente promover a saúde e o bem-estar dos peixes ornamentais.

A principal fonte de pigmentação da pele de peixes amplamente utilizada são os carotenoides. No entanto, as antocianinas, além de seus efeitos benéficos na saúde e nutrição de humanos e animais, também são empregadas para melhorar a coloração dos peixes (Monica et al., 2019; Linh et al., 2022). Dentre as fontes naturais de antocianinas, destacam-se a fruta amora-preta (*Rubus spp.*) (Zielinski et al., 2015) e o tubérculo batata-doce-roxa (*Ipomoea batatas* (L.)) (A. Li et al., 2019).

Para aumentar a efetividade dos pigmentos antocianínicos no organismo dos peixes, uma alternativa é a microencapsulação desses compostos. Essa técnica é amplamente empregada para proteger os compostos bioativos presentes nos corantes naturais, garantindo maior estabilidade e biodisponibilidade. No entanto, apesar de seu potencial, ainda há poucas referências sobre a aplicação da microencapsulação de antocianinas em dietas para peixes ornamentais, conforme destacado por Sukardi et al. (2018) e Vanegas-Espinoza et al. (2019).

2. REVISÃO DE LITERATURA

O presente trabalho aborda os seguintes temas: aquicultura, piscicultura ornamental, caracterização das espécies utilizadas, produto com atividade biológica, pigmentos antocianínicos, corante natural de amora-preta e batata-doce-roxa.

2.1 Aquicultura Ornamental

A aquicultura industrial no Brasil é uma atividade relativamente jovem, com cerca de meio século de existência, em que a maior parte da produção vem de pequenos empresários (Valenti et al., 2021). Tanto no interior, quanto no litoral do país, a produção aquícola tem crescido nos últimos anos (Marques et al., 2020) e, além da produção de organismos aquáticos comestíveis no Brasil, a cultura de peixes ornamentais também está em desenvolvimento e expansão (Kubitza, 2016; Valenti et al., 2021).

A aquicultura ornamental é uma indústria multibilionária que envolve o comércio de aquários e lagos, que cresceu em importância econômica e social e envolveu muitos entusiastas em todo o planeta ao longo das décadas (Novák et al., 2022; Hoseinifar et al., 2023). Abrange todas as formas de cultivo e manutenção de organismos aquáticos, sejam marinhos, salobra e/ou de água doce, com a finalidade de comércio ou hobby. Engloba a produção de algas, plantas, invertebrados, peixes, anfíbios e reptéis, com um objetivo estético e de bem-estar para os aquarofilistas e entusiastas (FAO, 2015; Akiyama et al., 2021; Novák et al., 2022; Macauley e Chur-Hansen, 2023).

Dentre os organismos aquáticos de interesse para aquarofilia, os peixes ornamentais são mantidos em lagos de jardim e/ou aquários por sua beleza e entretenimento. São chamados de 'joias vivas' devido às suas cores, formas e comportamento diferente, fazendo com que seu apelo estético e suas características atraentes e diferentes, tornem a aquarofilia um dos hobbies mais importantes no planeta (Hoseinifar et al., 2023).

Embora a aquicultura no Brasil tenha crescido nos últimos anos, ainda é necessário a solidificação e sustentabilidade da atividade. Há problemas em vários elementos da cadeia produtiva que devem ser sanados, como o controle da saúde dos animais aquáticos, licenciamento ambiental, políticas de crédito, eficácia para certificações de produtores aquícolas, legislação eficiente, processamento, distribuição e comercialização dos produtos aquícolas (Marques et al., 2020; Valenti et al., 2021). É essencial e urgente estabelecer uma política que atenda aos requisitos

da Agenda 2030 da ONU, que tenha como meta a realização dos Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS), para a construção da aquicultura sustentável no Brasil (FAO, 2022).

Dentre as espécies nativas do Brasil de interesse para a aquariofilia, as escolhidas para estes trabalhos foram a *Gymnocorymbus ternetzi* (tetra-negro) e o *Hyphessobrycon eques* (mato-grosso), amplamente distribuídas pelo país, são buscadas pelas suas características.

2.2 *Gymnocorymbus ternetzi*

Uma espécie popular no comércio de peixes ornamentais é o *Gymnocorymbus ternetzi*, conhecido como tetra-negro, tetra-preto ou viúva negra (Boulenger, 1895) (Butt et al., 2019; Lipscomb et al., 2020; Kuhn et al., 2023).

O tetra-negro faz parte da ordem Characiforme, da família diversificada de peixes neotropicais, Characidae. Muitas das espécies dessa família são importantes na aquicultura industrial, tanto para pesca esportiva, quanto para aquarismo. Em particular, as pequenas espécies conhecidas como “tetras” são muito importantes na cadeia de peixes ornamentais (Mirande, 2010; Butt et al., 2019; Van Der Sleen e Albert, 2022; Kuhn et al., 2023).

É um peixe de cardume, de água doce, endêmico da América do Sul, presente na Bacia do Rio Amazonas e rios do sul do Brasil (Gonzalez et al., 1997; Priestley et al., 2006; Butt et al., 2019; Lipscomb et al., 2020; Kuhn et al., 2023).

A espécie *Gymnocorymbus ternetzi*, é pequena, seu tamanho médio é de cerca de 5,3 cm, tem hábito alimentar onívoro, se alimentando de insetos, plantas e crustáceos (Figura 1) (Benine et al., 2015; Polaz et al., 2017; Zhu et al., 2022; Kuhn et al., 2023).



Figura 1. Exemplar de juvenil de *Gymnocorymbus ternetzi* (tetra-negro). Fonte: arquivo pessoal (2024).

Sua coloração vai sofrendo alterações conforme vai se desenvolvendo, até chegar a sua maturidade sexual, em torno de um ano. Sua coloração inicialmente preta, se transforma em um cinza esfumado com tons de oliva e branco na região ventral. É conhecido como uma espécie prolífera e de fácil reprodução, que é facilmente mantida em aquários, sendo muito popular no comércio de peixes ornamentais. Na Florida, tem sido uma espécie que é base na indústria dos peixes ornamentais tropicais (Mazzoni et al., 2015; Espinoza, 2018; Lipscomb et al., 2020).

2.3 *Hyphessobrycon eques*

A espécie *Hyphessobrycon eques* (Steindachner, 1882), é um teleósteo de água doce, popularmente conhecido como mato-grosso ou como *Tetra Serpae*, *Jewel*, *Red minor*, *Blood* ou *Callistus* (Figura 2) (Buckup et al., 2007; Fujimoto et al., 2013; Santana et al., 2019; Çelik e Cirik, 2020).

O peixe mato-grosso, também faz parte da ordem dos Characiforme e da família dos Characidae, mas é membro do gênero *Hyphessobrycon*, um dos gêneros mais importantes da família (Mirande, 2010; Dagosta et al., 2016; Butt et al., 2019; Furlan-Murari et al., 2022; Van Der Sleen e Albert, 2022; Kuhn et al., 2023).

Habitante de águas doces e rasas, tem atividade diurna, alta taxa reprodutiva, curto ciclo de produção e vive de forma gregária, em cardumes de 20 a 30 indivíduos

(Weitzman e Palmer, 1998; Casatti et al., 2003; Carvalho e Del-Claro, 2004; Çelik e Cirik, 2020; Furlan-Murari et al., 2022).



Figura 2. Exemplar de juvenil da espécie *Hyphessobrycon eques* (mato-grosso).
Fonte: arquivo pessoal (2024).

O mato-grosso é um peixe neotropical, amplamente distribuído nas bacias dos rios Paraguai, Guaporé e Amazonas (Weitzman e Palmer, 1998; Carvalho e Del-Claro, 2004; Çelik et al., 2012; Furlan-Murari et al., 2022). Sua coloração varia do marrom-avermelhado claro ao vermelho brilhante ou escuro. Adultos atingem de 4 a 6 cm de comprimento (Cole e Haring, 1999; Carvalho e Del-Claro, 2004; Fujimoto et al., 2013; Park et al., 2014; Furlan-Murari et al., 2022).

Devido à sua peculiar cor vermelha, considerável beleza, fácil manuseio, razoável adaptabilidade e resistência ao estresse, *H. eques* desempenha um papel significativo na comercialização como peixe ornamental para aquários no Brasil e no planeta (Fujimoto et al., 2013; Park et al., 2014; Santana et al., 2019; Çelik e Cirik, 2020).

Tem grande relevância na pesquisa científica, tanto para manutenção da expressão da coloração em sistema fechado (Porto et al., 2020a, 2020b; Cruz et al., 2023), quanto para testes de toxicidade, pois além das características já mencionadas, é uma espécie que apresenta rápido metabolismo e é altamente sensível a diferentes substâncias, apresentando condições essenciais para estudos toxicológicos (Yunis Aguinaga et al., 2014; Da Silva et al., 2015; Marcon et al., 2016; Mansano et al., 2018; Abe et al., 2019; Furlan-Murari et al., 2022).

2.4 Compostos bioativos utilizados na alimentação de peixes ornamentais

No Brasil, a regulamentação do uso de aditivos destinados à alimentação animal é feita pelas Instruções Normativas nº 13 de 30 de novembro de 2004 e nº 3 de 25 de janeiro de 2021 do Ministério da Agricultura e Pecuária (MAPA). Definindo os aditivos como qualquer substância, microrganismo ou produto formulado, adicionado intencionalmente aos produtos e/ou dieta, que normalmente não são utilizados como ingredientes, mas que melhorem ou afetem as características dos produtos e/ou desempenho dos animais (Diário Oficial Da União, IN nº 3 de 25/01/2021; IN nº13 de 30/11/2004).

A utilização de aditivos na aquicultura tem se destacado por promover uma série de vantagens, como o aumento da produtividade, a melhoria da palatabilidade da dieta, a redução da mortalidade, o fortalecimento da imunidade e a otimização da conversão alimentar (Porto et al., 2020b; Cardoso et al., 2021). Na aquicultura ornamental, além dos benefícios já citados, os aditivos são amplamente empregados para melhorar a aparência morfológica dos peixes, com ênfase na intensificação da coloração, um fator crucial para o valor comercial dessas espécies (Honorato et al., 2021; Singh et al., 2021; Lau et al., 2023).

Em um estudo feito por Ebeneazar et al. (2020), dietas experimentais foram suplementadas com pigmentos oleorresinosos naturais, a partir da páprica, cúrcuma, clorofila e suas combinações, na concentração de 20 g.kg⁻¹, com o objetivo de aumentar a pigmentação da pele do peixe-palhaço (*Amphiprion ocellaris*). Após 60 dias de suplementação, os aditivos afetaram a intensidade da cor da pele, para os tons de vermelho e amarelo, sendo a oleorresina de páprica considerada superior. Além da coloração os parâmetros de peso corporal final, taxa de crescimento específico, porcentagem de ganho em peso e eficiência alimentar, também foram afetados pelos aditivos, em que a dieta acrescida das combinações se sobressaiu, seguida pela dieta contendo páprica.

Utilizando extrato hidroalcoólico de casca de jabuticaba (EHJ) em dietas de *Betta splendens*, foram avaliados os efeitos em relação a atividade antioxidante, índice de crescimento e a coloração. Foram fornecidas dietas suplementadas com

EHJ nas concentrações de 0,5; 1; 1,5; e 2 g.kg⁻¹, além de um grupo controle. Após 21 dias de suplementação, observou-se uma redução na atividade da superóxido dismutase na pele dos grupos alimentado com 1,5 e 2 g.kg⁻¹ de EHJ em comparação com as demais. Além disso, houve um aumento na eficiência da conversão alimentar e um incremento na luminosidade da coloração dos peixes. Concluiu-se que a suplementação com 2 g.kg⁻¹ de EHJ proporciona efeito antioxidante, refletindo-se em uma maior luminosidade da coloração de *Betta splendens* azuis (França et al., 2022a).

No estudo realizado por Maiti et al. (2017) com a Carpa Koi (*Cyprinus carpio*), foi conduzido um teste de alimentação de 45 dias para avaliar a melhora da coloração e os parâmetros de crescimento. As dietas foram suplementadas com 1% de carotenoides naturais, obtidos a partir do pó de raiz de beterraba, pó de casca de cenoura, pó de casca de tomate e uma mistura desses ingredientes (mix), totalizando cinco dietas experimentais. O estudo demonstrou que os carotenoides naturais foram eficazes na melhora dos parâmetros de crescimento e coloração com a inclusão de 1% na dieta. Entretanto, entre todas as dietas testadas, a mistura de carotenoides naturais foi a que apresentou maior eficácia no aumento dos parâmetros de crescimento e na intensificação da coloração da pele da Carpa Koi.

Cruz et al. (2023) avaliaram os efeitos da inclusão do extrato hidroalcoólico de rosela (*Hibiscus sabdariffa*) em dietas do peixe mato-grosso (*Hyphessobrycon eques*). Foram testadas dietas suplementadas com extrato hidroalcoólico de rosela (EHR) nas concentrações de 0,12; 0,25 e 0,50 mg de EHR/kg de ração, além de um grupo controle. Os resultados encontrados demonstram que a inclusão de 0,25 e 0,50 EHR/kg promoveu melhorias nos índices zootécnicos, no comprimento padrão e na eficiência alimentar. Em relação a coloração, os peixes apresentaram alteração no croma a* (tonalidades de verde e vermelho), com uma tendência ao aumento da tonalidade vermelha. Além disso, a utilização de 0,25 e 0,50 mg de EHR/kg resultou na redução da atividade das enzimas alanina aminotransferase (ALT) e aspartato aminotransferase (AST), enquanto houve um aumento na atividade da catalase nas concentrações mais elevadas do extrato. Assim, o extrato hidroalcoólico de rosela mostrou-se eficaz na alimentação do peixe mato-grosso na concentração de 0,50 mg de EHR/kg.

Portanto, é possível verificar que diversos aditivos acrescidos na dieta de peixes ornamentais são eficazes para alterar positivamente os parâmetros zootécnicos, de coloração da pele, eficiência alimentar, enzimas antioxidantes e digestivas.

2.5 *Rubus* spp

A amora-preta (*Rubus* spp.) pertence ao grande grupo de plantas do gênero *Rubus*. Este gênero é pertencente à família Rosaceae, que tem grande importância para a fruticultura brasileira (Facchinello et al., 1994; Daubeny, 1996; Antunes, 2002, 2006; Jacques e Zambiasi, 2011; Vizzotto et al., 2012).

Esta espécie frutífera, possui porte ereto ou rasteiro, produzindo frutos agregados, que são formados por pequenas drupas, com cerca de quatro a sete gramas, de coloração negra quando maduro e sabor ácido a doce-ácido. As suas principais cultivares comerciais apresentam espinhos, o que exige do trabalhador da colheita muito cuidado com sua integridade física, bem como a qualidade do fruto (Jacques e Zambiasi, 2011; Vizzotto et al., 2012).

A amora-preta *in natura* é altamente nutritiva, contendo cerca de 85% de água, 10% de carboidratos, elevada quantidade de minerais, cálcio, vitaminas do complexo B e vitamina A. Podendo ser destinada para o consumo *in natura* ou para a produção de industrializados, como suco integral, sorvetes, iogurtes, geleias e doces cremosos. É uma fruta que vem chamando atenção dos produtores e consumidores, pois apresenta elevado teor de compostos bioativos em sua composição (Poling, 1997; Antunes, 2002, 2006; Bowen-Forbes et al., 2010; Wu et al., 2010; Jacques e Zambiasi, 2011; Vizzotto et al., 2012).

Dentre estes compostos bioativos estão presentes na amora-preta os compostos fenólicos, os tocoferóis, o ácido ascórbico e os carotenoides, que são fitoquímicos com ação antioxidante (Wang e Jiao, 2000; Jacques e Zambiasi, 2011). Dentre as frutas frescas, a amora-preta apresenta as maiores concentrações de antioxidantes já estudadas (Jacques e Zambiasi, 2011; Kaume et al., 2012), com uma alta concentração de compostos fenólicos, com destaque para os altos níveis de antocianinas, que ultrapassa os níveis observado no morango (Wang e Jiao, 2000;

Zielinski et al., 2015). Apresenta atividade antioxidante frente aos radicais superóxidos (O_2^-), peróxido de hidrogênio (H_2O_2), hidroxila (OH^-) e ao oxigênio singlete (O_2) (Wang e Jiao, 2000; Jacques e Zambiasi, 2011).

Também é relatado a presença de ácido elágico, um composto fenólico que possui funções antioxidante, antimutagênica, anticancerígena, potente inibidor da indução química do câncer (Maas et al., 1991; Wang et al., 1995; Antunes, 2002, 2006; Jacques e Zambiasi, 2011; Vizzotto e Pereira, 2011; Vizzotto et al., 2012). A amora-preta também contém uma fibra solúvel em abundância, a pectina, que atua na redução dos níveis de colesterol no sangue, atuando na prevenção de enfermidades cardiovasculares e circulatórias (Ness e Powles, 1997; Antunes, 2002; Stoclet et al., 2004; Vizzotto e Pereira, 2011).

No Brasil o principal estado produtor é o do Rio Grande do Sul, contudo, há um alto potencial produtivo em regiões de clima temperado e subtropical, pela sua adaptabilidade e potencial de alcançar uma alta produtividade e pode vir a ser implantada nos estados de São Paulo, Paraná, Santa Catarina e no sul de Minas Gerais. Devido ao seu baixo custo de implantação e manutenção do pomar, mas principalmente pela reduzida utilização de defensivos agrícolas, torna-se uma opção para a agricultura familiar, possibilitando a obtenção de alto retorno econômico (Antunes, 2002, 2006; Antunes e Rasseira, 2004; Jacques e Zambiasi, 2011).

2.6 *Ipomoea batatas* (L.)

A batata-doce-roxa (*Ipomoea batatas* (L.)), é uma planta dicotiledônea rasteira, considerada uma erva perene. É classificada cientificamente em Reino Plantae, Divisão Magnoliophyta, Classe Magnoliopsida, Ordem Solanales, Família Convolvulaceae, Gêneros: *Ipomoea*, e Espécies: batatas (Bovell-Benjamin, 2007; Mohanraj e Sivasankar, 2014; Li et al., 2019).

A raiz é conhecida popularmente como batata-doce-roxa (Fan et al., 2008; Zhang et al., 2009; Amaro et al., 2017; Sánchez et al., 2019) ou batata-doce de polpa roxa (Yoshimoto et al., 2001; Bridgers et al., 2010; Xu et al., 2015).

A batata-doce-roxa é rica em fibras alimentares, minerais, vitaminas, polissacarídeos e antioxidantes, como ácidos fenólicos, antocianinas, tocoferol e β -

caroteno, podendo ser utilizado por humanos e animais (Simmonds, 1992; Teow et al., 2007; Xu et al., 2015). Possui coloração vermelho-púrpura, alto teor de antocianinas, alto teor de fenóis totais e alta atividade antioxidante (A. Li et al., 2019). A coloração roxa da batata-doce-roxa é atingida principalmente devido à presença e forma das antocianinas (Zhao et al., 2013).

Li et al. (2019) relatam que dentre as atividades funcionais das antocianinas da batata-doce-roxa estão as atividades antioxidante, antimutagênicas, antitumorais e de proteção do fígado, onde o pigmento comestível natural das batatas-doces-roxa são seguros, atóxicos, inodoros, de cor brilhante e têm as vantagens de alto rendimento, baixo custo, nutrição rica, melhor estabilidade à luz e ao calor e certos efeitos farmacológicos. Possui também amplas perspectivas de aplicação nas indústrias de alimentos, cosméticos, medicamentos e produtos aquícolas.

O teor das antocianinas da batatas-doces-roxa é significativamente maior do que as da batata-doce de polpa branca, amarela e laranja (Fan et al., 2008; A. Li et al., 2019). Numerosos estudos mostraram que a estabilidade é dependente de vários fatores, incluindo estrutura e concentração do pigmento, pH e temperatura no processo de extração (Fan et al., 2008).

A estrutura química das antocianinas de batata-doce-roxa é composta principalmente pelas cianidinas e peonidinas na forma de monoacilação e diacilação que, devido a presença da forma de acilação, faz com que as antocianinas da batata-doce-roxa se tornem mais estáveis termicamente e tenha resistência ultravioleta (A. Li et al., 2019; Tang et al., 2023).

2.7 Influência das antocianinas na coloração dos peixes

A coloração de peixes na aquicultura ornamental é um dos fatores determinantes para o entusiasmo dos consumidores e da demanda do mercado em todo o planeta (Sathyaruban et al., 2021; Lau et al., 2023; Scárdua et al., 2024). A variação da coloração em peixes é exibida através da expressão de cromatóforos dérmicos, como melanóforos, xantóforos, eritróforos, iridóforos, leucóforos e cianóforos, que contêm diferentes pigmentos. Nos vertebrados, os principais pigmentos responsáveis pela promoção da coloração na derme são as melaninas,

pteridinas, carotenoides e antocianinas. Os pigmentos melaninas e pteridinas são sintetizados pelos animais, enquanto os carotenoides e antocianinas não são biossintetizados pelos animais, portanto, os carotenoides e antocianinas dietéticas em formas naturais ou sintéticas devem ser adicionados na dieta para que os peixes atinjam suas colorações (Vanegas-Espinoza et al., 2019; Sathyaruban et al., 2021; Cruz et al., 2023; Lau et al., 2023; Scárdua et al., 2024).

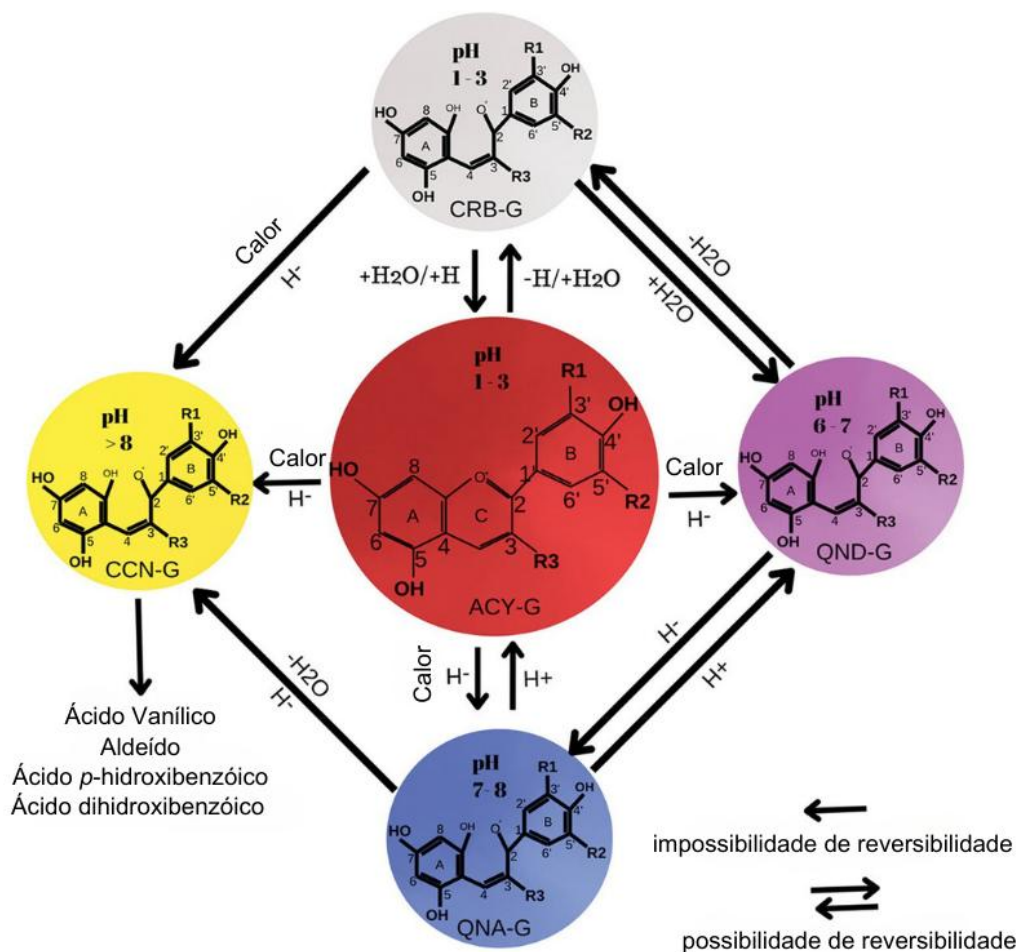


Figura 3. Alterações nas características das antocianinas por temperatura, pH, Hidroxila (OH) e Água (H₂O). Figura proveniente do estudo de De Barros et al. (2024). ACY-G (antocianina glicosídeo), CRB-G (Carbidol glicosídeo), QND-G (Khenidal glicosídeo), QNA-G (Aniônico kenoidal glicosídeo), CCN-G (Chalcona glicosídeo).

As antocianinas são compostos bioativos fitogênicos, que estão amplamente presentes em frutas, vegetais, folhas, flores, grãos e raízes, onde pelo menos 653

antocianinas são encontradas na natureza. São pigmentos hidrofílicos que compõem um subgrupo a partir dos flavonoides. São formas glicosídicas de antocianidinas e sua molécula apresenta um esqueleto de difenilpropano ($C_6C_3C_6$) e exibem cor vermelha, roxa ou azul, dependendo do pH (Figura 3). Dentre as antocianinas, as comumente encontradas são a cianidina, delphinidina e pelargonidina, ou seus derivados metilados, ou seja, malvidina, peonidina e petunidina (Figura 4) (Mota, 2006; Zielinski et al., 2015; Linh et al., 2022; de Barros et al., 2024; Guo e Shahidi, 2024).

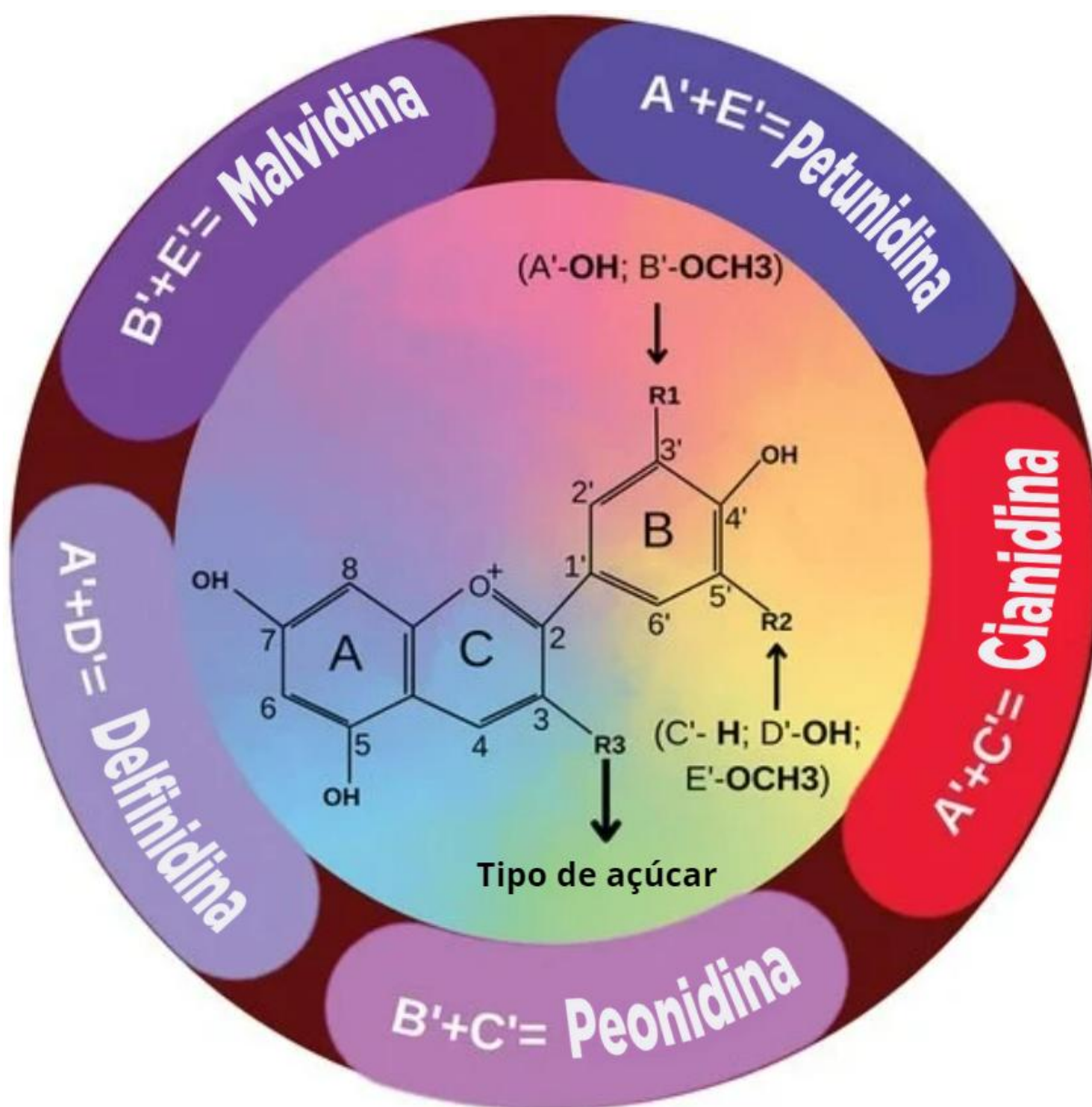


Figura 4. Cinco tipos comuns de antocianinas. Figura proveniente do estudo de De Barros et al. (2024). Essas estruturas mostraram a presença de A,' B,' C,' D,' e E', que

correspondem a OH, OCH₃, H, OH e OCH₃, respectivamente, em R1 e R2. A cianidina é formada pela combinação de A' e C', enquanto a peonidina é formada pela combinação de B' e C'. A delphinidina é formada pela combinação de A' e D' e a malvidina é formada pela combinação de B' e E'. A petunidina é formada pela combinação de A' e E'. O tipo de açúcar presente na molécula de antocianina é definido pela posição de R3.

As antocianinas têm uma variedade de efeitos benéficos em animais e humanos, dentre eles atividades antioxidantes, anti-inflamatórias, antimicrobianas e anticancerígenas, utilizadas para o tratamento de danos oxidativos no fígado e hiperglicemia, e também para a prevenção de doenças cardiovasculares, além de inibirem a atividade dos radicais livres e reduzem a inflamação e o envelhecimento (Yilmaz, 2019; Linh et al., 2022).

No estudo realizado com peixe espada laranja (*Xiphophorus helleri*) foram avaliados os efeitos da incorporação dietética de extrato de pigmento antocianínico co-estabilizado de repolho roxo e resíduos biológicos de casca de beterraba (concentração de 400 mg.kg⁻¹) para a melhoria da coloração e crescimento. Os resultados após 45 dias de alimentação indicaram alta coloração vermelha intensa nos tratamentos suplementados com antocianinas. Não foi observada variação significativa para os parâmetros de crescimento entre os tratamentos. O estudo indicou a possibilidade do uso dos extratos de antocianina como uma das fontes biológicas de pigmento para melhorar a coloração do peixe-espada laranja (J.; Neelakantan; D., 2019).

2.8 Microencapsulação de corantes naturais

Para aumentar a efetividade dos pigmentos antocianínicos na dieta dos peixes, uma alternativa é a microencapsulação desses pigmentos. Uma das principais desvantagens dos pigmentos naturais é sua instabilidade, que é influenciada por fatores ambientais como luz, oxigênio, pH e temperatura. Entretanto, uma vantagem é a solubilidade em água, que facilita a degradação durante o processo de

alimentação e armazenamento (Zhao et al., 2008; Özkan e Bilek, 2014; Vanegas-Espinoza et al., 2019).

A microencapsulação nas dietas de peixes resulta em uma menor taxa de lixiviação dos compostos da ração, possibilitando a utilização de ingredientes de melhor qualidade nutricional, proporcionando melhor nutrição e assegurando melhores respostas dos animais, reduzindo a possibilidade de contaminações às pessoas que manipulam a dieta, bem como ao ambiente (Honorato et al., 2012; Honorato et al., 2016).

Assim, a técnica de microencapsulação tem sido utilizada há vários anos, com intuito de proteger os compostos bioativos (Vanegas-Espinoza et al., 2019a), possibilitando a liberação de substâncias atrativas e conservando os nutrientes (Honorato et al., 2016). Essa técnica pode ser realizada de várias formas, incluindo a coacervação simples ou complexa, gelificação iônica, spray-drying (secagem por pulverização), entre outros (Yúfera et al., 2003; Honorato et al., 2016). Dentre essas técnicas, o spray-drying é a mais utilizada nas indústrias farmacêutica e alimentícia devido à sua versatilidade e o custo relativamente baixo (Vanegas-Espinoza et al., 2019a).

Uma tomada de decisão importante no procedimento de microencapsulação é a escolha do material para a parede das microcápsulas e as condições do spray-drying, que são fatores-chave para o tamanho, morfologia, eficiência de encapsulamento e estabilidade do material do núcleo. Dentre as opções de material de parede, destacam-se maltodextrinas e amidos (Vanegas-Espinoza et al., 2019a; Zarantoniello et al., 2024).

De acordo com Vanegas-Espinoza et al. (2019), a maltodextrina forma um bom filme durante a atomização, com rápida formação de crosta ao redor do material do núcleo, o que evita sua degradação ou volatilização durante o processo de secagem. Com alta solubilidade em água e baixa viscosidade, a maltodextrina tem potencial na aplicação da indústria aquícola, principalmente na microencapsulação de aditivos alimentares.

Dietas microencapsuladas demonstraram maior eficácia em comparação com dietas microaglutinadas ou fareladas no transporte de substâncias biologicamente

importantes, como o hormônio estradiol (Yúfera et al., 2003), oxitetraciclina (Temple e Langdon, 2009) e testosterona (Honorato et al., 2012a). Portanto, as dietas produzidas por este processo podem viabilizar o uso de aditivos para a aquicultura ornamental.

3. OBJETIVO(S)

Este trabalho tem dois objetivos:

Avaliar a inclusão de microcápsula de antocianinas extraídas da amora-preta como suplemento alimentar para tetra-negro (*Gymnocorymbus ternetzi*).

Avaliar a aceitabilidade e as respostas bioquímicas de dietas fornecida com antocianinas da batata-doce-roxa microencapsuladas para o peixe Mato-grosso (*Hyphessobrycon eques*).

3.1 Objetivos específicos

Avaliar os parâmetros de desempenho, consumo da dieta, coloração da pele, atividade das enzimas digestivas, metabólicas e antioxidantes de tetra-negro (*Gymnocorymbus ternetzi*) alimentados com microcápsula com antocianinas provenientes da amora-preta (*Rubus* spp);

Avaliar a coloração das microcápsulas e das dietas experimentais acrescidas de microcápsula de antocianinas da batata-doce-roxa (*Ipomoea batatas*);

Avaliar os parâmetros de desenvolvimento, coloração da pele, aproveitamento alimentar, atividade hepática e antioxidante de *Hyphessobrycon eques* alimentados com dietas acrescidas de microcápsula de antocianinas da batata-doce-roxa (*Ipomoea batatas*).

4. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Abe, F.R., Machado, A.A., Coleone, A.C., da Cruz, C., Machado-Neto, J. G. (2019). Toxicity of Diflubenzuron and Temephos on Freshwater Fishes: Ecotoxicological Assays with *Oreochromis niloticus* and *Hyphessobrycon eques*. **Water, Air, and Soil Pollution** 230. <https://doi.org/10.1007/s11270-019-4128-7>.

- Akiyama, J., Sakagami, T., Uchiyama, H., Ohta, M. (2021). The Health Benefits of Visiting a Zoo, Park, and Aquarium for Older Japanese. **Anthrozoös** 34:463–473. <https://doi.org/10.1080/08927936.2021.1898211>.
- Amaro, G.B., Fernandes, F.R., Silva, G.O., Mello, A.F.S., Castro, L.A.S. (2017). Desempenho de cultivares de batata doce na região do alto paranaíba-MG. **Horticultura Brasileira** 35:286–291. <https://doi.org/10.1590/s0102-053620170221>.
- Antunes, L.E.C. (2002). AMORA-PRETA: NOVA OPÇÃO DE CULTIVO NO BRASIL. **Ciência Rural** 32:151–158. <https://doi.org/10.1590/s0103-84782002000100026>.
- Antunes, L.E.C. (2006). AMORA-PRETA (*Rubus spp.*). **REVISTA BRASILEIRA DE FRUTICULTURA** 28:339–558.
- Antunes, L.E.C., Rasseira, M. do C.B. **Aspectos Técnicos da Cultura da Amora-preta**. (2004). Pelotas: Embrapa Clima Temperado. Documentos, 122. (Vol. 1). 54 p. www.cpact.embrapa.br.
- Benine, R.C., Melo, B.F., Castro, R.M.C., Oliveira, C. (2015). Taxonomic revision and molecular phylogeny of *Gymnocorymbus Eigenmann*, 1908 (Teleostei, Characiformes, Characidae). **Zootaxa** 3956. <https://doi.org/10.11646/zootaxa.3956.1.1>.
- Bovell-Benjamin, A.C. (2007). Sweet Potato: A Review of its Past, Present, and Future Role in Human Nutrition. **Advances in Food and Nutrition Research** 52:1–59. [https://doi.org/10.1016/S1043-4526\(06\)52001-7](https://doi.org/10.1016/S1043-4526(06)52001-7).
- Bowen-Forbes, C.S., Zhang, Y., Nair, M.G. (2010). Anthocyanin content, antioxidant, anti-inflammatory and anticancer properties of blackberry and raspberry fruits. **Journal of Food Composition and Analysis** 23:554–560. <https://doi.org/10.1016/j.jfca.2009.08.012>.
- Bridgers, E.N., Chinn, M.S., Truong, V.-D. (2010). Extraction of anthocyanins from industrial purple-fleshed sweetpotatoes and enzymatic hydrolysis of residues for fermentable sugars. **Industrial Crops and Products** 32:613–620. <https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2010.07.020>.
- Buckup, P.A., Menezes, N.A., Ghazzi, M.S. (2007). **CATÁLOGO DAS ESPÉCIES DE PEIXES DE ÁGUA DOCE DO BRASIL** (P.A. Buckup, N.A. Menezes, M.S. Ghazzi, Orgs.). Museu Nacional. <https://www.researchgate.net/publication/276027720>.
- Butt, Z.D., O'Brien, E., Volkoff, H. (2019). Effects of fasting on the gene expression of appetite regulators in three Characiformes with different feeding habits (*Gymnocorymbus ternetzi*, *Metynnis argenteus* and *Exodon paradoxus*). **Comparative Biochemistry and Physiology - Part A: Molecular and Integrative Physiology** 227. <https://doi.org/10.1016/j.cbpa.2018.10.002>.
- Cardoso, A.J. da S., dos Santos, W.V., Gomes, J.R., Martins, M.T.S., Coura, R.R., Oliveira, M.G. de A., Salaro, A.L., Ferreira, P. de M.F., Carneiro, A.P.S., Zuanon, J.A.S. (2021). Ginger oil, *Zingiber officinale*, improve palatability, growth and nutrient utilisation efficiency in Nile tilapia fed with excess of starch. **Animal Feed Science and Technology** 272:114756. <https://doi.org/10.1016/j.anifeedsci.2020.114756>.

Carvalho, L.N., Del-Claro, K. (2004). Effects of predation pressure on the feeding behaviour of the serpa tetra *Hyphessobrycon eques* (Ostariophysi, Characidae). **Acta Ethologica** 7. <https://doi.org/10.1007/s10211-004-0093-1>.

Casatti, L., Mendes, H.F., Ferreira, K.M. (2003). Aquatic macrophytes as feeding site for small fishes in the Rosana Reservoir, Paranapanema River, southeastern Brazil. **Brazilian journal of biology** 63. <https://doi.org/10.1590/S1519-69842003000200006>.

Çelik, I., Çelik, P., Cirik, Ş., Gürkan, M., Hayretdağ, S. (2012). Embryonic and larval development of black skirt tetra (*Gymnocorymbus ternetzi*, Boulenger, 1895) under laboratory conditions. **Aquaculture Research** 43. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2109.2011.02930.x>.

Çelik, P., Cirik, Ş. (2020). Embryonic and larval development of serpae tetra *Hyphessobrycon eques* (Steindachner, 1882). **Aquaculture Research** 51. <https://doi.org/10.1111/are.14375>.

Cole, B., Haring, M. (1999). Spawning And Production Of The Serpae Tetra, *Hyphessobrycon Serpae*. **Center for Tropical and Subtropical Aquaculture** 138:1–7.

Cruz, B.L. da, Scardua, M.P., Sousa, R.M., Siqueira, M.S., Gimênes Junior, H., Ziemniczak, H.M., Pause, A G. da S., Braz, P.H., Honorato, C.A. (2023). Extrato hidroalcoólico de rosela (*Hibiscus sabdariffa* L.) na alimentação do peixe Mato Grosso (*Hyphessobrycon eques*). **Medicina Veterinaria (Brazil)** 17:114–118. <https://doi.org/10.26605/medvet-v17n2-5337>.

da Silva, A.F., Carraschi, S.P., Gírio, A.C.F., Neto, A.N., da Cruz, C., Pitelli, R.A. (2015). Ecotoxicity of vinasse for fish tetra-serpae (*Hyphessobrycon eques*) and macrophyte duckweed (*Lemna minor*). **Boletim do Instituto de Pesca** 41.

Dagosta, F.C.P., Marinho, M.M.F., Camelier, P., Lima, F.C.T. (2016). A New Species of *Hyphessobrycon* (Characiformes: Characidae) from the Upper Rio Juruena Basin, Central Brazil, with a Redescription of *H. cyanotaenia*. **Copeia** 104. <https://doi.org/10.1643/CI-15-243>.

Daubeny, H.A. (1996). Brambles. Em J. Janick & J. N. Moore (Orgs.), **Fruit Breeding** 2:109–190.

de Barros, G.L., Silva, F.T.S., Teixeira, R.S., Wagner, J.G., Rombaldi, C.V., Vizzotto, M., Ubeyitogullari, A., Nora, L. (2024). Anthocyanin extraction methods: synthesis of morpho-anatomical knowledge for decision-making based on decision-tree. **International Journal of Food Properties** 27:1315–1346. <https://doi.org/10.1080/10942912.2024.2409893>.

Diário Oficial da União. (2004). **INSTRUÇÃO NORMATIVA No 13, DE 30 DE NOVEMBRO DE 2004**: Ministério da Agricultura e Pecuária – MAPA. Brasília, 10 p.

Diário Oficial da União. (2021). **INSTRUÇÃO NORMATIVA MAPA No 3, DE 25 DE JANEIRO DE 2021**: Ministério da Agricultura e Pecuária – MAPA. Brasília, 3 p.

Ebeneezar, S., Prabu, D.L., Chandrasekar, S., Tejpal, C.S., Madhu, K., Sayooj, P., Vijayagopal, P. (2020). Evaluation of dietary oleoresins on the enhancement of skin

coloration and growth in the marine ornamental clown fish, *Amphiprion ocellaris* (Cuvier, 1830). **Aquaculture** 529. <https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2020.735728>.

Espinoza, C.S. (2018). Report of a second introduction of fluorescent transgenic ornamental fish to Peruvian territory: Skirt tetra fish case (*Gymnocorymbus ternetzi*; Boulenger, 1895). **Scientia Agropecuaria** 9:153–156. <https://doi.org/10.17268/sci.agropecu.2018.01.16>.

Facchinello, J.C., Hoffmann, A., Santos, A.M. dos. (1994). Amoreira-preta, framboesa e mirtilo: pequenos frutos para o sul do Brasil. **13º CONGRESSO BRASILEIRO DE FRUTICULTURA**. Salvador, p. 989–990.

Fan, G., Han, Y., Gu, Z., Chen, D. (2008). Optimizing conditions for anthocyanins extraction from purple sweet potato using response surface methodology (RSM). **LWT - Food Science and Technology** 41:155–160. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2007.01.019>.

FAO. (2015). **Aquaculture: Junior Farmer Field and Life School-Facilitator's guide**. Rome, 40 p. <https://openknowledge.fao.org/items/3eb0293d-a021-4207-9b5e-13604699a27a>.

FAO. (2022). **The State of World Fisheries and Aquaculture 2022. Towards Blue Transformation**. Rome, 236 p. <https://doi.org/https://doi.org/10.4060/cc0461en>.

França, G.B., Siqueira, M.S., Melo, J.C. de S., de Albuquerque, D.T., Venturini, F.P., Honorato, C.A. (2022). Hydroalcoholic extract of jabuticaba peel in the diet of betta fish. **Boletim do Instituto de Pesca** 48:1–7. <https://doi.org/10.20950/1678-2305/BIP.2022.48.E659>.

Fujimoto, R.Y., Almeida, E.S., Diniz, D.G., Eiras, J.C., Martins, M.L. (2013). First occurrence of *Quadrigyrus nickoli* (Acanthocephala) in the ornamental fish *Hyphessobrycon eques*. **Revista Brasileira de Parasitologia Veterinária** 22:110–113. <https://doi.org/10.1590/S1984-29612013000100020>.

Furlan-Murari, P.J., De Lima, E.C.S., De Souza, F.P., Urrea-Rojas, A.M., Amaral, F.A.N., Silva, R.M., Alves, C.B., Prado-Calixto, O.P., Mizubuti, I.Y., Lopera-Barrero, N.M. (2022). Systematic literature review of *Hyphessobrycon eques*: A support for the improvement of captive breeding. **Semina: Ciências Agrárias** 43:1605–1628. <https://doi.org/10.5433/1679-0359.2022v43n4p1605>.

Gonzalez, R.J., Dalton, V.M., Patrick, M.L. (1997). Ion regulation in ion-poor acidic water by the blackskirt tetra (*Gymnocorymbus ternetzi*), a fish native to the Amazon River. **Physiological Zoology** 70. <https://doi.org/10.1086/515855>.

Guo, F., Shahidi, F. (2024). Can anthocyanins replace antibiotics in food and animal feed? A review. **Trends in Food Science & Technology** 143:104219. <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2023.104219>.

Honorato, C.A., Dorce, L.S., Ziemniczak, H.M., Vasconcelos, F.A.B., dos Santos, S.P. (2021). Bioativos de plantas do cerrado na alimentação de peixes ornamentais. In.: Nora, FMD (Eds.) **Compostos Bioativos e suas Aplicações**. Canoas: Mérida Publishers, p. 226–236. <https://doi.org/https://doi.org/10.4322/mp.978-65-994457-7-4.c10>.

- Honorato, C.A., Jomori, R.K., Carneiro, D.J. (2016). Crescimento e sobrevivência de larvas de pacu (*Piaractus mesopotamicus*) alimentadas com microdietas. **Revista Brasileira de Ciência Veterinária** 23:71–75. <https://doi.org/10.4322/rbcv.2016.033>.
- Honorato, C.A., Tesser, M.B., Portella, M.C., Carneiro, D.J. (2012). Microdietas na alimentação da tilápia do nilo durante a fase de reversão sexual. **Nucleus Animalium** 4:27–36. <https://doi.org/10.3738/1982.2278.651>.
- Hoseinifar, S.H., Maradonna, F., Faheem, M., Harikrishnan, R., Devi, G., Ringø, E., Van Doan, H., Ashouri, G., Gioacchini, G., Carnevali, O. (2023). Sustainable Ornamental Fish Aquaculture: The Implication of Microbial Feed Additives. **Animals** 13:1583. <https://doi.org/10.3390/ani13101583>.
- J., M., Neelakantan, V., D., S. (2019). Effect of dietary incorporation of anthocyanin pigments on the coloration and growth of orange sword tail fish (*Xiphophorus helleri*). **International Journal of Fisheries and Aquatic Studies** 7:144–149.
- Jacques, A.C., Zambiasi, R.C. (2011). Fitoquímicos em amora-preta (*Rubus spp.*). **Semina: Ciências Agrárias** 32:245–260.
- Kaume, L., Howard, L.R., Devareddy, L. (2012). The blackberry fruit: A review on its composition and chemistry, metabolism and bioavailability, and health benefits. **Journal of Agricultural and Food Chemistry** 60:5716–5727. <https://doi.org/10.1021/jf203318p>.
- Kaur, R., Shah, T.K. (2017). Role of feed additives in pigmentation of ornamental fishes. **International Journal of Fisheries and Aquatic Studies** 5:684–686. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0162410>.
- Kubitza, F. (2016). Brazilian aquaculture: Constraints and challenges (Part 1). **Responsible Seafood Advocate** 19:1–7. <https://www.globalseafood.org>.
- Kuhn, J., Azari, S., Volkoff, H. (2023). Effects of temperature on food intake and the expression of appetite regulators in three Characidae fish: The black-skirted tetra (*Gymnocorymbus ternetzi*), neon tetra (*Paracheirodon innesi*) and Mexican cavefish (*Astyanax mexicanus*). **Comparative Biochemistry and Physiology - Part A: Molecular and Integrative Physiology** 275:111333. <https://doi.org/10.1016/j.cbpa.2022.111333>.
- Lau, C.C., Mohd Nor, S.A., Tan, M.P., Yeong, Y.S., Wong, L.L., Van de Peer, Y., Sorgeloos, P., Danish-Daniel, M. (2023). Pigmentation enhancement techniques during ornamental fish production. **Reviews in Fish Biology and Fisheries** 33:1027–1048. <https://doi.org/10.1007/s11160-023-09777-4>.
- Li, A., Xiao, R., He, S., An, X., He, Y., Wang, C., Yin, S., Wang, B., Shi, X., He, J. (2019). Research advances of purple sweet potato anthocyanins: Extraction, identification, stability, bioactivity, application, and biotransformation. **Molecules** 24:1–21. <https://doi.org/10.3390/molecules24213816>.

- Linh, N.V., Nguyen, D. Van, et al. (2022). Influence of black rice (*Oryza sativa* L.) bran derived anthocyanin-extract on growth rate, immunological response, and immune-antioxidant gene expression in Nile tilapia (*Oreochromis niloticus*) cultivated in a biofloc system. **Fish & Shellfish Immunology** 128:604–611. <https://doi.org/10.1016/j.fsi.2022.08.041>.
- Lipscomb, T.N., Yanong, R.P., Ramee, S.W., DiMaggio, M.A. (2020). Histological, histochemical and biochemical characterization of larval digestive system ontogeny in black tetra *Gymnocorymbus ternetzi* to inform aquaculture weaning protocols. **Aquaculture** 520:734957. <https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2020.734957>.
- Maas, J.L., Galletta, G.J., Stoner, G.D. (1991). Ellagic Acid, an Anticarcinogen in Fruits, Especially in Strawberries: A Review. **HortScience** 26:10–14.
- Macauley, L., Chur-Hansen, A. (2023). Human Health Benefits of Non-Conventional Companion Animals: A Narrative Review. **Animals** 13:1–24. <https://doi.org/10.3390/ani13010028>.
- Maiti, M.K., Bora, D., TL, N., Sahoo, S., BK, A., Kumar, S. (2017). Effect of dietary natural carotenoid sources on colour enhancement of Koi carp, *Cyprinus carpio* L. **International Journal of Fisheries and Aquatic Studies** 5:340–345. www.fisheriesjournal.com.
- Mansano, A.S., Souza, J.P., Cancino-Bernardi, J., Venturini, F.P., Marangoni, V.S., Zucolotto, V. (2018). Toxicity of copper oxide nanoparticles to Neotropical species *Ceriodaphnia silvestrii* and *Hyphessobrycon eques*. **Environmental Pollution** 243:723–733. <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2018.09.020>.
- Marcon, L., Lopes, D.S., Mounteer, A.H., Goulart, A.M.A., Leandro, M.V., dos Anjos Benjamin, L. (2016). Pathological and histometric analysis of the gills of female *Hyphessobrycon eques* (Teleostei:Characidae) exposed to different concentrations of the insecticide Dimilin®. **Ecotoxicology and Environmental Safety** 131:135–142. <https://doi.org/10.1016/j.ecoenv.2016.05.016>.
- Marques, F.B., Watterson, A., Rocha, A.F., Cavalli, L. S. (2020). Overview of Brazilian aquaculture production. **Aquaculture Research** 51:4838–4845. <https://doi.org/10.1111/are.14828>.
- Mazzoni, T.S., Grier, H.J., Quagio-Grassiotto, I. (2015). The Basement Membrane and the Sex Establishment in the Juvenile Hermaphroditism During Gonadal Differentiation of the *Gymnocorymbus ternetzi* (Teleostei: Characiformes: Characidae). **Anatomical Record** 298:1984–2010. <https://doi.org/10.1002/ar.23270>.
- Mirande, J. M. (2010). Phylogeny of the family characidae (teleostei: Characiformes): From characters to taxonomy. **Neotropical Ichthyology** 8:385–568. <https://doi.org/10.1590/S1679-62252010000300001>.
- Mohanraj, R., Sivasankar, S. (2014). Sweet potato (*Ipomoea batatas* [L.] Lam) - A valuable medicinal food: A review. **Journal of Medicinal Food** 17:733–741. <https://doi.org/10.1089/jmf.2013.2818>.

- Monica, J., Neelakantan, V., Seenappa, D. (2019). Effect of dietary incorporation of anthocyanin pigments on the coloration and growth of orange sword tail fish (*Xiphophorus helleri*). **International Journal of Fisheries and Aquatic Studies** 7.
- Mota, R.V. da. (2006). Caracterização do suco de amora-preta elaborado em extrator caseiro. **Ciência e Tecnologia de Alimentos** 26:303–308. <https://doi.org/10.1590/S0101-20612006000200012>.
- Ness, A. R., Powles, J. W. (1997). Fruit and vegetables, and cardiovascular disease: A review. **International Journal of Epidemiology** 26:1–13. <https://doi.org/10.1093/ije/26.1.1>.
- Novák, J., Magalhães, A.L.B., Faulkes, Z., Yonvitner, Maceda-Veiga, A., Dahanukar, N., Kawai, T., Kalous, L., Patoka, J. (2022). Ornamental aquaculture significantly affected by the “Czech aquarium phenomenon”. **Aquaculture** 555:738259. <https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2022.738259>.
- Özkan, G., Bilek, S.E. (2014). Microencapsulation of Natural Food Colourants. **International Journal of Nutrition and Food Sciences** 3:145–156. <https://doi.org/10.11648/j.ijnfs.20140303.13>.
- Park, J.-M., Kim, N.-R., Han, K.-H., Han, J.-H., Son, M.-H., Cho, J.-K. (2014). Spawning Behavior, Egg Development, Larvae and Juvenile Morphology of *Hyphessobrycon eques* (Pisces: Characidae) Characidae Fishes. **Development & Reproduction** 18:241–249. <https://doi.org/10.12717/dr.2014.18.4.241>.
- Polaz, C.N.M., Ferreira, F.C., Petrere Júnior, M. (2017). The protected areas system in Brazil as a baseline condition for wetlands management and fish conservancy: The example of the Pantanal National Park. **Neotropical Ichthyology** 15. <https://doi.org/10.1590/1982-0224-20170041>.
- Poling, E.B. (1997). Blackberries. **Journal of Small Fruit & Viticulture** 4:33–69. https://doi.org/10.1300/J065v04n01_02.
- Porto, E.L.N., Lima, F.F. de, Sousa, R.M., Banhara, D.G. de A., Mendonça, W.C.B., Honorato, C.A. (2020). *Schinus terebinthifolius* raddi pepper oil used as na addictive in *Hyphessobrycon eques* steindachner fish diet. **Research, Society and Development** 9:e192963118. <https://doi.org/10.33448/rsd-v9i6.3118>.
- Porto, E.L.N., Lima, F.F. de, Sousa, R.M., Mendonça, W.C.B., Honorato, C.A. (2020). The *Hyphessobrycon eques* (Steindachner, 1882) coloration influenced by the addition of Attalea Phalerata Mart. ex spreng crude oil. **Research, Society and Development** 9:e97932578. <https://doi.org/10.33448/rsd-v9i3.2578>.
- Priestley, S.M., Stevenson, A.E., Alexander, L.G. (2006). Growth Rate and Body Condition in Relation to Group Size in Black Widow Tetras (*Gymnocorymbus ternetzi*) and Common Goldfish (*Carassius auratus*). **The Journal of Nutrition** 136:2078S–2080S. <https://doi.org/10.1093/jn/136.7.2078S>.
- Rana, K.J. (1997). Guidelines on the collection of structural aquaculture statistics. Supplement to the Programme for the World Census of Agriculture 2000. **FAO** 1:1–56.

- Rashidian, G., Rainis, S., Prokić, M.D., Faggio, C. (2021). Effects of different levels of carotenoids and light sources on swordtail fish (*Xiphophorus helleri*) growth, survival rate and reproductive parameters. **Natural Product Research** 35:3675–3686. <https://doi.org/10.1080/14786419.2020.1723091>.
- Sánchez, C., Santos, M., Vasilenko, P. (2019). **Batata-doce branca, roxa ou alaranjada? Avaliação qualitativa e nutricional**. Cartaxo: Vida Rural. p. 30–32.
- Santana, C.A., Tondato, K.K., Suárez, Y.R. (2019). Reproductive biology of *Hyphessobrycon eques* (Characiformes: Characidae) in southern Pantanal, Brazil. **Brazilian Journal of Biology** 79:70–79. <https://doi.org/10.1590/1519-6984.176273>.
- Sathyaruban, S., Uluwaduge, D.I., Yohi, S., Kuganathan, S. (2021). Potential natural carotenoid sources for the colouration of ornamental fish: a review. **Aquaculture International** 29:1507–1528. <https://doi.org/10.1007/s10499-021-00689-3>.
- Scárdua, M.P., Walker, S.M., Godoy, A.C., Honorato, C.A., Neu, D.H. (2024). The role of phenylalanine in the fish pigmentation process: a review. **International Aquatic Research** 16:101–111. <https://doi.org/10.22034/iar.2024.2007852.1607>.
- Simmonds, N.W. (1992). Sweet Potato: An Untapped Food Resource. In.: Woolfe JA (Eds) **Experimental Agriculture**. Cambridge: Cambridge University Press, p. 132–132. <https://doi.org/10.1017/S0014479700020512>.
- Singh, M.K., Borgohain, P., Kaur, K., Gogoi, S. (2021). Emergence of Plants in Fish Pigmentation. **Agricultural Research** 10:535–542. <https://doi.org/10.1007/s40003-021-00551-1>.
- Stoclet, J.C., Chataigneau, T., Ndiaye, M., Oak, M.H., El Bedoui, J., Chataigneau, M., Schini-Kerth, V.B. (2004). Vascular protection by dietary polyphenols. **European Journal of Pharmacology** 500:299–313. <https://doi.org/10.1016/j.ejphar.2004.07.034>.
- Sukardi, P., Hana, H., Prayogo, N.A., Sulistyo, I., Soedibya, P.H.T., Harisam, T., Winanto, T. (2018). A Lipid-walled microcapsule diet as co-feed for early feeding the *Osphronemus gourami* (Lacepede) larvae. **Acta Scientiarum. Animal Sciences** 40:38335. <https://doi.org/10.4025/actascianimsci.v40i1.38335>.
- Tang, C., Han, J., Chen, D., Zong, S., Liu, J., Kan, J., Qian, C., Jin, C. (2023). Recent advances on the biological activities of purple sweet potato anthocyanins. **Food Bioscience** 53:102670. <https://doi.org/10.1016/j.fbio.2023.102670>.
- Temple, E., Langdon, C. (2009). Delivering oxytetracycline to first-feeding zebrafish, *Danio rerio* (Hamilton), and goby, *Asterropteryx semipunctata* Rüppell, larvae using lipid spray beads. **Journal of Fish Diseases** 32:279–292. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2761.2008.00992.x>.
- Teow, C.C., Truong, V.D., McFeeters, R.F., Thompson, R.L., Pecota, K.V., Yencho, G.C. (2007). Antioxidant activities, phenolic and β -carotene contents of sweet potato genotypes with varying flesh colours. **Food Chemistry** 103:829–838. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2006.09.033>.

- Valenti, W.C., Barros, H.P., Moraes-Valenti, P., Bueno, G.W., Cavalli, R.O. (2021). Aquaculture in Brazil: past, present and future. **Aquaculture Reports** 19:100611. <https://doi.org/10.1016/j.aqrep.2021.100611>.
- van der Sleen, P., Albert, J. S. (2022). Patterns in Freshwater Fish Diversity. In: Mehner T, Tockner K (Eds.) **Encyclopedia of Inland Waters**. Amsterdã: Elsevier, p. 243–255). <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-819166-8.00056-6>.
- Vanegas-Espinoza, P.E., Pérez-Escalante, V., Aguirre-Guzman, G., Hoyos-Leyva, J. D., Del Villar-Martínez, A.A. (2019). Microencapsulation of anthocyanins from roselle (*Hibiscus sabdariffa*) and its application on a pigment supplied diet to fantail goldfish (*Carassius auratus*). **Aquaculture International** 27:1801–1811. <https://doi.org/10.1007/s10499-019-00430-1>.
- Vissio, P.G., Darias, M.J., Di Yorio, M.P., Pérez Sirkin, D.I., Delgadín, T.H. (2021). Fish skin pigmentation in aquaculture: The influence of rearing conditions and its neuroendocrine regulation. **General and Comparative Endocrinology** 301:113662. <https://doi.org/10.1016/j.ygcen.2020.113662>.
- Vizzotto, M., Pereira, M.C. (2011). Amora-preta (*Rubus sp.*): otimização do processo de extração para determinação de compostos fenólicos antioxidantes. **Revista Brasileira de Fruticultura** 33:1209–1214. <https://doi.org/10.1590/s0100-29452011000400020>.
- Vizzotto, M., Raseira, M. do C.B., Pereira, M.C., Fetter, M. da R. (2012). Teor de compostos fenólicos e atividade antioxidante em diferentes genótipos de amoreira-preta (*Rubus sp.*). **Revista Brasileira de Fruticultura** 34:853–858. <https://doi.org/10.1590/s0100-29452012000300027>.
- Wang, S.Y., Jiao, H. (2000). Scavenging capacity of berry crops on superoxide radicals, hydrogen peroxide, hydroxyl radical's, and singlet oxygen. **Journal of Agricultural and Food Chemistry** 48:5677–5684. <https://doi.org/10.1021/jf000766i>.
- Wang, S.Y., Maas, J.L., Payne, J.A., Galletta, G.J. (1995). Ellagic Acid Content In Small Fruits, Mayhaws, And Other Plants. **Journal of Small Fruit and Viticulture** 2:39–49. https://doi.org/10.1300/J065v02n04_03.
- Weitzman, S.H., Palmer, L. (1998). Phantom tetras: a brief account of their ichthyological and aquarium history. **Tropical Fish Hobbyist** 43:124–132.
- Wu, R., Frei, B., Kennedy, J.A., Zhao, Y. (2010). Effects of refrigerated storage and processing technologies on the bioactive compounds and antioxidant capacities of “Marion” and “Evergreen” blackberries. **LWT - Food Science and Technology** 43:1253–1264. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2010.04.002>.
- Xu, J., Su, X., Lim, S., Griffin, J., Carey, E., Katz, B., Tomich, J., Smith, J.S., Wang, W. (2015). Characterisation and stability of anthocyanins in purple-fleshed sweet potato P40. **Food Chemistry** 186:90–96. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2014.08.123>.
- Yilmaz, E. (2019). Effects of dietary anthocyanin on innate immune parameters, gene expression responses, and ammonia resistance of Nile tilapia (*Oreochromis niloticus*). **Fish & Shellfish Immunology** 93:694–701. <https://doi.org/10.1016/j.fsi.2019.08.033>.

- Yoshimoto, M., Okuno, S., Yamaguchi, M., Yamakawa, O. (2001). Antimutagenicity of deacylated anthocyanins in purple-fleshed sweetpotato. **Bioscience, Biotechnology and Biochemistry** 65:1652–1655. <https://doi.org/10.1271/bbb.65.1652>.
- Yúfera, M., Kolkovski, S., Fernández-Díaz, C., Rinchar, J., Lee, K. J., Dabrowski, K. (2003). Delivering bioactive compounds to fish larvae using microencapsulated diets. **Aquaculture** 227:277–291. [https://doi.org/10.1016/S0044-8486\(03\)00509-X](https://doi.org/10.1016/S0044-8486(03)00509-X).
- Yunis Aguinaga, J., Claudiano, G.S., Marcusso, P.F., Ikefuti, C., Ortega, G.G., Eto, S.F., da Cruz, C., Moraes, J.R.E., Moraes, F.R., Fernandes, J.B.K. (2014). Acute Toxicity and Determination of the Active Constituents of Aqueous Extract of *Uncaria tomentosa* Bark in *Hyphessobrycon eques*. **Journal of Toxicology** 2014:1–5. <https://doi.org/10.1155/2014/412437>.
- Zarantoniello, M., Cattaneo, N., Conti, F., Carrino, M., Cardinaletti, G., Şener, İ., Olivetto, I. (2024). Mitigating Dietary Microplastic Accumulation and Oxidative Stress Response in European Seabass (*Dicentrarchus labrax*) Juveniles Using a Natural Microencapsulated Antioxidant. **Antioxidants** 13:812. <https://doi.org/10.3390/antiox13070812>.
- Zhang, Z.F., Fan, S.H., Zheng, Y.L., Lu, J., Wu, D.M., Shan, Q., Hu, B. (2009). Purple sweet potato color attenuates oxidative stress and inflammatory response induced by d-galactose in mouse liver. **Food and Chemical Toxicology** 47:496–501. <https://doi.org/10.1016/j.fct.2008.12.005>.
- Zhao, J.G., Yan, Q.Q., Lu, L.Z., Zhang, Y.Q. (2013). In vivo antioxidant, hypoglycemic, and anti-tumor activities of anthocyanin extracts from purple sweet potato. **Nutrition Research and Practice** 7:359–365. <https://doi.org/10.4162/nrp.2013.7.5.359>.
- Zhao, X., Corrales, M., Zhang, C., Hu, X., Ma, Y., Tauscher, B. (2008). Composition and Thermal Stability of Anthocyanins from Chinese Purple Corn (*Zea mays* L.). **Journal of Agricultural and Food Chemistry** 56:10761–10766. <https://doi.org/10.1021/jf8025056>.
- Zhu, Q., Luo, S., Pan, S., Su, X., Liu, Z., Chen, J. (2022). Complete mitogenome of *Gymnocorymbus ternetzi* (Characiformes: Characidae: Gymnocorymbus) and phylogenetic implications. **Mitochondrial DNA Part B** 7:58–59. <https://doi.org/10.1080/23802359.2021.2008844>.
- Zielinski, A.A.F., Goltz, C., Yamato, M.A.C., Ávila, S., Hirooka, E.Y., Wosiacki, G., Nogueira, A., Demiate, I.M. (2015). Blackberry (*Rubus spp.*): influence of ripening and processing on levels of phenolic compounds and antioxidant activity of the ‘Brazos’ and ‘Tupy’ varieties grown in Brazil. **Ciência Rural** 45:744–749. <https://doi.org/10.1590/0103-8478cr20120715>.

CAPÍTULO 2

MICROCÁPSULAS DE ANTOCIANINAS DA AMORA-PRETA (*Rubus spp*) COMO UM RECURSO NUTRACÊUTICO PARA TETRA-NEGRO (*Gymnocorymbus ternetzi*)

RESUMO - Este estudo avaliou a inclusão do corante natural da amora-preta (*Rubus spp*) microencapsulados com diferentes porcentagens de material de parede de maltodextrina (MD), como aditivo alimentar para tetra-negro (*Gymnocorymbus ternetzi*), avaliando o desempenho zootécnico, coloração (L, a*, b*) e atividade das enzimas digestivas, metabólicas e antioxidantes. Foram utilizados 90 peixes ($2,74 \pm 0,82$ g; $53,09 \pm 4,56$ mm), distribuídos em 9 aquários (60 L) em sistema de recirculação individual, divididos em três grupos experimentais: Controle (dieta comercial), grupo M15 (microcápsula com 15% de material de parede e 800 mg.kg^{-1} de corante) e grupo M20 (microcápsula com 20% de material de parede e 800 mg.kg^{-1} de corante), em triplicata. As microcápsulas foram produzidas pelo método Spray Dryer e os peixes foram alimentados duas vezes ao dia até a saciedade durante 21 dias. Ao final do estudo, não foram observadas alterações nas variáveis de desempenho zootécnico ($p > 0,05$). O consumo de dieta foi maior quando se utilizou a dieta com 15% de MD. A dieta com 20% de MD, proporcionou o melhor fator de condição e os peixes mais escuros, com cromaticidade a*, tendência a vermelho e cromaticidade b*, tendência a azul ($p < 0,05$). As dietas experimentais demonstraram efeito hepatoprotetor para o tetra-negro, atestado pelos menores valores de albumina e das enzimas hepáticas (ALT e AST) ($p < 0,05$). As formulações com 15% MD aumentaram significativamente as capacidades enzimáticas de superóxido dismutase e catalase ($p < 0,05$). Estes resultados sugerem que a utilização de corantes naturais de amora-preta na alimentação de tetra-negro apresenta capacidade antioxidante podendo ter efeito redutor na velocidade de reações, protegendo as células contra os efeitos dos radicais livres produzidos pelo organismo.

Palavras-chaves: aditivo nutricional, antioxidantes, corantes naturais, peixe ornamental

BLACKBERRY (*Rubus* spp) ANTHOCYANIN MICROCAPSULES AS A NUTRACEUTICAL RESOURCE FOR BLACK TETRA (*Gymnocorymbus ternetzi*)

ABSTRACT - This study evaluated the inclusion of natural blackberry (*Rubus* spp.) dye microencapsulated with different percentages of maltodextrin wall material (MD) as a feed additive for black tetra (*Gymnocorymbus ternetzi*), evaluating the zootechnical performance, coloration (L, a*, b*) and activity of digestive, metabolic and antioxidant enzymes. A total of 90 fish (2.74 ± 0.82 g; 53.09 ± 4.56 mm) were distributed in 9 aquariums (60 L) in an individual recirculation system, divided into three experimental groups: Control (commercial diet), group M15 (microcapsule with 15% wall material and 800 mg.kg⁻¹ of dye) and group M20 (microcapsule with 20% wall material and 800 mg.kg⁻¹ of dye), in triplicate. The microcapsules were produced by the Spray Dryer method and the fish were fed twice a day until satiety for 21 days. At the end of the study, no changes were observed in the zootechnical performance variables ($p > 0.05$). Diet consumption was higher when the diet with 15% MD was used. The diet with 20% MD provided the best condition factor and the darkest fish, with a* chromaticity, tendency to red, and b* chromaticity, tendency to blue ($p < 0.05$). The experimental diets demonstrated a hepatoprotective effect for the black tetra, attested by the lower values of albumin and liver enzymes (ALT and AST) ($p < 0.05$). The formulations with 15% MD significantly increased the enzymatic capacities of superoxide dismutase and catalase ($p < 0.05$). These results suggest that the use of natural blackberry dyes in the diet of black grouse has antioxidant capacity and may have a reducing effect on the speed of reactions, protecting cells against the effects of free radicals produced by the body.

Keywords: antioxidants, natural colors, nutritional additive, ornamental fish

1. INTRODUÇÃO

A aquicultura ornamental fundamenta-se nas características fenotípicas como precursor do comércio (Sanches, 2021; Reges et al., 2024). Variáveis como cor para peixes estão relacionadas com a capacidade pigmentante dos cromatógrafos que são responsivos a presença de pigmentos na sua alimentação (Rashidian et al., 2020; Scárdua et al., 2024).

A indústria pet busca substitutos eficazes aos corantes sintéticos que apresentam baixa eficácia (Rashidian et al., 2018; Nhan et al., 2019; Lili et al., 2020), quando comparados com fontes de pigmentos naturais (Jiang et al., 2019), pois apresentam em sua composição ativos antioxidante que propiciam diminuição dos radicais livres (Nhan et al., 2019; Honorato et al., 2021) com variadas atividades biológicas em peixes ornamentais (Honorato et al., 2021, 2022).

Entretanto, a estabilidade das fontes de corantes naturais ainda é um desafio para sua utilização devido à baixa estabilidade do corante (França et al., 2022; Cruz et al., 2023). A inclusão de extratos pigmentantes na alimentação de peixes ornamentais promove benefícios à saúde e ao bem-estar, que refletem em aumento da longevidade dos peixes (Reges et al., 2024) mas com baixa eficácia em promoção de coloração em peixes (Porto et al., 2020a, 2020b; Honorato et al., 2021).

Uma desvantagem do uso de pigmentos naturais é sua instabilidade influenciada por condições ambientais como luz, oxigênio, pH e temperatura; no entanto, a solubilidade em água de alguns deles facilita a degradação durante o processo de alimentação e armazenamento (Karangutgar e Ananthanarayan, 2021; Zhang et al., 2021; DING et al., 2024).

Assim, a microencapsulação é uma técnica que possibilita proteger, separar e recobrir materiais em escala microscópica (Ding et al., 2024), possibilitando a liberação de substâncias atrativas e conservando os nutrientes (Yúfera et al., 1999) que pode promover entrega deste bioativo aos peixes de forma eficaz (Honorato et al., 2012).

A amora-preta (*Rubus spp.*) é classificada como a que possui maior concentração de antocianinas (Vizzotto et al., 2012), que são responsáveis por suas atraentes cores vermelho, roxo e azul (Ferreira et al., 2010; Wu et al., 2021). Os

extratos brutos de espécies desse gênero apresentam atividades biológicas diversas (Ferreira et al., 2010), como antioxidante, antimutagênica, anticancerígena (Lim e Choi, 2019), capacidade de redução dos níveis de colesterol e do índice glicêmico (Martins et al., 2023; Buczyński et al., 2024).

No trabalho de Yilmaz (2019) com tilápia-do-Nilo (*Oreochromis niloticus*), foram suplementados dieteticamente com xarope de amora-preta para investigação dos efeitos sobre o desempenho de crescimento, respostas hematológicas, imunes inespecíficas e de expressão gênica do baço. Cinco grupos experimentais de peixes foram feitos, três deles foram alimentados com dietas incorporadas com xarope de amora nas dosagens de 7,5 g kg⁻¹, 15 g kg⁻¹, e 30 g kg⁻¹, enquanto uma dieta basal livre de aditivos serviu como controle. Além disso, o quinto grupo foi uma dieta medicamentosa com antibióticos (0,02 g kg⁻¹), preparada com o florfenicol. Como resultado, alimentar a tilápia-do-Nilo com uma dieta contendo 15 g kg⁻¹ de xarope de amora-preta durante um período de 90 dias pode ser adequado para melhorar o desempenho de crescimento, os parâmetros imunológicos dos peixes, o status antioxidante, bem como a taxa de sobrevivência contra *P. shigelloides*, semelhante ao tratamento com antibióticos. Assim, o xarope de amora-preta pode ser usado como substituto de antibióticos para controlar *P. shigelloides* na ração para tilápias.

Já Yilmaz et al. (2020), investigou os efeitos da suplementação de xarope de amora-preta (*Morus nigra*) sobre o desempenho de crescimento, bioquímicos séricos, parâmetros hematológicos, imunes inatos, respostas de expressão gênica imunes e antioxidantes e resistência a doenças de tilápia-do-Nilo (*Oreochromis niloticus*). Cinco dietas isonitrogenadas e isoenergéticas foram formuladas para conter xarope de amora-preta nos níveis de 0%, 0,75%, 1,5%, 2,0% e 3,0%, fornecidas por um período de 60 dias. Os resultados do presente estudo indicam que a tilápia-do-Nilo alimentada com dieta contendo 2,0% de amora-preta pode ser adequada para melhorar o desempenho de crescimento, parâmetros imunológicos inatos, respostas de expressão gênica relacionadas a antioxidantes e resistência a doenças contra *Aeromonas veronii*.

Este trabalho teve como objetivo avaliar a inclusão de dois níveis de maltodextrina, 15 e 20 %, nas microcápsulas de antocianinas extraídas da amora-preta como aditivo alimentar para tetra-negro (*Gymnocorymbus ternetzi*).

2. MATERIAL E MÉTODOS

2.1 Material Vegetal e análises químicas

Amostras de amora-preta (*Rubus* spp.) da variedade Guarani, foi colhida do pomar experimental da Embrapa Clima Temperado (CPACT) (Pelotas, RS) (latitude sul 31° 42', longitude oeste W 52° 24' e altitude 57 m).

As amoras foram colhidas de várias plantas e misturadas uniformemente, lavadas e higienizadas por imersão em solução de hipoclorito de sódio (100 ppm, pH 6,5, a 6,5 °C $\pm$ 1,5 °C), por 10 minutos e acondicionadas em embalagens plásticas mantidas congeladas em freezer a -20 °C. Os extratos de antocianinas foram obtidos seguindo a metodologia adotada pela Embrapa CPACT. As frutas foram pesadas e misturadas à solução de ácido cítrico a 1 %. Utilizando uma razão sólido:líquido de 1:3, a mistura foi homogeneizada em Ultra Turrax (MA 102, Marconi, Piracicaba - SP, Brasil). Para a remoção dos sólidos suspensos, a mistura homogeneizada foi centrifugada (20.000 x g) por 14 minutos, sob refrigeração (4°C), e o sobrenadante filtrado em papel filtro qualitativo (Unifil C41 Faixa Preta, Curitiba - PR, Brasil).

O processo de produção da microcápsula foi desenvolvido pela equipe da Embrapa Clima temperado e Universidade Federal de Pelotas. Após o desenvolvimento da técnica e efetiva comprovação das cápsulas foram obtidos dois produtos com diferentes concentrações de material de parede (15 e 20% de maltodextrina), estabelecido com as menores quantidades de maltodextrina.

As cápsulas foram analisadas quanto determinação de antocianinas totais (Lees e Francis, 1972), compostos fenólicos (Swain e Hillis, 1959), capacidade antioxidante (Brand-Williams et al., 1995) e coloração (fotocolorímetro portátil Chroma Meter CR-400 - Konica Minolta®).

2.2 Dietas experimentais

Foi preparado três dietas experimentais: controle (dieta comercial composta por 40,88% PB e 4374,8 Kcal kg⁻¹), M15 (dieta basal suplementada com 800 mg de

antocianinas microencapsuladas de amora-preta (MAP)/kg de ração (Rahimi-Madiseh et al., 2016), com 15% de material de parede) e M20 (dieta basal suplementada com 800 mg de antocianinas microencapsuladas de amora-preta (MAP)/kg de ração (Rahimi-Madiseh et al., 2016), com 20% de material de parede).

Para preparação das dietas foi utilizada uma ração comercial Poytara Ltda em (40,88% PB e 4374,8 Kcal kg⁻¹ (energia bruta), diâmetro de 1 mm), contendo os ingredientes: amido de milho, alho, beterraba, cantaxantina, L-carnitina, extrato vegetal, farelo de linhaça, farelo de soja, farinha de artêmia, farinha de peixe, isolado proteico de soja, L-lisina, milho, óleo de peixe, óleo de soja, protenose, quirera de arroz, sal, extrato de Yucca, premix vitamínico mineral e aditivos conservantes, antioxidante, adsorvente de micotoxinas, probiótico, prebiótico e multienzimático.

Os grânulos comerciais foram moídos em um processador de alimentos, logo após foi acrescentado as antocianinas microencapsuladas de amora-preta na concentração de 800 mg/kg de ração. Seguido pela mistura manual com acréscimo mínimo de água, para formação da “massa”, por um período de 30 minutos em temperatura ambiente com condições de iluminação fraca e refeito os grânulos de ração, também de forma manual, utilizando peneiras granulométrica. Os grânulos (1,4 mm de diâmetro) foram secos a 50 °C por 24 h em estufa de circulação forçada de ar e armazenados no escuro a 4 °C. A dieta controle (DC) foi preparada da mesma forma, mas as microcápsulas não foram adicionadas.

2.3 Animais

O ensaio *in vivo* foi realizado no Bioparque Pantanal, Campo Grande – MS, utilizando-se a espécie nativa *Gymnocorymbus ternetzi*, tetras negros, provenientes do Bioparque Pantanal, de mesmo período reprodutivo. Os animais foram previamente aclimatados no sistema de recirculação individual por um período de 15 dias, alimentados com ração comercial duas vezes ao dia, até o início do experimento.

Foram utilizados 90 juvenis de tetras negros (*Gymnocorymbus ternetzi*) com peso corporal médio $2,74 \pm 0,82$ g e comprimento total de $5,31 \pm 0,46$ cm, divididos em nove unidades experimentais (60 L de água) contendo dez peixes, totalizando 30 peixes por tratamento, em sistema de recirculação individual, com fotoperíodo de 12

horas de luz e filtragem mecânica e biológica. A qualidade da água foi monitorada semanalmente (temperatura: $28,7^{\circ}\text{C} \pm 0,8$, condutividade: $200,5 \pm 1,5 \mu\text{S.cm}^{-1}$, oxigênio dissolvido: $5,2 \pm 0,8 \text{ mg.l}^{-1}$ e pH: $7,2 \pm 0,1$) consideradas adequadas para a criação da maioria das espécies tropicais de peixes (Godoy et al., 2021).

Os peixes foram alimentados por um período de 21 dias até a saciedade aparente duas vezes ao dia (Sousa et al., 2023). O ensaio foi aprovado pelo Comitê de Ética no Uso de Animais da Universidade Federal da Grande Dourados (Protocolo 03/2019).

2.4 Teste de inclusão de microcápsula

Os juvenis de tetras negros (*Gymnocorymbus ternetzi*) foram divididos em três grupos (n=30). O grupo controle foi alimentado com dieta comercial (40,88% PB e $4374,8 \text{ Kcal kg}^{-1}$) e dois grupos de dieta basal foi suplementada com 800 mg de antocianinas microencapsuladas de amora-preta (MAP)/kg de ração (Rahimi-Madiseh et al., 2016): M15 (15% de material de parede) e M20 (20% de material de parede).

A tolerância dos peixes foi aferida pela sobrevivência aos protocolos de alimentação diariamente. No 21º dia (Sousa et al., 2023) os peixes foram eutanasiados (Honorato e Nascimento, 2016), realizado a biometria, mensurando comprimento (mm) e peso (g), posteriormente retirados o fígado e intestino de 15 exemplares por tratamento para análise da atividade digestiva, função hepática e antioxidante.

Na avaliação do desempenho foram mensurados: ganho em peso diário (GP) = $(\text{peso final} - \text{peso inicial}) / \text{tempo}$, Consumo (C) = consumo de alimento no período experimental, Sobrevivência (S) = $(\text{número inicial de animais} - \text{número final de animais}) / 100$ e fator de condição (K) = W/L^b (Lima-Junior et al., 2002).

A coloração, todos os peixes foram utilizados e aferidos com o auxílio de fotocolorímetro portátil (Chroma Meter CR-400 Konica Minolta®), por sistema de coordenadas de Hunter L*, a*, b*, que mediu a intensidade de L* que representa brilho ou luminosidade (-100 preto e, +100 branco), a cromaticidade de a*, representado pelas tonalidades de verde (-100) e vermelho (+100) e a cromaticidade de b*, representado pelas tonalidades de azul (-100) e amarelo (+100) (Gouveia e Rema,

2005). A mensuração foi realizada na região dorsal, logo abaixo da nadadeira dorsal, no peixe *in vivo*.

2.5 Atividade enzimática e antioxidante

As amostras de intestino (100 mg) e fígado (100 mg) foram homogeneizadas com tampão fosfato de sódio (glicerol v/v em tampão fosfato de sódio 20mM e Tris 10mM - pH 7,0) em homogeneizador tipo Potter-Elvehjem. Posteriormente, esta amostra foi centrifugada a 4 °C por três minutos a 600 x g e o sobrenadante submetido a uma nova centrifugação por oito minutos a 6000 x g.

Para análise das enzimas digestivas, o sobrenadante da homogeneização das amostras do intestino, foi utilizado para os ensaios enzimáticos de amilase, lipase, protease inespecífica e fosfatase alcalina. As leituras das amostras foram realizadas por espectrofotometria (espectrofotômetro semiautomático Bioplus S-200), com luz de comprimento de onda apropriado para cada teste.

Para análise das enzimas metabólicas, o sobrenadante da homogeneização das amostras do fígado foi utilizado para os ensaios enzimáticos da alanina aminotransferase (ALT) e aspartato aminotransferase (AST). As mensurações da atividade das referidas enzimas foram determinadas por uma modificação do método de Reitman e Frankel (1957). As leituras das amostras foram realizadas por espectrofotometria (espectrofotômetro semiautomático Bioplus S-200), com luz de comprimento de onda apropriado para cada teste.

A atividade antioxidante do fígado foi aferida através das enzimas antioxidantes, superóxido dismutase (SOD) e catalase (CAT). A superóxido dismutase (SOD) foi testada por auto oxidação de pirogallol, que é inibida na presença de SOD (Beutler, 1984, modificado). As leituras de absorbância foram realizadas a 420 nm, considerando que 1,0 UI inibe 50% do auto oxidação do pirogallol. A atividade da Catalase (CAT) foi testada pela leitura do decaimento de Peróxido de Hidrogênio (H₂O₂) a 230 nm (Beutler, 1984). Uma unidade de CAT foi definida como a quantidade de enzima necessária em 1,0 µmol de oxidação de H₂O₂ min⁻¹, e a absortividade molar utilizada foi (H₂O₂) $\epsilon_{230} = 0,071 \text{ mM cm}^{-1}$. A proteína foi determinada com reagente de Bradford contra uma solução padrão de BSA (Kruger, 2009).

2.6 Procedimento estatístico

As análises estatísticas foram realizadas por meio do software RStudio (versão 1.1.423 – © 2009-2018 RStudio, Inc.). A normalidade dos dados foi verificada pelo teste de Shapiro-Wilk. Foi realizada uma Análise de Variância (ANOVA); e quando as diferenças foram significativas ($P < 0,05$), as médias foram comparadas pelo teste de Tukey. Os resultados foram expressos como média $\pm$ desvio padrão (DP).

3. RESULTADOS

As microcápsulas contendo 20% de maltodextrina apresentaram valores de 160 mg.100g⁻¹ de antocianinas totais, capacidade antioxidante de 610 $\mu\text{g.g}^{-1}$ e parâmetros de coloração ($L^* = 62,83$ (luminosidade, com tendencia ao branco), $a^* = 40,42$ (indicando tendencia a tonalidade vermelha) e $b^* = 10,5$ (indicando tendencia a tonalidade amarela)). Já as formulações com 15% de maltodextrina apresentaram valores de 220 mg.100g⁻¹ de antocianinas totais, capacidade antioxidante de 630 $\mu\text{g.g}^{-1}$ e parâmetros de coloração ($L^* = 50,18$ (luminosidade, com tendencia ao branco), $a^* = 37,71$ (indicando tendencia a tonalidade vermelha) e $b^* = 10,6$ (indicando tendencia a tonalidade amarela)).

Não foi observado alteração nas variáveis de desenvolvimento e sobrevivência (Tabela 1). O consumo de dieta foi maior quando se utilizou a dieta M15 ($p < 0,05$).

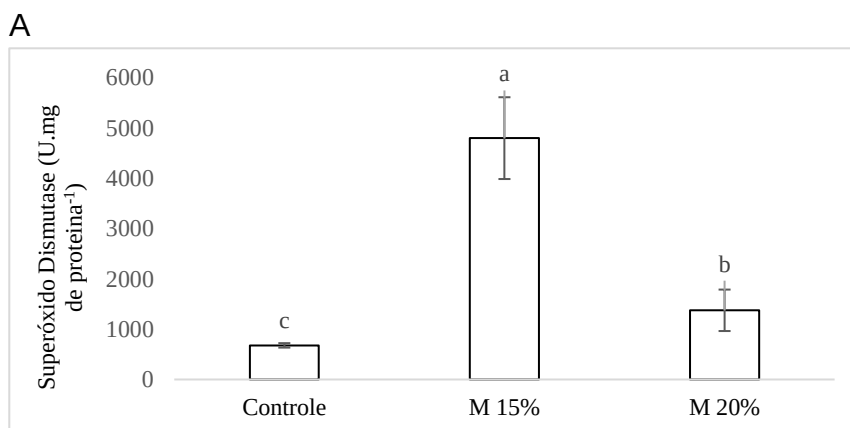
A atividade da fosfatase alcalina não apresentou diferença estatística. A atividade das enzimas protease inespecífica, lipase e amilase, demonstram-se responsivas à presença de antocianinas microencapsuladas de amora-preta presentes na dieta (Tabela 1). A albumina não apresentou diferença estatística entre os tratamentos ($p > 0,05$). Houve diminuição da atividade da ALT e AST em relação ao grupo controle (Tabela 1).

Tabela 1. Desempenho, atividade das enzimas digestivas, metabólicas e antioxidantes de tetra-negro (*Gymnocorymbus ternetzi*) alimentados com microcápsula com antocianinas provenientes da amora-preta (*Rubus spp*).

	Controle	M 15%	M 20%	P
Performance				
Ganho em Peso (mg)	2,89 ± 0,156	2,44 ± 0,58	2,58 ± 0,23	0,480
Consumo de ração (mg)	6,27 ± 1,06b	10,12 ± 0,46 ^a	6,49 ± 1,14b	0,0017
Fator de condição	3,5	3,8	3,72	-
Atividade Digestiva (U.mg de proteína⁻¹)				
FA	2,18 ± 0,30	2,44 ± 0,35	2,22 ± 0,34	0,817
Lipase	0,13 ± 0,24b	0,17 ± 0,01a	0,15 ± 0,03a	0,0002
Protease	1,42 ± 0,01b	2,67 ± 0,08a	1,33 ± 0,37b	<0,0001
Amilase	0,18 ± 0,11c	0,61 ± 0,10b	1,03 ± 0,14a	<0,0001
Atividade Metabólica (U.mg de proteína⁻¹)				
Albumina	0,027 ± 0,022	0,024 ± 0,022	0,019 ± 0,005	0,782
AST	72,90 ± 3,60a	70,61 ± 5,52b	65,90 ± 9,49b	<0,001
ALT	48,17 ± 8,11a	29,47 ± 8,02b	38,30 ± 7,47b	0,003

*Médias seguidas de letras distintas reportam diferença pelo teste de Tukey (P<0,05); Dados expressos em média ± desvio padrão. FA= Fosfatase Alcalina; ALT= Alanina Aminotransferase; AST= Aspartato Aminotransferase.

Houve aumento da atividade da superóxido dismutase (SOD) e catalase (CAT) nos peixes alimentados com dietas contendo antocianinas microencapsuladas de amora-preta (Figura 1A, B).



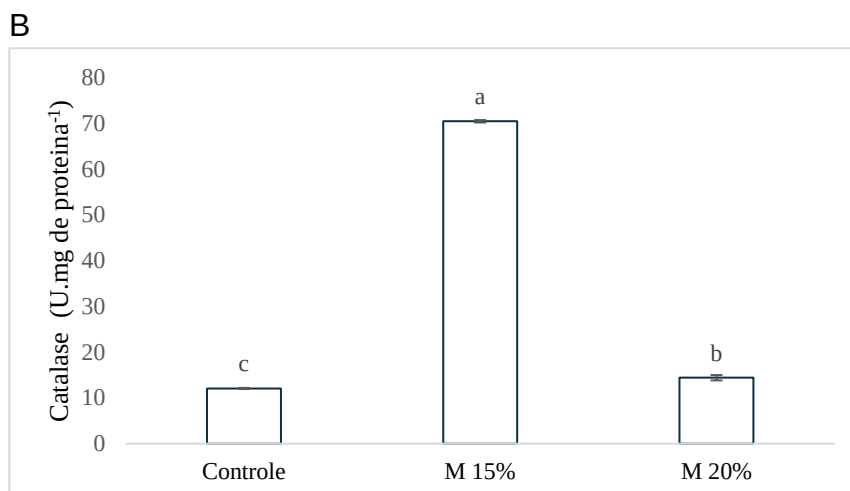


Figura 1. Atividade das enzimas (A) Superóxido dismutase e (B) Catalase do tetra-negro (*Gymnocorymbus ternetzi*) alimentados com microcápsula com antocianinas provenientes da amora-preta (*Rubus spp*).

A utilização da dieta M20 apresentou diminuição da Luminosidade (peixes mais escuros), aumento da cromaticidade a^* e cromaticidade b^* (Figura 2; Figura 3).

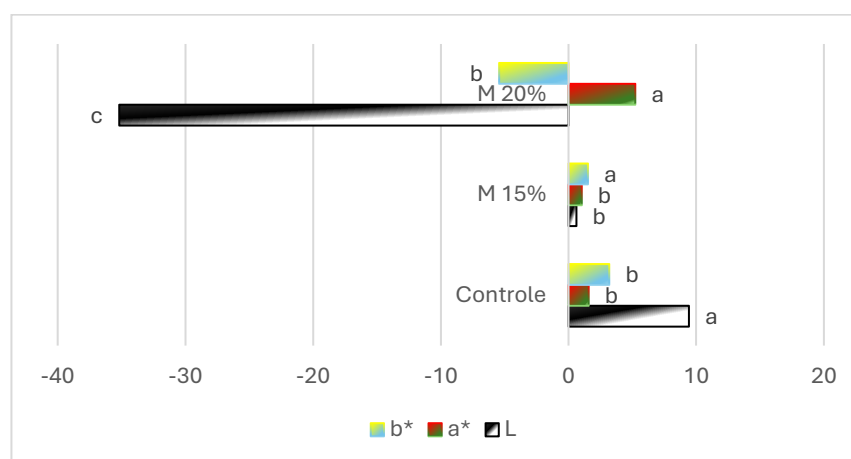


Figura 2. Coloração da pele tetra-negro (*Gymnocorymbus ternetzi*) alimentados com microcápsula com antocianinas provenientes da amora-preta (*Rubus spp*). L^* (-100 preto e, +100 branco), a cromaticidade de a^* , representado pelas tonalidades de verde (-100) e vermelho (+100) e a cromaticidade de b^* , representado pelas tonalidades de azul (-100) e amarelo (+100) (Rezende et al., 2012).

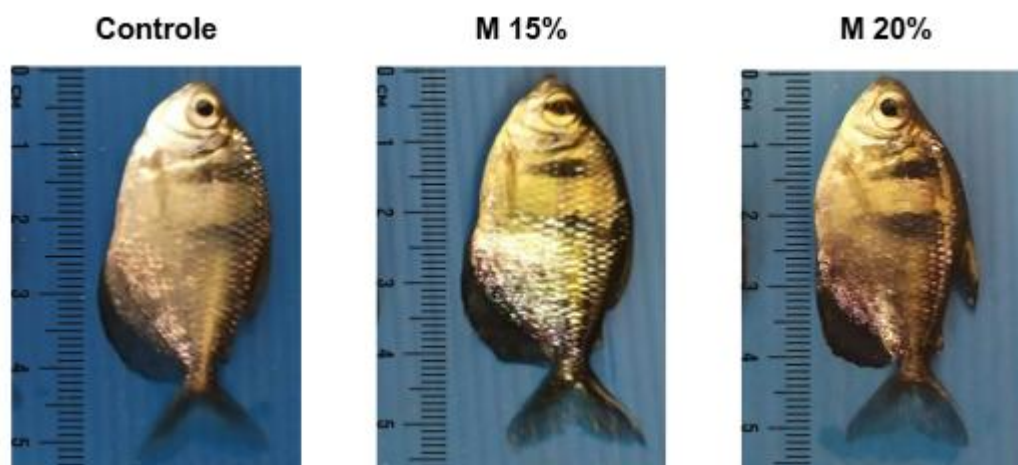


Figura 3. Efeito da inclusão de microcápsula com antocianinas provenientes da amora-preta (*Rubus spp.*) na pigmentação da pele de juvenis de tetra-negro (*Gymnocorymbus ternetzi*). Dietas experimentais: Controle (dieta comercial), M15 (dieta basal suplementada com 800 mg de antocianinas microencapsuladas de amora-preta (MAP)/kg de ração, com 15% de material de parede) e M20 (dieta basal suplementada com 800 mg de antocianinas microencapsuladas de amora-preta (MAP)/kg de ração, com 20% de material de parede).

4. DISCUSSÃO

A utilização de substâncias naturais com alta concentrações de ativos nutricionais exerce efeito direto na função hepática de peixes (Do Carmo Ota et al., 2019; Long et al., 2022). O uso de alguns frutos ricos em substâncias pigmentantes podem promover efeitos hipolipidêmico e hepatoprotetor, provavelmente devido a mecanismos atribuídos à sua capacidade antioxidante, metabolismo lipoproteico no fígado e inibição da lipogênese (Ramezani et al., 2021; Zou et al., 2021; Wangkahart et al., 2022). Dentre estes, as antocianinas vêm sendo reportada como hepatoprotetor (Meng et al., 2019; Ramezani et al., 2021) e com estimulante na atividade na reprodução animal (Mansour et al., 2006; Sepehrfar et al., 2023).

O conteúdo total de antocianina na microcápsula de extrato de amora-preta é causado pela cor do cálice ou diferenças entre cultivares e local da cultura. Há

literatura reporta que o perfil de antocianinas da amora-preta está entre 88,6 a 95,2% de cianidina 3-glicosídeo (Wu e Prior, 2005). Esta alta atividade antioxidante pode ser atribuída a alta concentração de flavonoides. Alguns autores reportam que a alta concentração de flavonoides é comum em diferentes cultivares brasileiros, entre 123,3 a 213,3 expressos em mg de aglicona (quercetina, cianidina ou epicatequina) por 100 g de peso fresco de fruto (Hassimotto et al., 2008).

A presença de quercitrina no extrato é benéfico para alimentação de organismos aquáticos pois estimula a funções digestivas e hepatoprotetora (Do Carmo Ota et al., 2019). A utilização de quercetina para peixes está associada principalmente na redução de efeitos tóxicos em carpa comum (*Cyprinus carpio*) (Nasirin et al., 2023), mitiga os efeitos da contaminação de aflatoxina em *Labeo rohita* (Bhatt et al., 2024). Além desses benefícios, a quercetina também é fundamental no que tange a modulação do sistema imunológico dos peixes submetidos ao estresse de manejo como hipoxia (Verma et al., 2024), o que permite melhoras nas condições de bem-estar durante a produção de organismos aquáticos em sistemas intensificados.

Produtos ricos em antocianinas apresentam atividade biológica na eliminação de radicais livres (Kubiriza et al., 2019) e benefícios a saúde animal (Sawicki et al., 2020; Honorato et al., 2022). A ação de compostos contendo ativos nutricionais como corantes na alimentação animal pode promover anabolismo e melhora no desempenho (Nhan et al., 2019; Vanegas-Espinoza et al., 2019; Rashidian et al., 2021). Neste trabalho observou-se aumento do consumo da dieta contendo antocianinas microencapsuladas de amora-preta que demonstra o potencial do produto como palatabilizante para organismos aquáticos.

O aumento do consumo da dieta contendo antocianinas microencapsuladas de amora-preta promoveu mudanças na atividade digestiva. A ação de aditivos nutricionais ricos em quercitrina em dietas para peixes pode ter efeito no aproveitamento da dieta assim como no processo de metabolização (Do Carmo Ota et al., 2019). O efeito benéfico proporcionado pelo uso de plantas na alimentação de peixes é um dos motivos para a inclusão destes ativos (Cruz et al., 2023; Haque et al., 2023). O modo de ação dessas plantas e seus derivados são atribuídos à presença de muitos componentes do princípio ativo (Honorato et al., 2021) diretamente

relacionada à assimilação de compostos dietéticos (Vanegas-Espinoza et al., 2019) a presença de antocianinas (Scárdua et al., 2024).

A utilização de altas concentrações de antocianinas de rosela promoveu diminuição na taxa de desenvolvimento (Vanegas-Espinoza et al., 2019) que foi atribuída as enzimas digestivas e/ou interações de antocianinas com compostos da dieta que resultam em alterações na digestibilidade dos macronutrientes (Gomes et al., 2021; Honorato et al., 2022).

A indução da produção de enzimas digestivas não depende de substrato específico (Dorce et al., 2020; Camilo et al., 2021) o que pode ser resposta da presença de quercetina no extrato da amora. Corroborando com os estudos que evidenciam a ação de produtos naturais como indutivo de atividades digestivas (Honorato et al., 2021, 2022; Cruz et al., 2023). As dietas com antocianinas microencapsuladas de amora-preta promoveram aumento da atividade da fosfatase alcalina, isso evidencia a ação das antocianinas no trato digestório. Ressalta-se que o aumento da atividade da fosfatase alcalina (FA) corresponde a uma maior absorção de nutrientes pelo trato digestório. O aumento da atividade da FA intestinal estimulado pela inclusão de produtos naturais foi reportado para *Oreochromis niloticus* (Carmo-Ota et al. 2019) e beta (*Betta splendens*) (Dorce et al., 2025), que resultou em melhora na saúde e bem-estar dos peixes (Santos et al., 2022) principalmente no que tange às funções hepáticas (Do Carmo Ota et al., 2019).

A alimentação com M15 proporcionou maior atividade da protease e lipase digestiva. A maior atividade das enzimas digestivas no trato digestório tem como resultado maior aporte para os processos digestivos e efeito aproveitamento da digesta (Santos et al., 2022; Dorce et al., 2024).

O aumento das atividades da protease indica que a presença de antocianinas microencapsuladas de amora-preta regula a secreção. As proteases, por sua vez, são as enzimas responsáveis pela digestão de proteínas. As proteínas são essenciais por serem compostas de vários aminoácidos, que são componentes essenciais na estrutura e funcionamento de todos os organismos vivos. São responsáveis por suprir os requisitos indispensáveis de aminoácidos do animal e, em segundo lugar, fornecer aminoácidos dispensáveis ou nitrogênio amino suficiente para permitir sua síntese (Sales e Janssens, 2003).

A produção de enzimas é estimulada pela presença de algum alimento específico, que está associado tanto a produção como a modulação da expressão genica no hepatopâncreas (Fuentes-Quesada et al., 2018). A adequada utilização da proteína é muito importante para a nutrição de peixes e depende fortemente das proteases (Santos et al., 2021). A maior atividade da amilase foi observada nos peixes alimentado com a dieta M20, esta resposta está associada a maior quantidade de material de parede da microcápsula.

O material de parede da microcápsula é constituído por polímero que habitualmente é de uma fonte de carboidrato (Condé et al., 2023). Isto se deve às características do material de parede que são altamente suscetíveis à ação enzimática (Yúfera et al., 1999) conferindo assim maior disponibilidade de glicose. A glicose pode influenciar diretamente a produção desta enzima pelo tecido pancreático, ou indiretamente, estimulando a liberação de insulina pelo pâncreas que atuará estimulando a produção de amilase (Camilo et al., 2021). No geral a atividade das carboidratases trato digestório de peixes está associado ao nível de carboidrato da dieta (Dorce et al., 2024)

O maior aporte de nutrientes no organismo do tetra-negro foi auxiliado pela presença das antocianinas, que devido sua alta atividade antioxidante promoveu efeito hepatoprotetor. O aumento da atividade da AST e ALT é considerado resposta do organismo a estressores e ao metabolismo nutricional e é um indicativo de órgão lesionado ou danificado (Meng et al., 2018). Os benefícios hepáticos das antocianinas em peixes ornamentais (França et al., 2022; Cruz et al., 2023) com comportamento otimista (Siqueira et al., 2019, 2024) e atividade antioxidante (Cruz et al., 2023).

A maior atividade da CAT e SOD com a inclusão antocianinas microencapsuladas de amora-preta está atrelada a capacidade de remoção dos radicais livres, e a inibição de compostos reativos no metabolismo, retardando a ocorrência de danos (Godoy et al., 2024). O que difere os peixes ornamentais de outras espécies são as diferentes rotas metabólicas para os carotenoides (Scárdua et al., 2024).

Além da pigmentação, o uso de aditivos naturais faz com que aumente a imunidade (Dorce et al., 2025). Estudos apontam que frutas além de fornecer nutrientes, contêm níveis significativos de carotenóides, tocoferóis e fenólicos em sua

polpa (Sousa et al., 2011; Siqueira et al., 2018) o que altera a coloração dos peixes ornamentais (França et al., 2022; Cruz et al., 2023; Dorce et al., 2025). O efeito conjugado de atividade antioxidante e efeito na coloração são reportados com sucesso na utilização de tomate (*Solanum lycopersicum*), cenoura (*Daucus carota*) (Mirzaee et al., 2012) e beterraba (*Beta vulgaris*) (Goswami e VS., 2015; Song et al., 2017), urucum (*Bixa orellana* L.) (Dorce et al., 2025), jabuticaba (*Plinia cauliflora*) (França et al., 2022) e hibisco (*Hibiscus sabdariffa* L.) (Cruz et al., 2023).

A pigmentação dos peixes está associada a espécie de peixes, a capacidade do corante em pigmentar e a concentração deste na dieta (Li et al., 2017) e principalmente a forma de inclusão (Vanegas-Espinoza et al., 2019). Há relatos que para maior expressão da coloração há necessidade de aumentar a disponibilidade de outros antioxidantes (Besen et al., 2019) o que foi possível devido a utilização da microcápsula.

As antocianinas em pH neutro a alcalino tendem a se mostrar de coloração azul violeta (Zhao et al., 2022) sendo um fator importante para conferir colorações mais escuras. O estudo de corantes para conferir colorações escuras em peixes ornamentais ainda é escasso.

Estes resultados revelam que a adição de antocianinas microencapsuladas de amora-preta auxilia de forma benéfica nas funções digestivas, aumentando a capacidade de digerir e na capacidade de absorção o que resultou em peixes mais coloridos em virtude da atividade antioxidante promovida pelas antocianinas.

5. CONCLUSÃO

A dieta inclusa de antocianinas microencapsuladas de amora-preta com 20% de material de parede (M20) promoveu os peixes mais escuros, entretanto para os parâmetros de desempenho, atividade das enzimas digestivas, metabólicas e antioxidantes foi inferior quando comparado a dieta experimental M15.

Recomenda-se como aditivo alimentar a inclusão de antocianinas microencapsuladas de amora-preta com 15% de material de parede (M15), pois apresenta efeito conjugado na coloração e atividade antioxidante para o tetra-negro (*Gymnocorymbus ternetzi*).

6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Besen, K.P., Melim, E.W.H., da Cunha, L., Favaretto, E.D., Moreira, M., Fabregat, T.E.H.P. (2019). Lutein as a natural carotenoid source: Effect on growth, survival and skin pigmentation of goldfish juveniles (*Carassius auratus*). **Aquaculture Research** 50:2200–2206. <https://doi.org/10.1111/are.14101>.
- Beutler, H.O. (1984). A new enzymatic method for determination of sulphite in food. **Food Chemistry** 15:157–164. [https://doi.org/10.1016/0308-8146\(84\)90108-0](https://doi.org/10.1016/0308-8146(84)90108-0).
- Bhatt, D., Pandey, A., Holeyappa, S.A., Bansal, N., Khairnar, S.O. (2024). Histomorphological Alterations in the Liver of *Labeo rohita* Exposed to Aflatoxin B1 and Quercetin-Enriched Diets. **National Academy Science Letters** 47:425–432. <https://doi.org/10.1007/s40009-023-01369-x>.
- Brand-Williams, W., Cuvelier, M.E., Berset, C. (1995). Use of a free radical method to evaluate antioxidant activity. **LWT - Food Science and Technology** 28:25–30. [https://doi.org/10.1016/S0023-6438\(95\)80008-5](https://doi.org/10.1016/S0023-6438(95)80008-5).
- Buczyński, K., Kapłan, M., Jarosz, Z. (2024). Review of the Report on the Nutritional and Health-Promoting Values of Species of the *Rubus* L. Genus. **Agriculture** 14:1324. <https://doi.org/10.3390/agriculture14081324>.
- Camilo, R.Y., Honorato, C.A., Santos, R.F.B., Avilez, I.M., de Almeida, L.C., Moraes, G. (2021). Macronutrients and essential amino acids on the digestive process of the freshwater teleost matrinxã (*Brycon amazonicus*). **Medicina Veterinaria** (Brazil) 15:413–421. <https://doi.org/10.26605/medvet-v15n4-2266>.
- Cardoso, A.J. da S., dos Santos, W.V., Gomes, J.R., Martins, M.T.S., Coura, R.R., Oliveira, M.G. de A., Salaro, A.L., Ferreira, P. de M. F., Carneiro, A.P.S., Zuanon, J.A.S. (2021). Ginger oil, *Zingiber officinale*, improve palatability, growth and nutrient utilisation efficiency in Nile tilapia fed with excess of starch. **Animal Feed Science and Technology** 272:114756. <https://doi.org/10.1016/j.anifeedsci.2020.114756>.
- Condé, D., Mendes, L., Ramos, G., Silva, R., Teixeira, A., Teixeira, R.R., Martins, G., Cerceau, C., Lopes, R. (2023). Larvicidal Activity of Calcium Alginate Microcapsules Containing Clove Essential Oil Obtained by Microfluidics. **Journal of the Brazilian Chemical Society** 34:1166–1174. <https://doi.org/10.21577/0103-5053.20230029>.
- Cruz, B.L. da, Scardua, M.P., Sousa, R.M., Siqueira, M.S., Gimênes Junior, H., Ziemniczak, H.M., Pause, A.G. da S., Braz, P.H., Honorato, C.A. (2023). Extrato hidroalcoólico de rosela (*Hibiscus sabdariffa* L.) na alimentação do peixe Mato Grosso (*Hyphessobrycon eques*). **Medicina Veterinária** (Brazil), 17:114–118. <https://doi.org/10.26605/medvet-v17n2-5337>.
- Ding, N., Zhou, Y., Dou, P., Chang, S.K.C., Feng, R., Hong, H., Luo, Y., Tan, Y. (2024). Colorful and nutritious abundance: potential of natural pigment application in aquatic products. **Food Innovation and Advances** 3:232–243. <https://doi.org/10.48130/fia-0024-0023>.

do Carmo Ota, E., Honorato, C.A., Heredia-Vieira, S.C., Flores-Quintana, C.I., de Castro Silva, T.S., Inoue, L.A.K.A., Cardoso, C.A.L. (2019). Hepatic and gastroprotective activity of *Serjania marginata* leaf aqueous extract in Nile tilapia (*Oreochromis niloticus*). **Fish Physiology and Biochemistry** 45:1051–1065. <https://doi.org/10.1007/s10695-019-00622-9>.

Dorce, L.S., do Couto, M.V.S., da Silva, W.V., Siqueira, M.S., do Carmo Ota, E., Saturnino, K.C., Scardua, M.P., Neu, D.H., Martelli, S.M., Honorato, C.A. (2025). Mitigation of cold stress in red female betta (*Betta splendens*) through dietary supplementation with annatto (*Bixa orellana* L.) oil extract. **Aquaculture International** 33:100. <https://doi.org/10.1007/s10499-024-01767-y>.

Dorce, L.S., Godoy, A.C., Santos, R.F.B., Ota, É. do C., Reges, J.A.U., Ferreira, A.C.V., Braz, P.H., Neu, D.H., Honorato, C.A. (2024). Moisture content in diets in the co-feeding phase of *Pseudoplatystoma* sp. influences performance and digestive process. **Veterinary Research Communications** 48:2977–2988. <https://doi.org/10.1007/s11259-024-10448-3>.

Dorce, L.S., Mendonça, W.C.B., Siqueira, M.S., Santos, R.F.B., Sousa, R.M., Ziemniczak, H.M., Honorato, C.A. (2020). Atividade das enzimas digestivas frente a restrição alimentar de peixes ornamentais. **Agrarian** 13:107–113. <https://doi.org/10.30612/agrarian.v13i47.9912>.

Ferreira, D.S., Rosso, V.V. de, Mercadante, A.Z. (2010). Bioactive compounds of blackberry fruits (*Rubus spp.*) grown in Brazil. Compostos bioativos presentes em amora-preta (*Rubus spp.*). **Revista Brasileira de Fruticultura** 32:664–674. <https://doi.org/10.1590/S0100-29452010005000110>.

França, G.B., Siqueira, M.S., Melo, J.C. de S., de Albuquerque, D.T., Venturini, F.P., Honorato, C.A. (2022). Hydroalcoholic extract of jabuticaba peel in the diet of betta fish. **Boletim Do Instituto de Pesca** 48:1–7. <https://doi.org/10.20950/1678-2305/BIP.2022.48.E659>.

Fuentes-Quesada, J.P., Viana, M.T., Rombenso, A.N., Guerrero-Rentería, Y., Nomura-Solís, M., Gomez-Calle, V., Lazo, J.P., Mata-Sotres, J.A. (2018). Enteritis induction by soybean meal in *Totoaba macdonaldi* diets: Effects on growth performance, digestive capacity, immune response and distal intestine integrity. **Aquaculture** 495:78–89. <https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2018.05.025>.

Godoy, A.C., Rovigatti Chiavelli, L.U., Oxford, J.H., Rodrigues, R.B., de Oliveira Ferreira, I., Marcondes, A.S., Honorato da Silva, C.A., Neu, D. (2021). Evaluation of limnological dynamics in Nile tilapia farming tank. **Aquaculture and Fisheries** 6:485–494. <https://doi.org/10.1016/j.aaf.2020.08.005>.

Godoy, A.C., Ziemniczak, H.M., Fantini-Hoag, L., da Silva, W.V., Ferreira, A.C.V., Saturnino, K.C., Neu, D.H., Gandra, J.R., de Padua Pereira, U., Honorato, C.A. (2024). The effects of probiotic-based additives on aflatoxin intoxication in *Piaractus mesopotamicus*: a study of liver histology and metabolic performance. **Veterinary Research Communications** 48:2281–2294. <https://doi.org/10.1007/s11259-024-10409-w>.

- Gomes, V.D.S., Cavalcanti, C.R., Batista, J.M.M., Almeida, J.L.S. de, Santos, F.G. de A., Jordão Filho, J. (2021). USO DE ADITIVOS ALIMENTARES PARA PEIXES ORNAMENTAIS. **Revista Científica Rural** 23:266–279. <https://doi.org/10.30945/rcr-v23i1.3741>.
- Goswami, C., VS., Z. (2015). Effect of *Daucus carota* and *Beta vulgaris* on Color of *Anabrus testudineus*. **Fisheries and Aquaculture Journal** 06. <https://doi.org/10.4172/2150-3508.1000132>.
- GOUVEIA, L., REMA, P. (2005). Effect of microalgal biomass concentration and temperature on ornamental goldfish (*Carassius auratus*) skin pigmentation. **Aquaculture Nutrition** 11:19–23. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2095.2004.00319.x>.
- Haque, R., Sawant, P.B., Sardar, P., Varghese, T., Xavier, K.A.M., Chadha, N.K., Sundaray, J.K., Haldar, C., Jana, P., Pattanaik, S.S. (2023). Shrimp shell waste-derived astaxanthin in synergistic combination with its commercial variant augments gonadal maturation and upregulates vitellogenin gene expression of discus (*Symphysodon aequifasciatus*). **Aquaculture** 562:738828. <https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2022.738828>.
- Hassimotto, N.M.A., Mota, R.V. da, Cordenunsi, B.R., Lajolo, F.M. (2008). Physico-chemical characterization and bioactive compounds of blackberry fruits (*Rubus sp.*) grown in Brazil. **Ciência e Tecnologia de Alimentos** 28:702–708. <https://doi.org/10.1590/S0101-20612008000300029>.
- Honorato, C.A., Dorce, L.S., Ziemniczak, H.M., Vasconcelos, F.A.B., dos Santos, S.P. (2021). Bioativos de plantas do cerrado na alimentação de peixes ornamentais. In.: Nora FMD. (Eds.) **Compostos Bioativos e suas Aplicações**. Canoas: Mérida Publishers, p. 226–236. <https://doi.org/10.4322/mp.978-65-994457-7-4.c10>.
- Honorato, C.A., Nascimento, C.A. (2016). Metabolismo respiratório e da glicose de *Carassius auratus* submetidos à concentrações de eugenol. **Revista Brasileira de Saúde e Produção Animal** 17:545–552. <https://doi.org/10.1590/S1519-99402016000300019>.
- Honorato, C.A., Santos, R.F.B., da Silva, Â.R.A., Abe, H.A., Dorce, L.S., Araujo, D. de M., Fujimoto, R.Y. (2022). Fruit residues as diet ingredients for *Symphysodon discus*: nutrient digestibility. **Semina: Ciências Agrárias** 43:1875–1882. <https://doi.org/10.5433/1679-0359.2022V43N4P1875>.
- Honorato, C.A., Tesser, M.B., Portella, M.C., Carneiro, D.J. (2012). Microdietas na alimentação da tilápia do Nilo durante a fase de reversão sexual. **Nucleus Animalium** 4:27–36. <https://doi.org/10.3738/1982.2278.651>.
- Jiang, J., Nuez-Ortin, W., Angell, A., Zeng, C., de Nys, R., Vucko, M.J. (2019). Enhancing the colouration of the marine ornamental fish *Pseudochromis fridmani* using natural and synthetic sources of astaxanthin. **Algal Research** 42:101596. <https://doi.org/10.1016/j.algal.2019.101596>.

- Karangutkar, A.V., Ananthanarayan, L. (2021). Evaluating the effect of additives on stability of betacyanin pigments from *Basella rubra* in a model beverage system during storage. **Journal of Food Science and Technology** 58:1262–1273. <https://doi.org/10.1007/s13197-020-04635-8>.
- Kruger, N.J. (2009). The Bradford Method For Protein Quantitation. In.: Walker JM (Eds.) **The Protein Protocols Handbook**. Totowa: Humana Press, p. 17–24. https://doi.org/10.1007/978-1-59745-198-7_4.
- Kubiriza, G.K., Árnarson, J., Sigurgeirsson, Ó., Hamaguchi, P., Snorrason, S., Tómasson, T., Thorarensen, H. (2019). Growth and hepatic antioxidant enzyme activity of juvenile Arctic charr (*Salvelinus alpinus*) fed on diets supplemented with ethoxyquin, rosemary (*Rosmarinus officinalis*), or bladder wrack (*Fucus vesiculosus*). **Aquaculture International** 27:287–301. <https://doi.org/10.1007/s10499-018-0324-5>.
- Lees, D.H., Francis, F.J. (1972). Standardization of Pigment Analyses in Cranberries. **HortScience** 7:83–84. <https://doi.org/https://doi.org/10.21273/HORTSCI.7.1.83>.
- Li, M., Rahman, M.M., Wu, B., Lin, Y.C. (2017). Effects of dietary canthaxanthin on growth and body colour of blood parrot cichlid *Amphilophus citrinellus* × *Paraneetroplus synspilus*. **Aquaculture International** 25:705–713. <https://doi.org/10.1007/s10499-016-0068-z>.
- Lili, W., Naufaldy, F., Gumilar, I., Rosidah. (2020). Effectiveness of the astaxanthin addition in commercial feed to oscar (*Astronotus ocellatus*) color intensity. **Global Scientific Journals** 8:720–728. www.globalscientificjournal.com.
- Lim, S.H., Choi, C.I. (2019). Pharmacological properties of *Morus nigra* L. (Black Mulberry) as a promising nutraceutical resource. **Nutrients** 11:437. <https://doi.org/10.3390/nu11020437>.
- Lima-Junior, S.E., Cardone, I.B., Goitein, R. (2002). Determination of a method for calculation Allometric Condition Factor of fish. **Acta Scientiarum** 24:397–400.
- Long, S., Dong, X., Liu, H., Yan, X., Tan, B., Zhang, S., Chi, S., Yang, Q., Liu, H., Yang, Y., Zhang, H. (2022). Effect of dietary oxidized fish oil on liver function in hybrid grouper (♀ *Epinephelus fuscoguttatus* × ♂ *Epinephelus lanceolatus*). **Aquaculture Reports** 22:101000. <https://doi.org/10.1016/j.aqrep.2021.101000>.
- Mansour, N., McNiven, M.A., Richardson, G.F. (2006). The effect of dietary supplementation with blueberry, α-tocopherol or astaxanthin on oxidative stability of Arctic char (*Salvelinus alpinus*) semen. **Theriogenology** 66:373–382. <https://doi.org/10.1016/j.theriogenology.2005.12.002>.
- Martins, M.S., Gonçalves, A.C., Alves, G., Silva, L.R. (2023). Blackberries and Mulberries: Berries with Significant Health-Promoting Properties. **International Journal of Molecular Sciences** 24:12024. <https://doi.org/10.3390/ijms241512024>.
- Meng, X.L., Li, S., Qin, C.B., Zhu, Z.X., Hu, W.P., Yang, L.P., Lu, R.H., Li, W.J., Nie, G.X. (2018). Intestinal microbiota and lipid metabolism responses in the common carp (*Cyprinus carpio* L.) following copper exposure. **Ecotoxicology and Environmental Safety** 160:257–264. <https://doi.org/10.1016/j.ecoenv.2018.05.050>.

- Meng, X.L., Zhu, Z.X., Lu, R.H., Li, S., Hu, W.P., Qin, C.B., Yan, X., Yang, G., Nie, G.X. (2019). Regulation of growth performance and lipid metabolism in juvenile grass carp (*Ctenopharyngodon idella*) with honeysuckle (*Lonicera japonica*) extract. **Fish Physiology and Biochemistry** 45:1563–1573. <https://doi.org/10.1007/s10695-019-00644-3>.
- Mirzaee, S., Shabani, A., Rezaee, S., Hosseinzadeh, M. (2012). The effect of synthetic and natural pigments on the color of the guppy fish (*Poecilia reticulata*). **Global Veterinaria** 9:171–174.
- Nasirin, C., Najm, M.A.A., Chen, T.C., Dhamija, A., Lionardo, A., Bokov, D.O., Shahbazi Naserabad, S. (2023). The protective effects of quercetin on the physiological responses in malathion-exposed common carp, *Cyprinus carpio*. **Tropical Animal Health and Production** 55:22. <https://doi.org/10.1007/s11250-022-03429-8>.
- Nhan, H.T., Minh, T.X., Liew, H.J., Hien, T.T.T., Jha, R. (2019). Effects of natural dietary carotenoids on skin coloration of false Clownfish (*Amphiprion ocellaris* Cuvier, 1830). **Aquaculture Nutrition** 25:662–668. <https://doi.org/10.1111/anu.12887>.
- Porto, E.L.N., Lima, F.F. de, Sousa, R.M., Banhara, D.G. de A., Mendonça, W.C.B., Honorato, C.A. (2020). *Schinus terebinthifolius* raddi pepper oil used as na addictive in *Hyphessobrycon eques* steindachner fish diet. **Research, Society and Development** 9:e192963118. <https://doi.org/10.33448/rsd-v9i6.3118>.
- Porto, E.L.N., Lima, F.F. de, Sousa, R.M., Mendonça, W.C.B., Honorato, C.A. (2020). The *Hyphessobrycon eques* (Steindachner, 1882) coloration influenced by the addition of *Attalea Phalerata* Mart. ex spreng crude oil. **Research, Society and Development** 9:e97932578. <https://doi.org/10.33448/rsd-v9i3.2578>.
- Rahimi-Madiseh, M., Naimi, A., Heydarian, E., Rafieian-Kopaei, M. (2016). Renal biochemical and histopathological alterations of diabetic rats under treatment with hydro alcoholic *Morus nigra* extrac. **Journal of Renal Injury Prevention** 6:56–60. <https://doi.org/10.15171/jrip.2017.10>.
- Ramezani, F., Shekarabi, S.P.H., Mehrgan, M.S., Foroudi, F., Islami, H.R. (2021). Supplementation of Siberian sturgeon (*Acipenser baerii*) diet with barberry (*Berberis vulgaris*) fruit extract: Growth performance, hemato-biochemical parameters, digestive enzyme activity, and growth-related gene expression. **Aquaculture** 540:736750. <https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2021.736750>.
- Rashidian, G., Bahrami Gorji, S., Farsani, M.N., Prokić, M.D., Faggio, C. (2018). The oak (*Quercus brantii*) acorn as a growth promotor for rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*): growth performance, body composition, liver enzymes activity and blood biochemical parameters. **Natural Product Research** 34:2413–2423. <https://doi.org/10.1080/14786419.2018.1538994>.
- Rashidian, G., Rainis, S., Prokić, M.D., Faggio, C. (2021). Effects of different levels of carotenoids and light sources on swordtail fish (*Xiphophorus helleri*) growth, survival rate and reproductive parameters. **Natural Product Research** 35:3675–3686. <https://doi.org/10.1080/14786419.2020.1723091>.

Reges, J.A.U., Ferreira, A.C.V., Scárdua, M.P., Conceição, L.M.A., Da Silva, M.I., Dos Santos, S.P., Da Silva, A.G., Honorato, C.A. (2024). O agronegócio da aquicultura ornamental: aspectos da fisiologia adaptativa. In.: Oliveira AC De, Oliveira N, Barão FR (Eds.). **Vida em evolução explorando as ciências biológicas 2**. Ponta Grossa: Atena Editora, p. 28–53. <https://doi.org/10.22533/at.ed.6662412044>.

Reitman, S., Frankel, S. (1957). A Colorimetric Method for the Determination of Serum Glutamic Oxalacetic and Glutamic Pyruvic Transaminases. **American Journal of Clinical Pathology** 28:56–63. <https://doi.org/10.1093/ajcp/28.1.56>.

Rezende, F.P., Vidal Júnior, M.V., de Andrade, D.R., Mendonça, P.P., dos Santos, M.V.B. (2012). Characterization of a New Methodology Based on the Intensity of Skin Staining of Ornamental Fish with Applications in Nutrition. **Journal of Agricultural Science and Technology** 2:606–613.

Sales, J., Janssens, G.P.J. (2003). Nutrient requirements of ornamental fish. **Aquatic Living Resources** 16:533–540. <https://doi.org/10.1016/j.aquiliv.2003.06.001>.

Sanches, E.G. (2021). A magia dos pigmentos. **Aquaculture Brasil** 66–67.

Santos, R.F.B., Siqueira, M.S., Reis, R.G.A., Silva, W.V., Ziemniczak, H.M., Honorato, C.A. (2021). Influence of a blend of dietary essential amino acids on growth, enzymatic activity, and intestinal histology of blue discus. **Boletim Do Instituto de Pesca** 47:1–9. <https://doi.org/10.20950/1678-2305/bip.2021.47.e599>.

Santos, R.F.B., Souza-Melo, J.C. de, Reis, R.G.A., Siqueira, M.S., Ziemniczak, H.M., Honorato, C.A. (2022). Evaluation of commercial and experimental grower diets for use in intensive culture of *Symphysodon aequifasciatus*. **Panamjas - Pan-American Journal of Aquatic Sciences** 17:190–200. <https://doi.org/10.54451/PanamJAS.17.3.190>.

Sawicki, T., Topolska, J., Bączek, N., Szawara-Nowak, D., Juśkiewicz, J., Wiczowski, W. (2020). Characterization of the profile and concentration of betacyanin in the gastric content, blood and urine of rats after an intragastric administration of fermented red beet juice. **Food Chemistry** 313:126169. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2020.126169>.

Scárdua, M.P., Walker, S.M., Godoy, A.C., Honorato, C.A., Neu, D.H. (2024). The role of phenylalanine in the fish pigmentation process: a review. **International Aquatic Research** 16:101–111. <https://doi.org/10.22034/iar.2024.2007852.1607>.

Sepehrfar, D., Sudagar, M., Paknejad, H., Siahkalroodi S., Y., Norouzitallab, P. (2023). Role of phytochemicals in farmed fish reproductive performance: A review. **Iranian Journal of Fisheries Sciences** 22:1039–1068. <https://doi.org/10.22092/ijfs.2023.130580>.

Siqueira, M.A. de S., Coqueiro, K.T. de O., Zuninga, A. (2018). Caracterização fitoquímica de frutos nativos do cerrado (*Hancornia speciosa*, *Campomanesia xanthocarpa*, *Eugenia dysenterica*) uma breve revisão. **Revista Interdisciplinar Da Universidade Federal Do Tocantins** 5:128–134. <https://doi.org/10.20873/uft.2359-3652.2018vol5n1p128>.

Siqueira, M.S., Povh, J.A., Ferreira, A.C.V., Reges, J.A.U., Kovalski-Dias, C. L., Gimênes-Junior, H., Honorato, C.A. (2024). Tranquilizing and hepatoprotective effects of red-eye tetra (*Moenkhausia Forestii*) diet fed with *Erythrina crista-galli*. **Veterinary Research Communications** 3793–3801. <https://doi.org/10.1007/s11259-024-10517-7>.

Siqueira, M.S., Sousa, R.M., Tirloni, C.A.S., Gebara, K.S., Stefanello Catelan, T.B., Honorato, C.A. (2019). Implications of erythrina crista-galli extract as antisiolytic for *Carassius auratus*. **Ciencia Animal Brasileira** 20. <https://doi.org/10.1590/1089-6891v20e-50520>.

Song, X., Wang, L., Li, X., Chen, Z., Liang, G., Leng, X. (2017). Dietary astaxanthin improved the body pigmentation and antioxidant function, but not the growth of discus fish (*Symphysodon spp.*). **Aquaculture Research** 48:1359–1367. <https://doi.org/10.1111/are.13200>.

Sousa, M.S.B., Vieira, L.M., Silva, M. de J. M. da, Lima, A. de. (2011). Caracterização nutricional e compostos antioxidantes em resíduos de polpas de frutas tropicais. **Ciência e Agrotecnologia** 35:554–559. <https://doi.org/10.1590/S1413-70542011000300017>.

Sousa, R.M., Siqueira, M.S., Scárdua, M.P., Pinho, T.A., Casari, A.C.A.B., Deboleto, S.G.C., Neu, D.H., Honorato, C. A. (2023). The effects of the inclusion of jabuticaba peel flour on performance, metabolism, and its influence on the skin color of *Carassius auratus*. **Tropical Animal Health and Production** 1–17. <https://doi.org/10.21203/rs.3.rs-2693660/v1>.

Swain, T., Hillis, W.E. (1959). The phenolic constituents of *Prunus domestica*. I.—The quantitative analysis of phenolic constituents. **Journal of the Science of Food and Agriculture** 10:63–68. <https://doi.org/10.1002/jsfa.2740100110>.

Vanegas-Espinoza, P.E., Pérez-Escalante, V., Aguirre-Guzman, G., Hoyos-Leyva, J.D., Del Villar-Martínez, A.A. (2019). Microencapsulation of anthocyanins from roselle (*Hibiscus sabdariffa*) and its application on a pigment supplied diet to fantail goldfish (*Carassius auratus*). **Aquaculture International** 27:1801–1811. <https://doi.org/10.1007/s10499-019-00430-1>.

Verma, A., Holeyappa, S.A., Bansal, N., Kaur, V.I. (2024). Efficacy of quercetin in ameliorating hypoxia-induced hematological and histopathological alterations in rohu *Labeo rohita*. **Fish Physiology and Biochemistry** 50:1171–1187. <https://doi.org/10.1007/s10695-024-01329-2>.

Vizzotto, M., Raseira, M. do C.B., Pereira, M.C., Fetter, M. da R. (2012). Teor de compostos fenólicos e atividade antioxidante em diferentes genótipos de amoreira-preta (*Rubus sp.*). **Revista Brasileira de Fruticultura** 34:853–858. <https://doi.org/10.1590/S0100-29452012000300027>.

- Wangkahart, E., Wachiraamonloed, S., Lee, P.T., Subramani, P.A., Qi, Z., Wang, B. (2022). Impacts of Aegle marmelos fruit extract as a medicinal herb on growth performance, antioxidant and immune responses, digestive enzymes, and disease resistance against *Streptococcus agalactiae* in Nile tilapia (*Oreochromis niloticus*). **Fish & Shellfish Immunology** 120:402–410. <https://doi.org/10.1016/j.fsi.2021.11.015>.
- Wu, X., Prior, R.L. (2005). Systematic Identification and Characterization of Anthocyanins by HPLC-ESI-MS/MS in Common Foods in the United States: Fruits and Berries. **Journal of Agricultural and Food Chemistry** 53:2589–2599. <https://doi.org/10.1021/jf048068b>.
- Wu, Y., Zhang, C., Huang, Z., Lyu, L., Li, J., Li, W., Wu, W. (2021). The color difference of rubus fruits is closely related to the composition of flavonoids including anthocyanins. **LWT** 149:111825. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2021.111825>.
- Yilmaz, S. (2019). Effects of dietary blackberry syrup supplement on growth performance, antioxidant, and immunological responses, and resistance of Nile tilapia, *Oreochromis niloticus* to *Plesiomonas shigelloides*. **Fish & Shellfish Immunology** 84:1125–1133. <https://doi.org/10.1016/j.fsi.2018.11.012>.
- Yilmaz, S., Ergün, S., Yigit, M., Yilmaz, E., Ahmadifar, E. (2020). Dietary supplementation of black mulberry (*Morus nigra*) syrup improves the growth performance, innate immune response, antioxidant status, gene expression responses, and disease resistance of Nile tilapia (*Oreochromis niloticus*). **Fish & Shellfish Immunology** 107:211–217. <https://doi.org/10.1016/j.fsi.2020.09.041>.
- Yúfera, M., Pascual, E., Fernández-Díaz, C. (1999). A highly efficient microencapsulated food for rearing early larvae of marine fish. **Aquaculture** 177:249–256. [https://doi.org/10.1016/S0044-8486\(99\)00088-5](https://doi.org/10.1016/S0044-8486(99)00088-5).
- Zhang, C., Tan, X., Lv, C., Zang, J., Zhao, G. (2021). Shrimp ferritin greatly improves the physical and chemical stability of astaxanthin. **Journal of Food Science** 86:5295–5306. <https://doi.org/10.1111/1750-3841.15945>.
- Zhao, L., Liu, Y., Zhao, L., Wang, Y. (2022). Anthocyanin-based pH-sensitive smart packaging films for monitoring food freshness. **Journal of Agriculture and Food Research** 9:100340. <https://doi.org/10.1016/j.jafr.2022.100340>.
- Zou, C., Fang, Y., Lin, N., Liu, H. (2021). Polysaccharide extract from pomelo fruitlet ameliorates diet-induced nonalcoholic fatty liver disease in hybrid grouper (*Epinephelus lanceolatus*♂ × *Epinephelus fuscoguttatus*♀). **Fish & Shellfish Immunology** 119:114–127. <https://doi.org/10.1016/j.fsi.2021.09.034>

CAPÍTULO 3

UTILIZAÇÃO DE ANTOCIANINAS MICROENCAPSULADAS DE BATATA-DOCE-ROXA (*Ipomoea batatas* (L.)) NA ALIMENTAÇÃO DE *Hyphessobrycon eques*

RESUMO - Este trabalho teve como objetivo avaliar a aceitabilidade e as respostas bioquímicas das dietas acrescidas de diferentes microcápsulas contendo extrato de antocianina provenientes da batata-doce-roxa (*Ipomoea batatas* (L.)) para o peixe mato-grosso (*Hyphessobrycon eques*), com os seguintes tratamentos: Controle, ME (maltodextrina + 7% extrato) e MEC (maltodextrina + 7% extrato + controlador). Foi realizada a avaliação do desempenho zootécnico, enzimas digestivas, metabólica, antioxidantes e coloração (L, a*, b*). Foram utilizados 135 juvenis de mato-grosso ($0,50 \pm 0,10$ g; $34,13 \pm 2,19$ mm), distribuídos em um delineamento inteiramente casualizado em nove unidades experimentais de 20 L, dispostos em um sistema de recirculação com filtro biológico, na densidade de 15 peixes por unidade experimental. Os peixes foram submetidos a um experimento alimentar por um período de 30 dias, e nesse período foram alimentados três vezes ao dia até a saciedade aparente. As dietas experimentais foram enriquecidas com 800 mg.kg^{-1} de antocianina microencapsulada. Ao final do estudo, não foram observadas alterações nas variáveis de desempenho zootécnico ($p > 0,05$). A luminosidade (L^*) foi afetada pela inclusão dos pigmentos antociânicos de batata-doce-roxa, em que a dieta MEC proporcionou o aumento do branco nos peixes que a consumiram ($p < 0,05$). A dieta enriquecida com ME afetou o parâmetro da protease, e os peixes que a consumiram apresentaram a maior concentração ($p < 0,05$). A fosfatase alcalina foi mais elevada nos peixes que consumiram as dietas dos tratamentos ME e MEC ($p < 0,05$). Estes resultados sugerem que a utilização de microcápsula de antocianinas da batata-roxa apresenta potencial de ser utilizada na dieta pela aceitabilidade e modulação das respostas digestivas e de absorção para o peixe mato-grosso (*Hyphessobrycon eques*).

Palavras-chaves: aditivo alimentar, antioxidantes, corantes naturais, peixe ornamental

USE OF MICROENCAPSULATED ANTHOCYANINS FROM PURPLE SWEET POTATO (*Ipomoea batatas* (L.)) FOR FEEDING *Hyphessobrycon eques*

ABSTRACT – This study aimed to evaluate the acceptability and biochemical responses of diets supplemented with different microcapsules containing anthocyanin extract from purple sweet potato (*Ipomoea batatas* (L.)) for the mato-grosso fish (*Hyphessobrycon eques*), with the following treatments: Control, ME (maltodextrin + 7% extract) and MEC (maltodextrin + 7% extract + controller). The evaluation of zootechnical performance, digestive enzymes, metabolic enzymes, antioxidants and color (L, a*, b*) was performed. A total of 135 juvenile mato-grosso fish (0.50 ± 0.10 g; 34.13 ± 2.19 mm) were used, distributed in a completely randomized design in nine experimental units of 20 L, arranged in a recirculation system with biological filter, at a density of 15 fish per experimental unit. The fish were subjected to a feeding experiment for a period of 30 days, and during this period they were fed three times a day until apparent satiety. The experimental diets were enriched with 800 mg.kg⁻¹ of microencapsulated anthocyanin. At the end of the study, no changes were observed in the zootechnical performance variables ($p > 0.05$). Luminosity (L*) was affected by the inclusion of anthocyanin pigments from purple sweet potato, in which the MEC diet provided an increase in white in the fish that consumed it ($p < 0.05$). The diet enriched with ME affected the protease parameter, and the fish that consumed it presented the highest concentration ($p < 0.05$). Alkaline phosphatase was higher in fish that consumed the ME and MEC diets ($p < 0.05$). These results suggest that the use of anthocyanin microcapsules from purple potatoes has the potential to be used in the diet due to its acceptability and modulation of digestive and absorption responses for the mato-grosso fish (*Hyphessobrycon eques*).

Keywords: food additive, antioxidants, natural colors, ornamental fish

1. INTRODUÇÃO

A aquicultura ornamental é um segmento em expansão, reflexo da comercialização (Gomes et al., 2019) e da demanda do consumidor (Gomes et al., 2021), representando um faturamento mundial superior a 15 milhões de dólares, com mais de 2 bilhões de espécies ornamentais comercializadas anualmente (Vasanthakumaran et al., 2020). Especificamente na piscicultura ornamental, a criação dos peixes tem como foco as características fenotípicas individuais. Dentre essas características, a coloração é um fator de extrema importância, influenciando diretamente nos preços de venda (Güroy et al., 2022; Lau et al., 2023; Scárdua et al., 2024) e na escolha do consumidor (Gomes et al., 2021; Cruz et al., 2023).

A relação complexa entre vários pigmentos biológicos, ingeridos pelos peixes e metabolicamente convertidos e/ou biossintetizados (Sathyaruban et al., 2021; Vissio et al., 2021; Scárdua et al., 2024), resulta na expressão da coloração da pele dos peixes por meio dos cromatóforos (melanóforos, xantóforos, eritróforos, iridóforos, leucóforos e cianóforos) (Sathyaruban et al., 2021; Cruz et al., 2023; Scárdua et al., 2024).

Dentre os pigmentos, a melanina, as pteridinas, os carotenoides, as antocianinas e as purinas são os principais responsáveis pela pigmentação (Sathyaruban et al., 2021; Vissio et al., 2021; Scárdua et al., 2024). Assim como outros animais, os peixes não possuem a capacidade de sintetizar alguns pigmentos, como carotenoides e antocianinas, devendo ser suplementados por meio da dieta para que atinjam sua coloração natural (Sass-Kiss et al., 2005; Alappat e Alappat, 2020; Rashidian et al., 2021; Sathyaruban et al., 2021; Scárdua et al., 2024). Isso se deve ao fato de que há relatos de desbotamento natural da cor da pele dos peixes em sistemas de produção, o que dificulta a comercialização e diminui o valor frente ao mercado consumidor (Vissio et al., 2021; Güroy et al., 2022).

As plantas e seus derivados são ricos em muitos princípios ativos, os quais apresentam variadas atividades biológicas (Awad e Awaad, 2017). Dentre as diversas plantas ricas em compostos bioativos, destacam-se as que produzem pigmentos que podem ser extraídos e utilizados para diferentes finalidades alimentícias (Woolfe, 1992; Bovell-Benjamin, 2007; Linh et al., 2022). Na aquicultura, esses pigmentos têm

a função de intensificar a coloração da pele (Woolfe, 1992; Fries et al., 2014; Nhan et al., 2019; Vanegas-Espinoza et al., 2019; França et al., 2022; Cruz et al., 2023). Um dos principais pigmentos utilizados são os carotenoides, que também contribuem para o aumento da resposta imunológica e para a melhora do desempenho dos peixes (Zuanon et al., 2011; Fries et al., 2014) e as antocianinas atuam como agentes antioxidantes na pele dos peixes, refletindo em cores mais vibrantes (França et al., 2022; Cruz et al., 2023).

Atualmente, o desenvolvimento de novas cultivares de batata-doce-roxa com características especiais, que se propõem a novos usos, como o desenvolvimento de alimentos funcionais ou de corantes naturais, têm sido priorizados (Li et al., 2019a; Wang et al., 2020; Bach et al., 2021). Cultivares de batata-doce de polpa roxa já fazem parte do mercado nacional (SCS70 Luiza, BRS Cotinga e BRS Anembé) (Schallenberger et al., 2017; EMBRAPA, 2021). A batata-doce-roxa, além de elevada concentração de β -caroteno, também apresenta elevada concentração de antocianinas, resultando em propriedades antioxidantes e antimutagênicas (Bovell-Benjamin, 2007). A batata-doce-roxa (*Ipomoea batatas* (L.)) possui em sua constituição teores elevados de antocianinas (Li et al., 2019a) com teores em torno de 430 mg por 100 g de matéria seca (Cascon et al., 1984).

No entanto, as antocianinas apresentam instabilidade e degradação durante o processo de alimentação e armazenamento (Zhao et al., 2008; Özkan e Bilek, 2014). Diante dessa limitação, técnicas como a microencapsulação têm sido exploradas para viabilizar o uso desses pigmentos na aquicultura (Vanegas-Espinoza et al., 2019), com a liberação de substâncias atrativas e a conservação dos nutrientes (Yúfera et al., 2003; Honorato et al., 2016).

O *Hyphessobrycon eques* (mato-grosso) é um peixe nativo das bacias Amazônica, do Guaporé e do rio Paraguai, com grande relevância para aquarofilia (Fujimoto et al., 2013; Park et al., 2014; Santana et al., 2019; Çelik e Cirik, 2020). Esse peixe apresenta diminuição da sua coloração em sistemas de criação e aquarofilia (Porto et al., 2020; Cruz et al., 2023), o que pode ser mitigado pela utilização de aditivos nutricionais (Berchielli-Morais et al., 2016; Cruz et al., 2023).

Diante desses desafios, estudos e o desenvolvimento de produtos com atividade biológica e eficácia comprovada são necessários para garantir a qualidade e a aceitação no mercado. É relevante o conhecimento sobre a saúde dos peixes, incluindo parâmetros fisiológicos e histológicos, como passo preliminar para uso em larga escala na aquicultura (Awad e Awaad, 2017).

Na tentativa de aperfeiçoar o aproveitamento dos ingredientes ingeridos, os peixes apresentam capacidade de adaptação dos processos digestivos, tais como: perfil e secreção enzimáticos; absorção e transporte de nutrientes, revelando as diferentes adaptações do trato digestório em função da dieta ofertada (Honorato et al., 2022; Dorce et al., 2024, 2025).

O objetivo do presente trabalho é avaliar a aceitabilidade, a coloração da pele e as respostas bioquímicas de dietas com microencapsulados de antocianinas da batata-doce-roxa para o peixe mato-grosso (*Hyphessobrycon eques*).

2. MATERIAL E MÉTODOS

2.1 Caracterização das microcápsulas

As microcápsulas contendo pigmentos antociânicos de batata-doce-roxa (*Ipomoea batatas* (L.) - MABDR fornecidas pela EMBRAPA Clima Temperado (Pelotas, RS), foram:

ME: maltodextrina + 7% extrato de antocianina;

MEC: maltodextrina + 7% extrato de antocianina + controlador (acetofalato de celulose).

Os corantes foram avaliados quanto a coloração, utilizando o fotocolorímetro portátil Chroma Meter CR-400 (Konica Minolta®, Tokyo, Japão) e o software LAB Color Chart, que demonstra o ponto de cor no espaço CIELab (Teixeira et al., 2024).

Para o teste de solubilidade das diferentes concentrações de microcápsulas, utilizou-se recipientes de vidro com capacidade de 2 L com volume de 1 L de água em sistema estático com aeração constante. Estes permaneceram em ambiente com

temperatura controlada de 28 °C e com luminosidade durante o ensaio. As concentrações (0,0, 0,25, 0,5 1 e 2 g (ME ou MEC.L⁻¹), foram testadas a coloração da água e os parâmetros amônia, coloração, nitrito, oxigênio dissolvido, pH e temperatura.

2.2 Dietas experimentais

Para preparação das dietas foi utilizada uma ração comercial Poytara Ltda (40,88% PB e 4374,8 Kcal.kg⁻¹ (energia bruta), diâmetro de 1,4 mm), contendo os ingredientes: amido de milho, alho, beterraba, cantaxantina, L-carnitina, extrato vegetal, farelo de linhaça, farelo de soja, farinha de artêmia, farinha de peixe, isolado proteico de soja, L-lisina, milho, óleo de peixe, óleo de soja, protenose, quirera de arroz, sal, extrato de Yucca, premix vitamínico mineral e aditivos conservantes, antioxidante, adsorvente de micotoxinas, probiótico, prebiótico e multienzimático.

Os grânulos comerciais foram moídos em um processador de alimentos, logo após foi acrescido os pigmentos antociânicos de batata-doce-roxa (*Ipomoea batatas* (L.)) na concentração de 800 mg/kg de ração. Seguido pela mistura manual com acréscimo mínimo de água, para formação da “massa”, por um período de 30 minutos em temperatura ambiente com condições de iluminação fraca e refeito os grânulos de ração, também de forma manual, utilizando peneiras granulométrica. Os grânulos (1,4 mm de diâmetro) foram secos a 50 °C por 24 h em estufa de circulação forçada de ar e armazenados no escuro a 4 °C. A dieta controle (DC) foi preparada da mesma forma, mas as microcápsulas não foram adicionadas. As dietas foram avaliadas quanto a coloração e controle de qualidade (peso do pellet, absorção de água, densidade da dieta, flutuabilidade, estabilidade e lixiviação) (Honorato et al., 2011).

Foi preparado três dietas experimentais: controle (dieta comercial), ME (maltodextrina + 7% extrato de antocianina) e MEC (maltodextrina + 7% extrato de antocianina + controlador (acetoftalato de celulose)).

2.3 Teste *in vivo*

O ensaio *in vivo* foi realizado no Laboratório de Produção Aquícola da Faculdade de Ciências Agrárias (FCA), na Universidade Federal da Grande Dourados (UFGD), Dourados – MS, utilizando-se a espécie nativa *Hyphessobrycon eques*, mato-grosso, oriundas de uma piscicultura ornamental, de mesmo período reprodutivo. Os animais foram previamente aclimatados no sistema de recirculação individual por um período de 15 dias, alimentados com ração comercial duas vezes ao dia, até o início do experimento.

Para a realização do ensaio *in vivo*, 135 juvenis de mato-grosso (*H. eques*) com peso corporal médio $0,50 \pm 0,10$ g e comprimento total de $34,13 \pm 2,19$ mm, foram divididos em nove unidades experimentais (20 L) contendo quinze peixes, totalizando 45 peixes por tratamento, em sistema de recirculação, criados em ambiente com fotoperíodo de 12 horas de luz, por 30 dias (Sousa et al., 2023) alimentados com as dietas experimentais (CEUA/UFGD Protocolo 03/2019).

O grupo controle foi alimentado com dieta comercial (40,88% PB e 4374,8 Kcal. kg^{-1} (energia bruta)) e dois grupos de dieta basal foi suplementada com 800 mg de pigmentos antociânicos de batata-doce-roxa (MABDR)/kg de ração (Rahimi-Madiseh et al., 2016): ME (maltodextrina + 7% extrato de antocianina) e MEC (maltodextrina + 7% extrato de antocianina + controlador (acetofalato de celulose)).

A qualidade da água foi monitorada durante o ensaio e os valores de pH ($7,58 \pm 0,13$), oxigênio dissolvido ($3,89 \pm 0,12$ mg/L), amônia ($0,01 \pm 0,0$ mg/L) e nitrito ($0,13 \pm 0,14$ mg/L) e temperatura ($28,50 \pm 0,92^{\circ}\text{C}$), estando dentro dos parâmetros de qualidade de água para espécies tropicais (Godoy et al., 2021). A tolerância dos peixes foi aferida pela sobrevivência aos protocolos de alimentação diariamente.

Ao final do ensaio os peixes foram eutanasiados (Honorato e Nascimento, 2016), realizada a biometria, posteriormente retirados o fígado e intestino de 9 exemplares por tratamento para análise da atividade digestiva, função hepática e antioxidante.

Na avaliação do desempenho foram mensurados: ganho em peso diário (GP) = $(\text{peso final} - \text{peso inicial}) / \text{tempo}$; Consumo (C) = consumo de alimento no período

experimental, Sobrevivência (S) = (número inicial de animais – número final de animais) /100 e fator de condição (K) = W/Lb (Lima-Junior et al., 2002).

A coloração dos peixes foi mensurada *in vivo* em 27 peixes individualmente (9 por tratamento). Nas regiões da nadadeira caudal e anal, pelo software Image-Pro (versão 10.0.15) e na região dorsal, utilização de fotocolorímetro portátil Chroma Meter CR-400 (Konica Minolta®, Tokio, Japão). Foram avaliadas pelo sistema de coordenadas de Hunter L*, a*, b*. Nos quais verificou-se a intensidade de L* que representa brilho ou luminosidade (-100, preto e +100, branco), a cromaticidade de a*, representado pelas tonalidades de verde (-100) e vermelho (+100) e a cromaticidade de b*, representado pela tonalidade de azul (-100) e amarelo (+100) (Gouveia e Rema, 2005).

Para análise das enzimas metabólicas alanina aminotransferase (ALT) e aspartato aminotransferase (AST), amostras de fígado (100 mg) foram homogeneizadas com tampão fosfato de sódio (glicerol v/v em tampão fosfato de sódio 20 mM e Tris 10 mM - pH 7,0) em homogeneizador tipo Potter-Elvehjem. Posteriormente, esta amostra foi centrifugada a 4°C por três minutos a 600 x g e o sobrenadante submetido a uma nova centrifugação por oito minutos a 6000 x g. O sobrenadante foi utilizado para os ensaios enzimáticos ALT e AST. As mensurações da atividade das referidas enzimas foram determinadas por uma modificação do método de Reitman e Frankel (1957). As leituras das amostras foram realizadas por espectrofotometria (Bioplus S-200), com luz de comprimento de onda apropriado para cada teste.

Para análise das enzimas digestivas, amostras de intestino (100 mg) foram homogeneizadas com tampão fosfato de sódio (glicerol v/v em tampão fosfato de sódio 20mM e Tris 10mM - pH 7,0) em homogeneizador tipo Potter-Elvehjem. Posteriormente, esta amostra foi centrifugada a 4°C por três minutos a 600 x g e o sobrenadante submetido a uma nova centrifugação por oito minutos a 6000 x g. O sobrenadante foi utilizado para os ensaios enzimática de protease inespecífica e fosfatase alcalina. As leituras das amostras foram realizadas por espectrofotometria (espectrofotômetro semiautomático Bioplus S-200), com luz de comprimento de onda apropriado para cada teste

A atividade antioxidante do fígado foi aferida através das enzimas antioxidantes, superóxido dismutase (SOD) e catalase (CAT). A superóxido dismutase (SOD) foi testada por auto oxidação de pirogalol, que é inibida na presença de SOD (Beutler, 1984, modificado). As leituras de absorbância foram realizadas a 420 nm, considerando que 1,0 UI inibe 50% do auto oxidação do pirogalol. A atividade da Catalase (CAT) foi testada pela leitura do decaimento de Peróxido de Hidrogênio (H_2O_2) a 230 nm (Beutler, 1984). Uma unidade de CAT foi definida como a quantidade de enzima necessária em 1,0 μmol de oxidação de $\text{H}_2\text{O}_2 \text{ min}^{-1}$, e a absortividade molar utilizada foi (H_2O_2) $\epsilon_{\lambda 230} = 0,071 \text{ mM cm}^{-1}$. A proteína foi determinada com reagente de Bradford contra uma solução padrão de BSA (Kruger, 2009).

2.4 Procedimento estatístico

As análises estatísticas foram realizadas por meio do software RStudio (versão 1.1.423 – © 2009-2018 RStudio, Inc.). A normalidade dos dados foi verificada pelo teste de Shapiro-Wilk. Foi realizada uma Análise de Variância (ANOVA); e quando as diferenças foram significativas ($P < 0,05$), as médias foram comparadas pelo teste de Tukey. Os resultados foram expressos como média $\pm$ desvio padrão (DP).

3. RESULTADOS

Não foi observado diferença estatística entre os corantes ME ($L = 85,28 \pm 0,86$, $a^* = 29,78 \pm 1,13$ e $b^* = 1,83 \pm 0,34$) e MEC ($L = 85,94 \pm 0,27$, $a^* = 28,87 \pm 0,60$ e $b^* = 1,94 \pm 0,17$). A inclusão das microcápsulas não promoveu alteração na coloração na dieta (Figura 1A, B).

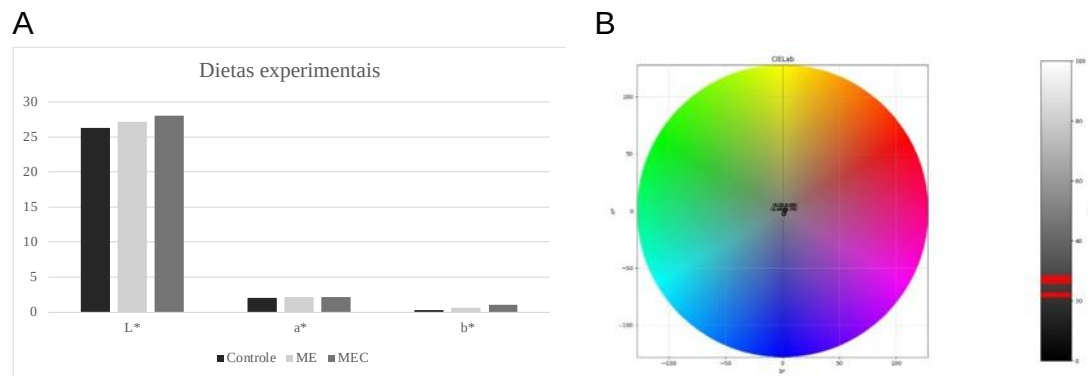
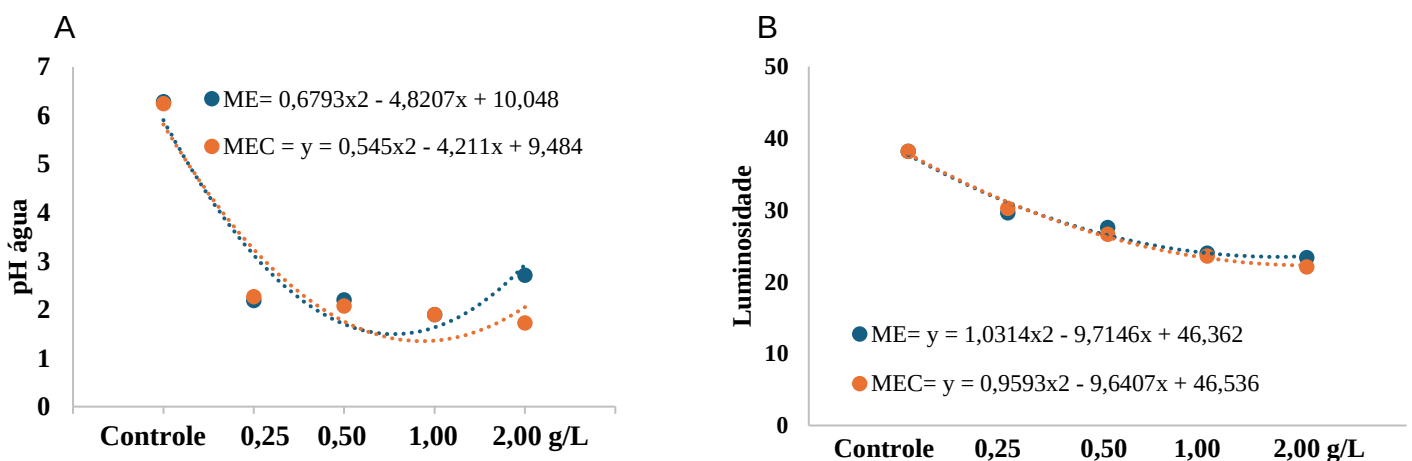


Figura 1. Coloração das dietas experimentais. Dados expressos em média $\pm$ desvio padrão. A) L* luminosidade (-100, preto e +100, branco), Cromaticidade de a*, verde (-100) e vermelho (+100); Cromaticidade de b*, de azul (-100) e amarelo (+100); B) Coloração das dietas utilizando o software LAB Color Chart.

A inclusão das microcápsulas (ME e MEC) não alterou o oxigênio dissolvido (ME: $7,55 \pm 0,06$; MEC: $7,61 \pm 0,05$) e nitrito (ME: $0,12 \pm 0,07$; MEC: $0,11 \pm 0,07$), mas promoveu a acidificação da água (Figura 2A). A coloração da água apresentou diminuição da luminosidade, aumento da cromaticidade a* e diminuição da cromaticidade b* (Figura 2B, C e D).



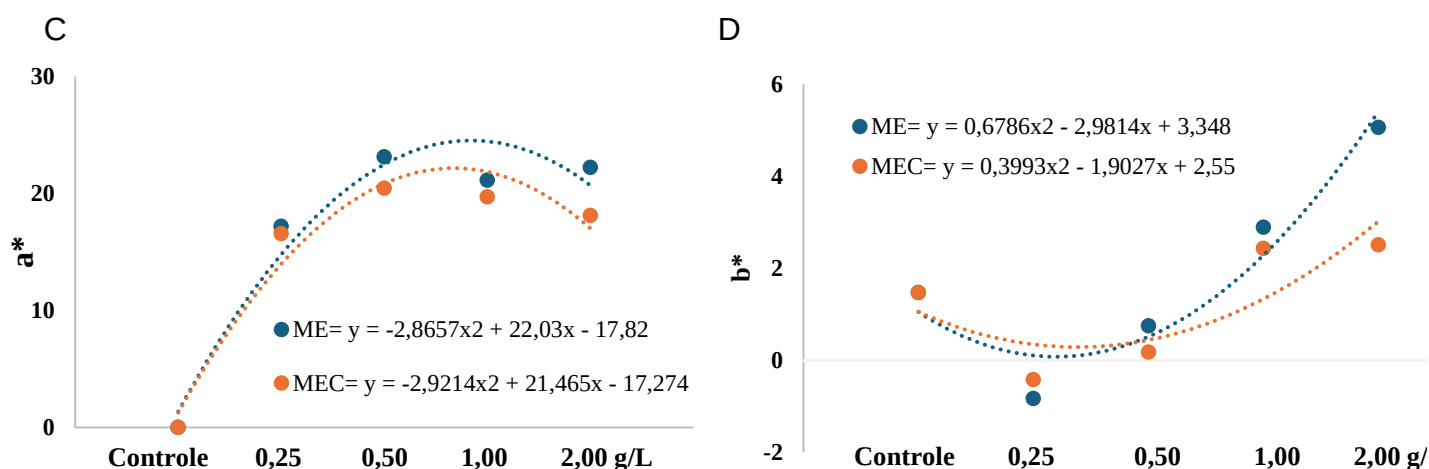


Figura 2. Coloração e pH da água após inclusão das microcápsulas experimentais (ME e MEC) nas doses de controle, 0,25, 0,50 1,00 e 2,00g (ME ou MEC.L⁻¹). A) 'pH' da água após inclusão das microcápsulas experimentais (ME e MEC); B) L* luminosidade (-100, preto e +100, branco); C) Cromaticidade de a^* , verde (-100) e vermelho (+100); D) Cromaticidade de b^* , de azul (-100) e amarelo (+100).

A adição de ME e MEC não alterou o peso do pellet (ME: $0,0025 \pm 0,0006$ g; MEC: $0,0026 \pm 0,0003$ g) e densidade (ME: $64 \pm 1,52$ g/ml; MEC: $64 \pm 0,87$ g/ml). A presença de dieta na água promove solubilidade do corante para água promovendo alteração do pH (Figura 3B), que acompanha a tendência da alteração do pH da água frente à presença da microcápsula (Figura 2A). Esta solubilidade altera a cromaticidade L*, a^* e b^* (Figura 3B, C, D).

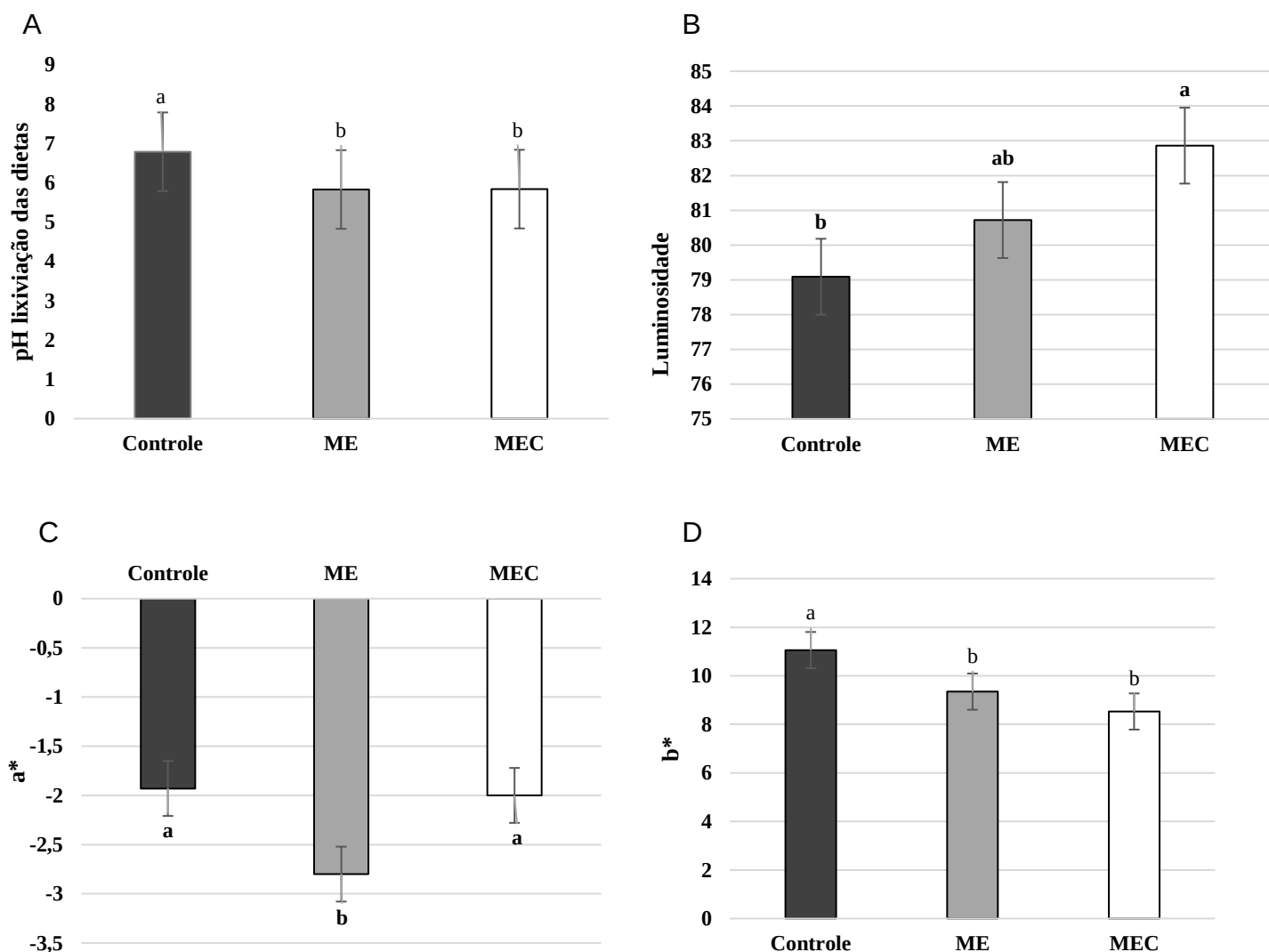


Figura 3. Coloração e pH da água após inclusão das dietas contendo as microcápsulas experimentais (ME e MEC). Dados expressos em média $\pm$ desvio padrão. A) 'pH' da água após inclusão das microcápsulas experimentais (ME e MEC); B) L* luminosidade (-100, preto e +100, branco); C) Cromaticidade de a*, verde (-100) e vermelho (+100); D) Cromaticidade de b*, de azul (-100) e amarelo (+100).

A utilização de microcápsulas de antocianinas da batata-doce-roxa (MABDR) na dieta do peixe mato-grosso (*H. eques*), pode ser utilizado com segurança uma vez que não houve mortalidade. Os parâmetros zootécnicos e fator de condição não apresentaram diferença significativa (Tabela 2). A fosfatase alcalina foi mais elevada em todos os peixes que consumiram as dietas acrescidas de microcápsula com

antocianina de batata-roxa. A atividade da protease digestiva foi superior no grupo de peixes que consumiu a microcápsula ME. A atividade das enzimas do metabolismo proteico e antioxidante hepáticas não demonstraram diferença significativa (Tabela 1).

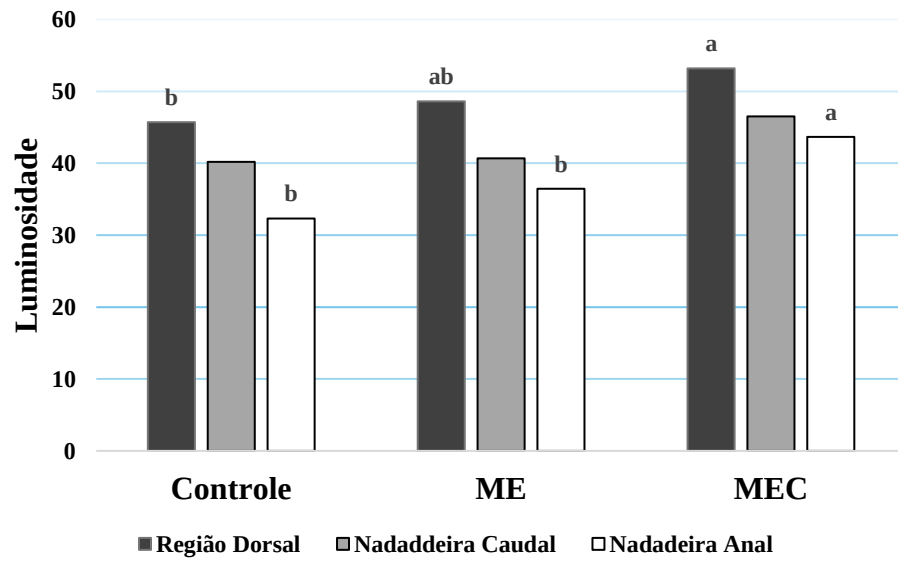
Tabela 1. Desenvolvimento, aproveitamento da digesta, atividade hepática e antioxidante de *Hyphessobrycon eques* alimentados com dietas acrescidas de microcápsula de antocianinas da batata-doce-roxa (*Ipomoea batatas*).

	Controle	ME	MEC	P
Desempenho Zootécnico				
Ganho em peso (g)	0,268 ± 0,09	0,277 ± 0,12	0,284 ± 0,13	0,481
Consumo de ração (g)	10,66 ± 1,05	11,46 ± 1,09	11,93 ± 0,48	0,293
Fator de condição	5,78 ± 0,65	5,76 ± 0,58	5,88 ± 0,90	0,586
Aproveitamento da digesta (U.mg de proteína⁻¹)				
Protease	1,58 ± 0,01b	1,60 ± 0,04a	1,58 ± 0,02b	0,014
Fosfatase Alcalina	25,00 ± 7,11b	43,44 ± 2,51a	44,00 ± 3,97a	0,001
Enzimas Hepáticas (U.mg de proteína⁻¹)				
Alanina Aminotransferase	4,00 ± 3,20	3,67 ± 1,73	1,89 ± 1,45	0,209
Aspartato Aminotransferase	1,56 ± 1,13	2,00 ± 1,58	1,44 ± 1,24	0,865
Enzimas Antioxidantes (U.mg proteína⁻¹)				
Catalase	192,60 ± 73,51	194,16 ± 62,08	209,00 ± 57,07	0,279
Superóxido Dismutase	13,58 ± 5,09	13,76 ± 4,45	14,98 ± 4,14	0,27

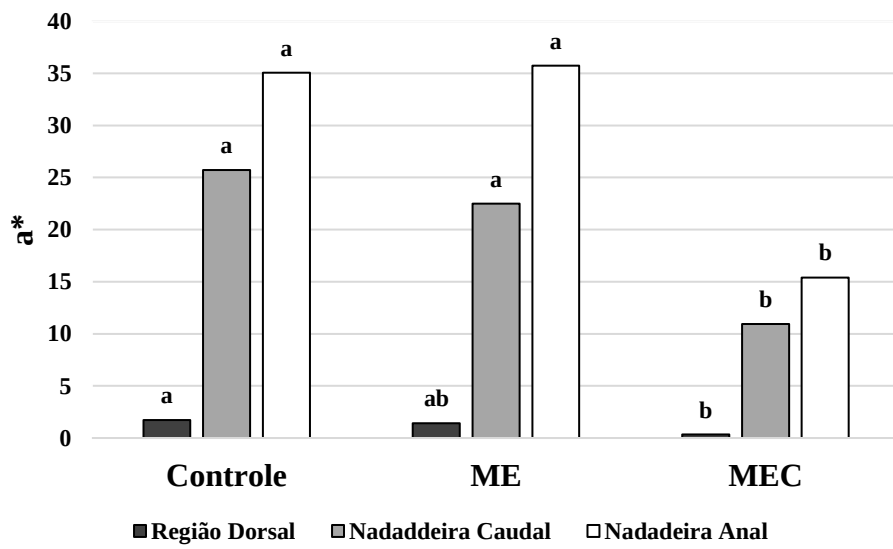
* Dados Médias seguidas de letras distintas reportam diferença pelo teste de Tukey (P<0,05). expressos em média ± desvio padrão.

A utilização de microcápsula incrementa a luminosidade da região dorsal e anal sendo mais eficaz nos peixes alimentados com a dieta MEC (Figura 4 A; Figura 5). Os peixes alimentados com a dieta ME apresentaram a cromaticidade a* e b* igual aos peixes alimentadas com o grupo controle (Figura 4 B, C; Figura 5).

A



B



C

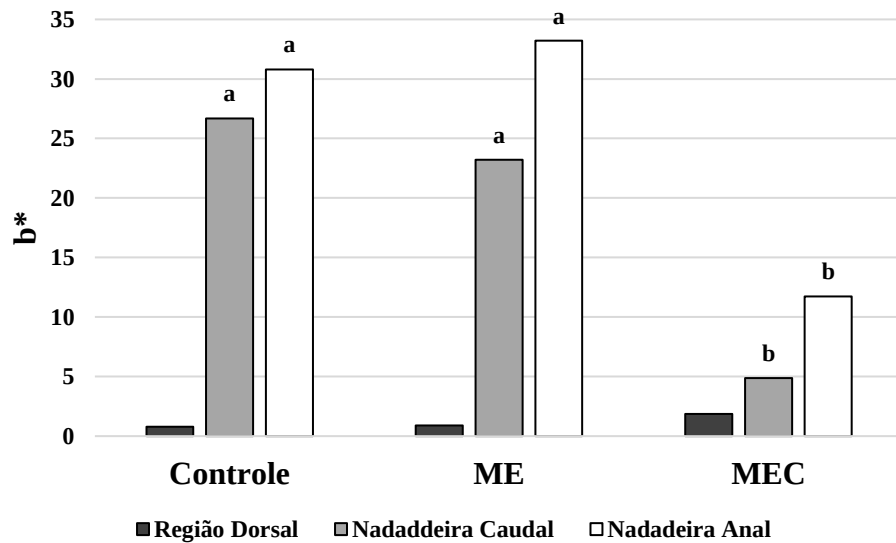


Figura 4. Atividade da coloração da pele do peixe mato-grosso (*Hyphessobrycon eques*) em diferentes regiões, alimentados com microcápsula com antocianinas provenientes da batata-doce-roxa (*Ipomoea batatas* (L.)). *Médias seguidas de letras distintas reportam diferença pelo teste de Tukey ($P < 0,05$). Dados expressos em média $\pm$ desvio padrão. L^* luminosidade (-100, preto e +100, branco), Cromaticidade de a^* , verde (-100) e vermelho (+100); Cromaticidade de b^* , de azul (-100) e amarelo (+100).

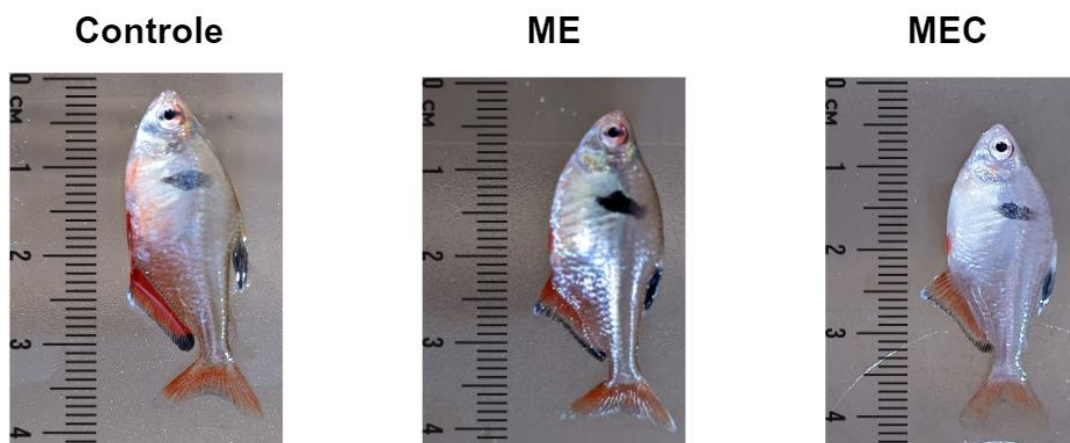


Figura 5. Efeito da inclusão de microcápsula com antocianinas provenientes da batata-doce-roxa (*Ipomoea batatas* (L.)) na pigmentação da pele de juvenis de mato-grosso (*Hyphessobrycon eques*). Dietas experimentais: Controle (dieta comercial), ME (maltodextrina + 7% extrato de antocianina) e MEC (maltodextrina + 7% extrato de antocianina + controlador (acetatoftalato de celulose)).

4. DISCUSSÃO

O sucesso de uma alimentação de peixes ornamentais é dependente da composição complexa de características da ração. Os grânulos devem ser visuais e capturáveis, isso significa que a cor, a forma, o tamanho, o afundamento, a liberação de atrativos e a composição nutricional da ração são importantes (Kvåle et al., 2006).

Os resultados do controle de qualidade das dietas, demonstraram que o peso do pellet foi compatível com a abertura da boca dos peixes, sendo adequados para o seu tamanho (Zuanon et al., 2011; Ika et al., 2023). De uma forma geral, as dietas apresentaram altos valores de densidade, que refletem uma agregação dos ingredientes da dieta. Os resultados para os parâmetros de O₂ e nitrito não sofreram alterações (Honorato et al., 2011).

A lixiviação das dietas experimentais de grânulos e componentes pequenos, solúveis em água é particularmente preocupante, devido à curta distância de difusão do núcleo da partícula à superfície (Kvåle et al., 2006). Para mitigar a lixiviação uma

opção é utilizar a estratégia tecnológica de encapsulação ou microencapsulação, que potencializa a entrega de nutrientes (Aragão et al., 2014).

No estudo de Kvåle et al. (2006), comparando taxas de lixiviação de três dietas (Dieta A: ração ligada a proteínas coagulada pelo calor; Dieta B: ração aglomerada; Dieta C: ração composta por microcápsulas proteicas) fornecidas para larvas de bacalhau (*Gadus morhua* L.), constatou que as taxas de lixiviação claramente mais baixas foram medidas a partir da ração encapsulada em proteínas.

Dietas que em sua composição contêm amido, são relacionadas a estabilidade dos pellets de ração, pois agem como um aglutinante e aumentam a durabilidade dos pellets (Karim et al., 2024). É relatado na literatura que a gelatinização do amido das rações, promove aumento da solubilidade, a absorção de água e a eficiência do amido, levando a uma melhor digestão e utilização pelos peixes (Honorato et al., 2010; Romano e Kumar, 2019).

No presente estudo as dietas foram ricas em amido, além das microcápsulas de antocianinas da batata-doce-roxa (MABDR) serem compostas por maltodextrina que são produto parcialmente hidrolisado de amido (Xiao et al., 2022). No estudo realizado por Karim et al. (2024), para testar propriedades físicas e para auxiliar a incorporação em rações aquáticas de glúten de trigo, amido de ervilha e goma de guar. Os resultados revelaram que, entre esses três amidos, o amido de ervilha se mostrou superior aos outros dois, em que o uso desses aglutinantes em pellets de ração para peixes também pode reduzir a dependência de aglutinantes sintéticos e minimizar o custo.

Avaliando a eficiência de uso e a conversão alimentar de dietas extrusadas e peletizadas para *Piaractus mesopotamicus*, Honorato et al. (2010) utilizou oito dietas isoproteicas com dois níveis de carboidratos (400 e 500 g.kg⁻¹), dois níveis de lipídios (40 e 80 g.kg⁻¹) e dois processamentos de dieta (peletização e extrusão). Dentre os resultados foi observado que a interação carboidrato e processamento da dieta apresentou maior valor de lixiviação para baixo nível de carboidratos na dieta extrusada, a densidade das dietas extrusadas foi menor e peixes alimentados com dietas extrusadas apresentaram a melhor taxa de conversão alimentar e eficiência proteica.

A utilização das microcápsulas na dieta de mato-grosso promoveu indução das funções digestivas da protease e absorção de nutrientes. Estes resultados corroboram com as respostas de antocianinas para outras espécies de peixes ornamentais (França et al., 2022; Cruz et al., 2023). As antocianinas são importantes para manutenção das atividades digestivas e melhora a capacidade antioxidante do trato digestório (Kubow et al., 2016; Li et al., 2019a).

A assimilação das antocianinas da batata-doce-roxa pode ocorrer em duas fases, metabolizadas *in vivo*. A primeira é a biotransformação por absorção do intestino delgado e a segunda é a decomposição e o metabolismo pelas bactérias intestinais (Zhang et al., 2016). Portanto observou-se que a dieta MEC refletiu em melhoras nos índices de coloração dos peixes o reflexo da utilização do controlador. A inclusão de um protetor gástrico na dieta é uma estratégia para tornar as dietas mais eficazes.

O controlador utilizado, acetofalato de celulose, é insolúvel e estável no fluido gástrico ácido, tornando-o expansível e desintegrável à medida que os grupos ácidos ftálico ionizam acima de pH 6,0 no fluido intestinal (Madan e Shanbhag, 1978; Sansone et al., 2011), fatores que podem promover maior disponibilidade das antocianinas para serem absorvidas no intestino o que irá refletir em melhores taxas de absorção.

O aumento da atividade intestinal da FA estimulada pela inclusão de produtos naturais foi relatado em *Oreochromis niloticus* (Do Carmo Ota et al., 2019), *Betta splendens* (França et al., 2022) e Acará Disco (*Symphysodon aequifasciatus*) (Honorato et al., 2022). Algumas substâncias podem funcionar como protetores gástricos ou mesmo como estimulantes na produção de enzimas digestivas (Santos et al., 2021) que trazem benefícios para a saúde e o bem-estar dos peixes com efeito no hepatopâncreas (Ziemniczak et al., 2023).

As funções hepáticas não foram alteradas pela utilização das microcápsulas de antocianinas da batata-doce-roxa (MABDR), o que demonstra que apesar de não apresentar efeito hepatoprotetor não está relacionado com lesões e disfunções hepáticas. O aumento da atividade de AST e ALT é considerado a resposta do organismo aos estressores e ao metabolismo nutricional, sendo este aumento um

indicativo de um órgão lesionado ou danificado (Deboleto et al., 2024), fato não demonstrado no atual estudo.

Destaca-se que as antocianinas da batata-doce-roxa são mais estáveis, quando comparadas com outras frutas que produzem o mesmo pigmento (Li et al., 2019b; Tang et al., 2023). Esta estabilidade provém da formação de complexos e associações com outros flavonoides, denominados co-pigmentação, e de ligações químicas com outros componentes da planta (Lv et al., 2022). A presença dos dois grupos acila aumenta a estabilidade da molécula, pela maior estabilidade esférica da reação do núcleo pirílico com água (Li et al., 2019a), podendo ser a causa da não responsividade na coloração e atividade antioxidante.

O que difere os peixes ornamentais de outras espécies em relação a dieta balanceada são as diferentes rotas metabólicas para os carotenoides (Scárdua et al., 2024). Há relatos que para expressão da coloração há necessidade de outras moléculas além do pigmento (Sköld et al., 2016; Cal et al., 2017). Há evidências experimentais de que a coloração animal pode demonstrar redução se apresentar uma boa atividade antioxidante (Lira et al., 2020).

5. CONCLUSÃO

A utilização de microcápsula de antocianinas da batata roxa apresenta potencial de ser utilizada na dieta pela aceitabilidade e modulação das respostas digestivas e de absorção para o peixe mato-grosso (*Hyphessobrycon eques*). Em especial, quanto acrescido o controlador as microcápsulas da antocianina da batata doce roxa promoveram melhoras nos índices de coloração dos peixes.

6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Alappat, B., Alappat, J. (2020). Anthocyanin Pigments: Beyond Aesthetics. **Molecules** 25:5500. <https://doi.org/10.3390/molecules25235500>.
- Aragão, C., Colen, R., Ferreira, S., Pinto, W., Conceição, L.E.C., Dias, J. (2014). Microencapsulation of taurine in Senegalese sole diets improves its metabolic availability. **Aquaculture** 431:53–58. <https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2014.04.041>.

- Awad, E., Awaad, A. (2017). Role of medicinal plants on growth performance and immune status in fish. **Fish & Shellfish Immunology** 67:40–54. <https://doi.org/10.1016/j.fsi.2017.05.034>.
- Bach, D., Bedin, A.C., Lacerda, L.G., Nogueira, A., Demiate, I.M. (2021). Sweet Potato (*Ipomoea batatas* L.): a Versatile Raw Material for the Food Industry. **Brazilian Archives of Biology and Technology** 64. <https://doi.org/10.1590/1678-4324-2021200568>.
- Berchielli-Morais, F.A., Fernandes, J.B.K., Sipaúba-Tavares, L.H. (2016). Diets supplemented with microalgal biomass: effects on growth, survival and colouration of ornamental fish *Hyphessobrycon eques* (Steindacher 1882). **Aquaculture Research** 47:3061–3069. <https://doi.org/10.1111/are.12756>.
- Beutler, H.O. (1984). A new enzymatic method for determination of sulphite in food. **Food Chemistry** 15:157–164. [https://doi.org/10.1016/0308-8146\(84\)90108-0](https://doi.org/10.1016/0308-8146(84)90108-0).
- Bovell-Benjamin, A.C. (2007). Sweet Potato: A Review of its Past, Present, and Future Role in Human Nutrition. **Advances in Food and Nutrition Research** 52:1–59. [https://doi.org/10.1016/S1043-4526\(06\)52001-7](https://doi.org/10.1016/S1043-4526(06)52001-7).
- Cal, L., Suarez-Bregua, P., Cerdá-Reverter, J.M., Braasch, I., Rotllant, J. (2017). Fish pigmentation and the melanocortin system. **Comparative Biochemistry and Physiology Part A: Molecular & Integrative Physiology** 211:26–33. <https://doi.org/10.1016/j.cbpa.2017.06.001>.
- Cascon, S.C., Carvalho, M.P.M., Moura, L.L., Guimarães, I.S.S., Philip, T. (1984). CORANTES DE BATATA DOCE ROXA PARA USO EM ALIMENTOS. **EMBRAPA-CTAA. Boletim de Pesquisa** 9:1–25.
- Çelik, P., Cirik, Ş. (2020). Embryonic and larval development of serpae tetra *Hyphessobrycon eques* (Steindachner, 1882). **Aquaculture Research** 51. <https://doi.org/10.1111/are.14375>.
- Cruz, B.L. da, Scárdua, M.P., Sousa, R.M., Siqueira, M.S., Gimênes Junior, H., Ziemniczak, H.M., Pause, A.G. da S., Braz, P.H., Honorato, C.A. (2023). Extrato hidroalcoólico de rosela (*Hibiscus sabdariffa* L.) na alimentação do peixe Mato Grosso (*Hyphessobrycon eques*). **Medicina Veterinaria (Brazil)** 17:114–118. <https://doi.org/10.26605/medvet-v17n2-5337>.
- Deboleto, S.G. de C., do Nascimento, C.A., Melo, J.C.S., Conceição, A.A., Araujo, A.P.F., Neto, C.B.S., Miller, R.N.G., de Siqueira, F.G., Mendonça, S., Honorato, C.A. (2024). Toxicological, biochemical, and histopathological evaluation of rats fed with macrofungal-treated cottonseed cake. **Frontiers in Animal Science** 5. <https://doi.org/10.3389/fanim.2024.1343680>.
- do Carmo Ota, E., Honorato, C.A., Heredia-Vieira, S.C., Flores-Quintana, C.I., de Castro Silva, T.S., Inoue, L.A.K.A., Cardoso, C.A.L. (2019). Hepatic and gastroprotective activity of *Serjania marginata* leaf aqueous extract in Nile tilapia (*Oreochromis niloticus*). **Fish Physiology and Biochemistry** 45:1051–1065. <https://doi.org/10.1007/s10695-019-00622-9>.

Dorce, L.S., do Couto, M.V.S., da Silva, W.V., Siqueira, M.S., do Carmo Ota, E., Saturnino, K.C., Scárdua, M.P., Neu, D.H., Martelli, S.M., Honorato, C.A. (2025). Mitigation of cold stress in red female betta (*Betta splendens*) through dietary supplementation with annatto (*Bixa orellana* L.) oil extract. **Aquaculture International** 33:100. <https://doi.org/10.1007/s10499-024-01767-y>.

Dorce, L.S., Godoy, A.C., Santos, R.F.B., Ota, É. do C., Reges, J.A.U., Ferreira, A.C.V., Braz, P.H., Neu, D.H., Honorato, C. A. (2024). Moisture content in diets in the co-feeding phase of *Pseudoplatystoma* sp. influences performance and digestive process. **Veterinary Research Communications** 48(5) 2977–2988. <https://doi.org/10.1007/s11259-024-10448-3>.

EMBRAPA - Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. (2021). **Sistema de Produção de Batata-Doce. EMBRAPA - Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária**. 1–66.

França, G.B., Siqueira, M.S., Melo, J.C. de S., de Albuquerque, D.T., Venturini, F.P., Honorato, C.A. (2022). Hydroalcoholic extract of jabuticaba peel in the diet of betta fish. **Boletim do Instituto de Pesca** 48:1–7. <https://doi.org/10.20950/1678-2305/BIP.2022.48.E659>.

Fries, E.M., Bittarello, A.C., Zaminhan, M., Signor, A., Feiden, A., Boscolo, W.R. (2014). Urucum em dietas para alevinos de kinguios *Carassius auratus*: Desempenho produtivo e pigmentação da pele. **Semina: Ciências Agrárias** 35:3401–3414. <https://doi.org/10.5433/1679-0359.2014v35n6p3401>.

Fujimoto, R. Y., Almeida, E. S., Diniz, D. G., Eiras, J. C., & Martins, M. L. (2013). First occurrence of *Quadrigyus nickoli* (*Acanthocephala*) in the ornamental fish *Hyphessobrycon eques*. **Revista Brasileira de Parasitologia Veterinária** 22:110–113. <https://doi.org/10.1590/S1984-29612013000100020>.

Godoy, A.C., Rovigatti Chiavelli, L.U., Oxford, J.H., Rodrigues, R.B., de Oliveira Ferreira, I., Marcondes, A.S., Honorato da Silva, C.A., Neu, D. (2021). Evaluation of limnological dynamics in Nile tilapia farming tank. **Aquaculture and Fisheries** 6:485–494. <https://doi.org/10.1016/j.aaf.2020.08.005>.

Gomes, V.D.S., Amâncio, A.L. de L., Cavalcanti, C.R., Batista, J.M.M. (2019). ANÁLISE DAS CARACTERÍSTICAS CORPORAIS DO PEIXE *Betta splendens*. **Visão Acadêmica** 20:29–38.

Gomes, V.D.S., Cavalcanti, C.R., Batista, J.M.M., Almeida, J.L.S. de, Santos, F.G. de A., Jordão Filho, J. (2021). USO DE ADITIVOS ALIMENTARES PARA PEIXES ORNAMENTAIS. **Revista Científica Rural** 23:266–279. <https://doi.org/10.30945/rcr-v23i1.3741>.

Gouveia, L., Rema, P. (2005). Effect of microalgal biomass concentration and temperature on ornamental goldfish (*Carassius auratus*) skin pigmentation. **Aquaculture Nutrition** 11:19–23. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2095.2004.00319.x>.

Güroy, D., Karadal, O., Mantoğlu, S., Kuşku, H., Güroy, B. (2022). Color intensity and growth performance of common clownfish (*Amphiprion ocellaris*) enhanced by dietary Spirulina (*Arthrospira platensis*). **Aquaculture International** 30:1855–1868. <https://doi.org/10.1007/s10499-022-00878-8>.

Honorato, C.A., Almeida, L.C., da Silva Nunes, C., Carneiro, D.J., Moraes, G. (2010). Effects of processing on physical characteristics of diets with distinct levels of carbohydrates and lipids: the outcomes on the growth of pacu (*Piaractus mesopotamicus*). **Aquaculture Nutrition** 16:91–99. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2095.2008.00644.x>

Honorato, C.A., Jomori, R.K., Carneiro, D.J. (2016). Crescimento e sobrevivência de larvas de pacu (*Piaractus mesopotamicus*) alimentadas com microdietas. **Revista Brasileira de Ciência Veterinária** 23:71–75. <https://doi.org/10.4322/rbcv.2016.033>.

Honorato, C.A., Moreira, J., Coelho, R.B. (2011). Caracterização e controle de qualidade de dietas para o surubim (*Pseudoplatystoma* sp.). **Revista UNINGÁ** 27:71–86.

Honorato, C.A., Nascimento, C.A. (2016). Metabolismo respiratório e da glicose de *Carassius auratus* submetidos à concentrações de eugenol. **Revista Brasileira de Saúde e Produção Animal** 17:545–552. <https://doi.org/10.1590/S1519-99402016000300019>.

Honorato, C.A., Santos, R.F.B., da Silva, Â.R.A., Abe, H.A., Dorce, L.S., Araujo, D. de M., Fujimoto, R.Y. (2022). Fruit residues as diet ingredients for *Symphysodon discus*: nutrient digestibility. **Semina: Ciências Agrárias** 43:1875–1882. <https://doi.org/10.5433/1679-0359.2022V43N4P1875>.

Ika, S.R., Mulyono, A., Syamsiro, M., Widagdo, A.K. (2023). Ornamental fish farmers empowerment through feed making technology: A study in Yogyakarta city, Indonesia. **IOP Conference Series: Earth and Environmental Science** 1246:012017. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/1246/1/012017>.

Karim, A., Naila, B., Khwaja, S., Hussain, S. I., Ghafar, M. (2024). Evaluation of different Starch Binders on physical quality of fish feed pellets. **Brazilian Journal of Biology** 84. <https://doi.org/10.1590/1519-6984.256242>.

Kruger, N.J. (2009). The Bradford Method For Protein Quantitation. **The Protein Protocols Handbook** p. 17–24). Humana Press. https://doi.org/10.1007/978-1-59745-198-7_4.

Kubow, S., Iskandar, M.M., Sabally, K., Azadi, B., Sadeghi Ekbatan, S., Kumarathanan, P., Das, D.D., Prakash, S., Burgos, G., zum Felde, T. (2016). Biotransformation of anthocyanins from two purple-fleshed sweet potato accessions in a dynamic gastrointestinal system. **Food Chemistry** 192:171–177. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2015.06.105>.

- Kvåle, A., Yúfera, M., Nygård, E., Aursland, K., Harboe, T., Hamre, K. (2006). Leaching properties of three different microparticulate diets and preference of the diets in cod (*Gadus morhua* L.) larvae. **Aquaculture** 251:402–415. <https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2005.06.002>.
- Lau, C.C., Mohd Nor, S.A., Tan, M.P., Yeong, Y.S., Wong, L.L., Van de Peer, Y., Sorgeloos, P., Danish-Daniel, M. (2023). Pigmentation enhancement techniques during ornamental fish production. **Reviews in Fish Biology and Fisheries** 33:1027–1048. <https://doi.org/10.1007/s11160-023-09777-4>.
- Li, A., Xiao, R., He, S., An, X., He, Y., Wang, C., Yin, S., Wang, B., Shi, X., He, J. (2019). Research advances of purple sweet potato anthocyanins: Extraction, identification, stability, bioactivity, application, and biotransformation. **Molecules** 24:1–21. <https://doi.org/10.3390/molecules24213816>.
- Li, M.Y., Liu, X.Y., Xia, C.G., Wang, G.Q., Zhang, D.M. (2019). Astaxanthin enhances hematology, antioxidant and immunological parameters, immune-related gene expression, and disease resistance against in *Channa argus*. **Aquaculture International** 27:735–746. <https://doi.org/10.1007/s10499-019-00362-w>.
- Lima-Junior, S.E., Cardone, I.B., Goitein, R. (2002). Determination of a method for calculation Allometric Condition Factor of fish. **Acta Scientiarum** 24:397–400.
- Linh, N.V., Nguyen, D. Van, et al. (2022). Influence of black rice (*Oryza sativa* L.) bran derived anthocyanin-extract on growth rate, immunological response, and immune-antioxidant gene expression in Nile tilapia (*Oreochromis niloticus*) cultivated in a biofloc system. **Fish & Shellfish Immunology** 128:604–611. <https://doi.org/10.1016/j.fsi.2022.08.041>.
- Lira, S.M., Dionísio, A.P., et al. (2020). Metabolic profile of pitaya (*Hylocereus polyrhizus* (F.A.C. Weber) Britton & Rose) by UPLC-QTOF-MSE and assessment of its toxicity and anxiolytic-like effect in adult zebrafish. **Food Research International** 127:108701. <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2019.108701>.
- Lv, X., Mu, J., Wang, W., Liu, Y., Lu, X., Sun, J., Wang, J., Ma, Q. (2022). Effects and mechanism of natural phenolic acids/fatty acids on copigmentation of purple sweet potato anthocyanins. **Current Research in Food Science** 5:1243–1250. <https://doi.org/10.1016/j.crfs.2022.08.003>.
- Madan, P.L., Shanbhag, S.R. (1978). Cellulose acetate phthalate microcapsules: method of preparation. **Journal of Pharmacy and Pharmacology** 30:65–67. <https://doi.org/10.1111/j.2042-7158.1978.tb13161.x>.
- Nhan, H.T., Minh, T.X., Liew, H.J., Hien, T.T.T., Jha, R. (2019). Effects of natural dietary carotenoids on skin coloration of false Clownfish (*Amphiprion ocellaris* Cuvier, 1830). **Aquaculture Nutrition** 25:662–668. <https://doi.org/10.1111/anu.12887>.
- Özkan, G., Bilek, S.E. (2014). Microencapsulation of Natural Food Colourants. **International Journal of Nutrition and Food Sciences** 3:145–156. <https://doi.org/10.11648/j.ijnfs.20140303.13>.

- Park, J.M., Kim, N.R., Han, K.H., Han, J.H., Son, M.H., Cho, J.K. (2014). Spawning Behavior, Egg Development, Larvae and Juvenile Morphology of *Hyphessobrycon eques* (Pisces: Characidae) Characidae Fishes. **Development & Reproduction** 18. <https://doi.org/10.12717/dr.2014.18.4.241>.
- Porto, E.L.N., Lima, F.F. de, Sousa, R.M., Mendonça, W.C.B., Honorato, C.A. (2020). The *Hyphessobrycon eques* (Steindachner, 1882) coloration influenced by the addition of *Attalea Phalerata* Mart. ex spreng crude oil. **Research, Society and Development** 9:e97932578. <https://doi.org/10.33448/rsd-v9i3.2578>.
- Rahimi-Madiseh, M., Naimi, A., Heydarian, E., Rafieian-Kopaei, M. (2016). Renal biochemical and histopathological alterations of diabetic rats under treatment with hydro alcoholic *Morus nigra* extrac. **Journal of Renal Injury Prevention** 6:56–60. <https://doi.org/10.15171/jrip.2017.10>.
- Rashidian, G., Rainis, S., Prokić, M. D., Faggio, C. (2021). Effects of different levels of carotenoids and light sources on swordtail fish (*Xiphophorus helleri*) growth, survival rate and reproductive parameters. **Natural Product Research** 35:3675–3686. <https://doi.org/10.1080/14786419.2020.1723091>.
- Reitman, S., Frankel, S. (1957). A Colorimetric Method for the Determination of Serum Glutamic Oxalacetic and Glutamic Pyruvic Transaminases. **American Journal of Clinical Pathology** 28:56–63. <https://doi.org/10.1093/ajcp/28.1.56>.
- Romano, N., Kumar, V. (2019). Starch gelatinization on the physical characteristics of aquafeeds and subsequent implications to the productivity in farmed aquatic animals. **Reviews in Aquaculture** 11:1271–1284. <https://doi.org/10.1111/raq.12291>.
- Sansone, F., Picerno, P., Mencherini, T., Villecco, F., D'Ursi, A.M., Aquino, R.P., Lauro, M.R. (2011). Flavonoid microparticles by spray-drying: Influence of enhancers of the dissolution rate on properties and stability. **Journal of Food Engineering** 103:188–196. <https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2010.10.015>.
- Santana, C.A., Tondato, K.K., Suárez, Y.R. (2019). Reproductive biology of *Hyphessobrycon eques* (Characiformes: Characidae) in southern Pantanal, Brazil. **Brazilian Journal of Biology** 79. <https://doi.org/10.1590/1519-6984.176273>.
- Santos, R.F.B., Siqueira, M.S., Reis, R.G.A., Silva, W.V., Ziemniczak, H.M., Honorato, C.A. (2021). INFLUENCE OF A BLEND OF DIETARY ESSENTIAL AMINO ACIDS ON GROWTH, ENZYMATIC ACTIVITY, AND INTESTINAL HISTOLOGY OF BLUE DISCUS. **Boletim do Instituto de Pesca** 47:1–9. <https://doi.org/10.20950/1678-2305/bip.2021.47.e599>.
- Sass-Kiss, A., Kiss, J., Milotay, P., Kerek, M.M., Toth-Markus, M. (2005). Differences in anthocyanin and carotenoid content of fruits and vegetables. **Food Research International** 38:1023–1029. <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2005.03.014>.
- Sathyaruban, S., Uluwaduge, D.I., Yohi, S., Kuganathan, S. (2021). Potential natural carotenoid sources for the colouration of ornamental fish: a review. **Aquaculture International** 29:1507–1528. <https://doi.org/10.1007/s10499-021-00689-3>.

- Scárdua, M.P., Walker, S.M., Godoy, A.C., Honorato, C.A., Neu, D.H. (2024). The role of phenylalanine in the fish pigmentation process: a review. **International Aquatic Research** 16:101–111. <https://doi.org/10.22034/iar.2024.2007852.1607>.
- Schallenberger, E., Rebelo, J.A., Cantu, R.R., Morales, R.G.F., Carminatti, R., Porcu, O.M., Wamser, G.H. (2017). Novos cultivares de batata-doce: SCS370 Luiza, SCS371 Katiy, SCS372 Marina. **Agropecuária catarinense** 30:43–47.
- Sköld, H.N., Aspengren, S., Cheney, K.L., Wallin, M. (2016). Fish Chromatophores—From Molecular Motors to Animal Behavior. **International Review of Cell and Molecular Biology** 321:171–219. <https://doi.org/10.1016/bs.ircmb.2015.09.005>.
- Sousa, R.M., Siqueira, M.S., Scárdua, M.P., Pinho, T.A., Casari, A.C.A.B., Deboleto, S.G.C., Neu, D.H., Honorato, C.A. (2023). The effects of the inclusion of jabuticaba peel flour on performance, metabolism, and its influence on the skin color of *Carassius auratus*. **Tropical Animal Health and Production** 1–17. <https://doi.org/10.21203/rs.3.rs-2693660/v1>.
- Tang, C., Han, J., Chen, D., Zong, S., Liu, J., Kan, J., Qian, C., Jin, C. (2023). Recent advances on the biological activities of purple sweet potato anthocyanins. **Food Bioscience** 53:102670. <https://doi.org/10.1016/j.fbio.2023.102670>.
- Teixeira, R., Santos, A., Silva, F., Vizzotto, M., Rombaldi, C., Nora, L. (2024). **LAB Color Chart: Demonstra o ponto de cor no espaço CIELab. [programa de computador]**. (Patent INPI sob o número: BR512024000538-2). Universidade Federal de Pelotas-UFPel. <https://sites.google.com/view/labcolorchart/sobre?authuser=0>.
- Vanegas-Espinoza, P.E., Pérez-Escalante, V., Aguirre-Guzman, G., Hoyos-Leyva, J. D., Del Villar-Martínez, A.A. (2019). Microencapsulation of anthocyanins from roselle (*Hibiscus sabdariffa*) and its application on a pigment supplied diet to fantail goldfish (*Carassius auratus*). **Aquaculture International** 27:1801–1811. <https://doi.org/10.1007/s10499-019-00430-1>.
- Vasanthakumaran, M., Basu, S.B.S., Deekshanya, K., Raja, S. (2020). FEED FORMULATION WITH ANIMAL WASTE AS SUPPLEMENTS FOR ORNAMENTAL FISHES *Poecilia sphenops*. **International Journal of Recent Scientific Research** 11:39263–39266. <https://doi.org/http://dx.doi.org/10.24327/ijrsr.2020.1107.5468>.
- Vissio, P.G., Darias, M.J., Di Yorio, M.P., Pérez Sirkin, D.I., Delgadin, T.H. (2021). Fish skin pigmentation in aquaculture: The influence of rearing conditions and its neuroendocrine regulation. **General and Comparative Endocrinology** 301:113662. <https://doi.org/10.1016/j.ygcen.2020.113662>.
- Wang, H., Yang, Q., Ferdinand, U., Gong, X., Qu, Y., Gao, W., Ivanistau, A., Feng, B., Liu, M. (2020). Isolation and characterization of starch from light yellow, orange, and purple sweet potatoes. **International Journal of Biological Macromolecules** 160:660–668. <https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2020.05.259>.
- Woolfe, J.A.: **Sweet Potato: An Untapped Food Resource**. Cambridge: Cambridge University Press. 643 p. <https://doi.org/10.1017/S0014479700020512>.

Xiao, Z., Xia, J., Zhao, Q., Niu, Y., Zhao, D. (2022). Maltodextrin as wall material for microcapsules: A review. **Carbohydrate Polymers** 298:120113. <https://doi.org/10.1016/j.carbpol.2022.120113>.

Yúfera, M., Kolkovski, S., Fernández-Díaz, C., Rinchar, J., Lee, K.J., Dabrowski, K. (2003). Delivering bioactive compounds to fish larvae using microencapsulated diets. **Aquaculture** 227:277–291. [https://doi.org/10.1016/S0044-8486\(03\)00509-X](https://doi.org/10.1016/S0044-8486(03)00509-X).

Zhang, X., Yang, Y., Wu, Z., Weng, P. (2016). The Modulatory Effect of Anthocyanins from Purple Sweet Potato on Human Intestinal Microbiota in Vitro. **Journal of Agricultural and Food Chemistry** 64:2582–2590. <https://doi.org/10.1021/acs.jafc.6b00586>.

Zhao, X., Corrales, M., Zhang, C., Hu, X., Ma, Y., Tauscher, B. (2008). Composition and Thermal Stability of Anthocyanins from Chinese Purple Corn (*Zea mays* L.). **Journal of Agricultural and Food Chemistry** 56:10761–10766. <https://doi.org/10.1021/jf8025056>.

Ziemniczak, H.M., Honorato, C.A., Valentim, J.K., Ferreira, E., Ferraz, H.T., Ramos, D.G.S., Vieira, N.T., Saturnino, K.C. (2023). Anatomical and histological traits of *Brycon amazonicus* liver cultivated in a semi-intensive system. **Brazilian Journal of Biology** 83. <https://doi.org/10.1590/1519-6984.244784>.

Zuanon, J. A. S., Salero, A. L., Furuya, W. M. (2011). Produção e nutrição de peixes ornamentais. **Revista Brasileira de Zootecnia** 40:165–174.

CAPÍTULO 4 – CONSIDERAÇÕES FINAIS

Os resultados obtidos com a inclusão de microcápsulas contendo corantes naturais provenientes da amora-preta (*Rubus* spp) e batata-doce-roxa (*Ipomoea batatas* (L.)) em dietas para peixes ornamentais demonstram efeitos positivos em diversos aspectos. A inclusão do aditivo mostrou-se eficaz na melhoria da aceitabilidade alimentar, na modulação das respostas digestivas, na atividade antioxidante e efeitos na coloração desses peixes. Demonstrando a viabilidade do uso desses pigmentos naturais como aditivos funcionais na aquariofilia.

A produção dos pigmentos naturais microencapsulados apresenta um duplo potencial de impacto: por um lado, agrega valor a cultivos agrícolas através do aproveitamento de subprodutos para extração de antocianinas, por outro lado, oferece à indústria de alimentos para pets uma alternativa sustentável aos corantes sintéticos. Essa interligação entre agricultura e indústria cria uma sinergia capaz de impulsionar o desenvolvimento econômico em ambas as cadeias produtivas.

O trabalho está em ressonância com os objetivos do desenvolvimento sustentável ONU, particularmente no que tange aos ODS 1 e 2, destacando a geração de renda para agricultura familiar com produção sustentável uma vez que a proposta é agregar valor ao produto através da extração de antocianinas para fins de corantes alimentícios. E ao ODS 14, pois com a utilização deste bioproduto tem efeito direto na saúde e bem-estar dos peixes aumentando sua expectativa de vida e viabiliza a produção de peixes ornamentais em cativeiro diminuindo a pressão de captura em ambientes naturais.

Como perspectivas futuras, sugere-se a expansão dos estudos para outras espécies de peixes ornamentais de interesse comercial, bem como a realização de novos ensaios que avaliem o desempenho dos pigmentos em diferentes fases de desenvolvimento dos peixes. Essas investigações adicionais permitiriam tanto validar os resultados obtidos quanto explorar todo o potencial de aplicação desta tecnologia.