

**UNIVERSIDADE FEDERAL DE MATO GROSSO DO SUL PROGRAMA
DE PÓS-GRADUAÇÃO EM CIÊNCIA ANIMAL
CURSO DE DOUTORADO**

**Substâncias Bioativas Do Cerrado Como Promotor De Bem-Estar
Em Peixes Ornamentais**

Mayara Schueroff Siqueira

Campo Grande - MS
2025



Serviço Público Federal
Ministério da Educação
Fundação Universidade Federal de Mato Grosso do Sul



Certificado de aprovação

MAYARA SCHUEROFF SIQUEIRA

SUBSTÂNCIAS BIOATIVAS DO CERRADO COMO PROMOTOR DE BEM-ESTAR EM PEIXES ORNAMENTAIS

BIOACTIVE SUBSTANCES FROM THE CERRADO AS A PROMOTER OF WELL-BEING IN ORNAMENTAL FISH

Tese apresentada à Universidade Federal de Mato Grosso do Sul, como requisito para obtenção do título de Doutora em Ciência Animal. Área de concentração: Produção Animal.

Aprovado em: 24-02-2025

BANCA EXAMINADORA:

Dr. Jayme Aparecido Povh
(UFMS) – Presidente

Dra. Arlene Sobrinho Ventura
(UFGD)

Dra. Claucia Aparecida Honorato da Silva
(UFGD)

Dra. Cristiane Fatima Meldau de Campos
(UEMS)

Dra. Milena Wolff Ferreira
(UCDB)

NOTA
MÁXIMA
NO MEC

UFMS
É 10!!!



Documento assinado eletronicamente por **Milena Wolff Ferreira, Usuário Externo**, em 25/02/2025, às 14:26, conforme horário oficial de Mato Grosso do Sul, com fundamento no § 3º do art. 4º do [Decreto nº 10.543, de 13 de novembro de 2020](#).



Documento assinado eletronicamente por **Jayme Aparecido Povh, Professor do Magisterio Superior**, em 25/02/2025, às 17:40, conforme horário oficial de Mato Grosso do Sul, com fundamento no § 3º do art. 4º do [Decreto nº 10.543, de 13 de novembro de 2020](#).



Documento assinado eletronicamente por **Arlene Sobrinho Ventura, Usuário Externo**, em 26/02/2025, às 08:08, conforme horário oficial de Mato Grosso do Sul, com fundamento no § 3º do art. 4º do [Decreto nº 10.543, de 13 de novembro de 2020](#).



Documento assinado eletronicamente por **Claucia Aparecida Honorato da Silva, Usuário Externo**, em 27/02/2025, às 14:45, conforme horário oficial de Mato Grosso do Sul, com fundamento no § 3º do art. 4º do [Decreto nº 10.543, de 13 de novembro de 2020](#).



Documento assinado eletronicamente por **Cristiane Fátima Meldau de Campos Amaral, Usuário Externo**, em 28/02/2025, às 15:31, conforme horário oficial de Mato Grosso do Sul, com fundamento no § 3º do art. 4º do [Decreto nº 10.543, de 13 de novembro de 2020](#).



A autenticidade deste documento pode ser conferida no site https://sei.ufms.br/sei/controlador_externo.php?acao=documento_conferir&id_orgao_acesso_externo=0, informando o código verificador **5457914** e o código CRC **7F40194C**.

COLEGIADO DE PÓS-GRADUAÇÃO EM CIÊNCIA ANIMAL

Av Costa e Silva, s/nº - Cidade Universitária

Fone:

CEP 79070-900 - Campo Grande - MS

Referência: Processo nº 23104.001236/2021-33

SEI nº 5457914

Dedicatória

À Nurya, minha companheira de vida, por estar sempre ao meu lado, acreditando em mim até nos momentos em que eu mesma duvidei. Seu amor e apoio tornaram esta caminhada mais leve.

Ao Pedro, meu pequeno grande motivo para seguir em frente. Que este trabalho seja, um dia, uma prova do quanto vale a pena persistir nos nossos sonhos.

Agradecimentos

Chegar até aqui não foi uma caminhada fácil, e muitas pessoas foram essenciais para que este sonho se tornasse realidade. Por isso, é com o coração cheio de gratidão que dedico estas palavras.

Primeiramente, agradeço a Deus, por me dar forças nos momentos difíceis, iluminar meu caminho e me permitir concluir mais esta etapa da minha vida.

Ao meu orientador, Prof. Dr. Jayme Aparecido Povh, e à minha coorientadora, Prof. Dra. Cláucia Aparecida Honorato da Silva, minha imensa gratidão por toda a paciência, ensinamentos e incentivo ao longo desta jornada. Sem vocês, nada disso seria possível.

À minha família, pelo amor e apoio incondicional. À minha esposa, Nurya Penha Malhada, meu mais profundo agradecimento por estar sempre ao meu lado, compreendendo cada momento de dedicação e me incentivando a seguir em frente, mesmo nos dias mais desafiadores.

Agradeço ao Laboratório de Ictiologia do Pantanal do IMASUL, por abrir suas portas e possibilitar o desenvolvimento desta pesquisa, e a todos os colegas que contribuíram de alguma forma para que este trabalho fosse realizado. Em especial, aos amigos do AquiMS e do GEPAq, grupos de pesquisa que me receberam de braços abertos e tornaram essa trajetória muito mais leve e enriquecedora.

Sou imensamente grata à Universidade Federal de Mato Grosso do Sul e ao Programa de Pós-Graduação em Ciência Animal, que me proporcionaram conhecimento, estrutura e crescimento profissional.

Por fim, meu sincero agradecimento à Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES) pelo apoio financeiro, que foi fundamental para a concretização desta pesquisa.

A todos que, de alguma forma, estiveram ao meu lado nesta caminhada, meu muito obrigada!

Epígrafe

“A natureza nos oferece tudo de que precisamos para viver, mas cabe a nós aprender a utilizar seus recursos com respeito e sabedoria.”

Autor desconhecido

RESUMO

SIQUEIRA, M. S. Substâncias Bioativas Do Cerrado Como Promotor De Bem-Estar Em Peixes Ornamentais. Tese (Doutorado) – Faculdade de Medicina Veterinária e Zootecnia Universidade Federal de Mato Grosso do Sul, Campo Grande, MS, 2025.

A coloração da pele dos peixes é diretamente influenciada pelos nutrientes presentes na alimentação e pela capacidade dos animais de metabolizá-los. O objetivo geral desse estudo foi avaliar o efeito das substâncias bioativas de plantas do cerrado, como o extrato aquoso de *Erythrina crista-galli* e o uso de amora-preta (*Rubus* spp), na promoção do bem-estar de peixes ornamentais, com foco na coloração, metabolismo digestivo, hepático, atividade antioxidante e comportamento. No primeiro estudo os peixes (peso médio inicial de $1,78 \pm 0,54$ g) foram divididos em três grupos: Tratamento (ração comercial suplementada com extrato aquoso de folhas de *E. crista-galli*), sendo alimentados até saciedade aparente por 21 dias. A análise do extrato foi realizada por espectrometria de massas, identificando compostos fenólicos e flavonoides. O grau de agitação e o número de movimentos bruscos foram menores em todos os tratamentos suplementados em relação à dieta controle, tanto aos 7 quanto aos 15 dias. A atividade enzimática digestiva não diferiu significativamente ($p > 0,05$). O grupo Tratamento apresentou menores níveis de ALT e maiores níveis de antioxidante CAT. Os resultados indicaram que o extrato aquoso de folhas de *E. crista-galli* auxilia na manutenção da função hepática e estimula a atividade da enzima CAT no tetra-olho-vermelho, sugerindo que os compostos identificados atuam sobre o fígado e a pele, promovendo efeitos hepatoprotetores e tranquilizantes. No segundo estudo O objetivo deste estudo foi avaliar a influência da utilização de amora-preta na coloração, atividade antioxidante e perfil das enzimas digestivas em tetra negro (*Gymnocorymbus ternetzi*). Os tratamentos avaliados foram: (i) Controle – alimentado com dieta comercial; (ii) D1000 – dieta comercial + 1000 mg.kg⁻¹ de microcápsula de antocianinas de amora-preta; e (iii) D2000 – dieta comercial + 2000 mg.kg⁻¹ de microcápsula de antocianinas de amora-preta. Foram divididos em 9 unidades experimentais (60 L de água) contendo dez peixes, totalizando 30 peixes por tratamento. Os peixes foram alimentados por um período de 30 dias até a saciedade aparente. As variáveis avaliadas incluíram a coloração, a atividade antioxidante e o perfil de enzimas digestivas. Os resultados indicaram que os peixes alimentados com as dietas contendo antocianinas de amora-preta apresentaram melhoria significativa ($p < 0,05$) em comparação com o grupo controle, especialmente nas variáveis relacionadas à coloração e atividade antioxidante. Além disso, o perfil das enzimas digestivas foi alterado, evidenciando uma possível adaptação metabólica ao consumo das antocianinas.

Conclui-se que a alimentação de tetra negro com antocianinas de amora-preta contribui para a melhoria da coloração e atividade antioxidante, além de promover alterações benéficas nas enzimas digestivas, o que pode ser vantajoso para a produção de peixes ornamentais com características mais valorizadas no mercado.

Palavras-chave: Bem-estar; peixes ornamentais; plantas do cerrado

ABSTRACT

SIQUEIRA, M. S. Bioactive Substances from the Cerrado as a Promoter of Well-Being in Ornamental Fish. Tese (Doutorado) – Faculdade de Medicina Veterinária e Zootecnia Universidade Federal de Mato Grosso do Sul, Campo Grande, MS, 2025.

Fish skin coloration is directly influenced by the nutrients present in their feed and by the animals' ability to metabolize them, making nutrition a determining factor for product quality. The general objective of this study was to evaluate the effect of bioactive substances from cerrado plants, such as the aqueous extract of *Erythrina crista-galli* and the use of blackberries (*Rubus* spp), in promoting the well-being of ornamental fish, focusing on coloration, digestive and hepatic metabolism, antioxidant activity and behavior. In the first study, fish (initial average weight of 1.78 ± 0.54 g) were divided into three groups: Fasting (no food), Control (commercial feed) and Treatment (commercial feed supplemented with aqueous extract of *E. crista-galli* leaves), and were fed until apparent satiety for 21 days. The extract was analyzed by mass spectrometry, identifying phenolic and flavonoid compounds. The degree of agitation and the number of sudden movements were lower in all supplemented treatments compared to the control diet, both at 7 and 15 days. Digestive enzyme activity did not differ significantly ($p > 0.05$). The Treatment group presented lower levels of ALT and higher levels of the antioxidant CAT. The results indicated that the aqueous extract of *Erythrina crista-galli* leaves helps maintain liver function and stimulates the activity of the CAT enzyme in the red-eye tetra, suggesting that the identified compounds act on the liver and skin, promoting hepatoprotective and tranquilizing effects. In the second study, the fish (initial average weight of 1.78 ± 0.54 g) were divided into three groups: Fasting (no food), Control (commercial food) and Treatment (commercial food supplemented with aqueous extract of *E. crista-galli* leaves), being fed until apparent satiety for 21 days. The extract was analyzed by mass spectrometry, identifying phenolic and flavonoid compounds. The degree of agitation and the number of sudden movements were lower in all supplemented treatments compared to the control diet, both at 7 and 15 days. Digestive enzyme activity did not differ significantly ($p > 0.05$). The Treatment group presented lower levels of ALT and higher levels of the antioxidant CAT. The results indicated that the aqueous extract of *Erythrina crista-galli* leaves helps maintain liver function and stimulates the activity of the CAT enzyme in the red-eye tetra, suggesting that the identified compounds act on the liver and skin, promoting hepatoprotective and tranquilizing effects.

Keywords: Well-being; ornamental fish; cerrado plants.

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	1
CAPÍTULO I.....	3
1. REVISÃO DE LITERATURA.....	3
1.1 PISCICULTURA ORNAMENTAL	3
1.2 ESPÉCIES <i>MOENKHAUSIA FORESTII</i> E <i>GYMNOCORYMBUS TERNETZI</i>	5
1.2.1 <i>MOENKHAUSIA FORESTII</i>	5
1.2.2 <i>GYMNOCORYMBUS TERNETZI</i>	6
1.3 IMPORTÂNCIA DA COLORAÇÃO DA PELE EM PEIXES.....	8
1.4 BIOATIVOS DE PLANTAS DO CERRADO NA ALIMENTAÇÃO DE PEIXES ORNAMENTAIS	9
1.5 PLANTAS.....	10
1.4.1 <i>ERYTHRINA CRISTA-GALLI</i>	10
1.4.2 AMORA-PRETA (<i>RUBUS</i> SPP)	12
2. OBJETIVOS.....	15
2.1. OBJETIVO GERAL.....	15
2.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	15
3. REFERÊNCIAS.....	16
CAPÍTULO II.....	23
<u>ERYTHRINA CRISTA-GALLI NA DIETA DO TETRA DE OLHOS VERMELHOS</u> <u>(MOENKHAUSIA FORESTII) PROMOVE EFEITOS TRANQUILIZANTES E</u> <u>HEPATOPROTETORES.....</u>	24
RESUMO	24
1. INTRODUÇÃO	24
2. MATERIAIS E MÉTODOS	25
2.1 PREPARAÇÃO DO EXTRATO E ANÁLISE QUÍMICA	25
2.2. ANIMAIS	26
2.3. DESENHO EXPERIMENTAL.....	26
2.4. VARIÁVEIS ANALISADAS	27
2.4.1. DESEMPENHO PRODUTIVO E FATOR DE CONDIÇÃO.....	27
2.4.2. COMPORTAMENTO DE <i>M. FORESTII</i>	27
2.4.3. AVALIAÇÃO DA COR CORPORAL DE <i>M. FORESTII</i>	28
2.4.4 ANÁLISE ENZIMÁTICA	28
2.4.4.1 PREPARAÇÃO DO HOMOGENEIZADO TECIDUAL	28
2.4.4.2 ANÁLISE DA ATIVIDADE DAS ENZIMAS.....	28
2.4.4.3 ATIVIDADE DAS ENZIMAS ANTIOXIDANTES	29
2.5 ANÁLISE ESTATÍSTICA	30
3. RESULTADOS.....	30
3.1 ANÁLISE QUÍMICA DO EXTRATO.....	30

3.2	COMPORTAMENTO DE <i>M. FORESTII</i>	30
3.3	DESEMPENHO E COLORAÇÃO DE <i>M. FORESTII</i>	31
3.4	ATIVIDADE ENZIMÁTICA	32
4.	DISCUSSÃO	32
5.	REFERÊNCIAS	35

CAPÍTULO III	41
---------------------------	-----------

<u>COLORAÇÃO DE TETRA NEGRO (<i>GYMNOCORYMBUS TERNETZI</i>) ALIMENTADOS COM EXTRATO DE AMORA-PRETA (<i>RUBUS SPP</i>)</u>	41
--	-----------

RESUMO	42
1. INTRODUÇÃO	42
2. MATERIAL E MÉTODOS	43
2.1 MATERIAL VEGETAL E ANÁLISES QUÍMICAS	43
2.2 DELINEAMENTO EXPERIMENTAL	44
2.3 VARIÁVEIS ANALISADAS	45
2.3.1 DESEMPENHO PRODUTIVO.....	45
2.3.2 PIGMENTAÇÃO DA PELE DOS PEIXES.....	45
2.3.3 ANÁLISE ENZIMÁTICA	46
2.3.4 BIOMARCADORES ANTIOXIDANTES.....	47
2.4 ANÁLISE ESTATÍSTICA	47
3 RESULTADOS	47
4 DISCUSSÃO	50
5 CONCLUSÃO	51
6. REFERÊNCIAS	52

1. INTRODUÇÃO

A aquicultura tem como objetivo principal produzir biomassa para atender à crescente demanda alimentar da população mundial (FAO, 2024). Por outro lado, a aquicultura ornamental segue uma abordagem distinta, priorizando características individuais que influenciam os valores de mercado, sendo a cor um dos fatores mais relevantes nesse segmento (LUO et al., 2021; MCLEAN, 2021; VISSIO et al., 2021; LAU et al., 2023).

O comércio de peixes ornamentais é um segmento em constante crescimento, aspecto que está fortemente relacionado ao aumento da demanda pelo consumidor final e ao alto lucro com a comercialização de espécies nativas e exóticas (GOMES et al., 2019). Com faturamento mundial acima de 15 milhões de dólares, são comercializadas mais de 2 bilhões de espécies ornamentais (VASANTHAKUMARAN et al., 2020). Grande parte desse mercado ainda depende do extrativismo, o que pode gerar impactos ambientais significativos.

Diante desse cenário, a aquicultura surge como uma alternativa sustentável e promissora para suprir essa demanda, reduzindo a pressão sobre os estoques naturais e garantindo maior controle sobre a produção. O cultivo desse grupo de peixes está entre os setores mais crescentes dentro do mercado pet. No Brasil, são contabilizados cerca de 18 milhões de peixes ornamentais, sendo o quarto pet preferido dos brasileiros ao adquirir um animal de estimação, e sua procura cresce a cada ano. Esse mercado é valorizado devido à diversidade de espécies e variedades, tanto em forma corporal quanto em colorações (RIBEIRO, 2018; ABINPET, 2021).

O crescente interesse pelo mercado de peixes ornamentais, aliado à pouca exigência na atividade e ao alto valor desses animais, exige uma atenção especial por parte dos produtores. Para se destacar no mercado mundial, é necessário oferecer um "produto" diferenciado, priorizando cores vivas, formatos atrativos e a originalidade das espécies de valor comercial (HONORATO et al., 2021).

No entanto, garantir que esses peixes cheguem ao consumidor final com vigor e coloração intensa tem sido um dos principais desafios da produção. A coloração da pele dos peixes é diretamente influenciada pelos nutrientes presentes na alimentação e pela capacidade dos animais de metabolizá-los, tornando a nutrição um fator determinante para a qualidade do produto (NHAN et al., 2019).

É importante ressaltar que as fontes naturais se mostram mais eficientes em relação à digestibilidade e absorção desses nutrientes (LILI et al., 2020). Neste contexto, há uma demanda por dietas específicas para peixes ornamentais que possam utilizar substâncias bioativas que os mantenham coloridos e vistosos, gerando um crescente interesse em pesquisas

que visam a utilização dessas substâncias. Embora tenha várias pesquisas que abordam o uso de diferentes fontes naturais na dieta de peixes ornamentais (STRATEV et al., 2018; VANEGAS-ESPINOZA et al., 2019), ainda falta pesquisa sobre a utilização de substâncias bioativas de plantas do cerrado na alimentação dessas espécies.

CAPÍTULO I

1. REVISÃO DE LITERATURA

1.1 Piscicultura Ornamental

A aquicultura tem se destacado ao longo dos anos como uma atividade de elevado potencial econômico. O Brasil, em particular, apresenta condições extremamente favoráveis para o desenvolvimento desse setor, devido à abundância de recursos hídricos, clima adequado, topografia favorável, disponibilidade de mão de obra e vasta extensão territorial (PEIXE BR, 2024). O país possui cerca de oito mil quilômetros de litoral e abriga as maiores reservas de água doce do mundo, totalizando 8,2 bilhões de m³ (IBGE, 2023). Essa atividade está amplamente difundida em todo o território nacional, com um desempenho sólido e consolidado. Em 2023, a produção nacional registrou um crescimento significativo, atingindo 887.029 toneladas, com receita de cerca de R\$ 9 bilhões (PEIXE BR, 2024).

Dentro desse cenário de prosperidade, a criação de peixes ornamentais se configura como uma atividade altamente lucrativa, com crescimento expressivo tanto no Brasil quanto no mercado global, movimentando valores significativos em dólares anualmente.

Embora seja um segmento mais recente no panorama aquícola, ele se beneficia das mesmas condições favoráveis que impulsionam o setor como um todo, como a abundância de recursos hídricos e a utilização eficiente de áreas para produção. Esse modelo de produção é marcado pelo uso de espaços relativamente pequenos, o que resulta em custos reduzidos para infraestrutura e instalações. O ciclo produtivo mais curto também permite uma maior frequência de resultados ao longo do ano, tornando a criação de peixes ornamentais um dos segmentos mais eficientes em termos de retorno por área cultivada dentro do agronegócio. Além disso, o setor tem acompanhado a crescente demanda do mercado de animais de estimação, consolidando-se como uma tendência promissora (MARTINS et al., 2021).

O cultivo de peixes ornamentais está entre os setores de maior crescimento dentro do mercado pet. No Brasil, estima-se que haja cerca de 18 milhões de peixes ornamentais, posicionando-os como o quarto pet mais popular entre os brasileiros ao adquirir um animal de estimação. A demanda por esses animais cresce constantemente, refletindo a popularidade crescente dessa prática. Esse mercado é ainda mais valorizado devido à grande diversidade de espécies, que se destacam tanto pela forma corporal quanto pelas diferentes colorações presentes nas diversas variedades de peixes ornamentais (RIBEIRO, 2018; ABINPET, 2021).

Além das vantagens do mercado de peixes ornamentais, como a praticidade no manejo e a exigência de menor tempo e espaço para criação (MARTINS et al., 2022), é importante destacar o interesse crescente dos consumidores, que se baseiam principalmente nas características fenotípicas dos peixes como fatores determinantes para a escolha (SANCHES, 2021; REGES et al., 2024a). Dentre esses fatores, a cor dos peixes é um dos mais valorizados, sendo influenciada pela capacidade pigmentante dos cromatóforos, que respondem à presença de pigmentos na alimentação (RASHIDIAN et al., 2020; SCÁRDUA et al., 2024).

No Brasil e no mundo, diversas espécies de peixes ornamentais são produzidas para atender a esse mercado. As principais espécies são influenciadas por fatores como a demanda dos consumidores e as características fenotípicas valorizadas, como a coloração e o porte (REZENDE e FUJIMOTO, 2021).

Dentre as espécies de peixes ornamentais mais produzidas, destacam-se, globalmente, o Guppy (*Poecilia reticulata*), um dos peixes mais conhecidos devido à sua resistência e facilidade de reprodução, o Peixe-dourado (*Carassius auratus*), tradicionalmente popular no mercado asiático e ocidental, e o Koi (*Cyprinus rubrofuscus*), um peixe ornamental de grande valor, especialmente na cultura japonesa (Tabela 1). Esses peixes são amplamente reconhecidos em diversas partes do mundo e se destacam pelo seu apelo estético e facilidade de cultivo (REZENDE e FUJIMOTO, 2021).

No Brasil (Tabela 1), as espécies mais comuns incluem o Tetra Neón (*Paracheirodon innesi*), popular pela sua pequena taille e cores vibrantes, o Betta (*Betta splendens*), apreciado pela facilidade de manejo e suas variações de cores, e o Disco (*Symphysodon* spp.), caracterizado por suas cores vivas e formato distinto, que tem grande valor no mercado de aquários ornamentais (REZENDE e FUJIMOTO, 2021).

Tabela 1. Comparação de Espécies de Peixes Ornamentais

Espécie	Popularidade Global*	Popularidade no Brasil*	Características Principais**
<i>Moenkhausia forestii</i>	Moderada	Alta	Coloração translúcida, pacífica
<i>Gymnocorymbus ternetzi</i>	Alta	Alta	Coloração escura, resistente
<i>Paracheirodon innesi</i>	Alta	Alta	Cores vibrantes, pequeno porte

<i>Betta splendens</i>	Alta	Alta	Cores variadas, fácil manejo
<i>Poecilia reticulata</i>	Alta	Moderada	Reprodução fácil, resistência
<i>Carassius auratus</i>	Alta	Moderada	Tradicional, variada coloração
<i>Cyprinus rubrofuscus</i>	Alta	Baixa	Grande porte, alta valorização

Segundo REZENDE e FUJIMOTO, 2021* e GIMÊNES JUNIOR e RECH, 2022**

Dentre as espécies trabalhadas nesta pesquisa, *Moenkhausia forestii* e *Gymnocorymbus ternetzi* destacam-se principalmente no mercado nacional e em aquários de pequeno e médio porte. Embora menos conhecidas globalmente em comparação com outras, como o Guppy ou o Peixe-dourado, essas espécies possuem características estéticas únicas que as tornam populares em aquários domésticos

1.2 Espécies *Moenkhausia forestii* e *Gymnocorymbus ternetzi*

1.2.1 *Moenkhausia forestii*

Moenkhausia forestii (Figura 1), popularmente conhecida como olho de folho, é um pequeno caracídeo de grande importância no mercado de peixes ornamentais devido ao seu padrão de coloração característico. A espécie apresenta ampla distribuição, com registros em afluentes das bacias dos rios Paraguai e Paraná (BENINE et al., 2009). Assim como outros representantes da família Characidae, *M. forestii* é considerada uma espécie bioindicadora, sendo utilizada no Índice de Integridade Biótica (IBI - Indexes of Biotic Integrity) para avaliar a qualidade ambiental (ARAUJO et al., 2003; BOZZETTI e SCHULZ, 2004). Estudos apontam que essa espécie é um importante bioindicador em ecossistemas impactados pela monocultura da cana-de-açúcar (GONINO et al., 2019).

Morfologicamente, *M. forestii* apresenta coloração corporal que varia entre cinza e castanho-claro, com margens das escamas escuras, formando um padrão reticulado. Seus olhos são predominantemente vermelhos e há uma faixa enegrecida localizada no pedúnculo caudal, estendendo-se até a região mediana dos raios da nadadeira caudal. A margem posterior dessa faixa se apresenta em coloração mais clara. Suas nadadeiras podem variar de hialinas a

levemente escurecidas, enquanto os primeiros raios das nadadeiras pélvicas e anal exibem coloração branca (GIMÊNES JUNIOR e RECH, 2022).

No que se refere à sua história natural, *M. forestii* é amplamente distribuída no Pantanal e habita ambientes de águas lênticas a semi-lênticas, frequentemente associada a macrófitas aquáticas. Uma característica sexual secundária observada na espécie é a presença de pequenos ganchos ósseos na nadadeira anal dos machos, ausentes nas fêmeas (BENINE et al., 2009).



Figura 1. Exemplar de *Moenkhausia forestii*. Fonte: GIMÊNES JUNIOR e RECH, 2022.

1.2.2 *Gymnocorymbus ternetzi*

Gymnocorymbus ternetzi (Figura 3 e 4), conhecido popularmente como tetra negro, é uma das principais espécies ornamentais do Pantanal, destacando-se por sua coloração característica e ampla aceitação no mercado de aquarofilia. Em vida, seu corpo apresenta coloração castanha, tornando-se mais escura na região posterior, com duas faixas umerais enegrecidas e verticalmente alongadas. A espécie exibe uma faixa vertical escura nos olhos, enquanto suas nadadeiras dorsal, adiposa e anal são predominantemente enegrecidas, contrastando com as demais nadadeiras, que são hialinas (GIMÊNES JUNIOR e RECH, 2022).

No que diz respeito à sua ecologia, *G. ternetzi* ocupa preferencialmente ambientes lênticos, onde forma cardumes numerosos associados à vegetação aquática. Sua dieta é diversificada, sendo composta principalmente por insetos, itens vegetais e zooplâncton, o que demonstra sua plasticidade alimentar (MESCHIATTI e ARCIFA, 2009). Além disso, a espécie apresenta dimorfismo sexual, com machos maduros exibindo pequenos ganchos ósseos na nadadeira anal, característica ausente nas fêmeas (BENINE et al., 2015).

A coloração dos peixes ornamentais é uma variável de grande relevância no contexto comercial, uma vez que influencia diretamente a preferência do consumidor e, conseqüentemente, o valor de mercado desses animais. Características cromáticas distintas e vibrantes não apenas atendem às expectativas estéticas, mas também têm um impacto significativo na valorização econômica dos espécimes. Assim, é imperativo compreender como essas variações cromáticas afetam a dinâmica de mercado, o que será abordado a seguir, no tópico relacionado à coloração



Figura 2. Exemplos de *Gymnocorymbus ternetzi* com múltiplos padrões de coloração. Fonte: Arquivo pessoal



Figura 3. Exemplo de *Gymnocorymbus ternetzi*. Fonte: GIMÊNES JUNIOR e RECH, 2022

1.3 Importância da coloração da pele em peixes

De acordo com Ferreira (2019), coloração dos peixes não é um fenômeno aleatório, mas sim resultado de pressões evolutivas que moldaram padrões específicos ao longo do tempo. Esses padrões estão diretamente relacionados à adaptação ao ambiente e podem ser classificados em dois grupos funcionais: evasão, associada à camuflagem e à “coloração críptica”, e informação, que envolve a comunicação intraespecífica. No contexto informacional, as cores desempenham um papel essencial na sinalização de dominância territorial, aptidão física, capacidade de obtenção de recursos e atratividade reprodutiva.

A intensificação da coloração dos peixes é um fator determinante para sua aceitabilidade no mercado, uma vez que indivíduos com cores mais vibrantes são percebidos como mais saudáveis e atraentes pelos consumidores. Dentro de uma mesma espécie, podem ser encontrados múltiplos padrões de coloração, os quais são resultantes da presença de pigmentos armazenados em células especializadas denominadas cromatóforos (REZENDE et al., 2012; GREMPEL e VISCONTI, 2014; CAL et al., 2017).

De acordo com Hilsdorf (2021), essas células, de grande tamanho e formato estrelado, têm origem na crista neural durante o desenvolvimento embrionário e estão distribuídas não apenas na epiderme, mas também nos olhos, na parede da cavidade celomática e em diversos órgãos internos. Diferentemente dos mamíferos, que possuem um único tipo de célula pigmentar (os melanócitos), os peixes apresentam diversos tipos de cromatóforos, os quais absorvem a luz branca e são classificados conforme o pigmento predominante: (i) xantóforos, responsáveis pela coloração amarela (xantina); (ii) melanóforos, que contêm os pigmentos marrom e preto (melanina); (iii) eritróforos, associados à coloração vermelha (eritrina); e, em algumas espécies específicas, como *Synchiropus splendidus* e *Synchiropus picturatus*, (iv) cianóforos, que conferem pigmentação azul.

Os peixes não possuem a capacidade de sintetizar os pigmentos responsáveis pela coloração quando estão fora de seu ambiente natural, tornando-se imprescindível a sua obtenção por meio da dieta. Em condições naturais, a alimentação desses organismos é equilibrada entre fontes vegetais e animais, garantindo a ingestão de pigmentos naturais que intensificam a coloração da pele (FRIES et al., 2014). No entanto, em sistemas artificiais, a nutrição dos peixes ornamentais ocorre por meio do fornecimento de rações formuladas com ingredientes processados, frequentemente não disponíveis em seu habitat natural. O uso dessas rações não apenas supre as necessidades nutricionais dos animais, mas também constitui uma estratégia essencial para otimizar a produtividade dos sistemas (RAMIREZ et al., 2022).

A indústria pet busca substitutos eficazes para os corantes sintéticos, que apresentam baixa eficácia quando comparados às fontes de pigmentos naturais. Estes, além de conferirem coloração, contêm compostos antioxidantes que ajudam a reduzir os radicais livres e possuem diversas atividades biológicas benéficas para os peixes ornamentais. Nesse contexto, a alimentação de peixes cultivados em sistemas intensivos exige dietas balanceadas que atendam às suas exigências nutricionais. No entanto, o uso generalizado de rações formuladas para peixes de corte na produção de peixes ornamentais não supre adequadamente essas necessidades, tornando essencial a adoção de estratégias nutricionais específicas para cada espécie (REZENDE et al., 2012; RASHIDIAN et al., 2018; NHAN et al., 2019; LILI et al., 2020; HONORATO et al., 2021; HONORATO et al., 2022).

1.4 Bioativos de plantas do cerrado na alimentação de peixes ornamentais

A utilização de bioativos de frutos do Cerrado na alimentação de animais de estimação é uma alternativa viável e sustentável. Peixes ornamentais, que possuem vida longa, requerem cuidados específicos no envelhecimento, sendo a nutrição fundamental. Dietas para peixes senis devem atender às demandas metabólicas e incluir compostos benéficos ao metabolismo (HONORATO et al., 2021). Dessa forma, a inclusão de bioativos de frutos do Cerrado na alimentação de peixes ornamentais não apenas atende às exigências nutricionais, mas também contribui para a melhoria da saúde e da estética desses animais.

A adição de bioativos na alimentação favorece o bem-estar, reduz o estresse oxidativo e intensifica a coloração, especialmente com carotenoides naturais (HONORATO et al., 2021). Apesar do potencial nutricional desses bioativos, seu uso na aquicultura ornamental ainda é limitado. Estudos indicam que bioativos de frutos do Cerrado melhoram a coloração e o bem-estar dos peixes, agregando valor à cadeia produtiva (HONORATO et al., 2021).

Dentre as diversas colorações observadas em peixes, o vermelho e suas variações, como laranja e amarelo, são as mais valorizadas na aquicultura devido à sua atratividade comercial. A coloração da pele é um fator determinante para a aceitação no mercado, sendo os indivíduos com tonalidade avermelhada frequentemente mais valorizados. Essa pigmentação é conferida, em grande parte, pela astaxantina, um carotenoide que os peixes não sintetizam e, portanto, deve ser incluído na dieta (COSTA e MIRANDAFILHO, 2020). Os carotenoides, além de serem responsáveis por essas colorações vibrantes, possuem importância nutricional, uma vez que alguns atuam como precursores da vitamina A (MALDONADE; RODRIGUEZ-AMAYA e

SCAMPARINI, 2008; RODRIGUEZ-AMAYA, 2015), tornando-se componentes essenciais na formulação de rações para peixes cultivados em sistemas de aquicultura.

A astaxantina, principal carotenoide na aquicultura, possui alta atividade antioxidante, superando a vitamina E na quelação de radicais livres e auxiliando na estabilidade da membrana celular (MIKI, 1991; GOTO et al., 2001). O crescente interesse por substâncias bioativas, como os carotenoides, se deve à sua ação antioxidante e prevenção de doenças inflamatórias (FARIA et al., 2016). Em peixes, esses compostos são cruciais para a coloração, camuflagem e sinalização, sendo que sua intensidade depende do fornecimento dietético, já que os peixes não os sintetizam (KALINOWSKI et al., 2005). A falta de carotenoides resulta em coloração opaca, impactando negativamente o valor comercial, especialmente em peixes ornamentais, onde cores vibrantes são valorizadas no mercado (LIM et al., 2018; KAUR e SHAH, 2017; COSTA e MIRANDA-FILHO, 2020). Assim, plantas do cerrado, como a *Erythrina crista-galli* e a Amora-Preta (*Rubus* spp), ricas em compostos bioativos, podem representar uma fonte promissora para a melhoria da coloração e do bem-estar dos peixes ornamentais, destacando-se como alternativas naturais para potencializar as cores vibrantes e promover a saúde desses organismos

1.5 Plantas

1.4.1 *Erythrina crista-galli*

A espécie *Erythrina crista-galli* (Figura 4), pertencente à família Leguminosae, é um arbusto decíduo amplamente distribuído em regiões tropicais e subtropicais. No Brasil, é popularmente conhecida como "Corticeira" e se destaca por seu grande porte, podendo atingir até 20 metros de altura e 80 cm de diâmetro à altura do peito na fase adulta (CARVALHO, 2006). Essa espécie é frequentemente encontrada em ambientes úmidos, como margens de rios, estuários e várzeas inundáveis, formando associações puras denominadas "seibal" (MARCHIORI, 1997).



Figura 4. Folha de *Erythrina crista-galli*. Fonte: Flora e Fuga do Brasil (Martins, M.V).

Diversos estudos têm avaliado a composição fitoquímica de diferentes partes da *E. crista-galli*. O extrato aquoso das folhas (ASHMAWY et al., 2016), o extrato metanólico da casca (OZAWA et al., 2010) e o extrato metanólico das flores (ZHANG et al., 2020) foram analisados em investigações fitoquímicas, revelando a presença de compostos bioativos de interesse farmacológico. Embora os efeitos biológicos dessa espécie ainda sejam pouco conhecidos, há evidências sugerindo que compostos isolados da casca apresentam propriedades anti-inflamatórias (OZAWA et al., 2010; SON e ELSHAMY, 2020; FAHMY et al., 2020). Além disso, o extrato metanólico das folhas demonstrou atividades fitoestrogênicas promissoras (ASHMAWY et al., 2016).

Espécies do gênero *Erythrina* são amplamente reconhecidas por possuírem fitoquímicos com diversas atividades biológicas, incluindo efeitos ansiolíticos (SANTOS ROSA et al., 2012; FAHMY et al., 2020), antioxidantes (JIMÉNEZ-CABRERA et al., 2021), anticonvulsivantes (FAGGION et al., 2011), hepatoprotetores e antialimentares (JIMÉNEZ-CABRERA et al., 2021). Estudos farmacológicos também indicam que *E. crista-galli* apresenta propriedades ansiolítica, sedativa, relaxante muscular e antibacteriana (VIRTUOSO et al., 2005; SANTOS et al., 2007; SIQUEIRA et al., 2019).

A presença de compostos bioativos em *E. crista-galli* sugere potenciais benefícios para peixes ornamentais (Tabela 2), especialmente no que se refere à redução do estresse,

comportamento alimentar e manutenção da saúde hepática (Siqueira et al., 2019; Siqueira et al., 2024).

Tabela 2. Resultados obtidos com *E. crista-galli* na dieta de peixes ornamentais

Espécie de peixe	Resultado	Referência
<i>Carassius auratus</i> (peixe-dourado)	A exposição aguda ao extrato de <i>Erythrina crista-galli</i> não causou mortalidade, mas provocou alterações indesejáveis nos parâmetros fisiológicos sanguíneos em concentrações acima de 100 mg/L.	Siqueira et al., 2019
<i>Moenkhausia forestii</i> (tetra-olho-vermelho)	O extrato aquoso das folhas de <i>Erythrina crista-galli</i> auxiliou na manutenção da função hepática e estimulou a atividade da enzima catalase, indicando efeitos hepatoprotetores.	Siqueira et al., 2024

Embora alguns estudos apontem resultados promissores, a aplicação de *Erythrina crista-galli* na alimentação de peixes ornamentais ainda é pouco explorada, e os dados disponíveis são limitados. Além disso, há indicações de possíveis efeitos adversos em concentrações elevadas, ressaltando a necessidade de pesquisas mais detalhadas. Investigações adicionais são essenciais para esclarecer os mecanismos de ação de seus compostos bioativos e definir doses seguras e eficazes. Em especial, para espécies como o tetra de olhos vermelhos (*M. forestii*), que possui relevância comercial, estudos mais aprofundados podem viabilizar dietas funcionais que melhorem o bem-estar e a valorização desses peixes. Dessa forma, o avanço nas pesquisas sobre *E. crista-galli* pode abrir novas perspectivas para a biotecnologia e a aquicultura, além de possibilitar o desenvolvimento de produtos farmacológicos inovadores.

1.4.2 Amora-Preta (*Rubus* spp)

A amora-preta (*Rubus* spp.) (Figura 5) pertence à família Rosaceae e ao gênero *Rubus*, um grupo altamente diversificado e amplamente distribuído. Estima-se que existam entre 400 a 500 espécies dentro desse gênero, conhecidas como *berries*. O termo *berries* tem sido utilizado para descrever frutos pequenos, arredondados e de sabor adocicado, abrangendo tanto framboesas quanto amoras-pretas cultivadas em diferentes continentes, como América, Europa, África e Ásia (JEPSON e CRAIG, 2005; LORENZI et al., 2006).



Figura 5. Frutas de amora-preta. Fonte: Raseira et al., 2022

Dentre as *berries*, a amora-preta se destaca por apresentar a maior concentração de antocianinas (VIZZOTTO et al., 2012), pigmentos naturais responsáveis por suas colorações vibrantes, que variam entre vermelho, roxo e azul. Além do papel estrutural, essas substâncias são amplamente reconhecidas por suas propriedades antioxidantes e pelo seu potencial protetor contra danos oxidativos (RICE-EVANS et al., 1996).

Os extratos brutos de espécies do gênero *Rubus* apresentam diversas atividades biológicas, incluindo efeitos antioxidantes, antimutagênicos e anticancerígenos (FERREIRA et al., 2010; LIM e CHOI, 2019). Além disso, estudos indicam que esses compostos podem contribuir para a redução dos níveis de colesterol e do índice glicêmico, demonstrando benefícios metabólicos importantes (MARTINS et al., 2023; BUCZYŃSKI et al., 2024).

As propriedades biológicas da amora-preta estão diretamente relacionadas à sua composição fitoquímica, que inclui tanto compostos fenólicos hidrofílicos quanto lipofílicos. A presença de antocianinas e carotenoides confere a essas frutas um alto potencial antioxidante, pois essas substâncias possuem a capacidade de doar hidrogênios ou elétrons aos radicais livres, reduzindo o estresse oxidativo e promovendo benefícios à saúde (RICE-EVANS et al., 1996)

O estudo do uso de amora-preta (*Rubus* spp.) na dieta de peixes ornamentais, com foco na espécie *B.splendens* destacaram a melhora na coloração e na saúde reprodutiva de *B.splendens* através da inclusão de pigmentos antociânicos da amora-preta (Honorato et al., 2024; Reges et al., 2024b) (Tabela 3). O potencial dessa planta pode promover benefícios similares em o *G. ternetzi* (tetras negros). A aplicação desses pigmentos naturais pode não só intensificar a coloração característica do *G. ternetzi*, mas também promover a resistência a doenças e melhorar o bem-estar dos peixes. Além disso, a utilização de substâncias bioativas da amora-preta oferece uma alternativa sustentável para a alimentação de peixes ornamentais, agregando valor à produção desses animais e favorecendo práticas de aquicultura mais ecológicas e saudáveis.

Tabela 3. Resultados obtidos com amora-preta (*Rubus* spp.) na dieta de peixes ornamentais

Espécie de peixe	Resultado	Referência
<i>Betta splendens</i> (Fêmeas)	Melhora na coloração, aumento da luminosidade e do índice gonadossomático. Não houve mortalidade.	Reges et al., 2024b
<i>Betta splendens</i> (Fêmeas)	Aumento na intensidade de cor e melhora na saúde reprodutiva, sem efeitos adversos.	Honorato et al., 2024

2. OBJETIVOS

2.1. Objetivo Geral

Avaliar o efeito das substâncias bioativas de plantas do cerrado, como o extrato aquoso de *E.crista-galli* e o uso de amora-preta (*Rubus* spp), na promoção do bem-estar de peixes ornamentais, com foco na coloração, metabolismo digestivo, hepático, atividade antioxidante e comportamento.

2.2. Objetivos Específicos

Avaliar os efeitos da inclusão do extrato aquoso das folhas de *E. crista-galli* na dieta de *M. forestii*, com ênfase nas alterações na coloração, nos níveis de ansiedade e nos parâmetros de metabolismo digestivo, hepático e antioxidante.

Investigar a influência do uso de amora-preta (*Rubus* spp) na coloração, atividade antioxidante e perfil das enzimas digestivas em *G. ternetzi*.

3. REFERÊNCIAS

- ABINPET – Associação Brasileira da Indústria de Produtos para Animais de Estimação. Mercado PET Brasil. Disponível em:< <http://abinpet.org.br/mercado/>>. Acesso em 9 de outubro de 2021.
- ARAUJO, F.G.; FICHBERG, I.; PINTO, B.C.T.; PEIXOTO, M.G. A preliminary index of biotic integrity for monitoring the condition of the Rio Paraíba do Sul, Southeast Brazil. *Environ. Manag.* n. 32, p. 516–526, 2003. <https://doi.org/10.1007/s00267-003-3003-9>.
- ASHMAWY NS, ASHOUR ML, WINK M, et al. Polyphenols from *Erythrina crista-galli*: Structures, molecular docking and phytoestrogenic activity. *Molecules* n. 21, p. 1–14, 20126. <https://doi.org/10.3390/molecules21060726>
- BENINE, R.C.; MARIGUELA, T.C.; OLIVEIRA, C. New species of *Moenkhausia Eigenmann, 1903* (Characiformes: Characidae) with comments on the *Moenkhausia oligolepis* species complex. *Neotropical Ichthyology* n. 7, p. 161-168. 2009. <https://doi.org/10.1590/S1679-62252009000200005>.
- BENINE, R.C., B.F. MELO, R.M. CASTRO; C. OLIVEIRA. Taxonomic revision and molecular phylogeny of *Gymnocorymbus Eigenmann, 1908* (Teleostei, Characiformes, Characidae). *Zootaxa*, n. 3956, v. 1, p. 1-28, 2015.
- BOZZETTI; M., SCHULZ; U.H. An index of biotic integrity based on fish assemblages for subtropical streams in southern Brazil. *Hydrobiologia* 529: 133–144. 2004. <https://doi.org/10.1007/s10750-004-5738-6>
- BUCZYŃSKI, K.; KAPŁAN, M.; JAROSZ, Z. Review of the Report on the Nutritional and Health-Promoting Values of Species of the *Rubus L.* Genus. *Agriculture*, v. 14, n. 8, p. 1324, 9 ago. 2024. <https://doi.org/10.3390/agriculture14081324>
- CARVALHO, P. E. R. Espécies Arbóreas Brasileiras: Corticeira-do-Banhado - *Erythrina crista-galli*. Embrapa, v. 2, 2006.
- CAL, L; SUAREZ-BREGUA, P; CERDÁ-REVETER, M; BRAASCH, I; ROTLLANT, J. Fish pigmentation and the melanocortin system. *Comparative Biochemistry and Physiology Part A: Molecular & Integrative Physiology*. 211. p. 26-33. 2017 <https://doi.org/10.1016/j.cbpa.2017.06.001>.
- COSTA, D. P.; MIRANDA-FILHO, K.C. The use of carotenoid pigments as food additives for aquatic organisms and their functional roles. *Reviews in Aquaculture*, v. 12, n. 3, p. 1567-1578, 2020.

- FAGGION SA, CUNHA AOS, FACHIM HA, ET AL. Anticonvulsant profile of the alkaloids (+)-erythravine and (+)-11- α -hydroxy-erythravine isolated from the flowers of *Erythrina mulungu* Mart ex Benth (Leguminosae-Papilionaceae). *Epilepsy Behav* n. 20, p. 441–446, 2011. <https://doi.org/10.1016/j.yebeh.2010.12.037>
- FAHMY NM, AL-SAYED E, EL-SHAZLY M, NASSER SINGAB A. Alkaloids of genus *Erythrina*: An updated review. *Nat. Prod. Res. N.* 34, p. 1891–1912, 2020.
- FAO. Fisheries and aquaculture information and statistics branch. Food and Agriculture Organization, 2024.
- FARIA, G.S.; JARDIM, F.B.B.; SILVA, A.; COSTA, L.L.; ABDALLA, D.R. Caracterização química da casca de jabuticaba (*Myrciaria jabuticaba*) liofilizada e sua aplicação em leite fermentado potencialmente simbiótico. *Jornal de Ciências Biomédicas e Saúde*, v. 2, n.1, p. 02-09, 2016.
- FERREIRA, D. S.; ROSSO, V. V. DE; MERCADANTE, A. Z. Bioactive compounds of blackberry fruits (*Rubus* spp.) grown in Brazil. Compostos bioativos presentes em amora-preta (*Rubus* spp.). *Revista Brasileira de Fruticultura*, v. 32, n. 3, p. 664–674, 8 out. 2010. <https://doi.org/10.1590/S0100-29452010005000110>
- FERREIRA, J. L. A coloração dos peixes. Grupo Sarlo. 20 de fevereiro de 2019. Disponível em: < <https://gruposarlo.com.br/2019/02/20/traditional-feel-in-the-kitchen/> >. Acesso em 31 jan. 2025.
- FRIES, E.M; BITTARELLO, A.C; ZAMINHAN, M; SIGNOR, A; FEIDEN, A; BOSCOLO, W.R. Urucum em dieta para alevinos de kinguios *Carassius auratus*: desempenho produtivo e pigmentação de pele. *Semina: Ciências Agrárias, Londrina*, v. 35, n.6, p. 3401-3414, 2014.
- GIMÊNES JUNIOR, Heriberto; RECH, Ricardo (org.). Guia ilustrado dos peixes do Pantanal e entorno. Campo Grande, MS: Julien Design, 2022. 660 p.
- GOMES, V. D. S.; AMÂNCIO, A. L. L.; CAVALCANTI, C. R.; BATISTA, J. M. M. Análise das características corporais do peixe *Betta splendens*. *Visão Acadêmica*, v. 20, n. 3, p. 29 – 38, 2019.
- GONINO, G.M.R., FIGUEIREDO, B.R.S., MANETTA, G.I., ALVES, G.H.Z., BENEDITO, E., 2019. Fire increases the productivity of sugarcane, but it also generates ashes that negatively affect native fish species in aquatic systems. *Sci. Total Environ.* 664: 215–221. 2019. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2019.02.022>
- GOTO, S., KOGURE, K., ABE, K., KIMATA, Y., KITAHAMA, K., YAMASHITA, E., TERADA, H. Efficient radical trapping at the surface and inside the phospholipid

membrane is responsible for highly potent antiperoxidative activity of the carotenoid astaxanthin. *Biochimica et biophysica acta (BBA)-biomembranes*, v. 1512, n. 2, p. 251-258, 2001.

GREMPEL, R.G.; VISCONTI, M.A. Coloração e fisiologia da pigmentação. In: *Biologia e fisiologia de peixes neotropicais de água doce*, FUNEP; UNESP, p.366 (141-153), 2014.

HILSDORF, A. W. S. Coloração em peixes: de sua importância evolutiva ao seu valor comercial. *Genética na Escola*, v. 16, n. 1, 2021

HONORATO CA, DORCE LS, ZIEMNICZAK HM, et al. Bioativos de plantas do cerrado na alimentação de peixes ornamentais. In: *Compostos bioativos e suas aplicações*. Mérida Publishers, Canoas, p 224–234, 20221.

HONORATO, C. A. et al. Fruit residues as diet ingredients for *Symphysodon discus*: nutrient digestibility. *Semina: Ciências Agrárias*, v. 43, n. 4, p. 1875–1882, ago. 2022. <https://doi.org/10.5433/1679-0359.2022v43n4p1875>

IBGE. Conheça o Brasil – Território Rios do Brasil. 2023. Disponível em: <<https://educa.ibge.gov.br/jovens/conheca-o-brasil/territorio/18305-rios-do-brasil.html>>. Acesso em: 5 fev. 2025.

JEPSON R.G.; CRAIG J.C. *The American heritage science dictionary*. North America: Houghton Mifflin Company, 2005. p. 704.

JIMÉNEZ-CABRERA T, BAUTISTA M, VELÁZQUEZ-GONZÁLEZ C, ET AL. Promising antioxidant activity of erythrina genus: An alternative treatment for inflammatory pain? *Int. J. Mol. Sci.* n. 22, p. 1–19, 2021.

KALINOWSKI, C. T., ROBAINA, L. E., FERNANDEZ-PALACIOS, H., SCHUCHARDT, D., IZQUIERDO, M. S. Effect of different carotenoid sources and their dietary levels on red porgy (*Pagrus pagrus*) growth and skin colour. *Aquaculture*, v. 244, n. 1-4, p. 223-231, 2005.

KAUR, RAJINDER; SHAH, TARANG KUMAR. Role of feed additives in pigmentation of ornamental fishes. *International Journal of Fisheries and Aquatic Studies*, v. 5, n. 2, p. 684-686, 2017.

LAU CC, MOHD NOR SA, TAN MP, YEONG YS, WONG LL, VAN DE PEER Y, SORGELOOS P, MUHD DD. Pigmentation enhancement techniques during ornamental fish production. *Rev Fish Biol Fish*, v. 33, n. 4, p.1027-1048, 2023. <https://doi.org/10.1007/s11160-023-09777-4>.

- LILI, W. et al. EFFECTIVENESS OF THE ASTAXANTHIN ADDITION IN COMMERCIAL FEED TO OSCAR (*Astronotus ocellatus*) COLOR INTENSITY. *Global Scientific Journals*, v. 8, n. 1, p. 720–728, jan. 2020.
- LIM, S. H.; CHOI, C.-I. Pharmacological Properties of *Morus nigra* L. (Black Mulberry) as A Promising Nutraceutical Resource. *Nutrients*, v. 11, n. 2, p. 437, 20 fev. 2019. <https://doi.org/10.3390/nu11020437>
- Luo M, Lu G, Yin H, Wang L, Atuganile M, Dong Z. Fish pigmentation and coloration: Molecular mechanisms and aquaculture perspectives. *Rev Aquac*, v. 13, n. 4, p.2395-2412, 202. <https://doi.org/10.1111/raq.12583>.
- LORENZI, H.; BACHER, L.; LACERDA, M.; SARTORI, S. Frutas brasileiras e exóticas cultivadas: de consumo in natura. Nova Odessa: Instituto Plantarum, 2006. p.627.
- MALDONADE, I.R.; RODRIGUEZ-AMAYA, D.B.; SCAMPARINI, A.R.P. Carotenoids of yeasts isolated from the Brazilian ecosystem. *Food Chemistry*, v.107, n.1, p.145–150, 2008.
- MARCHIORI, J. N. C. Dendrologia das angiospermas: leguminosas. Santa Maria: Ed da Universidade Federal de Santa Maria, 1997. 200p.
- MARTINS, M. S. et al. Blackberries and Mulberries: Berries with Significant Health-Promoting Properties. *International Journal of Molecular Sciences*, v. 24, n. 15, p. 12024, 27 jul. 2023. <https://doi.org/10.3390/ijms241512024>
- MARTINS, N. R. S.; HOYOS, D. C. M.; TAVARES, G. C.; RAMIREZ, M. A. Cadernos Técnicos de Veterinária e Zootecnia. (Cadernos Técnicos da Escola de Veterinária da UFMG). Belo Horizonte, Fundação de Ensino e Pesquisa em Medicina Veterinária e Zootecnia, FEP MVZ Editora. 2021.
- MARTINS, N. R. S.; HOYOS, D. C. M.; TAVARES, G. C.; RAMIREZ, M. A. Cadernos Técnicos de Veterinária e Zootecnia. (Cadernos Técnicos da Escola de Veterinária da UFMG). Belo Horizonte, Fundação de Ensino e Pesquisa em Medicina Veterinária e Zootecnia, FEP MVZ Editora. 2022.
- MCLEAN E. Fish tank color: An overview. *Aquaculture* v. 530, p. 735750, 2021. <https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2020.735750>
- Meschiatti, A.J.; M.S. Arcifa. A review on the fishfauna of Mogi-Guaçu river basin: a century of studies. *Acta Limnologica Brasiliensia*, n. 21, v. 1, p. 135-159, 2009.
- MIKI, WATARU. Biological functions and activities of animal carotenoids. *Pure and Applied chemistry*, v. 63, n. 1, p. 141-146, 1991.

- NHAN, H. T., MINH, T. X., LIEW, H. J., et al. "Effects of natural dietary carotenoids on skin coloration of false Clownfish (*Amphiprion ocellaris* Cuvier, 1830)". *Aquaculture Nutrition*, v. 25, n. 3, p. 662–668, 2019. DOI:10.1111/anu.12887.
- OTÁLARA, M.C.; CARRIAZO, J.G.; ITURRIAGA, I.; OSOSRIO, C.; NAZARENO, M.A. Encapsulation betalains from *Opuntia ficus-indica* fruits by ionic gelation: Pigment chemical st during storage of beads. *Food Chemistry*, v. 202, n.1. p. 372-382. 2016.
- OZAWA M, KAWAMATA S, ETOH T, et al. Structures of new erythrinan alkaloids and nitric oxide production inhibitors from *Erythrina crista-galli*. *Chem Pharm Bull* n. 58, p. 1119–1122, 2010. <https://doi.org/10.1248/cpb.58.1119>
- PEIXE BR. Aquicultura no Brasil. 2024. Disponível em: <https://www.peixebr.com.br/?utm_source=chatgpt.com> . Acesso em: 5 fev. 2025.
- RASEIRA, A. C. B.; CARPENEDO, S.; FRANZON, R. C.; ROSSI, A.; ANTUNES, L. E. C. Amoreira-preta (*Rubus* spp): importância e pesquisa no Brasil. Pelotas: Embrapa Clima Temperado, 2022.
- RAMIREZ, M. A.; SANTOS, N. N.; BALLOUTE, G. R. R.; SILVA, L. D. M. In: Entendendo a diversidade dos sistemas de produção de peixes ornamentais. MARTINS, N. R. S.; HOYOS, D. C. M.; TAVARES, G. C.; RAMIREZ, M. A. *Cadernos Técnicos de Veterinária e Zootecnia. (Cadernos Técnicos da Escola de Veterinária da UFMG)*. Belo Horizonte, Fundação de Ensino e Pesquisa em Medicina Veterinária e Zootecnia, FEP MVZ Editora. 2022
- RASHIDIAN, G.; RAINIS, S.; PROKIĆ, M. D.; FAGGIO, C. Effects of different levels of carotenoids and light sources on swordtail fish (*Xiphophorus helleri*) growth, survival rate and reproductive parameters. *Nat Prod Res* n. 0, p. 1–12, 2020. <https://doi.org/10.1080/14786419.2020.1723091>
- REGES, J. A. U. et al. O AGRONEGÓCIO DA AQUICULTURA ORNAMENTAL: ASPECTOS DA FISILOGIA ADAPTATIVA. Em: DE OLIVEIRA, A. C.; OLIVEIRA, N.; BARÃO, F. R. (Eds.). *Vida em evolução explorando as ciências biológicas* 2. 1. ed. Ponta Grossa: Atena Editora, 2024b. v. 1p. 28–53. <https://doi.org/10.22533/at.ed.6662412044>
- REGES, J. A. R.; FERREIRAA. C. V.; CONCEIÇÃO, L. M. A.; MENDONÇA, W. C. B.; SANTOS, R. F. B.; PAUSE, A. G. S.; HONORATO, H. Blackberry Anthocyanic Pigments: Characterization And Feasibility Of Use In Diets For Female Betta

- Splendens. Conference: Aquicultura Latino-Americana e Caribenha, 2024b. <https://doi.org/10.13140/RG.2.2.24063.42401>
- REZENDE, F.P; VIDAL JÚNIOR, M.V; ANDRADE, D.R; MENDONÇA, P.P; SANTOS, M.V.B. Characterization of a new methodology based on the ontesity of skin satining of ornamental fish with applications in nutrition. *Journal of Agricultural Science and Tecnology*. v. 2, p. 606-612. 2012.
- REZENDE, F.P; FUJIMOTO, R. Y. Peixes ornamentais no Brasil: Mercado, legislação, sistemas de produção e sanidade. Brasília, DF : Embrapa, 2021. 297 p.
- RIBEIRO, A. K. 2018. Brasil é 13o na exportação de peixes ornamentais. In: Revista AgroRondônia. Disponível em: <<http://www.agrorondonia.com.br/noticias/piscicultura/brasil-e-13-na-exportacao-de-peixes-ornamentais>> Acesso em: 27 de setembro de 2024.
- RICE-EVANS, C.A.; MILLER, N.J.; PAGANGA, G. Structure-antioxidant activity relationships of flavonoids and phenolic acids. *Free Radical Biology Medicine*, Amsterdam, v.20, n.7, p.933-956, 1996.
- RODRIGUEZ-AMAYA. D.B. Status of carotenoid analytical methods and in vitro assays for the assessment of food quality and health effects. *Current Opinion in Food Science*. 1:56–63, 2015.
- SANCHES, E. G. A magia dos pigmentos. *Aquaculture Brasil*, p. 66–67, 29 jul. 2021. < A magia dos pigmentos - Colunas - Aquaculture Brasil - O maior portal brasileiro sobre aquicultura >
- SANTOS MRV, ALVES PB, ANTONIOLLI AR, MARCHIORO M. Relaxant effect of the aqueous extract of *Erythrina vellutina* leaves on rat vas deferens. *Res Bras Farmacog*. 17: p. 343-348, 2007.
- SANTOS ROSA D, FAGGION SA, GAVIN AS, ET AL. Erysothrine, an alkaloid extracted from flowers of *Erythrina mulungu* Mart. ex Benth: Evaluating its anticonvulsant and anxiolytic potential. *Epilepsy Behav* n. 23, p. 205–212, 2012. <https://doi.org/10.1016/j.yebeh.2012.01.003>
- SCÁRDUA, M. P. et al. The role of phenylalanine in the fish pigmentation process: a review. *International Aquatic Research*, v. 16, n. 2, p. 101–111, 23 abr. 2024. <https://doi.org/10.22034/iar.2024.2007852.1607>
- SIQUEIRA MS, SOUSA RM, TIRLONI CAS, et al (2019) Implications of erythrina crista-galli extract as antisiolytic for carassius auratus. *Cienc Anim Bras* 20:. <https://doi.org/10.1590/1089-6891v20e-50520>

- Son NT, Elshamy AI. Flavonoids and other Non-alkaloidal Constituents of Genus *Erythrina*: Phytochemical Review. *Comb Chem High Throughput Screen* n. 24, p. 20–58, 2020. <https://doi.org/10.2174/1386207323666200609141517>
- STRATEV, D.; ZHELYAZKOV, G.; NOUNDOU, X. S.; KRAUSE, R. W. M. Beneficial effects of medicinal plants in fish diseases. *Aquaculture International*, v. 26, n. 3, p. 289–308, 2018. <https://doi.org/10.1007/s10499-018-0224-5>.
- PeixeBR. Anuário PEIXE BR da Piscicultura 2021. Disponível em <https://www.peixebr.com.br/anuario-2021/>
- VANEGAS-ESPINOZA PE, PÉREZ-ESCALANTE V, AGUIRRE-GUZMAN G, et al. Microencapsulation of anthocyanins from roselle (*Hibiscus sabdariffa*) and its application on a pigment supplied diet to fantail goldfish (*Carassius auratus*). *Aquac Int* n. 27, p. 1801–1811, 2019. <https://doi.org/10.1007/s10499-019-00430-1>
- VASANTHAKUMARAN, M.; BASU, S. B. S.; DEEKSHANYA, K.; RAJA, S. Feed formulation with animal waste as supplements for ornamental fishes *Poecilia sphenops*. *International Journal of Recent Scientific Research*, v. 11, n. 7, p. 39263 – 39266, 2020.
- VIRTUOSO S, DAVET A, DIAS JFG, CUNICO MM, MIGUEL MD, OLIVEIRA AB, et al. Estudo preliminar da atividade antibacteriana das cascas de *Erythrina velutina* Willd., Fabaceae (Leguminosae). *Res Bras Farmacog.* 15: p. 137-142, 2005
- VISSIO PG, DARIAS MJ, DI YORIO MP, PREZ SIRKIN DI, DELGADIN TH. Fish skin pigmentation in aquaculture: The influence of rearing conditions and its neuroendocrine regulation. *Gen Comp Endoc* v. 301, p. 113662, 2021. <https://doi.org/10.1016/j.ygcen.2020.113662>
- VIZZOTTO, M. Efeito de compostos fenólicos e atividade antioxidante em diferentes genótipos de amoreira-preta (*Rubus* sp.). *Revista Brasileira de Fruticultura*, v. 34, n. 3, set. 2012. <https://doi.org/10.1590/S0100-29452012000300027>
- ZHANG BJ, WU J, BAO MF, Artificial *Erythrina* Alkaloids from Three *Erythrina* Plants, *E. variegata*, *E. crista-galli* and *E. arborescens*. *Nat Products Bioprospect*, n. 10, p. 57–66, 2020. <https://doi.org/10.1007/s13659-020-00235-3>

Capítulo II

Erythrina crista-galli NA DIETA DO TETRA DE OLHOS VERMELHOS (*Moenkhausia forestii*) PROMOVE EFEITOS TRANQUILIZANTES E HEPATOPROTETORES

Artigo publicado na revista Veterinary Research Communications

Doi: 10.1007/s11259-024-10517-7

***Erythrina crista-galli* NA DIETA DO TETRA DE OLHOS VERMELHOS (*Moenkhausia forestii*) PROMOVE EFEITOS TRANQUILIZANTES E HEPATOPROTETORES**

RESUMO

Este estudo teve como objetivo avaliar a composição do extrato aquoso das folhas de *Erythrina crista-galli* e os efeitos de sua inclusão na dieta de tetra-olho-vermelho (*Moenkhausia forestii*), considerando o conteúdo enzimático do metabolismo digestivo, hepático e oxidativo, bem como a pigmentação. Os peixes (peso médio inicial de $1,78 \pm 0,54$ g) foram divididos em três grupos: Controle (ração comercial) e Tratamento (ração comercial suplementada com extrato aquoso de folhas de *E. crista-galli*), sendo alimentados até saciedade aparente por 21 dias. A análise do extrato foi realizada por espectrometria de massas, identificando compostos fenólicos e flavonoides. O grau de agitação e o número de movimentos bruscos foram menores em todos os tratamentos suplementados em relação à dieta controle, tanto aos 7 quanto aos 15 dias. A atividade enzimática digestiva não diferiu significativamente ($p > 0,05$). O grupo Tratamento apresentou menores níveis de ALT e maiores níveis de antioxidante CAT. Os resultados indicaram que o extrato aquoso de folhas de *Erythrina crista-galli* auxilia na manutenção da função hepática e estimula a atividade da enzima CAT no tetra-olho-vermelho, sugerindo que os compostos identificados atuam sobre o fígado e a pele, promovendo efeitos hepatoprotetores e tranquilizantes.

Palavras-chave: Peixes ornamentais; enzimas metabólicas; bem-estar; atividades antioxidantes.

1. INTRODUÇÃO

O consumo de peixes e frutos do mar não é apenas saudável, mas também ambientalmente sustentável (Valenti et al., 2021). Com o aumento da intensificação da produção no setor, há uma crescente demanda por novas estratégias sustentáveis de desenvolvimento da aquicultura (Boyd et al., 2020).

Para melhorar a eficiência das práticas de manejo, a qualidade do produto e a competitividade no mercado, tecnologias e inovações na aquicultura devem ser desenvolvidas. Iniciativas têm sido tomadas para otimizar o uso de nutrientes e conservar a qualidade da água (Antony Jesu Prabhu et al., 2019; de los Santos et al., 2020; Islam et al., 2021). Além dos

benefícios ambientais, a melhoria na digestão e absorção de nutrientes pode aprimorar a saúde e o desempenho dos peixes (Jayasinghe e Jayawardena, 2019; Zhang et al., 2022).

O uso de plantas medicinais tem ganhado popularidade globalmente devido à facilidade de preparação, acessibilidade e efeitos colaterais mínimos nos animais. Além disso, são ambientalmente amigáveis por serem biodegradáveis.

Erythrina crista-galli é um arbusto decíduo da família Leguminosae, amplamente distribuído em regiões tropicais e subtropicais. A maioria dos estudos sobre *E. crista-galli* avaliou a composição fitoquímica de diferentes partes da planta, incluindo extrato aquoso das folhas (Ashmawy et al., 2016), extrato metanólico da casca (Ozawa et al., 2010) e extrato metanólico das flores (Zhang et al., 2020).

Os efeitos biológicos de *E. crista-galli* ainda são pouco conhecidos, embora compostos isolados da casca tenham sido sugeridos como possuidores de propriedades anti-inflamatórias (Ozawa et al., 2010; Son e Elshamy, 2020; Fahmy et al., 2020). O extrato metanólico das folhas também demonstrou atividades fitoestrogênicas promissoras (Ashmawy et al., 2016). Espécies do gênero *Erythrina* contêm fitoquímicos com diversas atividades biológicas, incluindo efeitos ansiolíticos (Santos Rosa et al., 2012; Fahmy et al., 2020), antioxidantes (Jiménez-Cabrera et al., 2021), anticonvulsivantes (Faggion et al., 2011), hepatoprotetores e antialimentares (Jiménez-Cabrera et al., 2021).

A presença de compostos bioativos no extrato de *E. crista-galli* pode indicar efeitos benéficos sobre peixes ornamentais, especialmente no que se refere à redução do estresse, comportamento alimentar e manutenção da saúde hepática.

O presente estudo visa avaliar os efeitos da inclusão do extrato aquoso das folhas de *Erythrina crista-galli* na dieta do tetra-olho-vermelho (*Moenkhausia forestii*), especialmente em relação à pigmentação, ansiedade e metabolismo digestivo, hepático e antioxidante.

2. MATERIAIS E MÉTODOS

2.1 Preparação do extrato e análise química

As folhas de *E. crista-galli* foram coletadas em Dourados, Mato Grosso do Sul, Brasil, durante o inverno, no período da manhã. O material vegetal foi identificado e um espécime testemunha (número de registro 4879) foi depositado no herbário da Universidade Federal da Grande Dourados (UFGD).

As folhas frescas foram lavadas, secas à temperatura ambiente (28 ± 2 °C), cortadas em pequenos pedaços, moídas em pó utilizando um moinho mecânico e extraídas com aquoso a

95% (10 mL/g) por 3 dias. O metanol foi evaporado a vácuo a 50 °C até secagem e armazenado a 4 °C até o uso.

Uma solução do extrato aquoso (1000 µg mL⁻¹) foi preparada para análise do teor de flavonoides (Lin e Tang, 2007), compostos fenólicos (Djeridane et al., 2006) e taninos (Agostini-Costa et al., 1999).

Todas as análises foram realizadas em triplicata, e os resultados foram expressos em mg de compostos equivalentes por g de extrato, considerando os seguintes compostos: quercetina para flavonoides, ácido gálico para compostos fenólicos e catequinas para taninos.

A atividade antioxidante do extrato foi avaliada utilizando os métodos DPPH (Rufino et al., 2007b), ABTS (Rufino et al., 2007a), descoloração do β-caroteno (Jayaprakasha et al., 2001) e presença de alcaloides (Teles et al., 1995).

2.2. Animais

Cento e vinte exemplares de tetra-de-olho-vermelho (*M. forestii*) foram obtidos no Laboratório de Ictiologia do Instituto de Meio Ambiente de Mato Grosso do Sul (IMASUL), localizado em Campo Grande, Mato Grosso do Sul, Brasil. O laboratório adquire os peixes do rio local e os cria em aquário. O experimento foi aprovado pelo Comitê de Ética em Pesquisa Animal, do Centro Universitário da Grande Dourados (UFGD), sob o protocolo número 003/2014, Código de Registro, SISGEN: AA88DF1.

2.3. Desenho Experimental

Antes do experimento, os peixes (1,78 ± 0,54 g) foram distribuídos aleatoriamente em doze aquários de vidro (120 L de capacidade) (10 peixes por aquário) e aclimatados por sete dias. Cerca de 50% da água foi trocada diariamente. Bombas de ar e pedras porosas foram usadas para manter a oxigenação. Os peixes foram alimentados três vezes ao dia (07:30, 12:30 e 17:30) com ração comercial (32% de proteína bruta, Laguna® Sport 28, Estado de São Paulo, Brasil) até a saciedade aparente. Eles foram mantidos sob fotoperíodos de 12 horas de luz e 12 horas de escuridão, e cada tratamento alimentar foi testado em quadruplicata.

O extrato liofilizado de *E. crista-galli* foi incorporado à ração após diluição em água:etanol (1:1), com subsequente evaporação do álcool. Os tratamentos experimentais foram: (i) ração comercial utilizada como dieta controle; (ii) 1000 mg de extrato de *E. crista-galli*/kg de ração; e (iii) 2000 mg de extrato de *E. crista-galli*/kg de ração. Após a secagem, todas as dietas foram seladas em sacos e armazenadas a 4 °C para uso posterior.

2.4. Variáveis Analisadas

2.4.1. Desempenho produtivo e fator de condição

Após o período de alimentação (21 dias), os peixes foram submetidos a um jejum de 24 horas antes da coleta. Todos os peixes foram utilizados para estimar o Fator de Condição (K), calculado pelo método alométrico, pela expressão $K = W/L^b$ (onde W = massa total, L = comprimento padrão dos indivíduos, e b = coeficiente de regressão). Para estimar o valor do coeficiente b, uma equação única de relação peso-comprimento ($W = aL^b$) foi ajustada para o conjunto de todos os indivíduos coletados, utilizando o método dos mínimos quadrados aplicado aos dados convertidos para seus respectivos logaritmos naturais (Lima-Junior et al. 2002).

Além disso, nove peixes de cada tanque foram selecionados aleatoriamente e eutanasiados para análise enzimática. O conteúdo abdominal e os músculos foram removidos para avaliação das propriedades hepatoprotetoras, imunológicas e digestivas de *E. crista-galli* em *M. forestii*. Outros três peixes por tanque foram selecionados aleatoriamente para a avaliação da coloração corporal.

2.4.2. Comportamento de *M. forestii*

O comportamento foi avaliado no sétimo e oitavo dias de alimentação durante dois períodos consecutivos de observação (5 minutos antes e 10 minutos após a alimentação) de 10 minutos cada. As seguintes reações foram observadas: (i) grau de agitação - caracterizado pelos peixes tentando pular para fora do tanque; expresso em alto (X a Y tentativas), médio (A a B tentativas) ou baixo (Z a W tentativas); (ii) número de disparos - comportamento defensivo caracterizado pelo nado rápido e desordenado de um lado para o outro do tanque ou no fundo; expresso em alto (mais de 6 disparos), médio (1 a 5 disparos) ou baixo (0 disparos) (Giaquinto & Volpato, 2001); e (iii) aceitação da ração - foi verificado se a dieta oferecida foi consumida imediatamente (alimentação imediata) ou se restou ração para o próximo horário de alimentação (alimentação ausente). Quando a ração não foi consumida imediatamente e não foi encontrada ração no tanque na próxima alimentação, considerou-se a alimentação tardia.

2.4.3. Avaliação da cor corporal de *M. forestii*

A cor corporal dos peixes foi avaliada utilizando-se um colorímetro (Konica Minolta®) equipado com uma abertura de 8 mm de diâmetro e calibrado em uma placa cerâmica de referência branca antes do uso, conforme descrito por Choubert et al. (1992). Cada peixe foi colocado sobre a placa e a leitura foi realizada abaixo da nadadeira dorsal, acima da linha lateral e ao longo do filé (Figura 1). Todas as medições foram expressas em três componentes: L* descreve a luminosidade (preto = 0 e branco = 100), a* corresponde à intensidade de vermelho, e b* corresponde à intensidade de amarelo, de acordo com as recomendações da Comissão Internacional de Iluminação (CIE, 1976). A coloração foi realizada no início e no final do período de alimentação. A variação de coloração = cor final - cor inicial.

2.4.4 Análise Enzimática

2.4.4.1 Preparação do Homogeneizado Tecidual

O conteúdo abdominal (100 mg) foi utilizado para a análise das enzimas metabólicas alanina aminotransferase (ALT) e aspartato aminotransferase (AST) e para a análise das enzimas digestivas (amilase, lipase, fosfatase alcalina e protease). O conteúdo abdominal de cada peixe foi homogeneizado separadamente em um tampão em banho de gelo (contendo 20 mM de fosfato de sódio e 10 mM de Tris, pH 7.0 em glicerol v/v) com um homogeneizador tipo Potter-Elvehjem. Os homogeneizados foram centrifugados a 600g por três minutos a 4°C e o sobrenadante foi submetido a nova centrifugação a 6000g por oito minutos a 4°C.

O músculo foi homogeneizado em uma proporção de 1:20 em tampão 0,1M PO₄²⁻, pH 7,0 com 0,25 M de sacarose, em proporção 1:1 tecido:tampão. Os homogeneizados foram centrifugados a 15.000g por 10 minutos a 4°C. O sobrenadante foi utilizado como fonte crua de enzimas antioxidantes.

2.4.4.2 Análise da Atividade das Enzimas

A atividade da alanina aminotransferase (ALT) e aspartato aminotransferase (AST) nos homogeneizados foi determinada conforme Reitman e Frankel (1957).

A atividade proteolítica total foi medida pela hidrólise da caseína (Walter, 1984). Os valores do pH do ensaio foram ajustados para cada seção do trato digestivo. A atividade proteásica do estômago foi medida em solução de glicina-HCl 0,2M (pH 2,0). As cecos pilóricos, intestino anterior e posterior foram analisados em tampão Tris-HCl 0,1M (pH 9,0). A mistura de reação,

para volume final de 1,0 mL, foi: 0,1M pH 2,0 ou 0,05M pH 9,0 e caseína 0,5%, além de alíquota previamente ajustada da fonte crua de enzima. Após 180 minutos (estômago) ou 60 minutos (intestino) de incubação a 25°C, a reação foi interrompida pela adição de ácido tricloroacético (TCA) a 7% e volume final de 1,5 mL. A mistura foi mantida em banho de gelo por 30 minutos, o precipitado foi removido por centrifugação a 14.400g por três minutos e o sobrenadante foi lido a 280 nm contra uma solução de tirosina. Uma unidade (1,0 UI) de protease foi considerada a quantidade de enzima capaz de produzir 1µmol de tirosina por minuto.

A lipase não específica foi medida após os ajustes conforme a metodologia de Albro et al. (1985). Resumidamente, a mistura de reação, para volume final de 1,0 mL, contendo alíquota previamente ajustada da enzima crua e 0,4mM de α -nitrofenilmiristato (dissolvido em tampão bicarbonato de amônio 24mM, pH 7,8, com 0,5% de Triton X-100) foi incubada por 30 minutos a 25°C. A reação foi interrompida pela adição de 25 mM de NaOH e transferida para banho de gelo por 15 minutos. A densidade óptica foi lida a 405 nm. Uma unidade (1,0 UI) de lipase foi definida como a quantidade de enzima necessária para hidrolisar 1µmol de substrato por minuto. O coeficiente de extinção de α -nitrofenol foi determinado como $\xi = 4,4 \cdot 10^4 \text{ M} \cdot \text{L}^{-1}$.

A atividade amilo-hidrolítica foi medida conforme Bernfeld (1955). A mistura de reação, para volume final de 1,5 mL, foi: 1,5% de amido; tampão citrato/fosfato 0,07M, pH 7,0; 0,028M de Cl^- como cofator enzimático e alíquota previamente ajustada do homogeneizado tecidual. A mistura foi incubada a 25°C por 30 minutos e a reação foi parada pela adição de 1,0 mL de mistura de 5% de ZnSO_4 : 0,3N de $\text{Ba}(\text{OH})_2$. O precipitado foi removido por centrifugação a 11.000 x g por três minutos e a concentração de glicose livre foi determinada a 690 nm no sobrenadante (Park e Johnson 1949). Uma unidade (1,0 UI) de amilase foi considerada a quantidade de enzima necessária para produzir 1µmol de açúcar redutor por minuto. A atividade específica de todas as enzimas foi expressa como UI por miligrama de proteína.

As concentrações de proteína nos extratos enzimáticos crus foram determinadas pelo método de Bradford (1976) a 450 nm, usando albumina a 1,0 mg/mL como padrão. A fosfatase alcalina foi medida por métodos colorimétricos (Alkaline Phosphatase OSR6004) e análise espectrofotométrica (espectrofotômetro semi-automático S-200, BioPlus®).

2.4.4.3 Atividade das Enzimas Antioxidantes

A atividade da superóxido dismutase (SOD) e da catalase (CAT) do homogeneizado muscular foi determinada pela absorvância da mistura de reação registrada com um

espectrofotômetro semi-automático (S-200, BioPlus®). A atividade da SOD foi medida pela auto-oxidação do pirogalol, inibida na presença de SOD (Beutler 1984). O valor da absorvância foi registrado a 420 nm, considerando uma unidade de atividade específica que inibe 50% da auto-oxidação do pirogalol. A atividade da CAT foi medida pela taxa de degradação do H₂O₂ a 230 nm (Beutler 1984). Uma unidade de CAT foi definida como a quantidade de enzima necessária para oxidar 1,0 μmol de H₂O₂ por minuto, e a absorvância molar utilizada foi $(\text{H}_2\text{O}_2)\epsilon_{\lambda 230} = 0,071 \text{ mM cm}^{-1}$.

2.5 Análise Estatística

As análises estatísticas foram realizadas utilizando o software RStudio (versão 1.1.423 – © 2009–2018 RStudio, Inc.). A normalidade dos dados e a homogeneidade das variâncias dos parâmetros gastroprotetores e hepáticos foram verificadas pelo teste de Shapiro-Wilk, utilizando o software BioEstat (versão 5.0). 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 médias ± desvio padrão (DP).

3. RESULTADOS

3.1 Análise química do extrato

O extrato aquoso de *E. crista-galli* apresentou a presença de $131,5 \pm 0,7 \text{ mg g}^{-1}$ de compostos fenólicos, $199,5 \pm 0,5 \text{ mg g}^{-1}$ de flavonoides e $5,81 \pm 0,1 \text{ mg g}^{-1}$ de taninos. A atividade antioxidante foi determinada com IC₅₀ de 88,41 μg/mL pelo método ABTS, com valor de 1,64 μM trolox/g de extrato e teste de descoloração do β-caroteno. No ensaio com ácido linoleico/β-caroteno, o extrato apresentou uma atividade antioxidante de 45%. Foi possível identificar o alcaloide da *E.crista-galli* (*Fabaceae*) como 8-oxo-eritralina⁷.

3.2 Comportamento de *M. forestii*

Os resultados do comportamento de *M. forestii* alimentados com dietas suplementadas com *E. crista-galli* estão apresentados na Tabela 1. O grau de agitação e o número de deslocamentos, em todos os tratamentos suplementados, foram menores do que os observados no grupo controle, tanto nos peixes alimentados por 7 quanto por 15 dias. Os peixes que receberam os maiores níveis dietéticos de *E. crista-galli* apresentaram menor grau de agitação e número de deslocamentos. Os peixes alimentados com a maior concentração de *E. crista-galli* por 7 dias

aceitaram a ração imediatamente, enquanto nos grupos controle e nos que receberam a menor concentração do extrato vegetal, a aceitação foi tardia. O tempo de alimentação com dietas experimentais influenciou o comportamento dos peixes. A aceitação da ração em *M. forestii* alimentados com 1000 mg kg⁻¹ de *E. crista-galli* por 15 dias foi mais rápida do que naqueles alimentados por 7 dias.

Tabela 1. Comportamento de *Moenkhausia forestii* alimentados com dietas experimentais contendo *E. crista-galli* por 7 e 15 dias.

Parâmetros	Níveis dietéticos de <i>E. crista-galli</i> (mg kg ⁻¹)		
	0 (Controle)	1000	2000
Alimentação por 7 dias			
Grau de agitação	+++	++	+
Número de deslocamentos	+++	++	+
Aceitação da ração	tardia	tardia	imediate
Alimentação por 15 dias			
Grau de agitação	+++	+	+
Número de deslocamentos	+++	+	+
Aceitação da ração	tardia	imediate	imediate

+ intensidade do comportamento observado; Aceitação da ração: imediata, a dieta foi consumida imediatamente; tardia, a dieta foi consumida antes da próxima alimentação.

3.3 Desempenho e coloração de *M. forestii*

O ganho de peso não diferiu entre os peixes que receberam a dieta controle ($0,64 \pm 0,13$ mg) e aqueles que receberam 1000 ($0,33 \pm 0,31$ mg) e 2000 ($0,49 \pm 0,40$ mg) mg/kg de *E. crista-galli*. Da mesma forma, o fator de condição não foi alterado quando os peixes foram suplementados com *E. crista-galli* na dieta (Tabela 2). Os resultados da coloração presentes na tabela 2 não são apresentados no texto.

Tabela 2. Desempenho e coloração de *Moenkhausia forestii*

Parâmetros	Níveis dietéticos de <i>E. crista-galli</i> (mg kg ⁻¹)		
	0 (Controle)	1000	2000
Desempenho dos peixes			
Ganho de peso (mg)	0.64 ± 0.13	0.33 ± 0.31	0.49 ± 0.40
Fator de condição	1.86 ± 0.51	1.51 ± 0.36	1.58 ± 0.67
Ganho na coloração dos peixe			

L*	-5.94 ± 3.86	-5.82 ± 6.05	-15.36 ± 8.53
a*	10.15 ± 0.04	10.47 ± 0.70	11.36 ± 0.76
b*	-0.27 ± 1.53	-0.56 ± 1.07	-1.45 ± 1.47

3.4 Atividade Enzimática

No conteúdo abdominal, observaram-se níveis significativamente reduzidos de atividade da ALT e níveis aumentados de atividade da CAT em peixes alimentados com dietas suplementadas com *E. crista-galli* em comparação com o grupo Controle (Tabela 3; $P < 0,05$). Não houve diferença nas atividades de ALT e CAT entre as dietas contendo 1000 e 2000 mg kg^{-1} de *E. crista-galli*.

Tabela 3. Atividade enzimática digestiva, hepatoprotetora e antioxidante em *Moenkhausia forestii*

Enzymes activity	Níveis dietéticos de <i>E. crista-galli</i> (mg kg^{-1})		
	0 (Controle)	1000	2000
Digestivas (U mg^{-1} proteína)			
Protease inespecífica	779.78 ± 0.76	777.00 ± 0.75	780.44 ± 1.03
Amilase	0.72 ± 0.05	1.65 ± 0.28	1.72 ± 0.21
Lipase	0.66 ± 0.15	0.87 ± 0.42	0.37 ± 0.33
Fosfatase alcalina	3.20 ± 0.52	3.08 ± 0.54	3.88 ± 0.54
Hepatoprotetoras			
ALT (U. ml^{-1})	667.22 ± 111.53 ^a	490.00 ± 34.34 ^b	531.55 ± 45.20 ^b
AST (U. ml^{-1})	443.25 ± 79.46	481.37 ± 57.24	491.125 ± 64.45
Albumina (g. dl^{-1})	6.0 ± 2.96	7.46 ± 2.53	7.82 ± 2.32
Glicose (mg. dl^{-1})			
Antioxidantes (UI mg^{-1} proteína)			
SOD	5.06 ± 0.75	6.85 ± 0.54	7.1 ± 0.55
CAT	0.55 ± 0.09 ^b	0.88 ± 0.06 ^a	0.73 ± 0.02 ^a

Valores com letras diferentes na mesma linha são significativamente diferentes ($P < 0,05$).

4. DISCUSSÃO

A melhora no comportamento com o uso do extrato de *E. crista-galli* pode refletir a presença de uma substância ansiolítica no extrato, conforme relatado em estudos que demonstram suas atividades antinociceptivas, ansiolíticas/sedativas, relaxantes musculares e antibacterianas (Vasconcelos et al., 2007; Santos Rosa et al., 2012). Esse extrato já foi comprovadamente eficaz na melhoria do comportamento de outras espécies de peixes, como

Carassius auratus (Siqueira et al., 2019). Estudos sobre o comportamento de peixes são frequentemente utilizados para avaliar sinais de bem-estar em peixes ornamentais durante processos de transporte e manutenção (Huntingford et al., 2006; Stevens et al., 2017; Jones et al., 2022). No presente estudo, o comportamento dos peixes foi alterado, apresentando sinais de tranquilidade e natação em cardume quando alimentados com *E. crista-galli*.

Espécies do gênero *Erythrina* possuem uma ampla variedade de propriedades medicinais. Elas são amplamente utilizadas na medicina popular devido às suas funções curarizantes e hipnóticas, além dos seus efeitos farmacológicos associados, incluindo ação sedativa, hipotensora, bloqueadora neuromuscular e depressora do sistema nervoso central (SNC), além de serem utilizadas para tratar amenorreia, cefaleia e distúrbios hepáticos (Togola et al., 2008).

A redução da atividade e agressividade dos peixes pode refletir as propriedades anti-inflamatórias e analgésicas das plantas do gênero *Erythrina* (Jiménez-Cabrera et al., 2021). Sugere-se que o efeito tranquilizante relatado no uso de *Erythrina* esteja relacionado à porção de spiroamina presente nesses alcaloides, sendo necessária a presença de uma amina terciária para sua ação nos receptores colinérgicos (Fahmy et al., 2018). Ações tranquilizantes foram reportadas para o uso de alcaloides extraídos de *Erythrina* sem a promoção de mudanças na atividade locomotora (Garín-Aguilar et al., 2000).

Com base em nossos resultados, o uso de *Erythrina* não teve um impacto significativo na sobrevivência dos peixes. O desenvolvimento e a coloração também não foram alterados.

A suplementação dietética com medicamentos fitoterápicos tem demonstrado melhorar a saúde e o bem-estar dos peixes (Honorato et al., 2021; França et al., 2022), trazendo benefícios ao sistema imunológico (Zhang et al., 2022). Os efeitos gastroprotetores do extrato de *Erythrina velutina* foram observados em ratos (Craveiro et al., 2008). O uso de aditivos que podem melhorar os aspectos produtivos dos peixes, especialmente produtos naturais, tem ganhado destaque crescente na aquicultura mundial. O presente estudo demonstrou um efeito positivo da corticeira (*E. crista-galli*) na espécie ornamental tetra (*M. forestii*), um peixe de grande importância para a aquicultura ornamental, mas que carece de informações sobre seus aspectos produtivos. O extrato utilizado melhorou o comportamento em relação às características de agitação, número de movimentos bruscos e aceitação do alimento, tanto em 7 quanto em 15 dias; além disso, interferiu nas atividades enzimáticas de ALT e CAT, indicando redução de danos hepáticos e aumento da atividade antioxidante.

Os danos oxidativos nos organismos estão diretamente associados à capacidade de gerar antioxidantes e sua eficiência na defesa contra o estresse oxidativo. SOD e CAT são

biomarcadores utilizados em peixes para avaliar a defesa antioxidante. Muitos dos antioxidantes que contribuem para a capacidade antioxidante dos animais aquáticos provêm de sua alimentação (Ghafarifarsani et al., 2023). Os aditivos fitoterápicos possuem alto poder antioxidante devido aos seus compostos flavonoides e fenólicos (Zhang et al., 2022). Com base nos resultados obtidos, os biomarcadores de estresse oxidativo foram significativos em peixes alimentados com *E. crista-galli*, demonstrando que a suplementação estimulou as atividades de duas enzimas antioxidantes pioneiras, SOD e CAT. Nossos resultados sugerem que a ativação da defesa antioxidante nos peixes pode estar relacionada à presença de compostos bioativos, principalmente alcaloides (Juma e Majinda, 2004), que induzem a atividade sequestradora de radicais livres (Ahmadifar et al., 2023).

Peixes submetidos a estresse crônico, como o confinamento em aquários, podem sofrer com a produção excessiva de espécies reativas de oxigênio (ROS), ultrapassando a capacidade antioxidante do organismo (Cruz et al., 2023). Para neutralizar esses efeitos negativos, os peixes devem possuir uma defesa antioxidante robusta, obtida principalmente por meio da alimentação (Porto et al., 2020; Couto et al., 2022; Honorato et al., 2022).

Os efeitos potencializadores dos extratos vegetais no sistema antioxidante dos peixes foram relatados como dependentes da dosagem do produto utilizado (Ota et al., 2019). Os achados deste estudo são consistentes com pesquisas anteriores que investigaram os efeitos benéficos da suplementação dietética com plantas fitoterápicas na defesa antioxidante de peixes ornamentais, como bettas (França et al., 2022) e mato-grosso (Cruz et al., 2023). Isso pode ser atribuído à presença de alcaloides (Cui et al., 2008; Fahmy et al., 2018; Son e Elshamy, 2020) e compostos fenólicos (Ashmawy et al., 2016; Fahmy et al., 2018).

Conclui-se que o uso de *E. crista-galli* na alimentação do tetra de olho vermelho (*Moenkhausia forestii*) promove um efeito tranquilizante e hepatoprotetor.

Agradecimentos

O presente trabalho foi realizado com apoio da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior - Brasil (CAPES) - Código de Financiamento 001; Universidade Federal de Mato Grosso do Sul (UFMS); Universidade Federal da Grande Dourados (UFGD); e Bioparque.

Declarações

Conflito de interesses: Os autores declaram não haver conflitos de interesse.

Financiamento: Os autores declaram que não receberam fundos, bolsas ou qualquer outro tipo de apoio financeiro durante a preparação deste manuscrito.

Interesses financeiros: Os autores declaram que não possuem interesses financeiros.

Contribuição dos autores: Todos os autores contribuíram para a concepção e o desenho do estudo. A preparação do material, coleta e análise dos dados foram realizadas por Mayara Schueroff Siqueira, Jayme Aparecido Povh, Annye Campos Venâncio Ferreira, Jéssica Amanda Ugarte Reges, Carla Larissa Kovalski Dias e Cláucia Aparecida Honorato. A primeira versão do manuscrito foi escrita por Mayara Schueroff Siqueira e todos os autores comentaram sobre versões anteriores do manuscrito. Todos os autores leram e aprovaram a versão final do manuscrito.

Disponibilidade dos dados: Os dados estão disponíveis com o autor correspondente mediante solicitação razoável.

Aprovação ética: Os autores confirmam que as políticas éticas do periódico, conforme descritas na página de diretrizes para autores, foram seguidas. O experimento foi aprovado pelo Comitê de Ética em Pesquisa Animal do Centro Universitário da Grande Dourados (UFGD) sob o protocolo número 003/2014. Código de Registro SISGEN: AA88DF1.

5. REFERÊNCIAS

AGOSTINI-COSTA TDS, GARRITI DDS, LIMA L, et al (1999) Avaliação De Metodologias Para Determinação De Taninos No Suco De Caju. Bol do Cent Pesqui Process Aliment 17:.. <https://doi.org/10.5380/cep.v17i2.13789>

Ahmadifar E, Kalhor N, Yousefi M, et al (2023) Effects of dietary *Plantago ovata* seed extract administration on growth performance and immune function of common carp (*Cyprinus carpio*) fingerling exposed to ammonia toxicity. Vet Res Commun 47:731–744. <https://doi.org/10.1007/s11259-022-10034-5>

Albro PW, Hall RD, Corbett JT, Schroeder J (1985) Activation of nonspecific lipase (EC 3.1.1.-) by bile salts. Biochim Biophys Acta (BBA)/Lipids Lipid Metab 835:477–490. [https://doi.org/10.1016/0005-2760\(85\)90117-1](https://doi.org/10.1016/0005-2760(85)90117-1)

Antony Jesu Prabhu P, Fountoulaki E, Maas R, et al (2019) Dietary ingredient composition alters faecal characteristics and waste production in common carp reared in recirculation system. Aquaculture 512:734357. <https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2019.734357>

- Ashmawy NS, Ashour ML, Wink M, et al (2016) Polyphenols from *Erythrina crista-galli*: Structures, molecular docking and phytoestrogenic activity. *Molecules* 21:1–14. <https://doi.org/10.3390/molecules21060726>
- Benine RC, Mariguela TC, Oliveira C (2009) New species of *Moenkhausia* Eigenmann, 1903 (Characiformes: Characidae) with comments on the *Moenkhausia oligolepis* species complex. *Neotrop Ichthyol* 7:161–168. <https://doi.org/10.1590/S1679-62252009000200005>
- Bernfeld P (1955) Amylases, alpha and beta. *Methods Enzymol* 1:149–158. [https://doi.org/10.1016/0076-6879\(55\)01021-5](https://doi.org/10.1016/0076-6879(55)01021-5)
- Beutler E (1984) Red Cell Metabolism. A Manual of Biochemical Methods, 3rd edn. Grune & Stratton, New York
- Boaventura TP, Souza CF, Ferreira AL, et al (2021) The use of *Ocimum gratissimum* L. essential oil during the transport of *Lophiosilurus alexandri*: Water quality, hematology, blood biochemistry and oxidative stress. *Aquaculture* 531:735964. <https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2020.735964>
- Boyd CE, D’Abramo LR, Glencross BD, et al (2020) Achieving sustainable aquaculture: Historical and current perspectives and future needs and challenges. *J World Aquac Soc* 51:578–633. <https://doi.org/10.1111/jwas.12714>
- Bradford MM (1976) A Rapid and Sensitive Method for the Quantitation of Microgram Quantities of Protein Utilizing the Principle of Protein-Dye Binding. *Anal Biochem* 72:248–254. <https://doi.org/10.1006 / abio.1976.9999>
- Craveiro ACS, Carvalho DMM, Nunes R de S, et al (2008) Toxicidade aguda do extrato aquoso de folhas de *Erythrina velutina* em animais experimentais. *Rev Bras Farmacogn* 18:739–743. <https://doi.org/10.1590/s0102-695x2008000500018>
- Cruz BL da, Scardua MP, Sousa RM, et al (2023) Extrato hidroalcoólico de rosela (*Hibiscus sabdariffa* L.) na alimentação do peixe Mato Grosso (*Hyphessobrycon eques*). *Med Veterinária* 17:114–118. <https://doi.org/10.26605/medvet-v17n2-5337>
- Cui L, Thuong PT, Lee HS, et al (2008) Flavanones from the stem bark of *Erythrina abyssinica*. *Bioorganic Med Chem* 16:10356–10362. <https://doi.org/10.1016/j.bmc.2008.10.012>
- de los Santos CB, Olivé I, Moreira M, et al (2020) Seagrass meadows improve inflowing water quality in aquaculture ponds. *Aquaculture* 528:735502. <https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2020.735502>
- DIAS H, PEREIRA N, ABE H, FUJIMOTO R (2018) Toxicological effects of four chemicals used for prophylaxis of Amazonian ornamental fish. 13–16

- Djeridane A, Yousfi M, Nadjemi B, et al (2006) Antioxidant activity of some algerian medicinal plants extracts containing phenolic compounds. *Food Chem* 97:654–660. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2005.04.028>
- do Couto MVS, da Costa Sousa N, Abe HA, et al (2022) Benefits of Virgin Coconut Oil in Diet to *Colossoma macropomum* (Cuvier, 1818). *Aquac Nutr* 2022:1–11. <https://doi.org/10.1155/2022/4387692>
- Faggion SA, Cunha AOS, Fachim HA, et al (2011) Anticonvulsant profile of the alkaloids (+)-erythravine and (+)-11- α -hydroxy-erythravine isolated from the flowers of *Erythrina mulungu* Mart ex Benth (Leguminosae-Papilionaceae). *Epilepsy Behav* 20:441–446. <https://doi.org/10.1016/j.yebeh.2010.12.037>
- Fahmy NM, Al-Sayed E, El-Shazly M, Nasser Singab A (2020) Alkaloids of genus *Erythrina*: An updated review. *Nat. Prod. Res.* 34:1891–1912
- Fahmy NM, Al-Sayed E, El-Shazly M, Singab AN (2018) Comprehensive review on flavonoids biological activities of *Erythrina* plant species. *Ind Crops Prod* 123:500–538. <https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2018.06.028>
- França GB, Siqueira MS, Melo JC de S, et al (2022) Hydroalcoholic extract of jabuticaba peel in the diet of betta fish. *Bol do Inst Pesca* 48:1–7. <https://doi.org/10.20950/1678-2305/BIP.2022.48.E659>
- Garín-Aguilar ME, Ramírez Luna JE, Soto-Hernández M, et al (2000) Effect of crude extracts of *Erythrina americana* Mill. on aggressive behavior in rats. *J Ethnopharmacol* 69:189–196. [https://doi.org/10.1016/S0378-8741\(99\)00121-X](https://doi.org/10.1016/S0378-8741(99)00121-X)
- Gerson Araujo F, Fichberg I, Teixeira Pinto BC, Galvao Peixoto M (2003) A Preliminary Index of Biotic Integrity for Monitoring the Condition of the Rio Paraíba do Sul, Southeast Brazil. *Environ. Manage.* 32:516–526
- Ghafariarsani H, Nedaei S, Hoseinifar SH, Van Doan H (2023) Effect of Different Levels of Chlorogenic Acid on Growth Performance, Immunological Responses, Antioxidant Defense, and Disease Resistance of Rainbow Trout (*Oncorhynchus mykiss*) Juveniles. *Aquac Nutr* 2023:. <https://doi.org/10.1155/2023/3679002>
- Gonino GMR, Figueiredo BRS, Manetta GI, et al (2019) Fire increases the productivity of sugarcane, but it also generates ashes that negatively affect native fish species in aquatic systems. *Sci Total Environ* 664:215–221. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2019.02.022>
- Honorato CA, Dorce LS, Ziemniczak HM, et al (2021) Bioativos de plantas do cerrado na alimentação de peixes ornamentais. In: *Compostos bioativos e suas aplicações*. Mérida Publishers, Canoas, pp 224–234

- Honorato CA, Fernandes R, Santos B, et al (2022) Fruit residues as diet ingredients for *Symphysodon Discus*: nutrient digestibility Bioativos de frutas e dipodem compor a dieta de acar disco: digestibilidade dos nutrients. *Semina* 43:1875–1882. <https://doi.org/10.5433/1679-0359.2022v43n4p1875>
- Hoseinifar SH, Maradonna F, Faheem M, et al (2023) Sustainable Ornamental Fish Aquaculture: The Implication of Microbial Feed Additives. *Animals* 13:. <https://doi.org/10.3390/ani13101583>
- Huntingford FA, Adams C, Braithwaite VA, et al (2006) Current issues in fish welfare. *J Fish Biol* 68:332–372. <https://doi.org/10.1111/j.0022-1112.2006.001046.x>
- Islam MM, Ferdous Z, Mamun MMU, et al (2021) Amelioration of growth, blood physiology and water quality by exogenous dietary supplementation of pepsin in striped catfish, *Pangasianodon hypophthalmus*. *Aquaculture* 530:735840. <https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2020.735840>
- Jayaprakasha GK, Singh RP, Sakariah KK (2001) Antioxidant activity of grape seed (*Vitis vinifera*) extracts on peroxidation models in vitro. *Food Chem* 73:285–290. [https://doi.org/10.1016/S0308-8146\(00\)00298-3](https://doi.org/10.1016/S0308-8146(00)00298-3)
- Jayasinghe CD, Jayawardena UA (2019) Toxicity Assessment of Herbal Medicine Using Zebrafish Embryos: A Systematic Review. *Evidence-based Complement Altern Med* 2019:. <https://doi.org/10.1155/2019/7272808>
- Jiménez-Cabrera T, Bautista M, Velázquez-González C, et al (2021) Promising antioxidant activity of erythrina genus: An alternative treatment for inflammatory pain? *Int. J. Mol. Sci.* 22:1–19
- Jones M, Alexander ME, Lightbody S, et al (2023) Influence of social enrichment on transport stress in fish: a behavioural approach. *Appl Anim Behav Sci* 262:105920. <https://doi.org/10.1016/j.applanim.2023.105920>
- Jones M, Alexander ME, Snellgrove D, et al (2022) How should we monitor welfare in the ornamental fish trade? *Rev Aquac* 14:770–790. <https://doi.org/10.1111/raq.12624>
- Juma BF, Majinda RRT (2004) Erythraline alkaloids from the flowers and pods of *Erythrina lysistemon* and their DPPH radical scavenging properties. *Phytochemistry* 65:1397–1404. <https://doi.org/10.1016/j.phytochem.2004.04.029>
- Lima-Junior SE, Cardone IB, Goitein R (2002) Determination of a method for calculation of allometric condition factor of fish. *Acta Sci - Biol Heal Sci* 24:397–400

- Lin JY, Tang CY (2007) Determination of total phenolic and flavonoid contents in selected fruits and vegetables, as well as their stimulatory effects on mouse splenocyte proliferation. *Food Chem* 101:140–147. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2006.01.014>
- Masud N, Ellison A, Cable J (2019) A neglected fish stressor: Mechanical disturbance during transportation impacts susceptibility to disease in a globally important ornamental fish. *Dis Aquat Organ* 134:25–32. <https://doi.org/10.3354/dao03362>
- Ota E do C, Honorato CA, Heredia-Vieira SC, et al (2019) Hepatic and gastroprotective activity of *Serjania marginata* leaf aqueous extract in Nile tilapia (*Oreochromis niloticus*). *Fish Physiol Biochem* 45:. <https://doi.org/10.1007/s10695-019-00622-9>
- Ozawa M, Kawamata S, Etoh T, et al (2010) Structures of new erythrinan alkaloids and nitric oxide production inhibitors from *Erythrina crista-galli*. *Chem Pharm Bull* 58:1119–1122. <https://doi.org/10.1248/cpb.58.1119>
- Park JT, Johnson MJ (1949) A submicrodetermination of glucose. *J Biol Chem* 181:149–151
- Perera PKDW, Perera RPYK, D.N.W. P, et al (2023) Ornamental Fish Disease Prediction System. *Int J Comput Appl* 184:1–6. <https://doi.org/10.5120/ijca2023922530>
- Porto EL, Lima FF de, Sousa MR, et al (2020) *Schinus terebinthifolius* raddi pepper oil used as na addictive in *Hyphessobrycon eques steindachner* fish diet. *Res Soc Dev* 9:e192963118
- Pountney SM (2023) Survey indicates large proportion of fishkeeping hobbyists engaged in producing ornamental fish. *Aquac Reports* 29:101503. <https://doi.org/10.1016/j.aqrep.2023.101503>
- Prentice PM, Houslay TM, Wilson AJ (2022) Exploiting animal personality to reduce chronic stress in captive fish populations. *Front Vet Sci* 9:. <https://doi.org/10.3389/fvets.2022.1046205>
- Reitman S, Frankel S (1957) A colorimetric method for the determination of serum glutamic oxalacetic and glutamic pyruvic transaminases. *Am J Clin Pathol* 28:56–63. <https://doi.org/10.1093/ajcp/28.1.56>
- Rufino M do S, Alves RE, Brito ES De, et al (2007a) ISSN 1679-6535 Julho, 2007 Fortaleza, CE. 0–3
- Rufino M do SM, Alves RE, Brito ES de, et al (2007b) Determinação da atividade antioxidante total em frutas pela captura do radical livre DPPH. *Comun Técnico Online EMBRAPA* 127:1–4
- Santos Rosa D, Faggion SA, Gavin AS, et al (2012) Erysothrine, an alkaloid extracted from flowers of *Erythrina mulungu* Mart. ex Benth: Evaluating its anticonvulsant and anxiolytic potential. *Epilepsy Behav* 23:205–212. <https://doi.org/10.1016/j.yebeh.2012.01.003>

- Siqueira MS, Sousa RM, Tirloni CAS, et al (2019) Implications of erythrina crista-galli extract as antisiolytic for carassius auratus. *Cienc Anim Bras* 20:. <https://doi.org/10.1590/1089-6891v20e-50520>
- Son NT, Elshamy AI (2020) Flavonoids and other Non-alkaloidal Constituents of Genus *Erythrina*: Phytochemical Review. *Comb Chem High Throughput Screen* 24:20–58. <https://doi.org/10.2174/1386207323666200609141517>
- Stevens CH, Croft DP, Paull GC, Tyler CR (2017) Stress and welfare in ornamental fishes: what can be learned from aquaculture? *J Fish Biol* 91:409–428. <https://doi.org/10.1111/jfb.13377>
- Teles FFF, Renuncio E, Alencar AAC, Borges VEL (1995) Técnica colorimétrica para rápida determinação de alcalóides do Jaborandi (*Pilocarpus* spp.)
- Togola A, Austarheim I, Theis A, et al (2008) Ethnopharmacological uses of *Erythrina senegalensis*: A comparison of three areas in Mali, and a link between traditional knowledge and modern biological science. *J Ethnobiol Ethnomed* 4:. <https://doi.org/10.1186/1746-4269-4-6>
- Valenti WC, Barros HP, Moraes-Valenti P, et al (2021) Aquaculture in Brazil: past, present and future. *Aquac Reports* 19:100611. <https://doi.org/10.1016/j.aqrep.2021.100611>
- Vanderzwalmen M, Edmonds E, Carey P, et al (2020) Effect of a water conditioner on ornamental fish behaviour during commercial transport. *Aquaculture* 514:734486. <https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2019.734486>
- Vasconcelos SMM, Lima NM, Sales GTM, et al (2007) Anticonvulsant activity of hydroalcoholic extracts from *Erythrina velutina* and *Erythrina mulungu*. *J Ethnopharmacol* 110:271–274. <https://doi.org/10.1016/j.jep.2006.09.023>
- Ventura AS, Souza T, Silva DC, et al (2019) Características do anestésico alternativo de erva cidreira (*Lippia alba*) e alecrim pimenta (*Lippia sidoides*) em peixes [Alternative anesthetic features of “ erva cidreira “ *Lippia alba* and “ alecrim pimenta ” *Lippia sidoides* in fish] “
Revisão / Rev
- Zhang BJ, Wu J, Bao MF, et al (2020) Artificial *Erythrina* Alkaloids from Three *Erythrina* Plants, *E. variegata*, *E. crista-galli* and *E. arborescens*. *Nat Products Bioprospect* 10:57–66. <https://doi.org/10.1007/s13659-020-00235-3>
- Zhang W, Zhao J, Ma Y, et al (2022) The effective components of herbal medicines used for prevention and control of fish diseases. *Fish Shellfish Immunol* 126:73–83. <https://doi.org/10.1016/j.fsi.2022.05.036>

Capítulo III

COLORAÇÃO DE TETRA NEGRO (*Gymnocorymbus ternetzi*) ALIMENTADOS COM
EXTRATO DE AMORA-PRETA (*Rubus* spp)

COLORAÇÃO DE TETRA NEGRO (*Gymnocorymbus ternetzi*) ALIMENTADOS COM EXTRATO DE AMORA-PRETA (*Rubus* spp)

RESUMO

O objetivo deste estudo foi avaliar a influência da utilização de amora-preta na coloração, atividade antioxidante e perfil das enzimas digestivas em tetra negro (*Gymnocorymbus ternetzi*). Os tratamentos avaliados foram: (i) Controle – alimentado com dieta comercial; (ii) D1000 – dieta comercial + 1000 mg.kg⁻¹ de microcápsula de antocianinas de amora-preta; e (iii) D2000 – dieta comercial + 2000 mg.kg⁻¹ de microcápsula de antocianinas de amora-preta. Foram divididos em 9 unidades experimentais (60 L de água) contendo dez peixes, totalizando 30 peixes por tratamento. Os peixes foram alimentados por um período de 30 dias até a saciedade aparente. As variáveis avaliadas incluíram a coloração, a atividade antioxidante e o perfil de enzimas digestivas. Os resultados indicaram que os peixes alimentados com as dietas contendo antocianinas de amora-preta apresentaram melhoria significativa ($p < 0,05$) em comparação com o grupo controle, especialmente nas variáveis relacionadas à coloração e atividade antioxidante. Além disso, o perfil das enzimas digestivas foi alterado, evidenciando uma possível adaptação metabólica ao consumo das antocianinas. Conclui-se que a alimentação de tetra negro com antocianinas de amora-preta contribui para a melhoria da coloração e atividade antioxidante, além de promover alterações benéficas nas enzimas digestivas, o que pode ser vantajoso para a produção de peixes ornamentais com características mais valorizadas no mercado.

Palavras-chaves: antioxidantes, antocianinas, corantes naturais, peixe ornamental

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 cromatoforos 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, 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; Honorato et al., 2022). 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; Porto et al., 2020b; Honorato et al., 2021).

No entanto, a estabilidade das fontes de corantes naturais ainda é um desafio para sua utilização devido a baixa estabilidade do corante (França et al., 2022; Cruz et al., 2023). 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 (Stringheta e Freitas, 2021). A microcápsula é uma técnica que possibilita proteger, separar e recobrir materiais em escala microscópica (Honorato et al., 2013), 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 é classificada como a que possui maior concentração de antocianinas, que são responsáveis por suas atraentes cores vermelho, roxo e azul (Vizzotto et al., 2012). 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).

Embora a amora-preta tenha sido amplamente estudada quanto aos seus efeitos biológicos em outras espécies, não há registros específicos sobre seu impacto na coloração, atividade antioxidante e perfil das enzimas digestivas em espécies ornamentais, como o tetra negro (*Gymnocorymbus ternetzi*). Portanto, o presente estudo visa preencher essa lacuna, avaliando a eficácia do uso de amora-preta nesses parâmetros, contribuindo para o conhecimento sobre a potencial aplicação de substâncias bioativas do Cerrado no bem-estar de peixes ornamentais. Este trabalho teve como objetivo avaliar a influência da utilização de amora-preta na coloração, atividade antioxidante e perfil das enzimas digestivas em tetra negro (*Gymnocorymbus ternetzi*).

2. MATERIAL E MÉTODOS

2.1 Material Vegetal e análises químicas

Amostras de amora-preta (*Rubus* spp.) da variedade TUPY, 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). Foi realizado a extração do suco (sólido:líquido de 1:3), homogeneizada em Ultra Turrax e filtrada em papel filtro qualitativo (Unifil C41 Faixa Preta, Curitiba - PR, Brasil). Posteriormente foram submetidos a técnica de microencapsulação (spray dried). As capsulas apresentam 160 mg 100g⁻¹ antocianinas totais (Lees e Francis, 1972) e 610 µg g⁻¹ capacidade antioxidante (Brand-Williams et al., 1995) e coloração com luminosidade 51,99, a* 34,97 e b* 9,92 (fotocolorímetro portátil Chroma Meter CR-400 - Konica Minolta®).

2.2 Delineamento experimental.

O ensaio *in vivo* foi realizado no Bioparque Pantanal, Campo Grande – MS, utilizando-se 90 juvenis de tetras negros (*Gymnocorymbus ternetzi*) com peso corporal médio 2,74 ± 0,82 g e comprimento total de 5,31 ± 0,46 cm. A pesquisa foi aprovada pelo comitê de ética (CEUA / UFGD - Protocolo 03/2019). Foram divididos em 9 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.

Os peixes foram alimentados por um período de 30 dias até a saciedade aparente duas vezes ao dia com as seguintes dietas: (i) Controle - alimentado com dieta comercial (40,88% PB e 4374,8 Kcal kg⁻¹); (ii) D1000 – dieta comercial + 1000 mg.kg⁻¹ de microcápsula de antocianinas de amora preta; e (iii) D2000 – dieta comercial + 2000 mg.kg⁻¹ de microcápsula de antocianinas de amora preta. Foram utilizadas para cada uma das dietas três repetições, totalizando nove unidade experimentais. Cada unidade experimental foi composta por 10 peixes (réplicas) alocados em aquários de 60 litros.

Utilizou-se para as unidades experimentais o sistema de recirculação individual, com fotoperíodo de 12 horas de luz e filtragem mecânica e biológica. A qualidade da água foi monitorada semanalmente (28,7°C ± 0,8, condutividade 200,5 ± 1,5 S.cm⁻¹, oxigênio dissolvido 5,2 ± 0,8 mg.L⁻¹ e pH 7,2 ± 0,1) consideradas adequadas para a criação da maioria das espécies tropicais de peixes (Godoy et al., 2021).

Dieta comercial Poytara Ltda em (40,88% PB e 4374,8 Kcal kg⁻¹, diâmetro de 1 mm) foram moídos misturada por 30 min em temperatura ambiente com condições de iluminação fraca e feito os pellets de ração com as microcápsulas experimentais. Os pellets (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.

2.3 Variáveis analisadas

2.3.1 Desempenho produtivo

O desempenho produtivo dos peixes submetidos às diferentes dietas foi avaliado no final do experimento, sendo para isso registrados as variáveis peso inicial, peso final, ganho em peso e consumo de ração. Além disso, foi determinado o fator de condição (K) dos peixes foi calculado pelo método alométrico, a partir da expressão $K = P/L^b$, onde, P representa a massa total, L o comprimento padrão dos indivíduos e b o coeficiente de regressão. Para estimar o valor do coeficiente b, foi ajustada uma única equação de razão peso-comprimento ($P = aL^b$), a partir do conjunto de todos os indivíduos coletados, utilizando o método dos mínimos quadrados aplicado aos dados convertidos em seus respectivos logaritmos naturais, conforme metodologia sugerida por Lima-Junior et al. (2002).

2.3.2 Pigmentação da pele dos peixes

O ganho de cor da pele dos peixes foi realizado utilizando um fotolorímetro portátil Chroma Meter CR-400 (Konica Minolta®), pelo sistema de coordenadas de Hunter L*, a*, b*, que mediu a intensidade de L* representando brilho ou luminosidade (-100, preto e +100, branco), a cromaticidade do a*, representada pelos tons de verde (-100) e vermelho (+100) e a cromaticidade de b*, representada pelos tons de azul (-100) e amarelo (+100) (Rezende et al, 2012). A quantificação foi realizada na região dorsal, logo abaixo da nadadeira dorsal, nos peixes in vivo (Figura 1).

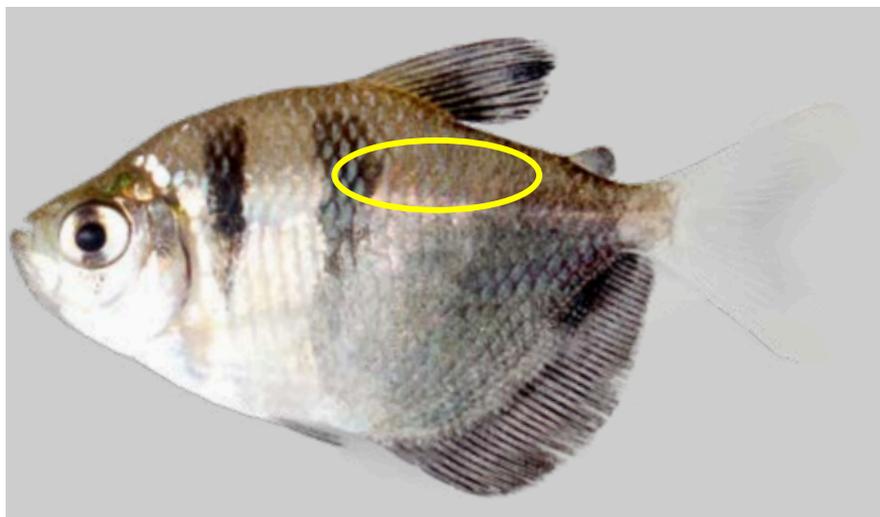


Figura 1. Local da leitura, abaixo da nadadeira dorsal, acima da linha lateral e ao longo do filé.

2.3.3 Análise enzimática

Ao final do experimento, os peixes permaneceram em restrição alimentar por 24 horas. Em seguida os peixes foram eutanasiados após anestesia (50 mg l⁻¹; Inoue et al. 2003), conforme aprovação do comitê de ética. Após o teste, cinco peixes de cada aquário foram capturados aleatoriamente para análise enzimática. As amostras de fígado e intestino de peixe para análise enzimática foram imediatamente armazenadas a -80 °C.

O trato digestivo e o fígado foram excisados e homogeneizados para medir a atividade enzimática individualmente, totalizando 12 amostras por tratamento. Os homogeneizados do intestino foram feitos em tampão fosfato 0,02 M Tris / 0,01 M pH 7,0 misturado com glicerol anidro v/v sob banho de gelo, com um homogeneizador Potter-Elvehjem. Os homogeneizados foram centrifugados a 12.000 × g por 3 minutos e os sobrenadantes (homogeneizados brutos) foram usados como fonte de enzima. As enzimas digestivas são protease não específica, lipase, amilase e fosfatase alcalina.

A atividade proteolítica não específica foi avaliada com 1% de caseína como substrato (Walter 1984). Os valores de pH foram previamente otimizados para o intestino e 0,1 M Tris – HCl (pH 9,0) para o meio. As reações foram realizadas a 25° C por 1 h, interrompidas com 15% de TCA, e a densidade óptica do sobrenadante foi registrada a 280 nm contra tirosina como padrão. Um controle livre de substrato e um controle livre de enzima foram executados. A atividade específica foi expressa em micromole de proteína de substrato hidrolisada (UI mg⁻¹ proteína).

A amilase foi analisada de acordo com Bernfeld (1955), ligeiramente modificada. Resumidamente, as reações foram feitas em tampão citrato/fosfato 0,2 M pH 7,0 com solução de amido a 5% como substrato e NaCl a 0,5% como cofator. A quantidade de homogeneizado bruto foi previamente ajustada. As reações foram realizadas a 25°C por 35 min e interrompidas pela adição de 5% de ZnSO₄ e 0,3 N Ba (OH)₂. O precipitado foi descartado após centrifugação a 1000 × g por 3 minutos e o produto da reação foi medido a 690 nm (Park e Johnson 1949).

A determinação da lipase foi adaptada de Albro et al. (1985). As reações foram incubadas com 0,4 mM de r-nitrofenil miristato em 24 mM de bicarbonato de amônio (pH 7,8) com 0,5% de Triton X-100. As reações de controle foram executadas sem enzima e sem substrato. A reação foi interrompida pela adição de NaOH a uma concentração final de 10 mM e a densidade óptica foi registrada a 405 nm por 30 min. Uma unidade foi definida como

micromole de substrato hidrolisado por min e expressa por miligrama de proteína (UI mg⁻¹ de proteína).

As subamostras de fígado foram homogeneizadas em tampão conforme descrito anteriormente. Os homogeneizados foram centrifugados a 600 g por 3 min, e os sobrenadantes centrifugados a 6000 g por 8 min a 3 °C. Os sobrenadantes resultantes foram usados como fonte bruta de enzima. Os ensaios do protocolo enzimático foram: Os ensaios de alanina aminotransferase (ALT) e aspartato aminotransferase (AST) foram do tipo ponto final, lidos a 430 nm seguindo o protocolo: ALAT – mM alanina ou ASAT – 44,4 mM aspartato, 11,6 mM acetogluturato, 0,22 mM arseniato, 0,27 mM piridoxal fosfato e tampão fosfato pH 7,0 (Reitman e Frankel, 1957). A albumina foi medida usando métodos colorimétricos (albumina OSR6102), análise por espectrofotometria (espectrofotômetro semiautomático Bioplus S-200). As concentrações de proteína nos extratos brutos de enzimas foram determinadas como (Bradford, 1976) a 450nm, e 1,0mg mL⁻¹ de albumina foi usado como padrão.

2.3.4 Biomarcadores antioxidantes

A SOD foi avaliada pelo auto oxidação do 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 CAT foi avaliada pela leitura do decaimento do 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 usada foi (H₂O₂)ε_{λ230} = 0,071 mM cm⁻¹. A proteína foi determinada com reagente de Bradford contra uma solução padrão de BSA (Kruger, 2009).

2.4 Análise estatística

As análises estatísticas foram realizadas usando o software RStudio (versão 1.1.423 – © 2009-2018 RStudio, Inc.). A normalidade e a variância dos dados foram verificadas 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 médias ± desvio padrão (DP).

3 RESULTADOS

A sobrevivência dos peixes submetidos as diferentes dietas foram de 100%. O peso final, consumo e índice viscerossomático não diferiram significativamente quando os peixes foram

submetidos às diferentes dietas. No entanto, o fator de condição foi maior ($P < 0,05$) nos peixes alimentados com a dieta D 2000 (3,72) em relação aos peixes da dieta D 1000 (3,51) e que receberam a dieta do grupo controle (3,50) (Tabela 01).

Tabela 1. Efeito dos extratos microencapsulados de amora preta (2000 e 1000mg/ Kg) administrados por via oral sobre desempenho em tetra negro (*Gymnocorymbus ternetzi*)

	Controle	Concentração de microcapsula (mg/kg)		Valor P
		1000	2000	
Desempenho				
Peso final (mg)	0,54±0,07	0,52±0,08	0,48±0,08	0,929
Consumo (g)	1,42±0,54	1,38±0,55	2,42±0,54	0,164
Índice				
vicerossomático	0,45±0,19	0,49±0,12	0,42±0,04	0,1895
Fator de condição	3,5	3,51	3,72	

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

A utilização de microcápsula de antocianinas da amora (MAA) apresentou diminuição da Luminosidade (peixes mais escuros) e não alterou a cromaticidade a^* e b^* (Tabela2).

Tabela 2. Efeito dos extratos microencapsulados de amora preta (2000 e 1000mg/ Kg) administrados por via oral coloração em tetra negro (*Gymnocorymbus ternetzi*)

	Controle	Concentração de microcapsula (mg/kg)		Valor P
		1000	2000	
Coloração do peixe				
L	36,39±10,3a	27,94±2,83b	26,68±2,42b	0,0069
a^*	-0,49±1,85	0,04±2,01	0,69±1,81	0,7075
b^*	-2,64±4,21	-2,44±1,38	-3,27±1,78	0,5614

*letras distintas reportam diferença pelo teste de Tukey ($P < 0,05$); Dados expressos em média \pm desvio padrão

A amilase digestiva e fosfatase alcalina foi responsiva a presença de microcápsula de antocianinas da amora (MAA). Não foi reportado diferença estatística na atividade da protease e lipase digestivas frente a utilização de MAA. As funções hepáticas estão preservadas pois não houve diferença estatística entre os tratamentos ($p > 0,05$) para albumina e AST. Houve diminuição da atividade da ALT. Houve aumento da atividade da SOD e CAT dos peixes alimentados com dietas D 2000. (Tabela 3).

Tabela 3. Efeito dos extratos microencapsulados de amora preta (2000 e 1000mg/ Kg) administrados por via oral sobre parâmetros bioquímicos em tetra negro (*Gymnocorymbus ternetzi*)

	Controle	Concentração de microcapsula		Valor P
		(mg/kg)		
		1000	2000	
<i>Enzimas digestivas</i>				
amilase	111 \pm 50,39b	150,33 \pm 2,89a	533,66 \pm 48,91a	<0,0001
lipase	0,392 \pm 0,07	0,311 \pm 0,01	0,311 \pm 0,01	0,453
protease inespecífica	696 \pm 8,89	680,66 \pm 4,16	693 \pm 4,00	0,1793
fosfatase alcalina	1,49 \pm 0,08	1,63 \pm 0,04	1,683 \pm 0,11	0,0208
<i>Enzimas hepáticas</i>				
(U				
ALT	19,71 \pm 4,37a	5,36 \pm 2,27b	4,44 \pm 2,83b	<0,0001
AST	29,88 \pm 11,07	20,51 \pm 3,41	21,65 \pm 8,36	0,2324
Albumina (mg.dl-1)	0,023 \pm 0,003	0,009 \pm 0,004	0,013 \pm 0,004	0,4171
<i>Enzimas oxidativas</i>				
SOD	7,57 \pm 0,05a	7,25 \pm 0,60ab	5,05 \pm 1,28b	0,0181
CAT	2,10 \pm 0,001a	2,096 \pm 0,0045b	2,004 \pm 0,001b	<0,0001

*letras distintas reportam diferença pelo teste de Tukey ($P < 0,05$); Dados expressos em média \pm desvio padrão. ALT= Alanina Aminotransferase; AST= Aspartato Aminotransferase. SOD = superperóxido desmutase e CAT= catalase.

4 DISCUSSÃO

Os resultados deste estudo indicam que a inclusão de microcápsulas de antocianinas de amora preta não teve efeito adverso sobre a sobrevivência, peso final, consumo ou índice viscerossomático dos peixes. A principal diferença observada foi no fator de condição, que foi significativamente maior nos peixes alimentados com a dieta D 2000.

Em relação à coloração, a presença de microcápsulas de antocianinas de amora preta levou a peixes mais escuros, sem alterar outros parâmetros cromáticos. Adicionalmente, a atividade antioxidante foi favorecida pelas microcápsulas de antocianinas de amora preta, com aumento nas enzimas SOD e CAT. Esses resultados sugerem que a inclusão de microcápsulas de antocianinas de amora preta tem potencial para melhorar a coloração e a atividade antioxidante em peixes ornamentais, especialmente o tetra negro (*. ternetzi*), sem prejudicar outros parâmetros fisiológicos.

A inclusão de microcápsula de antocianinas da amora promoveu mudanças na atividade digestiva. A maior atividade das enzimas digestivas no trato digestório resultou em melhor aproveitamento da digesta e aumento da absorção de nutrientes (Santos et al., 2022; Dorce et al., 2024). A atividade da fosfatase alcalina (FA) foi significativamente elevada, indicando maior capacidade digestiva e absorção de nutrientes (Do Carmo-Ota et al. 2019). O aumento da amilase nos peixes alimentados com a dieta contendo microcápsula de antocianinas está relacionado à presença de frutose da amora, estimulando a produção da enzima pelo tecido pancreático (Camilo et al. 2021; Dorce et al. 2024).

O maior aporte de nutrientes influenciou diretamente a coloração dos peixes, favorecendo tons mais escuros devido à presença de antocianinas. A pigmentação dos peixes está associada à espécie, à capacidade do corante em pigmentar e à concentração na dieta (Li et al. 2017). As antocianinas, em pH neutro a alcalino, apresentam coloração azul-violeta, um fator importante para conferir colorações mais escuras (Freitas, 2019). O estudo de corantes para conferirem colorações escuras em peixes ornamentais ainda é escasso (Vanegas-Espinoza et al. 2019).

Nos parâmetros bioquímicos, observou-se uma melhora na atividade das enzimas hepáticas e antioxidantes. A ação hepatoprotetora das antocianinas foi evidenciada pela redução das enzimas AST, ALT e gama-glutamil transferase (GGT), indicando menor estresse hepático

(Youssef, et al., 2017; Deniz et al., 2018). A atividade da CAT e SOD está associada à remoção de radicais livres e à inibição de compostos reativos no metabolismo, retardando danos celulares (Godoy et al. 2024). Além disso, a quercetina desempenha papel crucial na modulação do sistema imunológico, melhorando respostas hematológicas e reduzindo os efeitos do estresse (Verma et al., 2024).

Produtos ricos em antocianinas apresentam atividade biológica na eliminação de radicais livres (Kubiriza et al. 2019) e benefícios à 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. 2020).

A utilização de altas concentrações de antocianinas de rosela promoveu diminuição na taxa de desenvolvimento (Vanegas-Espinoza et al. 2019) que foi atribuída às 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). As dietas com microcápsula de antocianinas da amora promoveram aumento da atividade da fosfatase alcalina, evidenciando a ação das antocianinas no trato digestório. Ressalta-se que o aumento da atividade da FA corresponde a uma maior absorção de nutrientes pelo trato digestório.

Estes resultados revelam que a adição microcápsula de antocianinas da amora 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

Recomenda-se como complemento alimentar a inclusão de microcápsula de antocianinas da amora, pois apresenta efeito conjugado na coloração e atividade antioxidante para o tetra negro (*Gymnocorymbus ternetzi*).

Agradecimentos

O presente trabalho foi realizado com apoio da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior - Brasil (CAPES) - Código de Financiamento 001; Universidade Federal de Mato Grosso do Sul (UFMS); Universidade Federal da Grande Dourados (UFGD); e Bioparque.

6. REFERÊNCIAS

- ALBRO, P. W. et al. Activation of nonspecific lipase by bile salts. *Biochimica et Biophysica Acta (BBA)-Lipids and Lipid Metabolism*, v. 835, n. 3, p. 477-490, 1985.
- BERNFELD, P. Amylases, alpha and beta. *Methods in enzymology*, p. 149-158, 1955
- BEUTLER, H. O. A new enzymatic method for determination of sulphite in food. *Food Chemistry*, v. 15, n. 2, p. 157–164, jan. 1984. [https://doi.org/10.1016/0308-8146\(84\)90108-0](https://doi.org/10.1016/0308-8146(84)90108-0)
- BRADFORD, M.M. A rapid and sensitive method for the quantitation of microgram quantities of protein utilizing the principle of protein-dye binding. *Analytical Biochemistry*, v.72, p.248-254, 1976.
- BRAND-WILLIAMS, W.; CUVELIER, M. E.; BERSET, C. Use of a free radical method to evaluate antioxidant activity. *LWT - Food Science and Technology*, v. 28, n. 1, p. 25–30, 28 jun. 1995. [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. Review of the Report on the Nutritional and Health-Promoting Values of Species of the *Rubus* L. Genus. *Agriculture*, v. 14, n. 8, p. 1324, 9 ago. 2024. <https://doi.org/10.3390/agriculture14081324>
- CAMILO RY, HONORATO CA, SANTOS RFB, et al. Macronutrients and essential amino acids on digestive process of the freshwater teleost Matrinxã. *Med Veterinária* n. 15, p. 413–421, 2021. <https://doi.org/10.26605/medvet-v15n4-2266>
- CRUZ, B. L. DA et al. Extrato hidroalcoólico de rosela (*Hibiscus sabdariffa*L.) na alimentação do peixe Mato Grosso (*Hyphessobrycon eques*). *Medicina Veterinaria (Brazil)*, v. 17, n. 2, p. 114–118, 3 ago. 2023. <https://doi.org/10.26605/medvet-v17n2-5337>
- DO CARMO OTA, E. et al. Hepatic and gastroprotective activity of *Serjania marginata* leaf aqueous extract in Nile tilapia (*Oreochromis niloticus*). *Fish Physiology and Biochemistry*, v. 45, n. 3, p. 1051–1065, 14 jun. 2019. <https://doi.org/10.1007/s10695-019-00622-9>
- DORCE LS, GODOY AC, SANTOS RFB, et al. Moisture content in diets in the co-feeding phase of *Pseudoplatystoma* sp. influences performance and digestive process. *Vet Res Commun*. 2024. <https://doi.org/10.1007/s11259-024-10448-3>
- FERREIRA, D. S.; ROSSO, V. V. DE; MERCADANTE, A. Z. Bioactive compounds of blackberry fruits (*Rubus* spp.) grown in Brazil. Compostos bioativos presentes em amora-preta (*Rubus* spp.). *Revista Brasileira de Fruticultura*, v. 32, n. 3, p. 664–674, 8 out. 2010. <https://doi.org/10.1590/S0100-29452010005000110>
- Fish Physiol Biochem

FRANÇA GB, SIQUEIRA MS, MELO JC DE S, et al (2022) Hydroalcoholic extract of jabuticaba peel in the diet of betta fish. *Bol do Inst Pesca* 48:1–7. <https://doi.org/10.20950/1678-2305/BIP.2022.48.E659>

FREITAS, V. O mundo colorido das antocianinas, *Rev. Ciência Elem.*, V7(2):017, 2019. DOI <http://doi.org/10.24927/rce2019.017>

Godoy AC, Ziemniczak HM, Fantini-Hoag L, et al (2024) The effects of probiotic-based additives on aflatoxin intoxication in *Piaractus mesopotamicus*: a study of liver histology and metabolic performance. *Vet Res Commun.* <https://doi.org/10.1007/s11259-024-10409-w>

GODOY, A. C. et al. Evaluation of limnological dynamics in Nile tilapia farming tank. *Aquaculture and Fisheries*, v. 6, n. 5, p. 485–494, set. 2021. <https://doi.org/10.1016/j.aaf.2020.08.005>

GOMES VDS, CAVALCANTI CR, BATISTA JMM, et al. USO DE ADITIVOS ALIMENTARES PARA PEIXES ORNAMENTAIS. *Rev Científica Rural* n. 23, p. 266–279, 2021. <https://doi.org/10.30945/rcr-v23i1.3741>

HONORATO, C. A. et al. Bioativos de plantas do cerrado na alimentação de peixes ornamentais. Em: NORA, F. M. D. (Ed.). *Compostos Bioativos e suas Aplicações*. [s.l.] Mérida Publishers, 2021. v. 1p. 226–236. <https://doi.org/10.4322/mp.978-65-994457-7-4.c10>

HONORATO, C. A. et al. Fruit residues as diet ingredients for *Symphysodon discus*: nutrient digestibility. *Semina: Ciências Agrárias*, v. 43, n. 4, p. 1875–1882, ago. 2022. <https://doi.org/10.5433/1679-0359.2022v43n4p1875>

HONORATO, C. A. et al. MICRODIETAS NA ALIMENTAÇÃO DA TILÁPIA DO NILO DURANTE A FASE DE REVERSÃO SEXUAL. *Nucleus Animalium*, v. 4, n. 1, p. 27–36, 12 maio 2012. <https://doi.org/10.3738/1982.2278.651>

HONORATO, C. A.; STECH, M. R.; TESSER, M. B.; PORTELLA, M. C.; CARNEIRO, D. J. Dietas micro encapsuladas para reversão sexual de tilápia do Nilo – Revisão. *Revista eletrônica nutritime*. v. 11, n. 02 – p. 2300 – 2313, 2013. [https://doi.org/10.1016/0005-2760\(85\)90117-1](https://doi.org/10.1016/0005-2760(85)90117-1).

INOUE, L. A. K. A.; SANTOS NETO, C. DOS; MORAES, G. Clove oil as anaesthetic for juveniles of matrinxã *Brycon cephalus* (Gunther, 1869). *Ciência Rural*, v. 33, n. 5, p. 943–947, out. 2003. <https://doi.org/10.1590/S0103-84782003000500023>

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

- Kubiriza GK, Árnarson J, Sigurgeirsson Ó, et al. 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*). *Aquac Int* v. 27, p. 287–301, 2019. <https://doi.org/10.1007/s10499-018-287-301>
- LEES, D. H.; FRANCIS, F. J. Standardization of Pigment Analyses in Cranberries. *HortScience*, v. 7, n. 1, p. 83–84, 2 jul. 1972. <https://doi.org/10.21273/HORTSCI.7.1.83>
- Li, Y., Li, X., Kim, S., Lee, J., Lee, S., & Bai, S. C. (2017). Effects of dietary supplementation with synthetic carotenoids on growth performance, muscle pigmentation, and antioxidant capacity in large yellow croaker (*Larimichthys crocea*). *Aquaculture*, 479, 649-655.
- LIM, S. H.; CHOI, C.-I. Pharmacological Properties of *Morus nigra* L. (Black Mulberry) as A Promising Nutraceutical Resource. *Nutrients*, v. 11, n. 2, p. 437, 20 fev. 2019. <https://doi.org/10.3390/nu11020437>
- LIMA-JUNIOR, S. E.; CARDONE, I. B.; GOITEIN, R. Determination of a method for calculation of Allometric Condition Factor of fish. *Acta Scientiarum*, v. 24, n. 2, p. 397-400, 2002.
- MARTINS, M. S. et al. Blackberries and Mulberries: Berries with Significant Health-Promoting Properties. *International Journal of Molecular Sciences*, v. 24, n. 15, p. 12024, 27 jul. 2023. <https://doi.org/10.3390/ijms241512024>
- NHAN HT, MINH TX, LIEW HJ, et al (2019) Effects of natural dietary carotenoids on skin coloration of false Clownfish (*Amphiprion ocellaris* Cuvier, 1830). *Aquac Nutr* 25:662–668. <https://doi.org/10.1111/anu.12887>
- PARK, James T.; JOHNSON, Marvin J. Accumulation of labile phosphate in *Staphylococcus aureus* grown in the presence of penicillin. *Journal of Biological Chemistry*, v. 179, n. 2, p. 585-592, 1949.
- PORTO, E. L. N. et al. *Schinus terebinthifolius* raddi pepper oil used as na addictive in *Hyphessobrycon eques steindachner* fish diet. *Research, Society and Development*, v. 9, n. 6, p. 1–13, 23 abr. 2020b. <https://doi.org/10.33448/rsd-v9i6.3118>
- PORTO, E. L. N. et al. The *Hyphessobrycon eques* (Steindachner, 1882) coloration influenced by the addition of *Attalea Phalerata* Mart. ex spreng crude oil. *Research, Society and Development*, v. 9, n. 3, p. e97932578, 19 fev. 2020a. <http://dx.doi.org/10.33448/rsd-v9i3.2578>
- RASHIDIAN, G. et al. Effects of different levels of carotenoids and light sources on swordtail fish (*Xiphophorus helleri*) growth, survival rate and reproductive parameters. *Natural Product Research*, v. 35, n. 21, p. 3675–3686, 19 jan. 2020. <https://doi.org/10.1080/14786419.2020.1723091>

- RASHIDIAN, G. et al. 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*, v. 34, n. 17, p. 2413–2423, 18 out. 2018. <https://doi.org/10.1080/14786419.2018.1538994>
- REGES, J. A. U. et al. O AGRONEGÓCIO DA AQUICULTURA ORNAMENTAL: ASPECTOS DA FISIOLOGIA ADAPTATIVA. Em: DE OLIVEIRA, A. C.; OLIVEIRA, N.; BARÃO, F. R. (Eds.). *Vida em evolução explorando as ciências biológicas 2*. 1. ed. Ponta Grossa: Atena Editora, 2024. v. 1p. 28–53. <https://doi.org/10.22533/at.ed.6662412044>
- REZENDE, F. P. et al. 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*, v. 2, p. 606–613, 2012.
- SANCHES, E. G. A magia dos pigmentos. *Aquaculture Brasil*, p. 66–67, 29 jul. 2021. < A magia dos pigmentos - Colunas - Aquaculture Brasil - O maior portal brasileiro sobre aquicultura >
- Santos RFB, De Souza-Melo JC, Reis RGA, et al. Evaluation of commercial and experimental grower diets for use in intensive culture of *Symphysodon aequifasciatus*. *Panam J Aquat Sci* n. 17, p. 190–200, 2022. <https://doi.org/10.54451/PanamJAS.17.3.190>
- Sawicki T, Topolska J, Bączek N, et al. 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 Chem* n. 313, 2020. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2020.126169>
- SCÁRDUA, M. P. et al. The role of phenylalanine in the fish pigmentation process: a review. *International Aquatic Research*, v. 16, n. 2, p. 101–111, 23 abr. 2024. <https://doi.org/10.22034/iar.2024.2007852.1607>
- STRINGHETA, P. C.; FREITAS, P. A. V. (org). *Corantes Naturais: da diversidade da natureza as aplicações e benefícios*. Viçosa, MG, 2021. 472pp.
- VANEGAS-ESPINOZA PE, PÉREZ-ESCALANTE V, AGUIRRE-GUZMAN G, et al. Microencapsulation of anthocyanins from roselle (*Hibiscus sabdariffa*) and its application on a pigment supplied diet to fantail goldfish (*Carassius auratus*). *Aquac Int* n. 27, p. 1801–1811, 2019. <https://doi.org/10.1007/s10499-019-00430-1>
- VERMA, A.; HOLEYAPPA, S. A.; BANSAL, N.; KAUR, V. I. Efficacy of quercetin in ameliorating hypoxia-induced hematological and histopathological alterations in rohu *Labeo rohita*. n. 50, v. 3, p.1171-1187, 2024. <http://dx.doi.org/10.1007/s10695-024-01329-2>.

VIZZOTTO, M. et al. Teor de compostos fenólicos e atividade antioxidante em diferentes genótipos de amoreira-preta (*Rubus* sp.). *Revista Brasileira de Fruticultura*, v. 34, n. 3, set. 2012. <https://doi.org/10.1590/S0100-29452012000300027>

WALTER, H. E. Proteinases: methods with hemoglobin, casein and azocoll as substrates. In: Bergmeyer, H. U. (Ed). *Methods of enzymatic analysis*. Verlag Chemie, Weinheim. v. 5, p. 270-277, 1984.

Youssef FS, Labib RM, Eldahshan OA, Singab ANB Synergistic Hepatoprotective and Antioxidant Effect of Artichoke, Fig, Blackberry Herbal Mixture on HepG2 Cells and Your Metabolic Profiling using NMR Coupled with Chemometrics. *Chem. Biodivers.* 2017; 14 : e1700206. doi: 10.1002 / cbdv.201700206.

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)