

GOVERNO DO ESTADO DE SÃO PAULO
SECRETARIA DE AGRICULTURA E ABASTECIMENTO
AGÊNCIA PAULISTA DE TECNOLOGIA DOS AGRONEGÓCIOS
INSTITUTO DE PESCA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM AQUICULTURA E PESCA

UTILIZAÇÃO DE CAROTENÓIDES NA COLORAÇÃO DE PEIXES ORNAMENTAIS

Vitor Rafael Malacrida Godoy

Orientador: Prof. Dr. Eduardo Gomes Sanches

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-graduação em Aquicultura e Pesca do Instituto de Pesca - APTA - SAA, como parte dos requisitos para obtenção do título de Mestre em Aquicultura e Pesca.

São Paulo

Março – 2025

GOVERNO DO ESTADO DE SÃO PAULO
SECRETARIA DE AGRICULTURA E ABASTECIMENTO
AGÊNCIA PAULISTA DE TECNOLOGIA DOS AGRONEGÓCIOS
INSTITUTO DE PESCA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM AQUICULTURA E PESCA

UTILIZAÇÃO DE CAROTENÓIDES NA COLORAÇÃO DE PEIXES ORNAMENTAIS

Vitor Rafael Malacrida Godoy

Orientador: Prof. Dr. Eduardo Gomes Sanches

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-graduação em Aquicultura e Pesca do Instituto de Pesca - APTA - SAA, como parte dos requisitos para obtenção do título de Mestre em Aquicultura e Pesca.

São Paulo

Março – 2025

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)

Elaborada pelo Programa de Pós-graduação em Aquicultura e Pesca. Instituto de Pesca, São Paulo

G532u Godoy, Vitor Rafael Malacrida
Utilização de carotenoides na coloração de peixes ornamentais / Vitor Rafael Malacrida Godoy –
São Paulo - 2025
vii, 53f. ; fig 03. ; tab.03.

Dissertação (mestrado) apresentada ao Programa de Pós-graduação em Aquicultura e Pesca do
Instituto de Pesca – APTA - Secretaria de Agricultura e Abastecimento.
Orientadora: Eduardo Gomes Sanches

1. Pigmentação da pele. 2. extração de carotenóides. 3. Aquicultura ornamental. 4. corantes naturais.
5. antioxidantes. 6. Sustentabilidade. 7. Peixes ornamentais. 8. astaxantina
I. Sanches, Eduardo Gomes. II. Título.

CDD 574

GOVERNO DO ESTADO DE SÃO PAULO
SECRETARIA DE AGRICULTURA E ABASTECIMENTO
AGÊNCIA PAULISTA DE TECNOLOGIA DOS AGRONEGÓCIOS
INSTITUTO DE PESCA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM AQUICULTURA E PESCA


CERTIFICADO DE APROVAÇÃO

**"UTILIZAÇÃO DE CAROTENÓIDES NA COLORAÇÃO DE PEIXES
ORNAMENTAIS"**

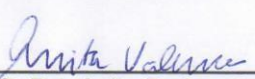
AUTOR: Vitor Rafael Malacrida Godoy

ORIENTADOR: Prof. Dr. Eduardo Gomes Sanches

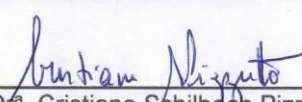
Aprovado como parte das exigências para obtenção do título de
MESTRE EM AQUICULTURA E PESCA, Área de Concentração em
Aquicultura, pela Comissão Examinadora:



Prof. Dr. Eduardo Gomes Sanches




Profª. Drª. Anita Rademaker Valença



Profª. Drª. Cristiane Schilbach Pizzutto

Data da realização: 26 de março de 2025



Presidente da Comissão Examinadora
Prof. Dr. Eduardo Gomes Sanches

“Só poderei semear,
quando colher de mim mesma.”

Maria Lacerda de Moura, 1932

AGRADECIMENTOS

Agradeço à minha filha Flora e meus filhos Martin e Leo por me inspirarem na insistência dos estudos e tão pequenos entenderem minha vontade e persistência na vida acadêmica ... À minha esposa Laura pelo incentivo e paciência, proporcionando estímulo pela continuidade deste ... À minha mãe Caecília e meu pai José Luiz, já em memória, que desde sempre incentivaram leitura e estudos e que ainda hoje me dão forças para continuar em tudo o que almejo ... Às minhas irmãs Lara e Nara e todos aos amigos e familiares que sempre acreditaram, me apoiaram e fortaleceram minhas ideias ... Ao Professor Eduardo Sanches pela oportunidade, parceria, dedicação, confiança e experiência repassada ... e por fim, ao CNPQ – Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico pelo apoio e amparo à pesquisa e ao Instituto de Pesca pela oportunidade e continuidade dos estudos.

SUMÁRIO

RESUMO	1
ABSTRACT	2
INTRODUÇÃO GERAL	3
BIODISPONIBILIDADE DE CAROTENÓIDES	12
BIOTRANSFORMAÇÃO EM VITAMINA A.	13
OBJETIVO GERAL	14
OBJETIVOS ESPECÍFICOS	14
REFERÊNCIAS DA INTRODUÇÃO GERAL.....	15
ARTIGO PARA PUBLICAÇÃO.....	20
Introdução – Aquicultura ornamental	23
Material e Métodos.....	24
Pigmentação na aquicultura	24
Carotenóides sintéticos	26
Pigmentos naturais	29
Discussão e perspectivas	35
Agradecimentos.....	36
Referências	37
CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	46

RESUMO

A coloração é um dos principais fatores que determinam o valor de mercado dos peixes ornamentais. Um dos desafios na aquicultura ornamental consiste em obter peixes com cores intensas para comercialização. A utilização de carotenóides na dieta tem por objetivo incrementar a coloração e a saúde dos peixes. O carotenóide mais utilizado mundialmente na aquicultura ornamental é a astaxantina, sendo o responsável por parcela significativa no custo da dieta de peixes ornamentais. Astaxantina proporciona uma série de benefícios, desde o reforço da pigmentação e do suporte imunitário até a redução do stress e à melhoria dos resultados reprodutivos. Entretanto, seu elevado custo tem incentivado a pesquisa de carotenoides naturais, notadamente os derivados de extratos de vegetais. Neste sentido, produtos derivados do urucum, curcuma, páprica, cenoura, alfafa dentre outros vem sendo avaliados na pigmentação de peixes ornamentais. A utilização de pigmentos de origem vegetal, obtidos de maneira sustentável, pode ser um dos grandes diferenciais desta cadeia produtiva. Ainda é necessária a ampliação dos esforços de pesquisa para identificar novos tipos de pigmentos carotenóides e desenvolver métodos adequados de extração de carotenóides em produtos vegetais para que sua utilização seja comercialmente viável.

Palavras-chave: Pigmentação da pele, extração de carotenóides, aquicultura ornamental, corantes naturais, antioxidantes, sustentabilidade, peixes ornamentais, astaxantina

ABSTRACT

Coloration is one of the main factors that determine the market value of ornamental fish. One of the challenges in ornamental aquaculture is obtaining fish with intense nuclei for commercialization. The use of carotenoids in the diet aims to increase the color and health of fish. The carotenoid most used worldwide in ornamental aquaculture is astaxanthin, which is responsible for a significant portion of the cost of the diet of ornamental fish. Astaxanthin provides a range of benefits, from enhancing pigmentation and immune support to reducing stress and improving reproductive outcomes. However, their high cost has encouraged research into natural carotenoids, notably those derived from vegetable extracts. In this sense, products derived from annatto, turmeric, paprika, carrots, alfalfa, among others, have been evaluated in the pigmentation of ornamental fish. The use of pigments of plant origin, obtained in a sustainable way, can be one of the biggest differentiators of this production chain. It is still necessary to expand research efforts to identify new types of carotenoid pigments and develop suitable methods for extracting carotenoids from plant products so that their use is commercially viable.

Keywords: Skin pigmentation, carotenoid extraction, ornamental aquaculture, natural dyes, antioxidants, sustainability, ornamental fish, astaxanthin

INTRODUÇÃO GERAL

1. Introdução Geral

1.1 Aquicultura mundial

A aquicultura recebeu um grande impulso quando os lares rurais se deram conta de que a criação de peixes constituía um elemento válido em sua estratégia de sobrevivência e subsistência (FAO, 2009). Entretanto, existem registros da prática da aquicultura há mais de cinco mil anos na China, onde eram cultivavam carpas, moluscos, crustáceos e plantas abundantemente. (Santos, 2009)

Atualmente a aquicultura é considerada um meio de sustento e subsistência para diversas comunidades do mundo. Somada com a produção da pesca, a aquicultura colabora para o fornecimento de proteína de pescado. Em 2020, alcançou 87,5 milhões de toneladas, 6% a mais que em 2018, com previsão de aumento constante para a próxima década (FAO, 2022). Já em 2022, obteve um aumento de 4,4% em relação a 2020 com 130,9 milhões de toneladas, das quais 94,4 milhões de toneladas são animais aquáticos, superando a captura pesqueira que respondeu por 92,3 milhões de toneladas em 2022 (FAO, 2024).

Uma rápida mudança no setor de produtos aquícolas está acontecendo devido a alta procura por peixes e outros alimentos aquáticos, estimulando seu crescimento para atender a alta demanda desse setor, impulsionando, além do desenvolvimento de novas tecnologias para cultivo, a geração de empregos. A tendência na melhora de saúde e nutrição também é algo notável graças a alta capacidade de distribuição dos produtos derivados da aquicultura. A estimativa é que em 2030 o setor chegue a 202 milhões de toneladas de animais aquáticos graças ao crescimento contínuo da aquicultura, que tem projeção de atingir 100 milhões de toneladas pela primeira vez em 2027 e 106 milhões de toneladas em 2030 (FAO, 2022).

No Brasil, em um comparativo nas exportações de produtos oriundos da piscicultura do 3º trimestre de 2022 para o 3º trimestre de 2023, obteve-se um aumento de 48% totalizando US\$ 6,7 milhões, onde a maior parte dos produtos era composta de filés frescos e peixes frescos, sendo os Estados Unidos o destino de 90% destes produtos exportados pelo Brasil (Embrapa, 2023).

1.2 Aquicultura ornamental

O mercado de peixes ornamentais tem apresentado um expressivo crescimento devido a maior demanda internacional (Raja et al., 2014). Considerando as dimensões econômicas, o mercado de peixes ornamentais é formado por mais de 125 países, alcançando um valor de exportações de 347 milhões de dólares por ano (Dey, 2016). Existem aproximadamente 7,2 milhões de residências com aquários nos Estados Unidos e 3,2 milhões na União Européia, com expressiva tendência de aumento (Ghosh et al., 2003). Estima-se em mais de dois bilhões de peixes comercializados por ano, sendo que menos de 10% destes são provenientes de criações em cativeiro (Domínguez e Botella, 2014). Atualmente o mercado movimenta milhões de dólares ao redor do mundo com crescimento constante ao longo dos anos (Pouil et al., 2019). Infelizmente grande parte deste mercado ainda depende da coleta de exemplares na natureza, com significativos impactos ambientais (Schwerdtner et al., 2014). Entretanto, a criação de peixes ornamentais em cativeiro começa a mudar este panorama, além de promover o desenvolvimento de um segmento da economia que permite a inclusão social e melhoria dos indicadores econômicos (Kodama et al., 2013). A criação de peixes ornamentais pode ser realizada com baixa inversão de capital e apresenta um interessante retorno econômico, permitindo sua adoção por populações vulneráveis e servindo de instrumento para políticas públicas de inclusão social (Nightingale et al., 2017). Avalia-se que este setor pode contribuir para o desenvolvimento econômico nos países subdesenvolvidos, especialmente nos trópicos úmidos.

Uma espécie de peixe para ser classificada como ornamental deve possuir características distintas tais como formatos diferenciados e coloração destacada. A questão da coloração se mostra determinante, dado o atrativo gerador de maior demanda para uma determinada espécie. A qualidade dos peixes ornamentais é determinada por vários fatores, um deles é a qualidade da cor. A cor como valor estético dos peixes ornamentais afetará o seu valor econômico.

1.3 Pigmentação na aquicultura

Quando falamos em coloração nos referimos a percepção limitada delas que os humanos possuem, porém existem estudos comprovando que alguns animais possuem

visão capaz de captar comprimentos de ondas como ultravioleta, por exemplo. Para os organismos aquáticos as cores apresentam várias funções tais como a camuflagem (proteção e método para caça) e comunicação (na época da reprodução), com isso os peixes se adaptaram para perceber as cores dos outros indivíduos de acordo com o ambiente que vivem (Yasir e Qin, 2009).

A coloração é um dos principais fatores que determinam o valor de mercado dos peixes ornamentais. Um dos desafios na aquicultura ornamental consiste em obter peixes com núcleos intensos para comercialização. O peixe-palhaço (*Amphiprion ocellaris*) tende a perder a cor brilhante em cativeiro devido à falta de alimentação adequada. Este é um dos fatores que contribuem para a dependência dos exemplares capturados na natureza para satisfazer as exigências do mercado e o valor das espécies ornamentais está fortemente relacionado com a sua coloração (Nhan et al., 2019). A cor da pele dos peixes é originada dos cromatóforos que são células que contêm pigmentos que refletem a luz (Yasir e Qin, 2009). São reconhecidos cinco principais cromatóforos sendo os eritróforos (possuem cor avermelhada), xantóforos (com coloração amarelada), iridóforos (apresentam a cor branca e prateada) e purinas (cor azul, prateada, dourada e branca) (Chatzifotis et al., 2005; Nhantini Devi et al., 2016). A coloração é controlada pelo sistema endócrino e nervoso, mas as fontes dietéticas de pigmentos também desempenham um papel na determinação da cor dos peixes. O nível de carotenóides nos tecidos varia com vários fatores, como tipo de água (doce/marinha), espécie de peixe, condição fisiológica e nível dietético ou consumo de ração. (Gupta et al. 2007).

Os carotenóides compreendem o grupo estruturalmente diversificado de mais de 700 pigmentos orgânicos lipossolúveis que são produzidos exclusivamente em plantas, fitoplâncton, algas, bactérias e alguns fungos (Lim et al., 2017). Somente plantas, bactérias, fungos e algas podem sintetizar carotenóides; os animais não podem biossintetizá-los, portanto, devem ser obtidos na dieta (García-Chavarría e Lara-Flores, 2013). Naturalmente, o pigmento carotenóide astaxantina é biossintetizado principalmente em microalgas na cadeia alimentar no nível de produção primária. As microalgas são então consumidas por crustáceos, zooplâncton ou insetos que acumulam a astaxantina e, por sua vez, são transferidas para níveis tróficos mais elevados quando ingeridas por peixes e outros animais aquáticos. (Lim et al., 2017).

As cores do corpo dos peixes dependem predominantemente da presença de células especiais no tecido, chamadas cromatóforos. Os carotenóides são absorvidos nas dietas animais, às vezes transformados em outros carotenóides e incorporados em vários tecidos

(Ezhil et al., 2008). As fontes naturais de carotenóides mais utilizadas em rações para peixes são farinha de exaustão de crustáceos, farinha de Krill, Spirulina, flor de malmequer (*Tagetes erectus*), milho, glúten de milho, pimentas vermelhas e algumas leveduras (Zuanon et al., 2011). Os carotenóides mais comuns incluem astaxantina, zeaxantina, xantofilas, luteína, α - e β -caroteno, taraxantina e atumantina (Velasco-Santamaría e Corredor-Santamaría, 2011). A luteína, a zeaxantina e a astaxantina estão entre os mais potentes carotenóides testados para coloração em peixes, que também são fabricados sinteticamente e disponíveis comercialmente (Torrissen et al., 1995).

Existem vários tipos de carotenóides encontrados na aquicultura. Por exemplo, sabe-se que o grupo da luteína, atunaxantina e doradexantina realça a cor amarela dos animais aquáticos. O β -caroteno, a zeaxantina e a cantaxantina ajudam a enriquecer a tonalidade alaranjada, enquanto os outros grupos como a astaxantina são responsáveis pelo incremento da cor vermelha. Os peixes, assim como outros animais, não têm capacidade de síntese de carotenóides e, assim, precisam ser supridos via dieta. Portanto, dietas deficientes em carotenóides causam diminuição da pigmentação da pele e conseqüente diminuição do valor do mercado dos peixes ornamentais (Zuanon et al., 2011). O mesmo ocorre com os camarões ornamentais. A astaxantina e o β -caroteno promovem a sobrevivência e o crescimento e melhoram a qualidade e a pigmentação dos ovos no camarão-bailarino *Lysmata wurdemanni* (Diaz-Jimenez et al., 2019). Paralelamente, os carotenóides são importantes como agentes antioxidantes, imunorreguladores e existem evidências que podem elevar a resistência às enfermidades (Dominguez et al., 2005). O carotenóide tem uma variedade de funções, incluindo antioxidante, indutor da atividade da pró-vitamina A, melhorando a resposta imune, reprodução, crescimento, maturação e fotoproteção (Sinha e Asimi, 2007). Em termos de resposta imune, foi observada diminuição das atividades da superóxido dismutase (SOD), glutathione peroxidase (GTP), aspartato e alanina transaminase com o aumento da concentração de carotenóides na dieta, sugerindo uma possível capacidade antioxidante e proteção hepática (Wang et al., 2006). Existe uma controvérsia sobre o papel dos carotenóides no crescimento dos peixes, vários estudos relatam uma influência positiva, enquanto outros não encontraram qualquer efeito (García-Chavarría e Lara-Flores, 2013).

A utilização de aditivos pigmentantes na dieta na aquicultura ornamental tem por objetivo incrementar a coloração e a saúde dos peixes. A ausência de tonalidade intensa nos organismos ornamentais comercializados afeta o preço e a aceitação, onde o consumidor pode associar a cor do animal a padrões de qualidade de saúde (Daniel et al.,

2017). Além da importância para o valor de mercado dos peixes ornamentais, a pigmentação da pele também é importante como sinal de aptidão para o acasalamento, como relatado por Clotfelter et al. (2007), que observaram preferência de fêmeas de *Betta splendens* para o acasalamento com machos vermelhos em relação aos azuis. A pigmentação da pele também atua como sinalização durante interações sociais como agressão e submissão entre os peixes.

Cabe destacar que carotenóides são sensíveis à luz, calor, oxigênio, oxidantes, enzimas, ácidos e bases. Em rações, os carotenóides podem ser extremamente instáveis e, portanto, seu efeito pigmentante pode ser reduzido em função da composição, do tipo de processamento e das condições de armazenamento das rações (Meyers e Latscha, 1997).

1.4 Astaxantina

Carotenóides como astaxantina (cor vermelha), cantaxantina (cor laranja), atumantina, doradexantina, taraxantina (cor amarela), b-caroteno, luteína (cor amarelo esverdeado) e zeaxantina (amarelo-laranja) são comumente aplicados na alimentação de peixes. No entanto, a astaxantina e a cantaxantina são consideradas os carotenóides mais eficazes e amplamente utilizados na aquicultura para melhorar a pigmentação e a cor (Gupta et al., 2007). Além disso, formas sintéticas de astaxantina e cantaxantina estão sendo aplicadas porque são produtos padronizados quimicamente estáveis. (Dananjaya et al., 2017). A microalga *Haematococcus pluvialis* possui elevado teor de astaxantina (1,5 a 3,0% matéria seca). A astaxantina pertence à mesma família das moléculas de carotenóides com cor o amarelo/laranja. Difere do beta-caroteno em que a sua estrutura molecular contém dois grupos adicionais de oxigênio em cada estrutura de anel. Outra diferença é que, ao contrário de beta-caroteno, astaxantina pode não ser convertido em vitamina A (retinol) no organismo humano (Liao et al., 2009).

O carotenóide mais utilizado mundialmente na aquicultura ornamental é a astaxantina (Zuanon et al., 2011). A suplementação de astaxantina na dieta representa 15-20% do custo total da alimentação, ou 6-8% do custo total de produção para o salmão do Atlântico, (Torrissen, 1995). A produção comercial de astaxantina é dominada pela astaxantina derivada sinteticamente (>95%) porque envolve custos de produção mais baixos (aproximadamente US\$ 1.000/kg) em comparação com a alternativa de algas (<1%). DSM (Dutch State Mines) e BASF (Baden Aniline & Soda Factory) são os principais fabricantes globais de astaxantina sintética (Lim et al., 2017).

A suplementação de astaxantina visando a intensificação da pigmentação da pele, vêm sendo comumente utilizada em dietas para organismos aquáticos ornamentais (Pan e Chien, 2009). Na maioria dos estudos em que os autores avaliaram fontes e níveis de inclusão de carotenoides em dietas para peixes ornamentais, a astaxantina foi o pigmento mais eficiente na pigmentação da pele (García-Chavarría e Lara-Flores, 2013). A astaxantina e a cantaxantina têm melhor absorção em peixes dourados em comparação com a luteína, zeaxantina, isozeaxantina e beta-caroteno (Nurhadi et al., 2019). O peixe dourado *Carassius auratus* apresentou pigmentação vermelha mais intensificada quando submetido a uma dosagem de 37 mg astaxantina/kg dieta por um período de 28 dias (Paripatananont et al., 1999). Estes mesmos autores não observaram efeito no ganho de peso mas a sobrevivência dos peixes submetidos à astaxantina foi mais elevada, o que creditaram aos efeitos oxidantes da astaxantina em relação ao sistema imune.

A astaxantina aumenta significativamente o sucesso reprodutivo dos peixes e melhora a saúde geral dos peixes em ambientes de aquicultura, ganhando o apelido de “super vitamina E” devido às suas excepcionais capacidades de eliminação de radicais livres, que superam as de outros carotenóides, incluindo β -caroteno, cantaxantina, luteína e zeaxantina, bem como vitaminas C e E. O impacto positivo da astaxantina na reprodução dos peixes, incluindo a melhoria da qualidade dos gametas, o desenvolvimento embrionário e as vias hormonais, sublinha a sua versatilidade. Na aquicultura, a astaxantina proporciona uma série de benefícios, desde o reforço da pigmentação e do suporte imunitário até à redução do stress e à melhoria dos resultados reprodutivos, alinhando-se com os objetivos econômicos e ecológicos (Shastak et. al., 2023).

Considerando a valorização da cor vermelha no peixe dourado, a espécie foi submetida a diferentes dosagens de astaxantina na dieta (0, 10, 20, 40, 60 e 80 mg/kg dieta) por um período de 60 dias (Xu et al., 2006). Foi observado que a deposição de carotenóides foi afetada pela dosagem de astaxantina na dieta, entretanto, não foram observadas diferenças para o crescimento ou sobrevivência. A concentração de pigmento aumentou na polpa (31,0%), escamas (45,5%), cabeça (22,6%) e nadadeira (21,2%), respectivamente. A incorporação de 1% do extrato de astaxantina em uma ração formulada para peixes, juntamente com 1% de óleo de soja, melhorou significativamente a cor da pele e a salubridade dos peixes dourados dentro de 10 dias após a alimentação (Weeratunge e Perera, 2016). Em outro estudo, peixes dourados foram alimentados com três dietas (controle, astaxantina - carofila rosa 100 mg/kg e cantaxantina - carofila vermelha 100 mg/kg) por 30 dias para determinar os efeitos da astaxantina e da cantaxantina no aumento

da cor, no crescimento e na sobrevivência. (Nurhadi et al., 2019). Os resultados não apresentaram diferenças significativas para nenhum parâmetro de desempenho produtivo, entretanto, ambos os pigmentos promoveram incremento da coloração dos peixes. O Espadinha *Xiphophorus helleri* apresentou coloração intensificada quando submetido a dieta enriquecida com 1.5% *Spirulina platensis* e 1% *Haematococcus pluvialis*/kg (Ako et al., 2000). Demonstrando a eficiência da suplementação deste pigmento, peixes palhaço *Amphiprion ocellaris* foram submetidos a uma dieta com distintos níveis de astaxantina (0, 150, 250, 400, 640 e 1020 mg) por sete semanas (Ho et al., 2013a). O melhor resultado foi obtido com 400 mg astaxantina por kg da dieta. Utilizando diferentes concentrações de astaxantina na dieta (23; 214; 2350 mg/kg ração) por 115 dias, em *Premnas biaculeatus* foi observado diferenças significativas no tamanho dos grânulos de carotenóides com diâmetros maiores no tratamento com maior astaxantina (Ho et al., 2013b). Os autores recomendaram concentração de astaxantina de 214 mg conforme coloração adequada para alto valor de mercado. Resultados similares foram obtidos o peixe palhaço *Amphiprion ocellaris*, indicando uma concentração ideal de astaxantina na dieta de 270mg/kg (Seyedi et al., 2013). Em ambos os estudos não foi observado efeito da astaxantina sobre o desempenho produtivo dos peixes.

Estudos indicam a possibilidade de utilizar astaxantina para incrementar a pigmentação e o desempenho produtivo de camarões ornamentais. A inclusão de astaxantina na dieta do camarão bailarino *Lysemata wurdemanni* melhorou a sobrevivência e o crescimento e promoveu maior qualidade dos ovos férteis. Contudo, a incorporação de outros pigmentos como o β -caroteno também pode ser útil quando utilizado em níveis acima de 1%. (Diaz-Jimenez et al., 2019).

Pode-se observar que existe uma relação direta entre a elevação das doses de astaxantina e o incremento da pigmentação. Utilizando astaxantina na dieta por 28 dias visando incrementar a pigmentação do acará-bandeira *Pterophyllum scalare*, observaram que as mudanças de cor estavam diretamente relacionadas ao aumento dos níveis de inclusão de microalgas (Kouba et al., 2013). A adição de microalgas às dietas não afetou a taxa de crescimento do peixe-anjo de água doce. Pigmentação mais intensa foi obtida após 99 dias em nishikigois *Cyprinus carpio* variedade showa (que são de cor preta com manchas vermelhas e manchas brancas espalhadas pelo corpo) utilizando dieta contendo 1.5 g/kg Carophyll® red (DSM Nutritional Products Ltd.) (Sun et al., 2011). Comercialmente, entretanto, os fabricantes de dietas para peixes ornamentais incorporam apenas 25 mg astaxantina/kg nas dietas comerciais (Ako et al., 2000). Isto se deve ao fato de que o

Carophyll Pink (8% astaxantina) custar US\$ 302,00/kg, com impostos inclusos e quando adquirido em escala industrial. Ou seja, o preço do princípio ativo astaxantina é de cerca de US\$ 3.775,00/kg!!!! Isto demonstra o peso deste componente nas dietas para peixes ornamentais. Portanto, em função do alto custo da astaxantina, é preciso avaliar diferentes fontes naturais de carotenoides como substitutivos.



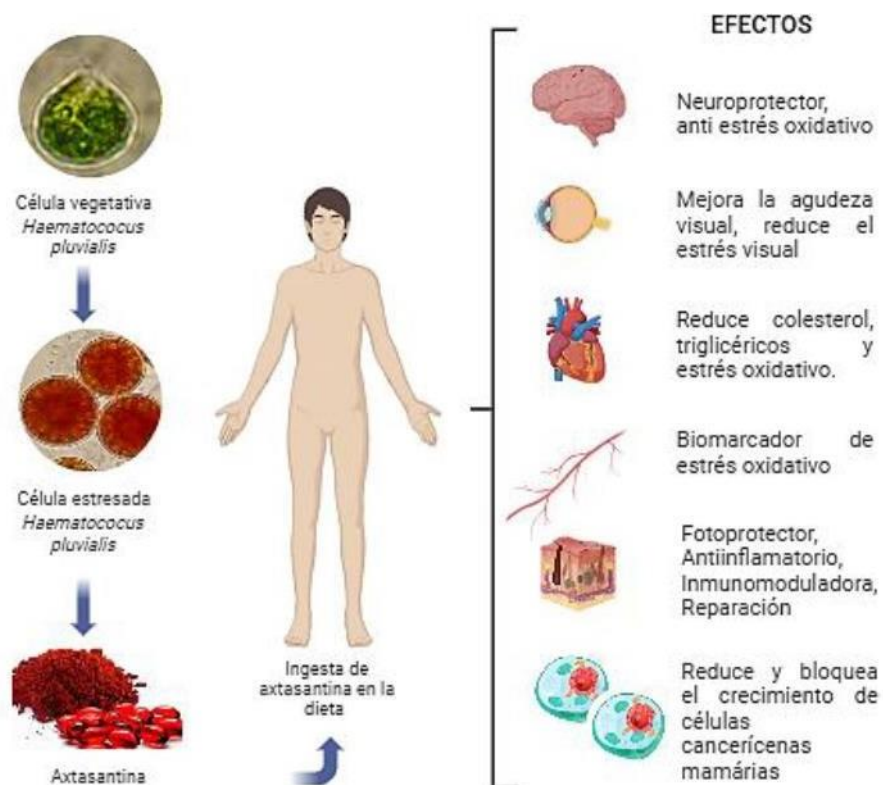
Fonte: www.winsomepetsupplies.com



Fonte: www.nutricon.ind.br

1.5 Outros usos da astaxantina

A astaxantina possui propriedades antioxidantes e atua como protetor celular (Guerin et al., 2003; Aneesh et al., 2022). As suas propriedades implicam características antienvhecimento, anticancerígenas, anti-inflamatórias, efeito protetor contra a exposição à radiação solar, estimulador do sistema imunitário, previne doenças gastrointestinais, neurodegenerativas e oculares, razão pela qual é considerado o antioxidante mais promissor até o momento (Barkia et al., 2019; Marino et al., 2020). Outros estudos mostram que a astaxantina atua em sinergia com outros carotenóides como β -caroteno, cantaxantina, zeaxantina, luteína, tornando o tratamento de diversas doenças mais eficaz e com maior benefício para a saúde humana (Nethravathy et al., 2019; Davinelli, et al. 2022). A figura abaixo apresenta um esquema geral da principal fonte de astaxantina, que é a microalga *Haematococcus pluvialis*, e suas aplicações em benefício da saúde humana.



Fonte: Revista Científica Ecociência, Vol. 10, nº 4, 2023

Biodisponibilidade de carotenoides

Os carotenóides apresentam importantes funções no organismo, além da atividade de vitamina A e a ação antioxidante. Apresentam diversas funções benéficas à saúde, porém, nem todos são absorvidos e utilizados nos tecidos pois não se encontram livres nos alimentos, e sim acoplados em estruturas celulares da planta, como fibras, polissacarídeos, proteínas e, para que ocorra a absorção, o rompimento da matriz alimentar constitui-se o primeiro passo na absorção destes (Lima et al.; 2012).

Os carotenóides apresentam o mecanismo de digestão e absorção similar ao dos lipídios. Durante a digestão, ocorre sua emulsificação, que se inicia com a mastigação e prossegue sob a ação das contrações gástricas rítmicas. Nesta fase, acontece hidrólise parcial iniciada pela lipase lingual e continuada pela lipase gástrica e pancreática (Coutinho et al.; 2010).

A biodisponibilidade dos carotenoides nos alimentos pode ser aumentada com o rompimento da matriz alimentar, passível de acontecer durante as etapas da digestão pela mastigação e ação de enzimas do trato digestório, no estômago e intestino onde ocorre a emulsificação dos carotenóides em pequenas gotículas lipídicas, facilitadas pela ação do suco biliar (agente emulsificante) e também durante o processamento, que inclui ação enzimática, ação mecânica e tratamento térmico. Estes processos facilitam o rompimento da parede celular e de organelas, liberando os carotenóides da matriz alimentar e promovendo sua dispersão no trato gastrointestinal (Horst et al.; 2009; Yonekura et al.; 2007). Entretanto, como a matriz não é completamente hidrolisada, a biodisponibilidade dos carotenóides pode variar de 10 a 50% (Horst et al.; 2009).

Biotransformação em Vitamina A

A vitamina A como tal não está presente nas plantas, porém elas contêm seus precursores, os carotenoides, os quais podem ser convertidos em vitamina mediante reação enzimática no intestino dos animais. Os carotenoides contribuem significativamente para a atividade da vitamina A em alimentos tanto de origem animal como vegetal. Frutas, plantas e vegetais amarelos e verde-escuros são boas fontes dietéticas de carotenos. Dos 600 carotenoides conhecidos, cerca de 50 apresentam alguma atividade de pró-vitamina A. Alimentos de origem vegetal contêm β -caroteno, que pode ser clivado oxidativamente no intestino em duas moléculas de retinal. Entre todos os carotenoides, o β -caroteno é o que apresenta maior atividade pró-vitáminica A. Para ocorrer a conversão metabólica de caroteno para vitamina A, o β -caroteno deve ter o anel β -ionona livre. A conversão ocorre por ação de duas enzimas: a primeira (β -caroteno-15, 15'-dioxinase) cliva o β -caroteno produzindo duas moléculas de retinal. A segunda enzima (retinaldeído redutase) converte o retinal em retinol (González, F.H.D., 2020).

Segundo Bastos et al.; 2013, a inclusão de elevadas doses de vitamina A em rações para pós-larvas de tilápia do Nilo (*Oreochromis niloticus*) durante a reversão sexual, podem induzir a hipervitaminose e consequentemente a levar a prejuízos sobre o desempenho zootécnico.

OBJETIVO GERAL

O objetivo desta revisão foi reunir dados de estudos para atualização do estado da arte no uso de carotenóides na coloração de peixes ornamentais.

OBJETIVOS ESPECÍFICOS

1. Avaliar diferentes resultados dos estudos de carotenóides;
2. Identificar os carotenóides que melhor se adequam no uso de peixes ornamentais;
3. Apontar a relevância do uso de carotenóides sintéticos;
4. Apontar os possíveis carotenóides naturais que podem substituir os sintéticos em eficiência de resultados e custo-benefício;
5. Esclarecer e expor sobre o uso de diversos carotenóides testados;
6. Comparar e relacionar os benefícios de sintéticos x naturais;
7. Trazer ao debate a necessidade do uso de carotenóides naturais visando o bem-estar dos indivíduos em que são utilizados os sintéticos
8. Destacar a importância de mais estudos para ampliação do uso de tipos de carotenóides visando a intensificação de cores desejadas pelo mercado de consumidores de ornamentais.

REFERÊNCIAS DA INTRODUÇÃO GERAL

- Ako, H.; Tamaru, C.S.; Asano, L.; Yuen, B.; Yamamoto, M. 2000. Achieving natural coloration of fish under culture. UJNR Technical Report, 28.
- Chatzifotis, S.; Pavlidis, M.; Jimeno, C.D.; Vardanis, G.; Sterioti, A.; Divanach, P. 2005. The effect of different carotenoid sources on skin coloration of cultured red porgy (*Pagrus pagrus*). *Aquaculture Research*, 36: 1517-1525.
- Clotfelter, E.D.; Ardia, D.R.; McGraw, K.J. 2007. Red fish, blue fish: trade-offs between pigmentation and immunity in *Betta splendens*. *Behavioral Ecology*, 18: 1139-1145.
- Coutinho VF, Mendes RB, Rogero MM. Bioquímica e metabolismo de proteínas e aminoácidos. In: Silva SMCS, Mura JDP. Tratado de alimentação, nutrição e dietoterapia. 2ª ed. São Paulo: Roca; 2010.
- Dananjaya, S.H.S.; Munasinghe, D.M.S.; Ariyaratne, H.B.S.; Lee, J.; Zoysa, M. 2017. Natural bixin as a potential carotenoid for enhancing pigmentation and colour in goldfish (*Carassius auratus*). *Aquaculture Nutrition*, 23: 255-263.
- Daniel, N.; Sivaramakrishnan, T.; Subramaniyan, S.; Faizullah, M.M.; Fernando, H. 2017. Application of carotenoids on coloration of aquatic animals. *International Journal of Fisheries and Aquatic Research*, 2: 1-7.
- Dey, V.K. 2016. The global trade in ornamental fish. *Infofish International*, 4: 52-55.
- Díaz-Jiménez, L.; Hernández-Vergara, M.P.; Pérez-Rostro, C.I.; Ortega-Clemente, L.A. 2019. The effect of astaxanthin and β -carotene inclusion in diets for growth, reproduction and pigmentation of the peppermint shrimp *Lysmata wurdemanni*. *Latin American Journal of Aquatic Research*, 47: 559-567.
- Dominguez, A.; Ferreira, M.; Coutinho, P.; Fabregas, J.; Otero, A. 2005. Delivery of astaxanthin from *Haematococcus pluvialis* to the aquaculture food chain. *Aquaculture*, 250: 424-430.

Domínguez, L.M.; Botella, A.S. 2014. An overview of marine ornamental fish breeding as a potential support to the aquarium trade and to the conservation of natural fish populations.

International Journal Sustainable Development, 9: 608-632.

Ezhil, J.; Jeyanthi, C.; Narayanan, M. 2008. Effect of formulated pigmented feed on colour changes and growth of red swordtail, *Xiphophorus helleri*. Turkish Journal of Fisheries and Aquatic Sciences, 8: 99-101.

FAO – FOOD AND AGRICULTURAL ORGANIZATION. 2009. The state of world fisheries and aquaculture 2008. Roma: FAO.

FAO – FOOD AND AGRICULTURAL ORGANIZATION. 2024. The state of world fisheries and aquaculture 2024. Roma: FAO.

Galarza, J. I., Pillacela Zhunio, B., Arredondo-Vega, B. O. ., & Ríos Tomalá , S. (2023). Astaxantina: El antioxidante natural con múltiples beneficios para la salud. Una revisión: Astaxanthin: The natural antioxidant with multiple health benefits. A review. REVISTA CIENTÍFICA ECOCIENCIA, 10(4), 1–23. <https://doi.org/10.21855/ecociencia.104.782>

García-Chavarría, M.; Lara-Flores, M. 2013. The use of carotenoid in aquaculture. Research Journal of Fisheries and Hydrobiology, 8: 38-49.

Ghosh, A.; Mahapatra, B.K.; Datta, N.C. 2003. Ornamental fish farming - successful small scale aqua business in India. Aquaculture Asia Magazine, 8: 14-16.

González, F.H.D., 2020. **Vitaminas no Metabolismo Animal**. Orientador: Sérgio Cerone da Silva – Laboratório de Análises Clínicas, Faculdade de Veterinária, UFRG, 2019.

Gubta, S.K.; Jha, A.K.; Pal, A.K.; Venkateshwarlu, G. 2007. Use of natural carotenoids for pigmentation in fishes. Natural Product Radiance, 6: 46-49.

Horst M.A., Lajolo F.M., 2009. Biodisponibilidade de compostos bioativos de alimentos. In: Cozzolino SMF. Biodisponibilidade de Nutrientes. 3a ed. São Paulo: Manole, 2009.

Liao, J-H.; Chen, C-S.; Maher, T.J.; Liu, C-Y.; Lin, M-H.; Wu, T-H.; Wu, S-H. 2009. Astaxanthin interacts with selenite and attenuates selenite-induced cataractogenesis. Chemical Research in Toxicology, 22: 518-525.

Lim, K.C.; Yusoff, F.M.; Shariff, M.; Kamarudin, M.S. 2017. Astaxanthin as feed supplement in aquatic animals. *Reviews in Aquaculture*, 0: 1-36.

Ho, A.L.F.C.; Bertran, N.M.O.; Lin, J. 2013b. Dietary esterified astaxanthin concentration effect on dermal coloration and chromatophore physiology in spinecheek anemonefish, *Premnas biaculeatus*. *Journal of World Aquaculture Society*, 44: 76-85.
<https://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/doc/1151200/1/InfComExpPisci-12.pdf>

Kodama, G.; Annuniação, W.F.; Sanches, E.G.; Gomes, C.H.A.M.; Tsuzuki, M.Y. 2011. Viabilidade econômica do cultivo do peixe palhaço, *Amphiprion ocellaris*, em sistema de recirculação. *Boletim do Instituto de Pesca*, 37: 61-72.

Kouba, A.; Sales, J.; Sergejevová, M.; Kozák, P.; Masojídek, J. 2013. Colour intensity in angelfish (*Pterophyllum scalare*) as influenced by dietary microalgae addition. *Journal of Applied Ichthyology*, 29: 193-199.

Lima, J.P.; Lopes C.O.; Dias N.A.A.; Pereira, M.C.A.; 2012. Atividade e Biodisponibilidade dos Carotenóides no Organismo. *Revista Ciências em Saúde* v2, n 1, jan 2012.

Meyers, S.P.; Latscha, T. 1997. Carotenoids. In: D'Abramo, L.R., Conklin, D.E. & Akiyama, D.M. (Eds.). *Crustacean nutrition. Advances in world aquaculture vol. 6*. World Aquaculture Society, Louisiana, pp. 164-193.

Nanthini Devi, K.; Ajith Kumar, T.T.; Balasubramanian, T. 2016. Pigment deficiency correction in captive clown fish, *amphiprion ocellaris* using different carotenoid sources. *Journal of Fisheries Science*, 1: 4-11.

Nightingale Devi, M Krishnan, Ananthan PS and Nilesh Pawar. 2017. A producer company - An ideal value chain model for ornamental fish trade. *International Journal of Fisheries and Aquatic Studies*; 5: 115-120.

Nurhadi, T.; Lili, W.; Pratama, R.I.; Kiki Haetami, K. 2019. Effects of astaxanthin and canthaxanthin addition to ranchu goldfish (*Carassius auratus*) diet related to rate of color quality enhancement. *World News of Natural Sciences*, 24: 178-183.

Pan, C.H.; Chien, Y.H. 2009. Effects of dietary supplementation of alga *Haematococcus pluvialis* (Flotow), synthetic astaxanthin and β -carotene on survival, growth, and pigment distribution of red devil, *Cichlasoma citrinellum* (Günther). *Aquaculture Research*, 40: 871-879.

Paripatananont, T.; Tangtrongpaioj, J.; Sailasuta, A.; Chansue, N. 1999. Effect of astaxanthin on the pigmentation of goldfish *Carassius auratus*. *Journal of World Aquaculture Society*, 30: 454-460.

Pouil, S.; Tlustý, M.F.; Rhyne, A.L.; Metian, M. 2019. Aquaculture of marine ornamental fish: overview of the production trends and the role of academia in research progress. *Reviews in Aquaculture*, 12: 1217-1230.

Raja S., T. Babu, P. Nammalwar, C. Thomson and K. Dinesh. 2014. Potential of ornamental fish culture and marketing strategies for future prospects in India. *Int.J.Biosci.Nanosci*, 1: 119-125.

Santos, C.; 2009. *Aquicultura e pesca: a mudança do modelo exploratório. Manejo e Sanidade de Peixes em Cultivo (EMBRAPA)*. Macapá, AP.

Schwerdtner Máñez K., Lorel Dandava, Werner Ekau. Fishing the last frontier: The introduction of the marine aquarium trade and its impact on local fishing communities in Papua New Guinea. *Marine Policy*, 44: 279-286.

Seyedi, S.M.; Sharifpour, I.; Ramin, M.; Jamili, S. 2013. Effect of dietary astaxanthin on survival, growth, pigmentation clownfish, *Amphiprion ocellaris*, Cuvier. *Indian Journal of Fundamental and Applied Life Sciences*, 3: 391-395.

Shastak Y, Pelletier W. Captivating Colors, Crucial Roles: Astaxanthin's Antioxidant Impact on Fish Oxidative Stress and Reproductive Performance. *Animals (Basel)*. 2023 Oct 29;13(21)

Sinha, A.; Asimi, O.A. 2007. China rose (*Hibiscus rosasinensis*) petals: a potent natural carotenoid source for goldfish (*Carassius auratus* L.). *Aquaculture Research*, 38: 1123-1128.

Torrissen, O.J. 1995. Strategies for salmonid pigmentation. *Journal of Applied Ichthyology*, 11: 276-281.

Velasco-Santamaría, Y.; Corredor-Santamaría, W. 2011. Nutritional requirements of freshwater ornamental fish: a review. *Revista MVZ Córdoba*, 16: 2458-2469.

Wang, Y.J.; Chien, Y.H.; Pan, C.H. 2006. Effects of dietary supplementation of carotenoids on survival, growth, pigmentation, and antioxidant capacity of characins, *Hyphessobrycon callistus*. *Aquaculture*, 261: 641-648

Xu, X.; Jin, Z.; Wang, H.; Chen, X.; Wang, C.; Yu, S. 2006. Effect of astaxanthin from *Xanthophyllomyces dendrorhous* on the pigmentation of goldfish, *Carassius auratus*. *Journal of World Aquaculture Society*, 37: 282-288.

Yasir, I.; Qin, G.J. 2009. Impact of Background on Color Performance of False Clownfish, *Amphiprion ocellaris*, Cuvier. *Journal of the World Aquaculture Society*, 40: 724-734.

Yonekura L, Nagao A. Intestinal absorption of dietary carotenoids. *Mol Nutr Food Res*. 2007 Jan;51(1):107-15.

Zuanon, J.A.S.; Salaro, A.L.; Furuya, W.M. 2011. Produção e nutrição de peixes ornamentais. *Revista Brasileira de Zootecnia*, 40: 165-174.

ARTIGO PARA PUBLICAÇÃO

UTILIZAÇÃO DE CAROTENÓIDES NA COLORAÇÃO DE PEIXES ORNAMENTAIS

Artigo de revisão submetido ao periódico científico

Reviews in Aquaculture

Utilização de carotenóides na coloração de peixes ornamentais

Vitor Rafael Malacrida Godoy^{a,b}, Otávio Mesquita de Sousa^b, Eduardo Gomes Sanches^{b*}

^a Programa de Pós-Graduação em Aquicultura e Pesca, Instituto de Pesca, Secretaria de Agricultura e Abastecimento, CP 61070, CEP 051001-970, Estado de São Paulo, São Paulo, Brasil.

^b Laboratório de Piscicultura Marinha, Instituto de Pesca, Av. Cais do Porto, no1275, CEP 11680-000, Ubatuba, SP, Brasil.

* Autor correspondente - Eduardo G. Sanches (eduardo.sanches2005@gmail.com) (ORCID 0000-0001-9976-9271) Laboratório de Piscicultura Marinha, Instituto de Pesca. Av. Cais do Porto, 1275. Ubatuba/SP, Brasil. CEP-11680-000.

Financiamento: V.R.M.G. foi financiado pelo Conselho Nacional de Aperfeiçoamento do Ensino Superior (número de bolsa CAPES: 1728668).

Conflito de interesses: Os autores declaram não ter conflito de interesses.

Contribuições dos autores: V.R.M.G. e O.M.S. foram responsáveis pela coleta de dados, análise e interpretação dos dados, análises estatísticas e elaboração do artigo. E.G.S. foi responsável pelo desenho do estudo, apoio financeiro e supervisão do estudo. Todos os autores leram e aprovaram o manuscrito final.

Dados suplementares: Material suplementar está disponível na versão online do manuscrito.

Declaração de disponibilidade de dados: Os dados que apoiam as conclusões deste estudo estão disponíveis com o autor correspondente mediante solicitação.

Abstract

A coloração é um dos principais fatores que determinam o valor de mercado dos peixes ornamentais. Um dos desafios na aquicultura ornamental consiste em obter peixes com cores intensas para comercialização. A utilização de carotenóides na dieta tem por objetivo incrementar a coloração e a saúde dos peixes. O carotenóide mais utilizado mundialmente na aquicultura ornamental é a astaxantina, sendo o responsável por parcela significativa no custo da dieta de peixes ornamentais. Astaxantina proporciona uma série de benefícios, desde o reforço da pigmentação e do suporte imunitário até a redução do stress e à melhoria dos resultados reprodutivos. Entretanto, seu elevado custo tem incentivado a pesquisa de carotenoides naturais, notadamente os derivados de extratos de vegetais. Neste sentido, produtos derivados do urucum, curcuma, paprica, cenoura, alfafa dentre outros vem sendo avaliados na pigmentação de peixes ornamentais. A utilização de pigmentos de origem vegetal, obtidos de maneira sustentável, pode ser um dos grandes diferenciais desta cadeia produtiva. Ainda é necessária a ampliação dos esforços de pesquisa para identificar novos tipos de pigmentos carotenóides e desenvolver métodos adequados de extração de carotenóides em produtos vegetais para que sua utilização seja comercialmente viável.

Palavras-chave

Pigmentação da pele, extração de carotenóides, aquicultura ornamental, corantes naturais, antioxidantes, sustentabilidade, peixes ornamentais, astaxantina

Introdução

Aquicultura ornamental

O mercado de peixes ornamentais vem apresentando um expressivo crescimento devido a ampliação da demanda internacional (Raja et al., 2014). Considerando as dimensões econômicas, o mercado de peixes ornamentais é explorado por mais de 125 países, alcançando um valor de exportações de 347 milhões de dólares por ano (Dey, 2016). Existem aproximadamente 7,2 milhões de residências com aquários nos Estados Unidos e 3,2 milhões na União Européia, com expressiva tendência de aumento (Ghosh et al., 2003). Estima-se em mais de dois bilhões de peixes comercializados por ano, sendo que menos de 10% destes são provenientes de criações em cativeiro (Domínguez e Botella, 2014). Atualmente o mercado movimenta bilhões de dólares ao redor do mundo com crescimento constante ao longo dos anos (Pouil et al., 2019). Infelizmente grande parte deste mercado ainda depende da coleta de exemplares na natureza, com significativos impactos ambientais (Schwerdtner et al., 2014). Entretanto, a criação de peixes ornamentais em cativeiro começa a mudar este panorama, além de promover o desenvolvimento de um segmento da economia que permite a inclusão social e melhoria dos indicadores econômicos (Kodama et al., 2013). A criação de peixes ornamentais pode ser realizada com baixa inversão de capital e apresenta um interessante retorno econômico, permitindo sua adoção por populações vulneráveis e servindo de instrumento para políticas públicas de inclusão social (Nightingale et al., 2017). Avalia-se que este setor possa contribuir para o desenvolvimento econômico nos países subdesenvolvidos, especialmente nas regiões tropicais.

Uma espécie de peixe para ser classificada como ornamental deve possuir características distintas tais como formatos diferenciados e coloração destacada. A questão da coloração se torna determinante, sendo o atrativo gerador de maior demanda para uma determinada espécie. A ausência de tonalidade intensa nos organismos ornamentais comercializados pode influenciar no preço e na aceitação, onde o consumidor pode associar a cor do animal a padrões de saúde (Daniel et al., 2017). Além da importância para o valor de mercado dos peixes ornamentais, a pigmentação da pele também é importante como sinal de aptidão para o acasalamento, como relatado por Clotfelter et al. (2007), que observaram preferência de fêmeas de *Betta splendens* para o acasalamento com machos vermelhos em relação aos azuis. A pigmentação da pele também atua como sinalização durante interações sociais como agressão e submissão entre os peixes. Consequentemente, a cor como valor estético dos peixes ornamentais afeta significativamente seu valor econômico.

Materiais e métodos

A presente revisão foi elaborada através de pesquisa literária e compilação de dados de artigos referentes ao tema do uso de carotenoides em peixes ornamentais e perspectivas através de experiências do uso de tais produtos na rotina profissional. Foram revisionados artigos de 15 a 20 anos até os mais atuais, em sites acadêmicos, científicos, revista científicas e instituições de pesquisas com atenção para o tema de pigmentação em peixes para ornamentais e para consumo, visando assim uma atualização sobre o assunto para melhor entendimento sobre o como está prosseguindo as pesquisas na utilização de carotenóides.

Pigmentação na aquicultura

Quando falamos em coloração nos referimos a percepção limitada delas que os humanos possuem, porém existem estudos comprovando que alguns animais possuem visão capaz de captar comprimentos de ondas como ultravioleta, por exemplo. Para os organismos aquáticos as cores apresentam várias funções tais como a camuflagem (proteção e método para caça) e comunicação (na época da reprodução), com isso os peixes se adaptaram para perceber as cores dos outros indivíduos de acordo com o ambiente que vivem (Yasir e Qin, 2009).

A coloração é um dos principais fatores que determinam o valor de mercado dos peixes ornamentais. Um dos desafios na aquicultura ornamental consiste em obter peixes com cores intensas. O peixe-palhaço (*Amphiprion ocellaris*) tende a perder o brilho de sua coloração em cativeiro devido à falta de alimentação adequada. Este é um dos fatores que contribuem para a dependência dos exemplares capturados na natureza para satisfazer as exigências do mercado. Portanto, o valor dos peixes ornamentais está fortemente relacionado com a sua coloração (Nhan et al., 2019). As cores dos peixes dependem predominantemente da presença de células especiais no tecido, chamadas cromatóforos. Estas células estão localizadas na epiderme que contêm pigmentos que refletem a luz (Yasir e Qin, 2009). Existem cinco principais cromatóforos, sendo os eritróforos (cor avermelhada), xantóforos (cor amarelada), iridóforos (cor branca e prateada) e purinas (cor azul, prateada, dourada e branca) (Chatzifotis et al., 2005; Nhantini Devi et al., 2016). A coloração é controlada pelo sistema endócrino e nervoso, mas as fontes dietéticas de pigmentos também desempenham papel determinante na coloração. Os peixes ornamentais não conseguem sintetizar pigmentos carotenóides e, portanto, devem receber carotenóides em formas naturais ou sintéticas na dieta para atingir suas pigmentações (Sathyaruban et al., 2021). Os carotenóides compreendem um grupo estruturalmente diversificado de mais de 700 pigmentos orgânicos lipossolúveis que são produzidos exclusivamente em plantas, fitoplâncton,

algas, bactérias e alguns fungos (Lim et al., 2017; Jain et al., 2019). Somente plantas, bactérias, fungos e algas podem sintetizar carotenóides, sendo que os animais não podem biossintetizá-los, portanto, devem receber os carotenóides pela dieta (García-Chavarría e Lara-Flores, 2013). O pigmento carotenóide astaxantina é biossintetizado principalmente em microalgas. As microalgas são consumidas por crustáceos, zooplâncton ou insetos. Estes grupos acumulam a astaxantina e, por sua vez, ao servir de alimento para outras espécies, transferem os carotenóides para níveis tróficos mais elevados (Gupta et al. 2007; Lim et al., 2017).

Os carotenóides são absorvidos nas dietas animais, às vezes transformados em outros carotenóides e incorporados em vários tecidos (Ezhil et al., 2008). As fontes naturais de carotenóides mais utilizadas em rações para peixes são a farinha de crustáceos, farinha de Krill, espirulina, flores de margaridas (*Tagetes erectus*), milho, glúten de milho, pimentas vermelhas e algumas leveduras (Zuanon et al., 2011). Os carotenóides mais comumente utilizados são a astaxantina, zeaxantina, xantofilas, luteína, α - e β -caroteno, taraxantina e atumantina (Velasco-Santamaría e Corredor-Santamaría, 2011). A luteína, a zeaxantina e a astaxantina estão entre os mais potentes carotenóides testados para coloração em peixes, sendo fabricados sinteticamente e disponibilizados comercialmente (Torrissen et al., 1995). Existem vários tipos de carotenóides com finalidades distintas na produção de peixes ornamentais. Por exemplo, sabe-se que o grupo da luteína, atunaxantina e doradexantina realça a cor amarela dos animais aquáticos. O β -caroteno, a zeaxantina e a cantaxantina ajudam a enriquecer a tonalidade alaranjada, enquanto os outros grupos como a astaxantina são responsáveis pela intensificação da cor vermelha. Neste aspecto, dietas deficientes em carotenóides causam diminuição da pigmentação da pele e conseqüente diminuição do valor do mercado dos peixes ornamentais (Zuanon et al., 2011). No caso de crustáceos ornamentais isto também pode ocorrer. A astaxantina e o β -caroteno promoveram a elevação da sobrevivência e o incremento no crescimento, além de melhorarem a pigmentação dos ovos do camarão-bailarino *Lysemata wurdemanni* (Diaz-Jimenez et al., 2019). Paralelamente, os carotenóides são importantes como agentes antioxidantes, imunorreguladores, existindo evidências que elevam a resistência às enfermidades (Dominguez et al., 2005). Carotenóides apresentam grande variedade de funções, incluindo ação antioxidante, indutor da atividade da pró-vitamina A, melhorar a resposta imune, além de incrementar o crescimento, maturação e fotoproteção (Sinha e Asimi, 2007). Em termos de resposta imune, foi observada diminuição das atividades da superóxido dismutase (SOD), glutathione peroxidase (GTP), aspartato e alanina transaminase com o aumento da concentração de carotenóides na dieta, sugerindo uma possível capacidade antioxidante e proteção hepática (Wang et al., 2006). Por outro lado, existe uma controvérsia sobre o papel dos carotenóides no crescimento dos peixes, sendo que vários estudos

relatam uma influência positiva, enquanto outros não encontraram qualquer efeito (García-Chavarría e Lara-Flores, 2013).

Os carotenóides são sensíveis à luz, calor, oxigênio, oxidantes, enzimas, ácidos e bases. Por ocasião da inclusão nas dietas, os carotenóides podem ser extremamente instáveis e, portanto, seu efeito pigmentante pode ser reduzido em função da composição, do tipo de processamento e das condições de armazenamento das rações (Meyers e Latscha, 1997).

Carotenóides sintéticos

Carotenóides como astaxantina (cor vermelha), cantaxantina (cor laranja), atumantina, doradexantina, taraxantina (cor amarela), b-caroteno, luteína (cor amarelo esverdeado) e zeaxantina (amarelo-laranja) são comumente aplicados na alimentação de peixes ornamentais. No entanto, a astaxantina e a cantaxantina são consideradas os carotenóides mais eficazes e amplamente utilizados na aquicultura para melhorar a coloração (Gupta et al., 2007). A microalga *Haematococcus pluvialis* possui elevado teor de astaxantina (1,5 a 3,0% matéria seca). Por outro lado, formas sintéticas de astaxantina e cantaxantina podem ser sintetizadas artificialmente, gerando produtos quimicamente estáveis (Dananjaya et al., 2017). A astaxantina pertence à mesma família das moléculas de carotenóides com cor o amarelo/laranja. Difere do beta-caroteno em que a sua estrutura molecular contém dois grupos adicionais de oxigênio em cada estrutura de anel. Outra diferença é que, ao contrário de beta-caroteno, astaxantina pode não ser convertido em vitamina A (retinol) no organismo humano (Liao et al., 2009).

A cantaxantina, produzida pela cianobactéria *Spirulina*, é empregada na indústria avícola para incorporar cor alaranjada na pele do frango e na gema do ovo (Breithaupt, 2007). A cantaxantina, em menor grau, também desempenha um papel importante na suplementação de carotenóides, pois é reconhecida como pigmento seguro e eficaz (Manikandan et. al., 2020).

Astaxantina é o carotenóide mais utilizado mundialmente na aquicultura ornamental (Zuanon et al., 2011). Na aquicultura de peixes destinados ao consumo humano, a suplementação de astaxantina na dieta representa 15-20% do custo total da alimentação, ou 6-8% do custo total de produção para o salmão do Atlântico (Torrissen, 1995). A produção comercial de astaxantina é dominada pela astaxantina sintética (>95%) devido aos custos de produção mais baixos (aproximadamente US\$ 1.000/kg) em comparação com a alternativa de microalgas (<1%). DSM (Dutch State Mines) e BASF (Baden Aniline and Soda Factory) são os principais fabricantes globais de astaxantina sintética (Lim et al., 2017).

A suplementação de astaxantina visando a intensificação da coloração vêm sendo comumente utilizada em dietas para organismos aquáticos ornamentais (Pan e Chien, 2009). Na maioria dos estudos em que os autores avaliaram fontes e níveis de inclusão de carotenoides em dietas para peixes ornamentais, a astaxantina foi o pigmento mais eficiente na pigmentação da pele (García-Chavarría e Lara-Flores, 2013). A astaxantina e a cantaxantina têm melhor absorção em peixes dourados (*Carassius auratus*) em comparação com a luteína, zeaxantina, isozeaxantina e beta-caroteno (Nurhadi et al., 2019). Peixes dourados apresentaram pigmentação vermelha mais intensificada quando submetidos a uma dosagem de 37 mg astaxantina/kg dieta por um período de 28 dias (Paripatananont et al., 1999). Estes mesmos autores não observaram influência no ganho de peso, mas a sobrevivência dos peixes submetidos à astaxantina foi mais elevada, sendo creditado este resultado aos efeitos oxidantes da astaxantina em relação ao sistema imune.

A inclusão de astaxantina aumenta significativamente o sucesso reprodutivo dos peixes e melhora a saúde em ambientes de aquicultura, ganhando o apelido de “super vitamina E” devido a sua excepcional capacidade de eliminação de radicais livres, que superam as de outros carotenóides, incluindo β -caroteno, cantaxantina, luteína e zeaxantina, bem como vitaminas C e E. Outros benefícios vão desde o reforço da pigmentação e do suporte imunitário até à redução do estresse e à melhoria dos resultados reprodutivos, alinhando-se com os objetivos econômicos e ecológicos (Shastak et. al., 2023).

Considerando a valorização da cor vermelha nos peixes dourados, a espécie foi submetida a diferentes dosagens de astaxantina na dieta (0, 10, 20, 40, 60 e 80 mg/kg dieta) por um período de 60 dias (Xu et al., 2006). Foi observado que a deposição de carotenóides nos peixes dourados foi afetada pela dosagem de astaxantina na dieta, entretanto, não foram observadas diferenças para o crescimento ou sobrevivência. A suplementação dietética de Carophyll pink/astaxantina, a 50 ou 80 mg/kg por 6 meses ou a 50 mg/kg por 3 meses, seguida de 80 mg/kg por 3 meses), incrementou a cor da pele em red porgy (*Pagrus pagrus*) devido ao aumento da cromaticidade da vermelhidão/esverdeamento (Nogueira et al., 2021). A concentração de pigmento vermelho aumentou na epiderme (31,0%), escamas (45,5%), cabeça (22,6%) e nadadeira (21,2%), respectivamente. A incorporação de 1% do extrato de astaxantina em uma ração formulada para peixes ornamentais, juntamente com 1% de óleo de soja, melhorou significativamente a coloração e a saúde dos peixes dourados após 10 dias do início da dieta (Weeratunge e Perera, 2016). Em outro estudo, peixes dourados foram alimentados com três dietas (controle, astaxantina - carofila rosa 100 mg/kg e cantaxantina - carofila vermelha 100 mg/kg) por 30 dias para determinar os efeitos da astaxantina e da cantaxantina no incremento da cor, no crescimento e na sobrevivência (Nurhadi et al., 2019). Os resultados não apresentaram diferenças

significativas para nenhum parâmetro de desempenho produtivo, entretanto, ambos os pigmentos promoveram incremento da coloração dos peixes. O espadinha *Xiphophorus helleri* apresentou coloração intensificada quando submetido a dieta enriquecida com 1.5% *Spirulina platensis* e 1% *Haematococcus pluvialis*/kg (Ako et al., 2000). Demonstrando a eficiência da suplementação deste pigmento, peixes palhaço *Amphiprion ocellaris* foram submetidos a uma dieta com distintos níveis de astaxantina (0, 150, 250, 400, 640 e 1020 mg) por sete semanas (Ho et al., 2013a). O melhor resultado foi obtido com 400 mg astaxantina por kg da dieta. Utilizando diferentes concentrações de astaxantina na dieta (23; 214; 2350 mg/kg ração) por 115 dias, em peixes palhaço *Premnas biaculeatus* foi observado diferenças significativas no tamanho dos grânulos de carotenóides com diâmetros maiores no tratamento com maior dosagem de astaxantina (Ho et al., 2013b). Os autores recomendaram concentração de astaxantina de 214 mg conforme coloração adequada para elevação do valor comercial. Resultados similares foram obtidos para outra espécie de peixe palhaço, *Amphiprion ocellaris*, indicando uma concentração ideal de astaxantina na dieta de 270mg/kg (Seyedi et al., 2013). Em ambos os estudos não foi observado efeito da astaxantina sobre o desempenho produtivo dos peixes.

Estudos indicam a possibilidade de utilizar astaxantina para incrementar a pigmentação e o desempenho produtivo de camarões ornamentais. A inclusão de 1% de astaxantina na dieta do camarão bailarino *Lysmata wurdemanni* melhorou a sobrevivência e o crescimento e promoveu maior qualidade dos ovos férteis. Contudo, a incorporação de outros pigmentos como o β -caroteno também pode ser útil quando utilizado em níveis acima de 1% (Diaz-Jimenez et al., 2019).

Existe uma relação direta entre a elevação das doses de astaxantina e o incremento da pigmentação. Utilizando astaxantina na dieta por 28 dias visando incrementar a pigmentação do acará-bandeira *Pterophyllum scalare*, foi observado que as mudanças de cor estavam diretamente relacionadas ao aumento dos níveis de inclusão de astaxantina (Kouba et al., 2013). A adição de astaxantina não afetou a taxa de crescimento do acará bandeira. Incremento significativo da pigmentação em nishikigois (*Cyprinus carpio*) variedade showa (que são de cor preta com manchas vermelhas e manchas brancas espalhadas pelo corpo) foi obtida após 99 dias utilizando dieta contendo 1.5 g/kg Carophyll® red (DSM Nutritional Products Ltd.) (Sun et al., 2011). Comercialmente, entretanto, os fabricantes de dietas para peixes ornamentais incorporam apenas 25 mg astaxantina/kg nas dietas comerciais (Ako et al., 2000). Isto se deve ao fato de que o Carophyll Pink (8% astaxantina) custar US\$ 302,00/kg, com impostos inclusos e quando adquirido em escala industrial. Ou seja, o preço do princípio ativo astaxantina é de cerca de US\$

3.775,00/kg. Isto demonstra o efeito deste componente nas dietas para peixes ornamentais. Portanto, em função do alto custo da astaxantina, é preciso avaliar diferentes fontes naturais de carotenóides como substitutivo da astaxantina.

Pigmentos naturais

Uma vez que os carotenóides sintéticos apresentam custo elevado, com sua utilização limitada na formulação de dietas para peixes ornamentais, existe a necessidade de se ampliar os estudos para a inclusão de carotenóides naturais na procura pelo incremento da coloração dos peixes ornamentais (Gubta et al., 2007). Configurações de variáveis ambientais ótimas, como cor do tanque, intensidade da luz, fontes de luz ou cor e fotoperíodo, são considerações importantes (Lau et al., 2023). Poucos estudos, entretanto, demonstraram o efeito dos carotenóides naturais no crescimento, sobrevivência, incremento da coloração e sobre as respostas antioxidantes em peixes ornamentais.

Urucum

O urucum *Bixa orellana* é uma planta com distribuição ao longo da América Central e América do Sul. Apresenta-se como um arbusto perene, variando de 2 a 5 metros de altura. Produz um fruto vermelho não comestível contendo cerca de 50 sementes vermelhas. Muito utilizada pelas comunidades indígenas com o intuito de pigmentar a pele com a cor vermelha, a palavra urucum é originada da palavra “uru-ku” que tem origem na língua indígena tupi. O Brasil se destaca como o maior produtor mundial de urucum (Tocchini e Mercadante, 2001). O sudeste do Brasil, notadamente o estado de São Paulo detém 28% da produção nacional sendo que 90% de todo corante consumido pelo Brasil provém do urucum (Fries et al., 2014). O extrato de sementes de urucum é caracterizado por alto teor de pigmentos vermelhos com alto coeficiente de absorção na parte visível do espectro solar (Dananjaya et al., 2019). Os carotenóides bixina e norbixina são encontrados na semente do urucum (Demezuk e Ribani, 2015). A bixina é o carotenóide majoritário (cerca de 80%) sendo lipossolúvel e a norbixina está presente em menor quantidade sendo hidrossolúvel (Scotter et al., 1998). A quantidade total de carotenóides nas sementes de urucum foi relatada em cerca de 4,5–5,5% do peso da semente (Giridhar et al., 2014). Os pericarpos da semente de urucum contêm alta concentração de carotenóides, sendo que a bixina representa entre 70 e 80% da massa total desses carotenóides (Gomezortiz et al., 2010).

Diversos trabalhos demonstraram a eficiência da utilização de sementes de urucum na alimentação animal (Carvalho et al., 2009; Ofusu et al., 2010; Valério et al., 2015). O principal tema abordado tem sido a alimentação de aves com o objetivo de incrementar a coloração das gemas de ovos. A coloração da gema do ovo é um critério de qualidade importante e é resultado do consumo de pigmentos carotenóides que não podem ser sintetizados pelas aves e, portanto, devem ser incorporados nas dietas. Entretanto, poucos estudos abordaram a utilização do urucum para pigmentação em peixes ornamentais. A adição, por 156 dias, de 1,0% de urucum na dieta proporcionou melhor desempenho produtivo (peso final, ganho de peso, conversão alimentar aparente, taxa de crescimento diário e eficiência alimentar) enquanto a adição de 1,0 a 4,0% proporcionou incremento na pigmentação de peixes dourados (Fries et al., 2014). Resultado similares foram obtidos para a mesma espécie utilizando bixina natural purificada de sementes de urucum. Os resultados demonstram que a bixina pode ser utilizada com sucesso como fonte alternativa de carotenóide natural contra a astaxantina sintética na alimentação de peixes ornamentais. O estudo indicou que 0,20 g/kg de dieta é um nível dietético adequado de bixina para garantir incremento de coloração em peixes dourados (Dananjaya et al., 2017). No entanto, a dieta contendo 0,60 g/kg de bixina apresentou menor taxa de crescimento específico e maior taxa de conversão alimentar em comparação ao grupo controle. A inclusão de 200-250 mg de urucum/kg de dieta para peixes dourados comprovou ser o nível mais eficaz na pigmentação proporcionando, paralelamente, maior taxa de sobrevivência. Neste sentido, o urucum pode ser recomendado como uma alternativa à utilização de carotenóides sintéticos visando intensificar a coloração do peixe dourado (Dananjaya et al., 2019). Entretanto, bixina em níveis elevados na dieta reduziu o consumo de ração devido a menor atratividade alimentar, além de reduzir a intensidade da coloração amarela em *Colisa laila* (Rezende et al., 2010).

Curcuma

O extrato do rizoma da cúrcuma *Curcuma longa* destaca-se como fonte natural de pigmentos amarelo-alaranjados, principalmente a curcumina e seus derivados (desmetoxicurcumina e bisdesmetoxicurcumina) sendo produzidos pela cristalização da oleoresina (Mata et al., 2004). O pó do rizoma de cúrcuma tem ampla disponibilidade no mercado considerando seu uso tradicional, principalmente como condimento (Mesa et al., 2000). A cúrcuma apresenta potencial para pigmentação da pele em peixes ornamentais devido aos seus pigmentos amarelo-laranja (Mukherjee et al., 2009). Avaliando diferentes níveis de inclusão de curcuma (0, 15, 30, 45, 50 e 100mg/50g) em dietas para guppys *Poecilia reticulata*, foi observado efeito positivo sobre a taxa de crescimento específico, taxa de eficiência alimentar e coloração da cauda

utilizando 45 mg curcuma/50 g de dieta. No entanto, a inclusão de cúrcuma (0.0, 1.0, 5.0, 10.0, and 25.0 g kg⁻¹ de rizoma de açafrão em pó) não atuou como promotor de crescimento ou redutor de estresse para trigogaster *Trichogaster labiosa* e não incrementou o padrão laranja da pigmentação da pele desta espécie (Nascimento et al., 2019). Os autores explicaram que a cúrcuma não foi eficiente na pigmentação laranja e pode ser possível que na ausência de pigmentação adequada dos cromatóforos laranja (xantóforos e eritróforos), tenham se destacado os cromatóforos subjacentes com pigmentos ciano (cianóforos).

Páprica

A páprica (*Capsicum annum*), rica em carotenóides, pode ser considerada uma fonte alternativa de pigmentos naturais. Zeaxantina, capsorubina e capsantina são os principais constituintes da fração carotenóide encontrada na páprica (Taufik et al., 2015). A incorporação de 10g/kg dieta promoveu intensificação da pigmentação vermelha no ciclideo Flowerhorn (*Cichlasoma* sp.) (Azimi et al., 2014). Os melhores resultados para incremento da coloração vermelha foram obtidos com a inclusão de paprika na dosagem de 12 mg/kg para nishikigois da variedade kohaku (Taufik et al., 2015). A suplementação da dieta com páprica para carpa *Cyprinus carpio* e peixes dourados resultou em incremento na coloração vermelha dos peixes (Hancz et al., 2003). Porém, nos peixes que consumiram as dietas com níveis mais altos de páprica (171 mg/kg), os autores observaram redução no crescimento e no consumo de ração. Entretanto, nem sempre a suplementação com páprica resulta em depressão no desempenho zootécnico. Avaliando a suplementação de páprica como fonte natural de carotenóides em dietas para acará severo *Cichlasoma severum* (50 mg de pigmentos totais/kg), foi observado que a elevação no nível de carotenóides na dieta não resultou em piora significativa no crescimento e na eficiência alimentar (Kop et al., 2010). Em outro trabalho, foi observado incremento na pigmentação vermelha quando utilizada a dosagem de 8 mg páprica/kg dieta por 56 dias mas não foi identificado prejuízos ao desempenho produtivo quando *Zacco platypus* recebeu dieta suplementada com páprica (Lee et al., 2010). Utilizando 180 mg páprica/kg na dieta de peixes dourados, foi observado incremento da pigmentação vermelha, não sendo encontradas diferenças para peso final médio, ganho de peso ou taxa de crescimento específica (Yeşilayer et al., 2011). Estes resultados comprovam que a inclusão de páprica pode ser uma fonte de carotenóides tão eficaz quanto a cantaxantina e a astaxantina. A páprica também foi avaliada para peixes marinhos. Os resultados sugerem que a inclusão dietética de páprica em uma concentração de aproximadamente 100 mg/kg de carotenóide poderia elevar a quantidade de carotenóide nos

cromatóforos, as atividades antioxidantes e a pigmentação do linguado *Paralichthys olivaceus* tão eficientemente quanto a astaxantina (Pham et al., 2014).

Margarida *Tagetes erecta* e Hibisco *Hibiscus rosasinensis*

As pétalas de margaridas são baratas, frequentemente disponíveis e ricas em pigmentos carotenóides e podem ser consideradas uma alternativa de pigmento aos carotenóides sintéticos (Jorjani et al., 2018). Sinha e Asimi (2007) avaliaram, em peixes dourados, quatro fontes naturais de carotenóides (espirulina, hibiscos, margaridas e lactobacilos). Este estudo demonstrou que o hibisco foi mais eficaz para incrementar a pigmentação e melhorar o desenvolvimento gonadal. Em contraste, Ezhil et al. (2008) avaliaram o uso da farinha de margaridas em espadinhas por 28 dias, concluindo que esta luteína pode ser utilizada como fonte de pigmentação. Entretanto, peixes alimentados com inclusão de margaridas na dieta apresentaram pior desempenho, exibindo menores valores para taxa de crescimento final, taxa de crescimento específico (TCE) e ganho de peso diário (GPD). Resultados positivos de incremento da coloração sem prejuízos ao desempenho foram obtidos para o peixe palhaço *Amphiprion ocellaris* quando submetidos a dietas com 15 g margaridas/100g dieta ou hibiscos na mesma dosagem por 60 dias (Ramamoorthy et al., 2010). Estudo recente avaliou os efeitos de diferentes níveis de margaridas na dieta (controle, 0,5%, 1,5% e 2,5%) na pigmentação e desempenho de crescimento do gourami azul *Trichogaster trichopterus* (Jorjani et al., 2018). Não foram observadas diferenças significativas nos parâmetros zootécnicos (ganho de peso, taxa de eficiência alimentar e taxa de conversão alimentar) entre os tratamentos de margarida e tratamento controle. Os conteúdos musculares totais de carotenóides, astaxantina e cantaxantina dos peixes tratados com margaridas foram significativamente maiores que os do grupo controle. Este estudo demonstrou que a margarida pode ser considerado uma eficiente fonte natural de carotenóides para a pigmentação do gourami azul.

Carmin de cochonilha

Carmim é um termo mundialmente utilizado para o complexo formado a partir do alumínio e ácido carmínico que é o principal pigmento das cochonilhas. O termo cochonilha é empregado para descrever tanto os insetos desidratados como o corante derivado deles. São necessários 70.000 insetos secos para produzir 500 gramas de carmin com 50% de ácido carmínico. Entretanto, não foram localizados estudos com a utilização de carmin de cochonilhas para peixes ornamentais.

Jabuticaba

A jabuticaba *Myrciaria jaboticaba* é uma planta nativa do Brasil sendo que a casca dos frutos, de cor roxa, pode ser utilizada como fonte de pigmentos antociânicos, atingindo a concentração de antocianinas superior a 800 mg/100g (Silva et al., 2010). Não foram localizados estudos com a utilização de jabuticabas para peixes ornamentais.

Alfafa *Medicago sativa*

A farinha de alfafa contém 400–500 mg de carotenóides totais/kg, sendo a maioria xantofilas, como luteína e zeaxantina (Yanar et al., 2008). A utilização de alfafa foi avaliada como pigmento para peixes dourados. Este estudo indicou que 15% é um nível dietético adequado de alfafa para garantir uma boa pigmentação após 60 dias (Yanar et al., 2008). Entretanto, o incremento de alfafa na dieta resultou em prejuízos ao desempenho, com redução significativa no crescimento e na conversão alimentar.

Cenoura *Daucus carota*

A cenoura é uma das raízes ricas em carotenóides. O conteúdo total de carotenóides na porção comestível da raiz da cenoura varia de 6-55 mg/100g com b-caroteno (44-79% do total de carotenóides) como componente principal (Holland et al., 1991). A cenoura se destaca como fonte natural de pigmentos vegetais, proporcionando carotenóides, juntamente com vários outros componentes funcionais com propriedades significativas de promoção da saúde (Sharma et al., 2012). Utilizando 5% de incorporação de farinha de cenoura na dieta de nishikigoi, foram obtidos melhores resultados para pigmentação e incremento do desempenho produtivo (Jain et al., 2019). A inclusão de cenoura resultou em crescimento significativamente maior em comparação com pimenta (ambas fornecendo 60 mg/kg de pigmento total) no crescimento do acará jóia *Hemichromis bimaculatus* (Mirzaee et al., 2013). A comparação da cenoura com três fontes de pigmentos de flores, margaridas, hibiscus, e pétala de rosa (*Rosa cinensis*) também revelou que a cenoura proporcionou resultados superiores para teores de carotenóides na pele e músculo dos nishikigois (Ramamoorthy et al., 2010). Conseqüentemente, a farinha de cenoura pode ser incluída na dieta de nishikigois no nível de 5%, tanto como intensificador de cor quanto como promotor de crescimento (Jain et al., 2019). Outro estudo também corroborou a inclusão de farinha de cenoura. O ciclídeo *Heros severus* apresentou intensificação de coloração quando submetido a dieta com inclusão de beterraba e cenoura (Castro-Castellón et al., 2023).

Flor de Calêndula

Os efeitos de fontes naturais de carotenóides derivados de plantas na coloração corporal e no desempenho de crescimento de peixes corroboram com a crescente utilização de flores de calêndula em dietas como ferramentas úteis para aumentar o desempenho de crescimento e a coloração da cauda em espadinhas (Rana et. al.,2023).

Macroalgas

A alga marrom, *Sargassum wightii* (Greville, 1848) é marrom-escura e contém pigmento fucoxantina. A alga vermelha, *Gracilaria corticata* (Agardh, 1852) é de cor avermelhada ou arroxeada. Contém uma variedade de pigmentos, incluindo clorofila a, ficobiliproteínas, ficoeritrina vermelha, ficocianina azul, carotenos, luteína e zeaxantina (Nanthini Devi et al., 2106). Nesta revisão foi localizado apenas um estudo com peixe-palhaço, *Amphiprion ocellaris*, utilizando macroalgas como fontes de carotenoids. Foram utilizadas duas espécies de algas marinhas, *Sargassum wightii* e *Gracilaria corticata* comparativamente com a astaxantina (Nanthini Devi et al., 2106). Os resultados demonstraram que o extrato pigmentar de algas vermelhas e marrons exibiu efeitos tóxicos e, além disso, apresentou menor teor de pigmentos nos cromatóforos da espécie, comparativamente a utilização de astaxantina.

Discussão e Perspectivas

Grande parte da percepção dos sentidos dos seres humanos é realizada pela visão. É inegável o efeito que as cores dos peixes ornamentais exercem sobre o público consumidor deste segmento. Por outro lado, existe um consenso sobre a importância do bem estar animal e a preocupação com a utilização de produtos naturais, que não tragam malefícios aos organismos produzidos. Neste aspecto, a utilização de pigmentos orgânicos naturais, obtidos de maneira sustentável pode ser um dos grandes diferenciais desta cadeia produtiva.

Esforços são necessários para identificar novos tipos de pigmentos carotenóides e desenvolver métodos adequados de extração de carotenóides em produtos naturais (Sathyaruban et al., 2021). Nesta linha de investigação, estudos tem demonstrado a viabilidade de novas metodologias de avaliação da pigmentação em peixes. Em recente estudo, foi demonstrado a existência de correlação entre a coloração de zonas específicas do corpo do macho *Nothobranchius guentheri* e a idade, usando novos métodos de fotofixação e software de processamento de imagem (Nikiforov-Nikishin et al., 2022). Estes autores apontam que esta metodologia pode ser aplicada a outros peixes com padrões de coloração únicos, por exemplo, os integrantes da família Cichlidae e ordem Cyprinodontiformes. Estes avanços comprovam a promissora linha de investigação para utilização de carotenoides vegetais na dieta de peixes ornamentais.

AGRADECIMENTOS

Agradeço à minha filha Flora e meus filhos Martin e Leo por me inspirarem na insistência dos estudos e tão pequenos entenderem minha vontade e persistência na vida acadêmica ... À minha esposa Laura pelo incentivo e paciência, proporcionando estímulo pela continuidade deste ... À minha mãe Caecília e meu pai José Luiz, já em memória, que desde sempre incentivaram leitura e estudos e que ainda hoje me dão forças para continuar em tudo o que almejo ... Às minhas irmãs Lara e Nara e todos aos amigos e familiares que sempre acreditaram, me apoiaram e fortaleceram minhas ideias ... Ao Professor Eduardo Sanches pela oportunidade, parceria, dedicação, confiança e experiência repassada ... e por fim, ao CNPQ – Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico pelo apoio e amparo à pesquisa e ao Instituto de Pesca pela oportunidade e continuidade dos estudos.

Referências

- Adeljean L. F. C. Ho, Shaobing Zong, and Junda Lin. 2014. Skin color retention after dietary carotenoid deprivation and dominance mediated skin coloration in clown anemonefish, *Amphiprion ocellaris*. *AACL Bioflux*, 7(2):103-115
- Ako, H.; Tamaru, C.S.; Asano, L.; Yuen, B.; Yamamoto, M. 2000. Achieving natural coloration of fish under culture. UJNR Technical Report, 28.
- Azimi, A.; Imanpoor, M.R.; Maleknejad, R.; Shokrollahi, S. 2014. Effects of natural (red bell pepper & tomato) and synthetic (astaxanthin & b-carotene) pigments on flower horn fish (*cichlasoma* sp.) blood parameters. *International Journal of Advanced Biological and Biomedical Research*, 2: 2761-2767.
- Bastos, D.N.; Freccia, A., Sousa, S.M..N., Graça, W.J.; Meurer, F.; Bombardelli, R.A.; 2013. Hipervitaminose induzida pela suplementação de vitamina A em rações para pós-larvas de tilápia do Nilo Semina: Ciências Agrárias, vol. 34, núm. 5, septiembre-octubre, 2013, pp. 2465- 2472 Universidade Estadual de Londrina Londrina, Brasil.
- Breithaupt, D.E. 2007. Modern Application of xanthophylls in animal feeding: a review. *Trends in Food Science and Technology*, 18: 501–506.
- Castro-Castellón, A.E.; Monroy-Dosta, M.C.; Castro-Mejía, J.; Castro-Mejía, G.; López-García, E.; Martínez-Meingüer, A.M. 2023. Evaluation of growth development and pigmentation of *Heros severus* cultured in a biofloc system with enriched pigment diets. *Latin American Journal of Aquatic Research*, 51: 88-97. [https:// doi.org/10.3856/vol51-issue1-fulltext-2935](https://doi.org/10.3856/vol51-issue1-fulltext-2935)
- Carvalho, P.R.; Cipolli, K.M.V.A.B., Ormenese, R.C.S.C.; Carvalho, P.R.N.; Silva, M.G. 2009. Supplementation carotenoid compounds derived from seed integral ground annatto (*Bixa orellana* L.) in the feed laying henbs to produce eggs special. *Pakistan Journal Nutrition*, 8: 1906-1909.
- Chatzifotis, S.; Pavlidis, M.; Jimeno, C.D.; Vardanis, G.; Sterioti, A.; Divanach, P. 2005. The effect of different carotenoid sources on skin coloration of cultured red porgy (*Pagrus pagrus*). *Aquaculture Research*, 36: 1517-1525.
- Clotfelter, E.D.; Ardia, D.R.; McGraw, K.J. 2007. Red fish, blue fish: trade-offs between pigmentation and immunity in *Betta splendens*. *Behavioral Ecology*, 18: 1139-1145.

- Coutinho VF, Mendes RB, Rogero MM. Bioquímica e metabolismo de proteínas e aminoácidos. In: Silva SMCS, Mura JDP. Tratado de alimentação, nutrição e dietoterapia. 2ª ed. São Paulo: Roca; 2010.
- Dananjaya, S.H.S.; Munasinghe, D.M.S.; Ariyaratne, H.B.S.; Lee, J.; Zoysa, M. 2017. Natural bixin as a potential carotenoid for enhancing pigmentation and colour in goldfish (*Carassius auratus*). *Aquaculture Nutrition*, 23: 255-263.
- Dananjaya, S.H.S.; Prabuddha Manjula, A. S.; Dissanayake, M.; Edussuriya, K.; Radampola, B. K. P.; Mahanama, D. Z. 2019. Growth performance and color enhancement of goldfish, *Carassius auratus*, fed diets containing natural dyes extracted from annatto (*Bixa orellana*) seeds. *Journal of Applied Aquaculture*, <https://doi.org/10.1080/10454438.2019.1629371>
- Daniel, N.; Sivaramakrishnan, T.; Subramaniyan, S.; Faizullah, M.M.; Fernando, H. 2017. Application of carotenoids on coloration of aquatic animals. *International Journal of Fisheries and Aquatic Research*, 2: 1-7.
- Demczuk, J.R.; Ribani, R.H. 2015. Atualidades sobre a química e a utilização do urucum (*Bixa orellana* L.). *Revista Brasileira de Pesquisa em Alimentos*, 6: 37-50.
- Dey, V.K. 2016. The global trade in ornamental fish. *Infofish International*, 4: 52-55.
- Díaz-Jiménez, L.; Hernández-Vergara, M.P.; Pérez-Rostro, C.I.; Ortega-Clemente, L.A. 2019. The effect of astaxanthin and β -carotene inclusion in diets for growth, reproduction and pigmentation of the peppermint shrimp *Lysmata wurdemanni*. *Latin American Journal of Aquatic Research*, 47: 559-567.
- Dominguez, A.; Ferreira, M.; Coutinho, P.; Fabregas, J.; Otero, A. 2005. Delivery of astaxanthin from *Haematococcus pluvialis* to the aquaculture food chain. *Aquaculture*, 250: 424–430.
- Domínguez, L.M.; Botella, A.S. 2014. An overview of marine ornamental fish breeding as a potential support to the aquarium trade and to the conservation of natural fish populations. *International Journal Sustainable Development*, 9: 608-632.
- Ezhil, J.; Jeyanthi, C.; Narayanan, M. 2008. Effect of formulated pigmented feed on colour changes and growth of red swordtail, *Xiphophorus helleri*. *Turkish Journal of Fisheries and Aquatic Sciences*, 8: 99-101.

- Fries, E.M.; Bittarello, A.C.; Zaminhan, M.; Signor, M.; Feiden, A.; Boscolo, A.W. 2014. Urucum em dietas para alevinos de kinguios *Carassius auratus*: desempenho produtivo e pigmentação da pele. *Semina: Ciências Agrárias*, 35: 3401-3410.
- García-Chavarría, M.; Lara-Flores, M. 2013. The use of carotenoid in aquaculture. *Research Journal of Fisheries and Hydrobiology*, 8: 38-49.
- Ghosh, A.; Mahapatra, B.K.; Datta, N.C. 2003. Ornamental fish farming - successful small scale aqua business in India. *Aquaculture Asia Magazine*, 8: 14-16.
- Giridhar, P., A. Venugopalan, and R. Parimalan. 2014. A review on annatto dye extraction. analysis and processing – A food technology perspective. *Journal of Scientific Research and Reports* 3 (2):327–48. <https://doi.org/10.9734/JSRR/2014/5870>.
- Gomezortiz, N. M., I. A. V. Maldonado, A. R. Perez-Espadas, G. L. M. Rejon, J. A. Azamar Barrios, and G. Oskam. 2010. Dye-sensitized solar cells with natural dyes extracted from annatto seeds. *Solar Energy Materials and Solar Cells* 94 (1):40–44. <https://doi.org/10.1016/j.solmat.2009.05.013>.
- González, F.H.D., 2020. **Vitaminas no Metabolismo Animal**. Orientador: Sérgio Cerone da Silva – Laboratório de Análises Clínicas, Faculdade de Veterinária, UFRG, 2019.
- Gubta, S.K.; Jha, A.K.; Pal, A.K.; Venkateshwarlu, G. 2007. Use of natural carotenoids for pigmentation in fishes. *Natural Product Radiance*, 6: 46-49.
- Hancz, C.; Magyary, I.; Molnár, T.; Sato, S.; Horn, P.; Taniguchi, N. 2003. Evaluation of color intensity enhancement by paprika as feed additive in goldfish and koi carp using computer-assisted image analysis. *Fisheries Science*, 69: 1158-1161.
- Ho, A.L.F.C.; O'Shea, S.K.; Pomeroy, H.F. 2013a. Dietary esterified astaxanthin effects on color, carotenoid concentrations, and compositions of clown anemonefish, *Amphiprion ocellaris*, skin. *Aquaculture International*, 21: 361-374.
- Ho, A.L.F.C.; Bertran, N.M.O.; Lin, J. 2013b. Dietary esterified astaxanthin concentration effect on dermal coloration and chromatophore physiology in spinecheek anemonefish, *Premnas biaculeatus*. *Journal of World Aquaculture Society*, 44: 76-85.

- Holland, B.; Unwin, J.D.; Buss, D.H. 1991. Vegetables, herbs and spices: Fifth supplement to McCance and Widdowson's. The composition of foods London. Royal Society of Chemistry, Cambridge, UK.
- Horst M.A., Lajolo F.M., 2009. Biodisponibilidade de compostos bioativos de alimentos. In: Cozzolino SMF. Biodisponibilidade de Nutrientes. 3a ed. São Paulo: Manole, 2009.
- Jain, A.; Kaur, V.I. Hollyappa, S.A. 2019. Effect of dietary supplementation of carrot meal on survival, growth and pigmentation of freshwater ornamental fish, koi carp, *Cyprinus Carpio* (L.). Indian Journal of Animal Nutrition, 36: 405-413. <https://doi.org/10.5958/2231-6744.2019.00066.5>
- Jorjani, M.; Rohani, M.S.; Rostami, A.M.; Ako, H.; Hwai, A.T.S. 2018. Pigmentation and growth performance in the blue gourami, *Trichogaster trichopterus*, fed Marigold, *Calendula officinalis*, powder, a natural carotenoid source. Journal of World Aquaculture Society, 50: 789-799.
- Julia, R.O.; Andriani, Y.; Yuliadi, L.P.S. 2019. The effect of addition of butterfly pea leaf meal (*Clitoria ternatea*) in feed on the quality of color of swordtail fish head (*Xiphophorus helleri*). World News of Natural Sciences, 26: 128-137.
- Kodama, G.; Annuniação, W.F.; Sanches, E.G.; Gomes, C.H.A.M.; Tsuzuki, M.Y. 2011. Viabilidade econômica do cultivo do peixe palhaço, *Amphiprion ocellaris*, em sistema de recirculação. Boletim do Instituto de Pesca, 37: 61-72.
- Kouba, A.; Sales, J.; Sergejevová, M.; Kozák, P.; Masojídek, J. 2013. Colour intensity in angelfish (*Pterophyllum scalare*) as influenced by dietary microalgae addition. Journal of Applied Ichthyology, 29: 193-199.
- Kop, A.; Durmaz, Y.; Hekimoglu, M. 2010. Effect of natural pigment sources on colouration of Cichlid (*Cichlasoma severum* sp. Heckel, 1840). Journal of Animal and Veterinary Advances, 9(3): 566-569.
- Lau, Cher Chien, et al. "Pigmentation Enhancement Techniques during Ornamental Fish Production." REVIEWS IN FISH BIOLOGY AND FISHERIES, vol. 33, no. 4, 2023, pp. 1027-48, doi:10.1007/s11160-023-09777-4.
- Lee, C-R.; Pham, M. A.; Lee, S-M. 2010. Effects of dietary paprika and lipid levels on growth and skin pigmentation of pale chub (*Zacco platypus*). Asian-Australasian Journal of Animal Science, 23: 724-732.

- Liao, J-H.; Chen, C-S.; Maher, T.J.; Liu, C-Y.; Lin, M-H.; Wu, T-H.; Wu, S-H. 2009. Astaxanthin interacts with selenite and attenuates selenite-induced cataractogenesis. *Chemical Research in Toxicology*, 22: 518-525.
- Lim, K.C.; Yusoff, F.M.; Shariff, M.; Kamarudin, M.S. 2017. Astaxanthin as feed supplement in aquatic animals. *Reviews in Aquaculture*, 0: 1-36.
- Lima, J.P.; Lopes C.O.; Dias N.A.A.; Pereira, M.C.A.; 2012. Atividade e Biodisponibilidade dos Carotenóides no Organismo. *Revista Ciências em Saúde* v2, n 1, jan 2012.
- Manikandan, K.; Felix, N.; Prabu, E. 2020. A review on the application and effect of carotenoids with respect to canthaxanthin in the culture of fishes and crustaceans
<https://doi.org/10.22271/fish.2020.v8.i5b.2314>
- Mata, A.R.; Nelson, D.L.; Afonso, R.J.C.F.; Glória, M.B.A.; Junqueira, R.G. 2004. Identificação de compostos voláteis da cúrcuma empregando microextração por fase sólida e cromatografia gasosa acoplada à espectrometria de massas. *Ciência e Tecnologia de Alimentos*, 24: 151–157.
- Mesa, M.D.; Ramírez-Tortosa, M.C.; Aguilera, C.M.; Ramírez-Boscá, A.Y.; Gil, A. 2000. Efectos farmacológicos y nutricionales de los extractos de *Curcuma longa* y de los cucuminoides. *Ars Pharmaceutica Journal*, 41: 307-321.
- Meyers, S.P.; Latscha, T. 1997. Carotenoids. In: D'Abramo, L.R., Conklin, D.E. & Akiyama, D.M. (Eds.). *Crustacean nutrition. Advances in world aquaculture vol. 6*. World Aquaculture Society, Louisiana, pp. 164-193.
- Mirzaee, S.; Beygi, M.M.; Shabani, H.N.A. 2013. Effect of placement carrot (*Daucus carota*) and red pepper (*Capsicum annuum*) in diets on coloration of Jewel Cichlid (*Hemichromis bimaculatus*). *World Journal of Fish and Marine Science*, 5: 445-448.
- Monica, J.; Neelakantan, V.; Seenappa, D. 2019. Effect of dietary incorporation of anthocyanin pigments on the coloration and growth of orange sword tail fish (*Xiphophorus helleri*). *International Journal of Fisheries and Aquatic Studies*, 7(5): 144-149.
- Mukherjee, A.; Mandal, B.; Banerjee, S. 2009. Turmeric as a carotenoid source on pigmentation and growth of fantail guppy, *Poecilia reticulata*. *Proceedings of the Zoological Society of London*, 62: 119–123.

- Nanthini Devi, K.; Ajith Kumar, T.T.; Balasubramanian, T. 2016. Pigment deficiency correction in captive clown fish, *amphiprion ocellaris* using different carotenoid sources. *Journal of Fisheries Science*, 1: 4-11.
- Nascimento, L.S.; Reis, S.M.; Ferreira, P.M.F.; Kanashiro, M.Y.; Salaro, A.L.; Zuanon, J.A.S. 2019. Effects of *Curcuma longa* rhizome on growth, skin pigmentation, and stress tolerance after transport of *Trichogaster labiosa*. *Revista Brasileira de Zootecnia*, 48: <https://doi.org/10.1590/rbz4820160282>
- Nhan, H.T.; Minh, X.; Liew, H.J.; Hien, T.T.T.; Jha, R. 2019. Effects of natural dietary carotenoids on skin coloration of false Clownfish (*Amphiprion ocellaris* Cuvier, 1830). *Aquaculture Nutrition*, 25: 662-668.
- Nightingale Devi, M Krishnan, Ananthan PS and Nilesh Pawar. 2017. A producer company - An ideal value chain model for ornamental fish trade. *International Journal of Fisheries and Aquatic Studies*; 5: 115-120.
- Nikiforov-Nikishin, D.L.; Kochetkov, N.I.; Mikodina, E.V.; Nikiforov-Nikishin, A.L.; Simakov, Y.G.; Golovacheva, N.A.; Gorbunov, A.V.; Chebotarev, S.N.; Kirichenko, E.Y.; Zabiya, I.Y.; et al. 2022. Evaluation of Age-Dependent Changes in the Coloration of Male Killifish *Nothobranchius Guentheri* Using New Photoprocessing Methods. *Biology* 11, 205. <https://doi.org/10.3390/biology11020205>
- Nogueira, N. et al, 2021. Effect of different levels of synthetic astaxanthin on growth, skin color and lipid metabolism of commercial sized red porgy (*Pagrus pagrus*). <https://doi.org/10.1016/j.anifeedsci.2021.114916>
- Nurhadi, T.; Lili, W.; Pratama, R.I.; Kiki Haetami, K. 2019. Effects of astaxanthin and canthaxanthin addition to ranchu goldfish (*Carassius auratus*) diet related to rate of color quality enhancement. *World News of Natural Sciences*, 24: 178-183.
- Ofori, I.W.; Appiah-Nkansah, E.; Owusu, L. ; Apea-Bah, F.B. ; Oduro, I.; Ellis, W.O. 2010. Formulation of annatto feed concentrate for layers and evaluation of egg yolk color preference of consumers. *Journal of Food Biochemistry*, 34: 66-77.
- Pan, C.H.; Chien, Y.H. 2009. Effects of dietary supplementation of alga *Haematococcus pluvialis* (Flotow), synthetic astaxanthin and β -carotene on survival, growth, and pigment distribution of red devil, *Cichlasoma citrinellum* (Günther). *Aquaculture Research*, 40: 871-879.

- Paripatananont, T.; Tangtrongpaioj, J.; Sailasuta, A.; Chansue, N. 1999. Effect of astaxanthin on the pigmentation of goldfish *Carassius auratus*. *Journal of World Aquaculture Society*, 30: 454-460.
- Pham, M.A.; Byun, H-G.; Kim, K-D.; Lee, S-M. 2014. Effects of dietary carotenoid source and level on growth, skin pigmentation, antioxidant activity and chemical composition of juvenile olive flounder *Paralichthys olivaceus*. *Aquaculture*, 431: 65-72.
- Pouil, S.; Tlustý, M.F.; Rhyne, A.L.; Metian, M. 2019. Aquaculture of marine ornamental fish: overview of the production trends and the role of academia in research progress. *Reviews in Aquaculture*, 12: 1217-1230.
- Putra, D.F.; Qadri, A.; El-Rahimi, S.A.; Othman, N. 2020. Effects of Astaxanthin on The Skin Color of Green Swordtail, *Xyphophorus helleri*. *E3S Web of Conferences* 151:01065. doi.org/10.1051/e3sconf/202015101065
- Raja S., T. Babu, P. Nammalwar, C. Thomson and K. Dinesh. 2014. Potential of ornamental fish culture and marketing strategies for future prospects in India. *Int.J.Biosci.Nanosci*, 1: 119-125.
- Ramamoorthy, K.; Bhuvaneswari, S.; Sankar, G.; Sakkaravarthi, K. 2010. Proximate composition and carotenoid content of natural carotenoid sources and its colour enhancement on marine ornamental fish *Amphiprion ocellaris* (Cuvier 1880). *World Journal of Fish and Marine Sciences*, 2: 545-550.
- Rana S, Bari AA, Shimul SA, Mazed MA, Nahid SAA. Enhancement of body coloration of sword-tail fish (*Xiphophorus helleri*): Plant-derived bio-resources could be converted into a potential dietary carotenoid supplement. *Heliyon*. 2023 Apr 5;9(4).
- Rezende F. P., 2010. Intensificação da coloração em peixes ornamentais com uso de rações enriquecidas com pigmentos naturais
- Rezende, F.P.; Vidal-Júnior, M.V.; Andrade, D.R.; Mendonça, P.P.; Santos, M.V.B. 2012. Characterization of a new methodology based on the intensity of skin staining of ornamental fish with applications in nutrition. *Journal of Agricultural Science and Technology*, 2: 606-613.
- Sathyaruban, S.; Uluwaduge, D.I.; Yohi, S.; Kuganathan, S. 2021. Potential natural carotenoid sources for the colouration of ornamental fish: a review. *Aquaculture International* <https://doi.org/10.1007/s10499-021-00689-3>

- Schwerdtner Máñez K., Lorel Dandava, Werner Ekau. Fishing the last frontier: The introduction of the marine aquarium trade and its impact on local fishing communities in Papua New Guinea. *Marine Policy*, 44: 279-286.
- Scotter M.J.; Wilson, L.A.; Appleton, G.P.; Castle, L. 1998. Analysis of annatto (*Bixa orellana*) food coloring formulations. 1. determination of coloring components and colored thermal degradation products by high-performance liquid chromatography with photodiode array detection. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 46: 1031-1038.
- Seyedi, S.M.; Sharifpour, I.; Ramin, M.; Jamili, S. 2013. Effect of dietary astaxanthin on survival, growth, pigmentation clownfish, *Amphiprion ocellaris*, Cuvier. *Indian Journal of Fundamental and Applied Life Sciences*, 3: 391-395.
- Sharma, K.D., Karki, S., Thakur, N.S.; Attri, S. 2012. Chemical composition, functional properties and processing of carrot – a review. *J. Food Sci. Technol.* 49: 22-32.
- Shastak Y, Pelletier W. Captivating Colors, Crucial Roles: Astaxanthin's Antioxidant Impact on Fish Oxidative Stress and Reproductive Performance. *Animals (Basel)*. 2023 Oct 29;13(21)
- Silva, G.J.F da; Constant, P.B.L.; Figueiredo, R.W, de; Moura, S.M. 2010. Formulação e estabilidade de corantes de antocianinas extraídas das cascas de jabuticaba (*Myrciaria ssp.*). *Alimentos e Nutrição*, 21: 429-436.
- Sinha, A.; Asimi, O.A. 2007. China rose (*Hibiscus rosasinensis*) petals: a potent natural carotenoid source for goldfish (*Carassius auratus* L.). *Aquaculture Research*, 38: 1123- 1128.
- Taufik, D.T.W.; Zaelani, K.; Andayani, S. 2015. Effects of zeaxanthin extract of red paprika (*Capsicum annum*. L.) to the red skin color in kohaku koi fish (*Cyprinus carpio*). *International Journal of Biosciences*, 6: 78-84.
- Tocchini, L.; Mercadante, A.Z. 2001. Extração e determinação por CLAE de bixina e norbixina em coloríficos. *Ciência e Tecnologia de Alimentos*, 21: 310-313.
- Torrissen, O.J. 1995. Strategies for salmonid pigmentation. *Journal of Applied Ichthyology*, 11: 276-281.
- Valério, M.A.; Ramos, M.I.L.; Braga Neto, J.A.; Macedo, M.L.R. 2015. Annatto seed residue (*Bixa orellana* L.): nutritional quality. *Food Science and Technology*, 35: 326-330.

- Velasco-Santamaría, Y.; Corredor-Santamaría, W. 2011. Nutritional requirements of freshwater ornamental fish: a review. *Revista MVZ Córdoba*, 16: 2458-2469.
- Weeratunge, W.K.O.V; Perera, B.G.K. 2016. Formulation of a fish feed for goldfish with natural astaxanthin extracted from shrimp waste. *Chemistry Central Journal*, 10: 44-50.
- Yanar, M.; Erçen, Z.; Hunt, A.O.; Büyükçapar, H.M. 2008. The use of alfalfa, *Medicago sativa* as a natural carotenoid source in diets of goldfish, *Carassius auratus*. *Aquaculture*, 284: 196-200.
- Yasir, I.; Qin, G.J. 2009. Impact of Background on Color Performance of False Clownfish, *Amphiprion ocellaris*, Cuvier. *Journal of the World Aquaculture Society*, 40: 724-734.
- Yeşilayer, N.; Aral, O.; Karsli, Z.; Öz, M.; Karaçuha, A.; Yağci, F. 2011. The effects of different carotenoid sources on skin pigmentation of goldfish (*Carassius auratus*). *The Israeli Journal of Aquaculture - Bamidgeh*, 63: 523-530.
- Yeşilayer, N.; Mutlu, G.; Yıldırım, A. 2020. Effect of nettle (*Urtica* spp.), marigold (*Tagetes erecta*), alfalfa (*Medicago sativa*) extracts and synthetic xanthophyll (zeaxanthin) carotenoid supplementations into diets on skin pigmentation and growth parameters of electric yellow cichlid (*Labidochromis caeruleus*), *Aquaculture*, 520 :734964. doi.org/10.1016/j.aquaculture.2020.734964
- Yonekura L, Nagao A. Intestinal absorption of dietary carotenoids. *Mol Nutr Food Res*. 2007 Jan;51(1):107-15.
- Wang, Y.J.; Chien, Y.H.; Pan, C.H. 2006. Effects of dietary supplementation of carotenoids on survival, growth, pigmentation, and antioxidant capacity of characins, *Hyphessobrycon callistus*. *Aquaculture*, 261: 641-648.
- Xu, X.; Jin, Z.; Wang, H.; Chen, X.; Wang, C.; Yu, S. 2006. Effect of astaxanthin from *Xanthophyllomyces dendrorhous* on the pigmentation of goldfish, *Carassius auratus*. *Journal of World Aquaculture Society*, 37: 282-288.
- Zuanon, J.A.S.; Salari, A.L.; Furuya, W.M. 2011. Produção e nutrição de peixes ornamentais. *Revista Brasileira de Zootecnia*, 40: 165-174.

Considerações Finais

A coloração é um dos principais atrativos para peixes ornamentais serem comercializados, sendo também importantes indicativos da saúde e bem-estar do animal. A utilização de pigmentos na dieta, a par de possibilitar o incremento das cores em peixes ornamentais, pode elevar significativamente o custo das dietas e ainda são pouco conhecidos os malefícios que a incorporação de pigmentos sintéticos na dieta pode acarretar na saúde dos peixes a médio e longo prazo. Paralelamente, o risco de fraude por excesso de incorporação de pigmentos na dieta em peixes ornamentais e que posteriormente “perdem” esta pigmentação nos aquários dos consumidores, deve ser motivo de reflexão.

Em outra abordagem deste desafio, as fontes naturais de carotenóides e sua utilização na dieta de peixes ornamentais, podem ser uma linha de investigação científica promissora.

Produtos naturais apresentam potencial de pigmentação, já fazem parte da dieta de muitas espécies de peixes e podem ser utilizados de maneira artesanal com significativos resultados. A superdosagem é mais difícil de ocorrer, devido a redução da palatabilidade da dieta, além de trazerem efeitos mais duradouros com menor risco de problemas a médio e longo prazo.

Considerando as perspectivas observadas nesta revisão, acreditamos que exista uma expressiva possibilidade na utilização de produtos naturais na pigmentação de peixes ornamentais, reduzindo o custo e os riscos de uma dieta baseada em pigmentos sintéticos. Entretanto, existe a necessidade de incremento dos estudos para que se possa avaliar o potencial de diversos carotenóides provenientes de produtos naturais e seu efeito no incremento da coloração de peixes ornamentais.