

**UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO SUL  
FACULDADE DE AGRONOMIA  
CURSO DE ZOOTECNIA**

**FERNANDA RIBEIRO DA SILVA**

**CAROTENOIDES E A COLORAÇÃO DAS PENAS DAS AVES SILVESTRES**

Porto Alegre  
2023

FERNANDA RIBERO DA SILVA

## **CAROTENOIDES E A COLORAÇÃO DAS PENAS DAS AVES SILVESTRES**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado à Faculdade de Agronomia da Universidade Federal do Rio Grande do Sul como requisito parcial para obtenção do grau de Bacharel em Zootecnia.

Orientador: Prof. Dr. Luciano Trevizan

Porto Alegre  
2023

## RESUMO

A cor nas penas é determinada pelos pigmentos depositados nelas e pelas suas características estruturais. Os carotenoides são pigmentos vegetais presentes em vegetais, fungos e invertebrados e podem produzir a coloração amarela, laranja e vermelha. As aves não sintetizam os carotenoides, mas os obtêm por via alimentar e podem transformar metabolicamente no fígado. O objetivo desse trabalho foi verificar o que existe de informações na literatura sobre como os carotenoides da dieta influenciam as cores das penas das aves, bem como seus efeitos antioxidantes. efeitos da suplementação de carotenoides em aves silvestres. Foi realizada uma revisão da literatura na base de dados *Web of Science* entre os anos de 2013 e 2023 através da metodologia PICO. Obteve-se cinco estudos seguindo o diagrama de fluxo PRISMA. Todos os trabalhos suplementaram carotenoides na dieta de aves silvestres em ambientes controlados. Quatro trabalhos capturaram animais de vida livre e um trabalho suplementou os animais em ambiente natural, já que foram instaladas caixas-ninho. Destes cinco trabalhos, três induziram estresse oxidativo, um deles através de Paraquat, substância herbicida na água de beber, outro trabalho utilizou fito hemaglutinina para provocar edema na asa e um terceiro induziu através do arranque de penas. Esses três trabalhos verificaram os potenciais antioxidantes dos carotenoides. Os demais trabalhos avaliaram como os carotenoides aproveitados e suas interações com macronutrientes. Os carotenoides usados foram a luteína, a zeaxantina e o  $\beta$ -caroteno. As vias de administração foram via oral, na água de beber, no alimento sólido ou direto no bico das aves. Os animais nos experimentos aumentaram as concentrações de carotenoides no sangue e mostraram mudança na coloração das penas. O efeito antioxidante dos carotenoides nos trabalhos não foi claro e a justificativa pode estar na dose utilizada ou múltiplos fatores ambientais envolvidos. Também é importante que os níveis de macronutriente sejam avaliados em conjunto, já que os carotenoides dependem da via dos lipídios para serem transportados. Portanto, há necessidade de estudos direcionados para características de espécies específicas para determinar como os carotenoides podem atuar nos sistemas antioxidantes e influenciar na coloração das penas.

**Palavras-chave:** aves silvestres, carotenoides, pigmentos carotenoides, estresse

**Abstract** The color in feathers is determined by the pigments deposited in them and their structural characteristics. Carotenoids are plant pigments present in plants, fungi and invertebrates and can produce yellow, orange and red color. Birds do not synthesize carotenoids, but obtain them through food and can transform them metabolically in the liver. The objective of this work was to verify what information exists in the literature about how dietary carotenoids influence the colors of bird feathers, as well as their antioxidant effects. effects of carotenoid supplementation in wild birds. A literature review was carried out in the Web of Science database between the years 2013 and 2023 using the PICO methodology. Five studies were obtained following the PRISMA flow diagram. All studies supplemented carotenoids in the diet of wild birds in controlled environments. Four works captured free-ranging animals and one work supplemented the animals in a natural environment, as nest boxes were installed. Of these five studies, three induced oxidative stress, one of them through Paraquat, a herbicidal substance in drinking water, another study used phytohematoglutinin to cause edema in the wing and a third induced it through the plucking of feathers. These three studies verified the antioxidant potential of carotenoids. The other studies evaluated how carotenoids are used and their interactions with macronutrients. The carotenoids used were lutein, zeaxanthin and  $\beta$ -carotene. The administration routes were oral, in drinking water, in solid food or directly into the birds' beak. The animals in the experiments had increased concentrations of carotenoids in their blood and showed changes in feather color. The antioxidant effect of carotenoids in the studies was not clear and the justification may lie in the dose used or multiple environmental factors involved. It is also important that macronutrient levels are assessed together, as carotenoids depend on the lipid pathway to be transported. Therefore, there is a need for studies targeting specific species characteristics to determine how carotenoids can act on antioxidant systems and influence feather color.

**Keywords:** wild birds, carotenoids, carotenoid pigments, oxidative stress.

## SUMÁRIO

<b>INTRODUÇÃO</b> .....	6
<b>MATERIAL E MÉTODOS</b> .....	9
<b>RESULTADOS E DISCUSSÃO</b> .....	11
<b>CONCLUSÕES</b> .....	19
<b>REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS</b> .....	21

## INTRODUÇÃO

As penas das aves possuem inúmeras funções: auxiliam os animais no voo, tanto na propulsão, como na estabilização e pouso. São estruturas isolantes, proporcionam conforto térmico e impermeabilização formando uma capa protetora sobre a pele. As penas possuem papel fundamental na camuflagem, importante para proteção de adultos e filhotes contra predadores. Durante o período reprodutivo, as colorações se acentuam para atração de parceiros (Cooper, et al. 1994) e funcionam como mecanismo de comunicação visual, além da vocalização.

A saúde das aves e, conseqüentemente, de suas penas depende do ambiente onde esse animal vive, pois isso irá refletir na condição corporal das penas e na sua formação, bem como a sua estrutura. Em ambiente natural e em ambientes sob cuidados humanos, os animais precisam ter uma fonte alimentar que permita que os animais obtenham energia e os nutrientes adequados. Por isso, a dieta deve variar de acordo com a espécie. Além do alimento, existe a necessidade das aves terem acesso a fontes de água para consumo, além, é claro, terem a oportunidade de tomarem banho, já que elas precisam manter as suas penas limpas e livres de parasitas para voar eficientemente e evitar problemas de saúde. Para que as aves expressem todo o seu potencial como espécie, é extremamente necessário que ela viva em locais seguros para descansar, dormir e, no caso das aves que fazem ninhos, criar suas crias. Isso pode incluir ninhos em árvores, buracos no solo, ninhos artificiais ou outros tipos de abrigo adequados à espécie. Esses locais devem ser prioritários não só para reprodução, mas também para proteção contra predadores e para proteção das crias. Também existe a necessidade de condições climáticas adequadas para sobreviver. Isso inclui temperatura, umidade e condições climáticas sazonais que sejam compatíveis com as necessidades da espécie. Todos esses parâmetros básicos de cuidados com as aves irão refletir na cor das penas. (Felippe, Paulo Anselmo Nunes; Adania, Cristina Harumi, 2014)

A cor nas penas é determinada pelos pigmentos depositados durante o desenvolvimento dos animais e pelas características estruturais que podem alterar a reflexão ou absorção da luz, já que esse fenômeno irá determinar a cor visível.

Então, existem duas principais formas pelas quais as aves obtêm cores em suas penas, através da estrutura da pena, pois a estrutura microscópica das penas pode influenciar como a luz é refletida ou refratada, criando uma aparência de cores diferentes, conhecido como fenômeno de interferência da luz. Outra forma de colorir as penas é através dos pigmentos, como a melanina, responsável pela cor preta, marrom e cinza e os carotenoides, que são pigmentos amarelos, vermelhos e alaranjados encontrados em alimentos como frutas e insetos. As aves que consomem esses alimentos podem incorporar os carotenoides em suas penas, resultando em cores brilhantes e vivas (Cooper, et al. 1994).

As melaninas não precisam vir do alimento, pois elas são subprodutos do catabolismo de vitaminas, minerais ou aminoácidos e podem estar associadas aos carotenoides dando origem a faixas de cores de amarelo ou laranja a marrom, as chamadas feomelaninas e às faixas marrons escuros e preto, as chamadas eumelaninas (Diatroptov & Opaev, 2022; LaFountain et al. 2015; McGraw et al. 2006).

Além das melaninas e dos carotenoides, algumas espécies podem ter suas penas coloridas com pigmentos específicos, como, as flavinas, as porfirinas, as psitacofulvinas, as pterinas, as purinas e as turacinas (Diatroptov&Opaev, 2022).

Os pigmentos carotenoides são classificados em dois grupos de acordo com a função que exercem no organismo dos animais. Existem os carotenoides que incluem o licopeno, o  $\alpha$ -caroteno e o  $\beta$ -caroteno e as xantofilas, que incluem a luteína, a zeaxantina e a  $\beta$ -criptoxantina. Os carotenoides possuem propriedades bioativas, ou seja, possuem características de substâncias naturais ou compostos químicos que têm efeitos positivos na saúde dos seres vivos, sendo eles: antioxidantes, antiinflamatórios, antimicrobianos, anticancerígenos, neuroprotetores, cardioprotetores, prebióticos, dentre outras propriedades (Nabi et al. 2020).

A absorção dos carotenoides ocorre principalmente no intestino delgado. Os carotenoides são lipossolúveis, portanto, a presença de gordura na dieta é importante para a absorção eficaz de carotenoides pelas aves. Quando absorvidos, os carotenoides são transportados através do sistema circulatório da ave. Eles são então armazenados em várias partes do corpo, incluindo a pele e as penas. A cor das penas é determinada pela concentração e combinação de diferentes tipos de carotenoides presentes, bem como, a sua conversão que ocorre no fígado (Cooper, et al. 1994).

Os compostos carotenoides disponíveis nas dietas das aves, principalmente a luteína e a zeaxantina produzem coloração amarela quando depositados inalterados nas penas. Algumas espécies alteram bioquimicamente esses carotenoides amarelos da dieta para produzir carotenóides vermelhos, por exemplo, como a cantaxantina e astaxantina (Friedman et al. 2014).

LaFountain et al. (2015) realizaram uma ampla revisão sobre os carotenoides e a capacidade das aves em modificá-los metabolicamente. As aves desenvolveram pelo menos nove modificações metabólicas que, ao serem combinadas, produzem uma diversidade de cores da plumagem. As aves podem metabolizar carotenoides adicionando ou dessaturando grupos funcionais oxigenados, como a C4-oxigenação, a C3-desidroxilação específica de anéis das moléculas ou, ainda, adicionando ou removendo insaturações, como a C3-metilação ou a C4-hidroxilação.

Alguns estudos mostram que esses pigmentos podem ser afetados por metais presentes na dieta dos animais, como zinco, ferro, cobre, cobalto e manganês, que estão envolvidos em vias metabólicas. Em altos níveis, esses metais podem induzir estresse oxidativo e aumentar a produção de melanina, já que a enzima precursora de melanogênese, a tirosinase, é ativada na presença de minerais como o zinco. Já com relação aos carotenoides, a presença de metais pode causar efeito contrário, diminuindo os níveis circulantes devido a possível alocação desses pigmentos para sistemas antioxidante e imune. (Giraudeau et al. 2015). Por isso os níveis de minerais devem ser adequados, para que não interfiram no metabolismo de outros nutrientes.

Alguns nutrientes contribuem para o melhor aproveitamento dos carotenoides. Dentre os macronutrientes, os lipídios contribuem para a absorção e transporte de carotenoides via lipoproteínas. Logo, baixos níveis de lipídios na dieta podem reduzir a absorção e o transporte de carotenoides e afetar diretamente a expressão da coloração das penas em aves (Cooper, et al. 1994; Berg, et al 2019; Penaux, et al 2021). As proteínas também são necessárias para a produção de sinais coloridos porque desempenham um papel estrutural na produção de queratina, principal constituinte das penas e é onde os pigmentos serão depositados.

Tendo em vista o que foi exposto, é muito importante compreendermos quais são os mecanismos envolvidos na coloração das penas, pois como observado, a pigmentação pode sofrer interferência da dieta e mecanismos externos, como o



manejo ambiental e a saúde interna dos animais podendo estar associado a carotenoides ingeridos ou não.

O objetivo desse trabalho foi verificar o que existe de informações na literatura sobre como os carotenoides da dieta influenciam as cores das penas das aves, bem como seus efeitos antioxidantes. Dessa forma, poderemos determinar como as cores do empenamento podem ser corrigidas em animais silvestres sob cuidados humanos através da alimentação.

## **MATERIAL E MÉTODOS**

Foi realizada uma pesquisa por trabalhos científicos escritos na língua inglesa, a partir do indexador *Web of Science* para agrupar artigos relacionados ao assunto “pigmentação nas penas de aves”. A busca foi realizada a partir de palavras-chave com base no método de revisão de literatura PICO (Stone, 2002). As palavras-chave para a busca de trabalhos científicos seguem alguns critérios, de acordo com os componentes do método PICO: a) P - “população” - objeto de estudo, nesse caso, foram utilizadas as palavras em inglês “bird”, “Passeriformes”, “Psittaciformes” b) I - “interesse” – nesse caso, foram utilizadas as palavras em inglês “carotenoid”, “melanin”, “food”, “diet”) c) CO - “contexto” – para o qual foram utilizadas palavras de “respostas” esperadas nos artigos, como “pigmentation”, “feathercoloring”.

Após a busca nos indexadores, foram definidos critérios de seleção para excluir artigos que não contemplassem o tema estudado. Para a seleção foram definidos os seguintes critérios: a) pigmentos que colorem as penas das aves b) influência da dieta sobre a coloração das penas das aves; c) experimentos que avaliaram a influência da ingestão de pigmentos em parâmetros de saúde e bem-estar. Após a busca e definidos os critérios de seleção, os artigos foram agrupados em um gerenciador de bibliografia (EndNote 9®) para que pudessem ser selecionados. Os artigos de interesse foram selecionados seguindo as instruções do Prisma flow diagram (Moher et al. 2009).

Este procedimento baseia-se em etapas para identificar: a) número de artigos selecionados no indexador; b) número de artigos duplicados; c) número de artigos excluídos por título e por resumo, quando esses não atenderam aos critérios de seleção; d) exclusão após a leitura do texto completo, quando após a primeira triagem o artigo demonstrar não atender aos critérios de seleção. Após a seleção dos artigos

por sua leitura completa, os trabalhos foram organizados para ter seus dados dispostos em planilhas no programa MicrosoftExcel® do pacote Office informações como autor, ano da publicação, país de publicação, ordem estudada, família estudada, tratamento utilizado e fonte de carotenoide na dieta.

Feito o lançamento dos dados dos trabalhos nas planilhas, houve uma filtragem dos trabalhos, tendo sido selecionados apenas artigos que realizaram experimentos com suplementação de carotenoides. O critério de seleção final foi o uso de carotenoides para avaliar a influência na saúde das aves, pois a síntese de melanina é controlada por diferentes genes.

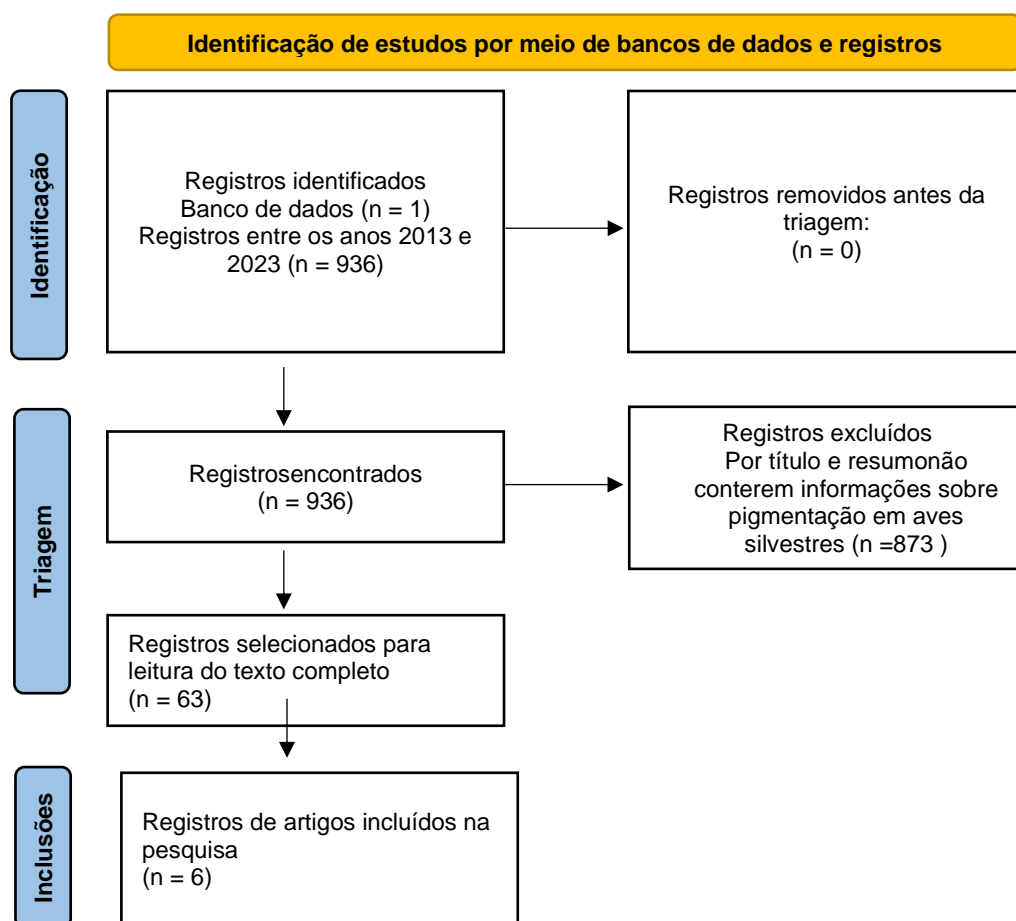


Figura 1. Diagrama de fluxo PRISMA. Adaptado de: Moher et al. (2009).

## RESULTADOS E DISCUSSÃO

A busca dos artigos foi feita na *Web of Science* foram feitas diferentes combinações com as palavras-chave citadas e nessa busca foram encontrados 936 artigos entre os anos de 2013 e 2023 relacionados ao assunto objeto desse trabalho.

Após a leitura de título e resumo do trabalho, foram excluídos 873 trabalhos, pois não eram trabalhos que avaliavam como se dava a pigmentação das cores nas penas das aves.

Analisando os trabalhos restantes, optou-se por escolher aqueles que não avaliaram ou discutiram o efeito de pigmentos dependentes do genótipo dos animais, pois existem muitos fatores genéticos envolvidos, necessitando que mais perguntas fossem respondidas sobre os mecanismos envolvidos na expressão das cores nesses animais.

Por isso, após a leitura do texto completo dos artigos selecionados foram excluídos 63 trabalhos que não suplementaram a dieta das aves com carotenoides.

Cinco artigos compõem esse trabalho, publicados entre os anos de 2015 e 2021, os quais avaliaram a suplementação de carotenoide via dieta dos animais (Tabela 1).

Seguindo a ordem cronológica, Giraudeau et al. (2015) trabalharam com o objetivo de verificar como a ingestão diferencial de carotenoides e as habilidades de uso (aproveitamento e alocação do nutriente) explicam os padrões ecológicos em aves urbanas e em aves que vivem em desertos (ambiente de origem da espécie) observados na expressão da cor de carotenoides nas penas durante 4 semanas. As aves da espécie *Haemorrhous mexicanus* (tentilhão-doméstico) foram capturadas em ambiente de vida-livre e levadas para um ambiente controlado. Nesse novo local, foram separadas em quatro grupos: grupo controle (sem suplementação), grupo suplementado com 0,1 g L<sup>-1</sup> de dicloreto de paraquat (herbicida indutor de estresse oxidativo), grupo suplementado com zeaxantina (carotenoide amarelo encontrado na dieta desses animais, naturalmente) e grupo suplementado com dicloreto de Paraquat e com carotenoide. Todas as suplementações foram feitas na água de beber. Antes do experimento, as aves foram identificadas por foto para avaliar a cor. As condições corporais das aves também foram avaliadas através da pesagem dos indivíduos. No final do experimento, os animais foram sacrificados para coleta de amostras de fígado e sangue para a análise de carotenoides.

De forma geral, nas aves urbanas circulavam níveis mais altos de carotenoides e tendiam a ter níveis mais altos de carotenoides no fígado, quando comparadas às aves desérticas, sugerindo que as aves urbanas extraem melhor os carotenoides dos alimentos ou não usam tantos carotenoides quanto as aves do deserto para pigmentação. A pigmentação das penas foi semelhante em ambos os grupos, sugerindo que a alocação de pigmentos para plumagens nessas aves de ambientes diferentes pode ser semelhante por serem da mesma espécie. Os pesquisadores esperavam diferenças entre os grupos devido às aves em ambientes desérticos terem acesso facilitado aos alimentos contendo carotenoides, diferentemente de aves que vivem em ambientes urbanos, onde outros fatores ambientais atuam, como menor área de alimentação/ diversidade de alimentos e a exposição maior a doenças e áreas urbanizadas.

Ao promover o desafio oxidativo, esse causou uma maior perda de massa nas aves urbanas em comparação com as aves do deserto. Um possível motivo, segundo os autores, seria a condição corporal, ou seja, percentual de gordura e musculatura, dos animais do deserto comparados às aves urbanas, possivelmente devido a maior capacidade de assimilar carotenoides ou devido às aves urbanas terem sido mais estressadas com a suplementação de Paraquat, afetando inclusive a absorção de nutrientes a nível intestinal. Porém, não foi observada essa diferença de massa corporal entre as aves suplementadas com paraquat e carotenoides, sugerindo um possível efeito protetor dos carotenoides sobre o estresse oxidativo provocado pelo paraquat.

Em ambientes controlados e com desafios ambientais padronizados, as aves parecem conseguir direcionar pigmentos para coloração das penas de forma semelhante e, direcionar carotenoides para outras funções, depende de fatores ambientais como disponibilidade de alimentos, diversidade e abundância de plantas/insetos.

Vaugoyeau et al. (2015) investigaram os efeitos diretos dos carotenoides sob o estresse oxidativo em *Parus major* (Chapim-real). Os pesquisadores suplementaram os animais com luteína em farinha de larvas com pré-mistura de proteínas, vitaminas, minerais, aminoácidos, sementes de girassol (contendo  $1 \text{ mg.kg}^{-1}$  de carotenoides) e amendoim triturado misturado com uma pré-mistura de componentes de gordura,

vitaminas, minerais, aminoácidos, além de concentrações de carotenoides na água de beber.

O estresse oxidativo foi induzido através do arranque de penas para estimular a atividade física, já que as penas arrancadas influenciam na atividade física e metabolismo. Os animais foram divididos em três grupos: grupo controle, sem suplementação e sem arranque de penas, o grupo com suplementação de carotenoides e arranque de penas e o grupo sem suplementação de carotenoide e arranque de penas. Amostras de sangue foram coletadas no início e no final do experimento que durou 21 dias.

Tabela 1. Resumo dos estudos selecionados nessa revisão.

<b>Autor</b>	<b>Ano</b>	<b>País</b>	<b>Ordem</b>	<b>Tratamento</b>	<b>Fonte de carotenoide na dieta</b>	<b>Dose</b>	<b>Administração</b>
Giraudeau et al.(a)	2015	EUA	Passeriforme	Suplementação dietética de adultos coleta de sangue	Zeaxantina	0,756 g L <sup>-1</sup>	água de beber
Vaugoyeau, et al.	2015	França	Passeriforme	Suplementação dietética de adultos coleta de sangue	luteína e β-caroteno	Semente de girassol 1 mg kg <sup>-1</sup> de carotenoides 3,65 mg kg <sup>-1</sup> Mistura de amendoim com 3,65 mg kg <sup>-1</sup> de β-caroteno Água de beber - 50 µg g <sup>-1</sup>	no alimento seco e na água de beber
Avilés et al.	2016	Espanha	Coraciiformes	Suplementação dietética de filhotes coleta de sangue	luteína e zeaxantina	25,000 µg mL <sup>-1</sup>	direto no bico através de seringa
Koch et al.	2016	EUA	Passeriforme	Suplementação dietética de adultos coleta de penas	luteína, zeaxantina e β-caroteno	3g em 20g de alpiste	alimento seco
Penaux et al.	2021	Austrália	Passeriforme	Suplementação dietética de adultos coleta de sangue	luteína e zeaxantina	160 µg ml <sup>-1</sup>	alimento seco

A suplementação de carotenoides aumentou a concentração total de carotenoides como esperado, mas não aumentou a capacidade antioxidante. Na verdade, ocorreu um decréscimo geral na capacidade antioxidante total ao longo do experimento. Com relação à coloração das penas, a suplementação dietética de carotenoides diminuiu direta ou indiretamente a coloração amarela da plumagem. Esses resultados podem ter sofrido efeito do arranque de penas, pois a depenagem pode modificar estruturas importantes, especialmente, de glândulas secretoras como a uropigial e/ou induzir uma infecção.

Em outro trabalho, Avillés et al. (2016) suplementaram *Coracias garrulus* (rolo europeu) com carotenóides, sendo que as aves foram designadas para cada tratamento de forma aleatória logo após a eclosão, sendo aves suplementadas e aves controle (sem suplementação). As aves suplementadas receberam suplementação a cada dois dias por 10 dias com uma mistura de 0,2 mL de óleo de girassol e 5 mg de carotenóides (concentração de dosagem: 25.000 mg mL<sup>-1</sup>). Os filhotes de controle receberam 0,2 mL de óleo de girassol. Os dois grupos receberam direto no bico. Para testar a resposta imune, os animais suplementados sofreram edema na asa após serem injetados por via subcutânea com PHA-P (fitohemaglutinina).

A hipótese dos autores foi de que a suplementação de carotenoides influenciaria o aumento da imunidade e/ou crescimento dos filhotes e na coloração da mandíbula, que é uma característica marcante na espécie. Esses efeitos poderiam ser diferentes entre os indivíduos ou entre sexos.

Os resultados mostraram que a probabilidade de emplumação de filhotes suplementados com carotenóide e daqueles que receberam tratamento controle não diferiu significativamente, sugerindo que a dose de carotenoide não foi prejudicial, mas também não afetou positivamente a sobrevivência dos filhotes. O efeito da suplementação de carotenoides foi diferente tanto nos níveis de carotenoides circulantes como na coloração da mandíbula para filhotes machos e fêmeas:

- Animais suplementados e machos controles não diferiram na concentração de carotenoides plasmáticos
- A suplementação de carotenoides reduziu os níveis de carotenoides circulantes em fêmeas, mas não afetou os níveis nos machos, sugerindo que

pode ter ocorrido um desvio desses pigmentos ou uma falta de assimilação, já que a coloração da mandíbula diferiu entre machos e fêmeas.

- A suplementação acelerou o desenvolvimento dos filhotes e não apresentou influência na resposta imune no edema de asa.
- Filhotes machos suplementados apresentaram mandíbulas menos brilhantes e cresceram mais rápido quando comparados com filhotes controle. Os autores sugerem que a disponibilidade de carotenoides influencia simultaneamente na coloração da mandíbula e na qualidade dos filhotes machos.
- Já filhotes fêmeas suplementadas com carotenoides diminuíram o nível de carotenoides circulantes em comparação com filhotes fêmeas controle, enquanto machos suplementados com carotenoides e controles não diferiram nos níveis circulantes. Os autores sugerem que essa diferença se deu porque fêmeas podem alocar mais carotenóides para o crescimento do que machos, que alocam mais para a expressão da cor. Possivelmente a redução dos níveis de carotenoides circulantes em filhotes fêmeas suplementados com carotenoides foi uma resposta adaptativa para evitar possíveis efeitos tóxicos.

Segundo os autores, essas diferenças sexuais na alocação de carotenoides podem ser devido a efeito hormonal de andrógenos em machos e fêmeas, já que a testosterona possui efeito sobre as lipoproteínas que transportam carotenoides no plasma. Logo, a presença desse hormônio em maior quantidade nos machos facilitaria a disponibilidade de carotenoides circulantes, responsáveis pelas diferenças na coloração.

Koch et al. (2016) suplementaram canários (*Serinus canaria*) amarelos e canários vermelhos com diferentes carotenoides dietéticos amarelo-laranja: luteína/zeaxantina,  $\beta$ -caroteno e mamão liofilizado moído, que são carotenoides encontrados naturalmente na dieta dessa espécie, para verificar se os animais eram capazes de converter esses carotenóides amarelos em cetocarotenoides vermelhos e verificar quais carotenóides dietéticos são precursores adequados.

Cabe ressaltar, que, segundo os autores, os dois canários pertencem a mesma espécie, mas são linhagens diferentes, no entanto, não se sabia se ambas fazem conversão de carotenoides amarelos em vermelhos, bem como as vias envolvidas



para essa conversão. Por isso, foram adicionados 3g de carotenoides a cada 20g de alpiste. A análise da concentração e identificação dos carotenoides nas penas foram realizadas com amostras de penas novas desenvolvidas nas aves após o experimento.

Canários amarelos depositaram xantofilas amarelas nas penas. Independentemente da forma de suplementação, essas aves não metabolizaram pigmentos dietéticos em plumagem vermelha. Já os canários vermelhos podem converter uma diversidade de pigmentos que advem das dietas através de precursores como  $\beta$ -caroteno, luteína/zeaxantina e  $\beta$ -criptoxantina em cetocarotenoides vermelhos, como alfa-doradexantina, cantaxantina e echinenona.

Quando as aves foram alimentadas com as mesmas dietas, canários vermelhos tiveram mais carotenóides totais em suas penas do que canários amarelos e diferiram com relação a concentração de carotenoides que promovem a cor amarela. Logo, a diferença nos níveis totais de carotenoides nas penas resultou na diferença entre a presença de pigmentos amarelos e pigmentos vermelhos. Esses resultados mostram a influência da via para cetolação de pigmentos vermelhos, pois ela ocorre em paralelo com a via de hidroxilação amarela, sugerindo que o metabolismo dos carotenoides pode variar de acordo com fatores genéticos individuais e de acordo com o que é fornecido pela dieta.

Penaux et al. (2021) suplementaram luteína e zeaxantina na água de beber de *Acridotheres tristis* (mainá-triste) com o objetivo de verificar se esses animais continuariam escolhendo nutrientes com pigmentos que promovessem a coloração amarela das penas dos olhos, uma característica dessa espécie, mesmo em condições controladas. Além disso, verificaram a associação da escolha desses pigmentos com o consumo de macronutrientes.

Os animais foram capturados de vida livre e mantidos em ambientes controlados. Nesse ambiente, os animais foram divididos em quatro grupos de tratamento com diferentes condições nutricionais: grupo controle com acesso à dieta de *pellets* para cães e água potável; grupo suplementado com macronutrientes, com livre escolha entre três alimentos artificiais com diferentes níveis de macronutrientes (alto teor de proteína, alto teor de lipídios e alto teor de carboidratos, cada tipo fornecido em um comedouro separado) e água potável; grupo suplementado com carotenoides, sendo que os animais tinham acesso a rações para cães e água potável

suplementada com carotenoides e grupo macronutriente mais carotenoide, com acesso a três alimentos artificiais e água potável suplementada com carotenoides. Os animais ficaram 8 semanas sendo alimentados com ração de cachorro para que todos tivessem os mesmos níveis de carotenoides no sangue e diminuíssem a cor da mancha dos olhos. E a suplementação foi oferecida durante 3 meses anteriores a estação reprodutiva da espécie.

A composição de macronutrientes para os pellets de cães tinha a seguinte composição 32,4% de proteína, 15,6% de lipídios, 52% de carboidratos. Já a composição de macronutrientes para os três alimentos artificiais: alto teor de proteínas (79,6% Proteína, 3,3% Lipídio, 17,1% Carboidrato), alto teor de lipídios (16,7% Proteína, 76% Lipídio, 7,3% Carboidrato) e alto teor de carboidratos (7,9 % Proteína, 0,1% Lipídeos, 92% Carboidrato).

Nesse estudo os pesquisadores verificaram que existe influência da presença de macronutrientes e seus níveis nas dietas das aves, já que as aves suplementadas com carotenoides mais os macronutrientes apresentaram coloração amarela da cabeça mais evidente, quando comparadas com todos os grupos, inclusive com o grupo suplementado apenas com carotenoides.

Outra evidência desse achado é que nos dois grupos suplementados com carotenoides, os níveis plasmáticos aumentaram significativamente em comparação com as aves não suplementadas, porém, aves que foram suplementadas ao mesmo tempo com macronutrientes tinham níveis mais altos do que as aves que foram suplementadas apenas com carotenoides. Os autores sugerem que as aves da espécie *Acridotheres tristis* quando tem a oportunidade de selecionar a ingestão de macronutrientes tendem a ter níveis plasmáticos mais altos de carotenoides, sugerindo que os macronutrientes podem desempenhar um papel importante na melhoria da absorção desses pigmentos.

Nos grupos suplementados com carotenoides e macronutrientes, os animais selecionaram mais lipídeos e carboidratos do que as aves controle, que eram alimentadas apenas com pellets para cães. Análises feitas no sangue revelaram que altas ingestões de lipídeos foram associadas a maiores colorações e concentrações plasmáticas de carotenóides, o que corrobora com o fato de que as aves podem controlar a modulação da coloração baseada em carotenoides através da escolha de

nutrientes, especialmente, na escolha de alimentos com níveis mais elevados de lipídios.

## **CONCLUSÕES**

Nesse trabalho, é possível verificar que não existe um padrão das recomendações dietéticas relativas à suplementação de carotenoide. Devido a isso, o efeito da suplementação desses pigmentos parece sofrer influência de muitos fatores, mesmo que os experimentos sejam feitos com animais em ambientes controlados. Alguns fatores como as necessidades nutricionais de macronutrientes parece ser fundamental que seja avaliado junto com a suplementação de carotenoides. Outros fatos como a coloração das penas, a disponibilidade na natureza de alimentos com esses pigmentos, a competição entre indivíduos e entre espécies, a época do ano e outros fatores ambientais, podem influenciar o uso de carotenoides na dieta de aves, bem como a coloração das penas propriamente ditas. Cada espécie pode reagir de maneiras diferentes a esses fatores o que pode resultar em variações nas escolhas alimentares e na coloração das penas.

Essa aparente falta de padrão também pode ser um erro de amostragem ou porque existe uma grande diversidade de espécies com diferentes hábitos de vida. Por isso, essa diversidade pode influenciar como se dará o desenho experimental dos trabalhos com suplementação de nutrientes.

A única informação comum entre todos os experimentos é que o pigmento de escolha utilizado para suplementar as aves foram aqueles que podem ser encontrados nos alimentos consumidos por elas e não os pigmentos que eles podem produzir através de conversões metabólicas.

Com relação aos efeitos antioxidantes dessas substâncias, talvez não tenha sido demonstrado de fato, devido às substâncias indutoras de estresse oxidativo. Como essas substâncias são pouco estáveis, elas podem levar a um desequilíbrio na produção de espécies reativas de oxigênio tão alto que a suplementação de carotenoides como foi apresentada pode não ter sido capaz de neutralizá-las como substância antioxidantes.

. O protocolo de suplementação de carotenoides em aves silvestres pode variar dependendo da espécie de ave, do seu estado de saúde, da sua dieta natural e de outros fatores.

Antes de iniciarmos qualquer protocolo de suplementação, é fundamental consultar um profissional especializado em formulação de alimentos para aves silvestres para avaliar as necessidades específicas das aves que serão tratadas. Para isso, de acordo com a análise dos trabalhos citados, algumas informações devem ser coletadas posteriormente como: a identificação da real necessidade de suplementação, seleção de quais carotenoides são adequados para a espécie que será suplementada, como será a forma de administração, qual a quantidade e a frequência, como será o monitoramento dos possíveis efeitos, bem como as análises e dosagens que serão realizadas para verificar a capacidade de aproveitamento desses pigmentos nas aves, além é claro, da composição da dieta que o animal está recebendo, para que a utilização dos carotenoides seja otimizada.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Alonso-Alvarez, Carlos; Garcia-de-Blas, Esther.; Mateo, Rafael. Dietary canthaxanthin reduces xanthophyll uptake and red coloration in adult red-legged partridges. **Journal of Experimental Biology**, 221, n. 22, p. 12, Nov 2018. Article.

Ailes, Jesus M.; Parejo, Deseada. Sex Difference in Condition Dependence of Carotenoid Gapes in the Eurasian Roller (*Coracias garrulus*). **Physiological and Biochemical Zoology**, 89, n. 6, p. 524-535, Nov-Dec 2016. Article.

Berg, Mathew. L.; Knott, Berg.; Ribot, Raoul. F. H.; Buchanan, Katherine. L. Do glucocorticoids or carotenoids mediate plumage coloration in parrots? An experiment in *Platyercus elegans*. **General and Comparative Endocrinology**, 280, p. 82-90, Sep 2019. Article.

Cooper, John. E.; Harrison, Greg. Dermatology. In: Ritche, Harrison and Harrison. **Avian Medicine: Principles and Applications**. Florida. EUA. p. 607-639. 1994

Diatroptov, M. E.; Opaev, A. S. Melanin and Carotenoid-Based Coloration of Plumage and the Level of Aggressiveness: The Relationship of These Parameters in the Greenfinch (*Chloris chloris*, Passeriformes, Fringillidae). **Biology Bulletin**. 49, p. 1782 – 1490. 2022. Article

Felippe, Paulo Anselmo Nunes; Adania, Cristina Harumi. Conservação e bem-estar animal. In: Cubas, Z.S., Silva, J.C.R., Catão-Dias, J.L. (Eds). **Tratado de Animais Selvagens. Medicina Veterinária**, São Paulo, p. 03 - 34. 2014

Friedman, Nicolas. R.; McGraw, Kevin. J.; Omland, Kevin. E. Evolution of carotenoid pigmentation in caciques and meadowlarks (Icteridae): repeated gains of red plumage coloration by carotenoid C4-oxygenation. **Evolution**, 68, n. 3, p. 791-801, Mar 2014. Article.

Giraudeau, M.; Chavez, A.; Toomey, M. B.; McGraw, K. J. Effects of carotenoid supplementation and oxidative challenges on physiological parameters and carotenoid-based coloration in an urbanization context. **Behavioral Ecology and Sociobiology**, 69, n. 6, p. 957-970, Jun 2015. Article.

Giraudeau, M.; Mateos-Gonzales, F.; Cotin, J.; Paganil-Nunez, E. *et al.* Metal exposure influences the melanin and carotenoid-based colorations in great tits. **Science of the Total Environment**, 532, p. 512-516, Nov 2015. Article.

Grunst, Andrea. S.; Salgado-Ortiz, Javier.; Rotenberry, John. T.; Grunst, Melissa. L. Pheomelanin- and carotenoid-based pigmentation reflect oxidative status in two populations of the yellow warbler (*Setophaga petechia*). **Behavioral Ecology and Sociobiology**, 68, n. 4, p. 669-680, Apr 2014. Article.

Koch, Rebeca. E.; McGraw, Kevin. J.; Hill, Geoffrey. E. Effects of diet on plumage coloration and carotenoid deposition in red and yellow domestic canaries (*Serinus canaria*). **Wilson Journal of Ornithology**, 128, n. 2, p. 328-333, Jun 2016. Article.

LaFountain, Amy. M.; Frank, Harry. A.; Prum, Richard. O. Carotenoids from the crimson and maroon plumages of Old World orioles (*Oriolidae*). **Archives of Biochemistry and Biophysics**, 539, n. 2, p. 126-132, Nov 2013. Article.

LaFountain, Amy. M.; Prum, Richard. O.; Frank, Harry. A. Diversity, physiology, and evolution of avian plumage carotenoids and the role of carotenoid-protein interactions in plumage color appearance. **Archives of Biochemistry and Biophysics**, 572, p. 201-212, Apr 2015. Review.

McGraw, Kevin; Crino, Ondil; William Medina-Jerez & Paul M. Nolan. Effect of Dietary Carotenoid Supplementation on Food Intake and Immune Function in a Song bird with no Carotenoid Coloration. **Ethology** 112. P. 1209–1216, June 15, 2006 Article.

Moher, David et al. Preferred reporting items for systematic reviews and meta-Analyses: the PRISMA statement. **PLoS medicine**, v. 6, n. 7, p. e1000097, 2009. Radar Pet, 2020. Disponível em: <https://www.comacvet.org.br/mercado/> Acesso em: agosto de 2023

Nabi, Fazul.; Arain, Muhammad. A.; Rajput, Nasir.; Alagawany, Mahmoud. *et al.* Health benefits of carotenoids and potential application in poultry industry: A review. **Journal of Animal Physiology and Animal Nutrition**, 104, n. 6, p. 1809-1818, Nov 2020. Review.

Peneaux, Chloe.; Machovsky-Capuska, Gabriel. E.; Endler, John. A.; Griffin, Andrea. Eat yourself sexy: how selective macro nutrient intake influences the expression of a visual signal in common mynas. **Journal of Experimental Biology**, 224, n. 9, p. 11, May 2021. Article.

Penha, Victor. Aguiar. Souza.; Rodrigues, Regiane.; Quaglia, Agustin. Ignacio; Hoepers, Patricia. G. *et al.* Plumage coloration predicts haemosporidian infection occurrence in birds. **Ardea**, 108, n. 1, p. 39-48, Jun 2020. Article.

Plummer, Kate. E.; Bearhop, Stuart.; Leech, David. I.; Chamberlain, D. E. *et al.* Effects of winter food provisioning on the phenotypes of breeding blue tits. **Ecology and Evolution**, 8, n. 10, p. 5059-5068, May 2018. Article.

Prum, Richard. O.; LaFountain, Amy. M.; Berg, Christopher. J.; Tauber, Michael. J. *et al.* Mechanism of carotenoid coloration in the brightly colored plumages of broadbills (*Eurylaimidae*). **Journal of Comparative Physiology B-Biochemical Systemic and Environmental Physiology**, 184, n. 5, p. 651-672, Jul 2014. Article.

Rajput, Nasir.; Ali, Sher.; Naeem, Muhammad.; Bilal, Rana. Muhammad. *et al.* Role of Dietary Supplementation with Plant Origin Carotenoids (Curcumin and Lutein) for the Control of *Eimeria*-Challenged Broiler Chickens. **Kafkas Universites Veteriner Fakultes Dergisi**, 28, n. 1, p. 43-49, Jan-Feb 2022. Article.

Reudink, M. W.; McKellar, A. E.; Marini, K. L. D.; McArthur, S. L. *et al.* Inter-annual variation in American redstart (*Setophaga ruticilla*) plumage colour is associated with rainfall and temperature during moult: an 11-year study. **Oecologia**, 178, n. 1, p. 161-173, May 2015. Article.

Thomas, D. B.; McGraw, K. J.; Butler, M. W.; Carrano, M. T. *et al.* Ancient origins and multiple appearances of carotenoid-pigmented feathers in birds. **Proceedings of the Royal Society B-Biological Sciences**, 281, n. 1788, p. 9, Aug 2014. Article.

Vaugoyeau, Marie.; Decenciere, Beatriz.; Perret, Samuel.; Karadas, Filiz. *et al.* Is oxidative status influenced by dietary carotenoid and physical activity after moult in the great tit (*Parus major*)? **Journal of Experimental Biology**, 218, n. 13, p. 2106-2115, Jul 2015. Article.