

**SUPLEMENTAÇÃO DE COMPOSTOS ANTIOXIDANTES EM DIETAS DE MATRIZES DE  
REPRODUÇÃO AVÍCOLA: UMA REVISÃO BIBLIOGRÁFICA**

**SUPPLEMENTATION OF ANTIOXIDANT COMPOUNDS IN POULTRY BREEDER DIETS: A  
REVIEW**

 <https://doi.org/10.63330/aurumpub.055-005>

**Amanda de Moura Dani**

Mestranda em Zootecnia

Universidade Federal de Santa Maria - UFSM

E-mail: amandadani0202@gmail.com

**Marcela Arruda Ziegler**

Graduanda em Zootecnia

Universidade Federal de Santa Maria - UFSM

E-mail: Marcela.arruda@acad.ufsm.br

**Manuela Castilho Matsdolf de Mello**

Graduanda em Zootecnia

Universidade Federal de Santa Maria - UFSM

E-mail: manuelamellocastilho@gmail.com

**Nycole Trindade Gomes**

Graduanda em Zootecnia

Universidade Federal de Santa Maria - UFSM

E-mail: nycolettrindade@hotmail.com

**Pedro Henrique Caetano Greff**

Graduando em Zootecnia

Universidade Federal de Santa Maria – UFSM

E-mail: pedro.greff@acad.ufsm.br

**Fernando Cruz**

Graduando em Medicina Veterinária

Universidade Federal de Santa Maria – UFSM

E-mail: fernando.maciell@acad.ufsm.br

**Maria Eduarda Tizziani Scheffer**

Graduanda em Medicina Veterinária

Universidade Federal de Santa Maria – UFSM

E-mail: maria.scheffer@acad.ufsm

**Ana Cecília Blini**

Graduanda em Medicina Veterinária

Universidade Federal de Santa Maria – UFSM

E-mail: cecilia.blini@acad.ufsm.br

**Alexandre Pires Rosa**

Professor Titular no Departamento de Zootecnia – UFSM

Universidade Federal de Santa Maria - UFSM

E-mail: alexandreprosa@gmail.com

**Vladimir de Oliveira**

Professor no Departamento de Zootecnia – UFSM

Universidade Federal de Santa Maria - UFSM

E-mail: vladimir.oliveira@ufsm.br

### **Resumo**

A suplementação de compostos antioxidantes em dietas de matrizes de reprodução avícola tem recebido crescente atenção devido ao seu potencial para minimizar os efeitos do estresse oxidativo e melhorar a eficiência reprodutiva das aves. Este trabalho consiste em uma revisão bibliográfica que teve como objetivo analisar os principais antioxidantes utilizados na nutrição de matrizes avícolas, seus mecanismos de ação e seus efeitos sobre a fertilidade, a incubabilidade e a qualidade da progênie. A metodologia adotada baseou-se na consulta e análise de artigos científicos, livros e documentos técnicos relacionados ao estresse oxidativo, aos sistemas antioxidantes e à reprodução avícola. A literatura demonstra que fatores como envelhecimento, elevada taxa metabólica e estresse térmico favorecem a ocorrência de estresse oxidativo, comprometendo a qualidade dos gametas, dos ovos incubáveis e do desenvolvimento embrionário. Os resultados evidenciam que antioxidantes como vitamina E, selênio, vitamina C, carotenoides e compostos fenólicos atuam na neutralização de espécies reativas de oxigênio, na proteção das membranas celulares e no fortalecimento dos sistemas antioxidantes endógenos. Conclui-se que a utilização desses compostos constitui uma importante estratégia nutricional para preservar a saúde reprodutiva das matrizes, melhorar os índices de fertilidade e incubabilidade e promover a obtenção de progênies mais saudáveis e com maior potencial produtivo.

**Palavras-chave:** Antioxidantes; Estresse oxidativo; Fertilidade; Incubabilidade; Matrizes avícolas.

### **Abstract**

The supplementation of antioxidant compounds in poultry breeder diets has received increasing attention due to its potential to mitigate the effects of oxidative stress and improve the reproductive efficiency of birds. This study consists of a literature review aimed at analyzing the main antioxidants used in poultry breeder nutrition, their mechanisms of action, and their effects on fertility, hatchability, and progeny quality. The methodology was based on the consultation and analysis of scientific articles, books, and technical documents related to oxidative stress, antioxidant systems, and poultry reproduction. The literature indicates that factors such as aging, high metabolic rate and heat stress favor the occurrence of oxidative

stress, compromising gamete quality, hatching egg quality, and embryonic development. The findings demonstrate that antioxidants such as vitamin E, selenium, vitamin C, carotenoids and phenolic compounds, act by neutralizing reactive oxygen species, protecting cellular membranes, and enhancing endogenous antioxidant systems. It can be concluded that the use of these compounds represents an important nutritional strategy to preserve the reproductive health of breeder birds, improve fertility and hatchability rates, and promote the production of healthier offspring with greater productive potential.

**Keywords:** Antioxidants; Fertility; Hatchability; Oxidative stress; Poultry breeders.

## 1 INTRODUÇÃO

A avicultura figura entre os setores mais dinâmicos da produção animal mundial, desempenhando papel fundamental no fornecimento de proteína de alto valor biológico para a população. Os avanços obtidos nas áreas de genética, nutrição, sanidade e manejo permitiram expressivos ganhos de produtividade nas últimas décadas, resultando em aves com elevado potencial de desempenho produtivo e reprodutivo. Nesse contexto, as matrizes avícolas ocupam posição estratégica dentro da cadeia produtiva, uma vez que sua eficiência reprodutiva influencia diretamente a produção de ovos incubáveis, a fertilidade, a eclodibilidade e a qualidade da progênie (Surai, 2020).

A obtenção de pintos de alta qualidade constitui um dos principais objetivos dos sistemas modernos de produção avícola, pois características como viabilidade embrionária, desenvolvimento inicial e desempenho produtivo futuro estão intimamente relacionadas às condições fisiológicas e nutricionais das aves reprodutoras. Entretanto, a manutenção do desempenho reprodutivo ao longo do ciclo produtivo representa um desafio crescente para a indústria avícola. Com o avanço da idade, matrizes e reprodutores apresentam redução gradual da fertilidade, da qualidade dos gametas e da viabilidade embrionária, fenômeno frequentemente associado ao envelhecimento fisiológico dos tecidos reprodutivos (Liu et al., 2018; Ren et al., 2021).

Entre os fatores relacionados a esse declínio reprodutivo, destaca-se o estresse oxidativo, caracterizado pelo desequilíbrio entre a produção de espécies reativas de oxigênio e a capacidade dos sistemas antioxidantes do organismo em neutralizá-las. Esse processo pode resultar em danos oxidativos a lipídios, proteínas e ácidos nucleicos, comprometendo a integridade dos gametas, a qualidade dos ovos incubáveis e o desenvolvimento embrionário. Devido à elevada concentração de ácidos graxos poli-insaturados presentes nos espermatozoides e nos tecidos embrionários, o sistema reprodutivo das aves apresenta elevada susceptibilidade à peroxidação lipídica e aos seus efeitos deletérios (Surai, 2016; Fisinin et al., 2019).

Além dos impactos sobre os gametas, os processos oxidativos podem comprometer a qualidade dos ovos incubáveis e o desenvolvimento embrionário. Durante o armazenamento dos ovos e o período de incubação, a oxidação dos componentes lipídicos da gema pode reduzir a disponibilidade energética para o embrião e favorecer a formação de metabólitos tóxicos, contribuindo para perdas de incubabilidade e redução da qualidade dos pintos ao nascimento (Surai et al., 2018; Karadas et al., 2005).

Diante desse cenário, a suplementação dietética com compostos antioxidantes tem despertado crescente interesse como estratégia nutricional para minimizar os efeitos do estresse oxidativo em aves reprodutoras. Entre os compostos mais estudados destacam-se a vitamina E, o selênio, a vitamina C, os carotenoides e, mais recentemente, os compostos fenólicos e extratos vegetais ricos em flavonoides, taninos e ácidos fenólicos. Esses compostos atuam na neutralização de radicais livres, na proteção das membranas celulares e no fortalecimento dos sistemas antioxidantes endógenos, podendo contribuir para melhorias na fertilidade, qualidade seminal, incubabilidade e desempenho da progênie (Attia et al., 2019; Surai et al., 2024).

A relevância deste tema está relacionada à necessidade de estratégias nutricionais capazes de preservar a eficiência reprodutiva das matrizes avícolas e garantir a produção de pintos de alta qualidade. Considerando a importância econômica da reprodução para a cadeia avícola, torna-se fundamental compreender os mecanismos pelos quais os antioxidantes atuam na mitigação dos efeitos do estresse oxidativo e seus reflexos sobre os índices produtivos e reprodutivos das aves.

O objetivo geral deste trabalho é revisar a literatura científica acerca da suplementação de compostos antioxidantes em dietas de matrizes de reprodução avícola, abordando seus mecanismos de ação e seus efeitos sobre a fertilidade, a incubabilidade, a qualidade dos ovos incubáveis e o desempenho da progênie. Especificamente, busca-se descrever os principais mecanismos envolvidos no estresse oxidativo em aves reprodutoras, apresentar os sistemas antioxidantes endógenos e exógenos, bem como discutir os principais compostos antioxidantes utilizados na nutrição de matrizes avícolas e seus impactos sobre a reprodução.

## **2 ESTRESSE OXIDATIVO**

O estresse oxidativo pode ser definido como uma condição fisiológica caracterizada pelo desequilíbrio entre a produção de espécies reativas de oxigênio (Reactive Oxygen Species – ROS) e a capacidade dos sistemas antioxidantes do organismo em neutralizá-las ou reparar os danos causados por sua ação. Quando a geração de compostos oxidantes excede os mecanismos de defesa antioxidante, ocorre o acúmulo de moléculas altamente reativas capazes de promover alterações estruturais e funcionais em diferentes componentes celulares, incluindo lipídios, proteínas e ácidos nucleicos (Sies, 2015; Surai, 2016).

As espécies reativas de oxigênio são produzidas continuamente durante o metabolismo aeróbio normal, principalmente na cadeia transportadora de elétrons mitocondrial. Entre as principais ROS

destacam-se o ânion superóxido ( $O_2^-$ ), o peróxido de hidrogênio ( $H_2O_2$ ) e o radical hidroxila ( $OH^\bullet$ ). Em condições fisiológicas, essas moléculas desempenham funções importantes na sinalização celular, na resposta imune e na regulação de processos metabólicos. No entanto, sua produção excessiva pode resultar em danos oxidativos e comprometimento da homeostase celular (Halliwell; Gutteridge, 2015).

Nas aves, a ocorrência de estresse oxidativo é particularmente relevante devido à elevada taxa metabólica, ao intenso consumo de oxigênio e à alta concentração de ácidos graxos poli-insaturados presentes nas membranas celulares. Essas características tornam os tecidos das aves mais suscetíveis aos processos de oxidação, especialmente durante períodos de elevada demanda fisiológica, como crescimento acelerado, produção de ovos, reprodução e incubação (Surai, 2016; Fisinin et al., 2019).

Um dos principais mecanismos associados ao estresse oxidativo é a peroxidação lipídica, processo no qual os radicais livres atacam os ácidos graxos poli-insaturados das membranas celulares, desencadeando reações em cadeia que comprometem a integridade estrutural e funcional das células. Como consequência, podem ocorrer alterações na permeabilidade das membranas, disfunção mitocondrial, danos ao DNA e ativação de processos apoptóticos, culminando em prejuízos ao desempenho produtivo e reprodutivo das aves (Ayala; Muñoz; Argüelles, 2014).

Para minimizar os efeitos deletérios das ROS, os organismos dispõem de um complexo sistema antioxidante composto por mecanismos enzimáticos e não enzimáticos. Entre os principais antioxidantes enzimáticos destacam-se a superóxido dismutase (SOD), a catalase (CAT) e a glutational peroxidase (GPx), enquanto vitaminas, minerais e compostos bioativos provenientes da dieta atuam como antioxidantes exógenos complementares. A interação entre esses sistemas é fundamental para a manutenção do equilíbrio redox e para a proteção dos tecidos contra danos oxidativos (Surai, 2020).

No contexto da reprodução avícola, o estresse oxidativo tem sido associado à redução da qualidade dos gametas, diminuição da fertilidade, aumento da mortalidade embrionária e comprometimento da qualidade da prole. Dessa forma, a compreensão dos mecanismos envolvidos na geração e no controle das espécies reativas de oxigênio é essencial para o desenvolvimento de estratégias nutricionais que contribuam para a manutenção da eficiência reprodutiva das matrizes avícolas (Surai et al., 2018; Ren et al., 2021).

## 2.1 FATORES QUE FAVORECEM O ESTRESSE OXIDATIVO

### 2.1.1 Idade das aves como fator predisponente ao estresse oxidativo

A idade das aves é considerada um dos principais fatores associados ao desenvolvimento do estresse oxidativo em matrizes avícolas. À medida que o organismo envelhece, ocorre um desequilíbrio progressivo entre a produção de espécies reativas de oxigênio (ROS) e a capacidade dos sistemas antioxidantes de

neutralizá-las, resultando no acúmulo de danos oxidativos em diferentes tecidos e órgãos (Surai, 2016; Ren et al., 2021).

O envelhecimento é um processo biológico complexo caracterizado por alterações fisiológicas que afetam a eficiência metabólica e a capacidade de manutenção da homeostase celular. Durante esse processo, as mitocôndrias tornam-se menos eficientes na produção de energia, aumentando o escape de elétrons na cadeia respiratória e, conseqüentemente, a formação de radicais livres. Paralelamente, observa-se redução da atividade de importantes enzimas antioxidantes, como a superóxido dismutase (SOD), catalase (CAT) e glutathione peroxidase (GPx), tornando os tecidos mais vulneráveis aos danos oxidativos (Harman, 2001; Surai, 2020).

Em aves reprodutoras, os efeitos do envelhecimento sobre o estado oxidativo são particularmente relevantes devido à elevada demanda metabólica associada à reprodução. Em matrizes pesadas e poedeiras comerciais, a idade avançada está frequentemente associada à redução da qualidade dos ovos incubáveis, diminuição da fertilidade e aumento da mortalidade embrionária. Diversos estudos sugerem que parte desses efeitos está relacionada ao aumento da peroxidação lipídica e ao comprometimento dos mecanismos antioxidantes que protegem os tecidos reprodutivos e os gametas contra a ação dos radicais livres (Liu et al., 2018; Ren et al., 2021).

Nos machos, o envelhecimento também está relacionado à deterioração da qualidade seminal. Os espermatozoides possuem membranas ricas em ácidos graxos poli-insaturados, tornando-os altamente susceptíveis à peroxidação lipídica. O aumento do estresse oxidativo pode comprometer a motilidade, a viabilidade e a integridade do DNA espermático, resultando em menor capacidade fecundante. Além disso, estudos demonstram que a atividade antioxidante presente no plasma seminal tende a diminuir com a idade, contribuindo para o declínio da fertilidade observado em galos mais velhos (Rocha et al., 2013; Opuwari; Henkel, 2016).

Nas fêmeas, o envelhecimento também afeta a qualidade dos ovócitos e a composição dos ovos incubáveis. Com o avanço da idade, observa-se redução da eficiência dos mecanismos de proteção antioxidante presentes na gema, aumentando a susceptibilidade dos lipídios à oxidação. Como consequência, podem ocorrer alterações no desenvolvimento embrionário, redução da eclodibilidade e diminuição da qualidade dos pintos ao nascimento (Surai et al., 2018). Além disso, matrizes mais velhas apresentam menor capacidade de deposição de antioxidantes no ovo, reduzindo a proteção do embrião durante os períodos de incubação e pós-eclosão (Karadas et al., 2005).

Nesse contexto, a idade das aves deve ser considerada um importante fator de risco para o estabelecimento do estresse oxidativo em sistemas de reprodução avícola. O aumento da produção de espécies reativas de oxigênio associado à redução da eficiência dos mecanismos antioxidantes contribui

para o comprometimento da função reprodutiva de machos e fêmeas, justificando a adoção de estratégias nutricionais que auxiliem na manutenção do equilíbrio redox ao longo do ciclo produtivo.

### **2.1.2 Elevada taxa metabólica e produção de espécies reativas de oxigênio**

As aves apresentam naturalmente uma elevada taxa metabólica quando comparadas a outras espécies de produção, característica associada à manutenção da temperatura corporal, ao rápido crescimento e à intensa atividade fisiológica. Em matrizes avícolas, essa condição é ainda mais evidente devido à elevada demanda energética necessária para sustentar processos reprodutivos como a produção de ovos, a formação dos gametas e a manutenção das funções metabólicas relacionadas à reprodução (Surai, 2016).

A produção de energia celular ocorre principalmente nas mitocôndrias por meio da fosforilação oxidativa. Durante esse processo, elétrons são transferidos ao longo da cadeia transportadora de elétrons para a geração de adenosina trifosfato (ATP). No entanto, uma pequena proporção desses elétrons pode escapar prematuramente e reagir com o oxigênio molecular, formando espécies reativas de oxigênio (ROS), especialmente o ânion superóxido ( $O_2^-$ ). Embora essa produção seja considerada um fenômeno fisiológico normal, o aumento da atividade metabólica resulta em maior consumo de oxigênio e, consequentemente, em maior geração de radicais livres (Halliwell; Gutteridge, 2015).

Nas matrizes de reprodução, a elevada taxa de postura e a intensa atividade dos órgãos reprodutivos aumentam significativamente as exigências energéticas do organismo. A síntese contínua de proteínas, lipídios e outros componentes necessários para a formação dos ovos exige intensa atividade metabólica, favorecendo a produção de ROS. Quando a capacidade antioxidante do organismo não acompanha esse aumento, ocorre um desequilíbrio redox que pode comprometer a integridade celular e o desempenho reprodutivo das aves (Surai; Fisinin, 2016).

Além disso, os avanços obtidos por meio do melhoramento genético contribuíram para o desenvolvimento de aves altamente produtivas, capazes de apresentar elevados índices de produção de ovos e eficiência alimentar. Embora esses avanços tenham proporcionado ganhos expressivos para a cadeia avícola, eles também aumentaram a pressão metabólica sobre os animais. Estudos sugerem que aves modernas apresentam maior susceptibilidade ao estresse oxidativo em comparação às linhagens utilizadas anteriormente, devido ao aumento da atividade metabólica e da demanda por nutrientes envolvidos nos sistemas de defesa antioxidante (Fisinin et al., 2019).

A elevada produção de espécies reativas de oxigênio decorrente do metabolismo intenso pode desencadear danos oxidativos em diferentes tecidos. Os lipídios das membranas celulares são particularmente susceptíveis à ação dos radicais livres, especialmente em células reprodutivas que

apresentam elevada concentração de ácidos graxos poli-insaturados. Dessa forma, a peroxidação lipídica pode comprometer a qualidade dos ovos incubáveis e o desenvolvimento embrionário.

Além dos danos aos lipídios, o excesso de ROS também pode promover alterações em proteínas e ácidos nucleicos, interferindo em processos celulares fundamentais, como divisão celular, expressão gênica e síntese proteica. Em situações prolongadas, esses danos podem reduzir a eficiência produtiva das aves e acelerar os efeitos do envelhecimento reprodutivo (Sies, 2015).

Dessa forma, a elevada taxa metabólica inerente às aves modernas representa um importante fator predisponente ao estresse oxidativo. Considerando a estreita relação entre metabolismo energético e produção de espécies reativas de oxigênio, estratégias nutricionais voltadas ao fortalecimento dos mecanismos antioxidantes tornam-se fundamentais para preservar a saúde reprodutiva e maximizar o potencial produtivo das matrizes avícolas.

## 2.2 CONSEQUÊNCIAS DO ESTRESSE OXIDATIVO

O estresse oxidativo pode comprometer diversos processos fisiológicos por meio da ação excessiva de espécies reativas de oxigênio (ROS) sobre estruturas celulares essenciais. Quando a produção dessas moléculas excede a capacidade dos mecanismos antioxidantes de neutralizá-las, ocorre uma série de alterações bioquímicas que afetam a integridade e a funcionalidade das células, podendo resultar em prejuízos ao desempenho produtivo, reprodutivo e à saúde das aves (Surai, 2016; Sies, 2015).

Os danos oxidativos são observados principalmente em lipídios, proteínas e ácidos nucleicos. As membranas celulares constituem um dos principais alvos dos radicais livres devido à elevada concentração de ácidos graxos poli-insaturados presentes em sua composição. A oxidação desses compostos desencadeia reações em cadeia que comprometem a estrutura e a permeabilidade das membranas, alterando o funcionamento celular e favorecendo processos degenerativos (Halliwell; Gutteridge, 2015).

Além das alterações lipídicas, as espécies reativas de oxigênio podem promover modificações estruturais em proteínas, afetando a atividade enzimática, o transporte de nutrientes e diversos mecanismos de sinalização celular. Da mesma forma, danos oxidativos ao DNA podem resultar em mutações, alterações na expressão gênica e ativação de processos de morte celular programada, contribuindo para o comprometimento da funcionalidade dos tecidos (Sies, 2015).

No sistema reprodutivo das aves, esses efeitos assumem especial relevância devido à elevada sensibilidade dos gametas e dos tecidos embrionários aos processos oxidativos. O excesso de radicais livres pode comprometer a qualidade dos espermatozoides, dos ovócitos e dos ovos incubáveis, reduzindo a eficiência reprodutiva e a viabilidade da progênie (Surai et al., 2018).

Dessa forma, as principais consequências do estresse oxidativo em matrizes avícolas incluem a peroxidação lipídica das membranas celulares, alterações em proteínas e material genético, redução da



qualidade dos gametas, prejuízos ao desenvolvimento embrionário e comprometimento dos índices de fertilidade e incubabilidade. A magnitude desses efeitos depende da intensidade e da duração do desequilíbrio oxidativo, bem como da capacidade antioxidante do organismo em restabelecer a homeostase celular (REN et al., 2021).

### **2.2.1 Peroxidação lipídica**

A peroxidação lipídica é considerada uma das principais consequências do estresse oxidativo em sistemas biológicos. Esse processo ocorre quando espécies reativas de oxigênio atacam os ácidos graxos poli-insaturados presentes nas membranas celulares, iniciando uma reação em cadeia capaz de gerar compostos altamente reativos e potencialmente tóxicos, como o malondialdeído (MDA) e o 4-hidroxinonenal (4-HNE) (Ayala et al., 2014).

Em aves reprodutoras, a peroxidação lipídica assume papel particularmente importante devido à elevada concentração de lipídios presentes nos tecidos reprodutivos, nos espermatozoides e na gema dos ovos. Os espermatozoides são especialmente susceptíveis à ação dos radicais livres, pois suas membranas apresentam altas concentrações de ácidos graxos poli-insaturados necessários para garantir a fluidez e funcionalidade celular. Como consequência, a oxidação desses lipídios pode reduzir a motilidade, a viabilidade e a capacidade fecundante das células espermáticas (Opuwari; Henkel, 2016).

Nas matrizes fêmeas, a peroxidação dos lipídios presentes na gema pode comprometer a disponibilidade de nutrientes e energia para o desenvolvimento embrionário. Além disso, os produtos gerados durante a oxidação lipídica podem exercer efeitos citotóxicos, contribuindo para o aumento da mortalidade embrionária e para a redução da eclodibilidade dos ovos incubáveis (Surai et al., 2003).

Outro aspecto relevante refere-se ao armazenamento dos ovos. Durante esse período, os processos oxidativos podem continuar ocorrendo, especialmente quando as condições de temperatura e tempo de armazenamento não são adequadas. A oxidação progressiva dos lipídios da gema pode reduzir a qualidade dos ovos incubáveis e comprometer o desempenho dos embriões durante a incubação (Cherian et al., 2007).

Portanto, a peroxidação lipídica representa um dos principais mecanismos pelos quais o estresse oxidativo afeta a reprodução avícola, justificando o crescente interesse pela utilização de estratégias nutricionais antioxidantes capazes de preservar a integridade dos tecidos reprodutivos, dos gametas e dos ovos incubáveis.

### **2.2.2 Impactos do estresse oxidativo sobre a qualidade seminal**

A qualidade seminal é um dos principais determinantes da eficiência reprodutiva em aves, sendo diretamente influenciada pela integridade estrutural e funcional dos espermatozoides. Nesse contexto, o

estresse oxidativo tem sido apontado como um dos principais fatores responsáveis pela deterioração da qualidade do sêmen em machos reprodutores, especialmente em aves submetidas a condições de elevada demanda metabólica, envelhecimento ou desafios ambientais (Surai, 2016; Opuwari; Henkel, 2016).

Embora pequenas quantidades de espécies reativas de oxigênio (ROS) desempenhem funções fisiológicas importantes na capacitação espermática, na motilidade e nos processos de fertilização, a produção excessiva dessas moléculas pode resultar em danos severos às células espermáticas. Os espermatozoides são particularmente susceptíveis ao estresse oxidativo devido à elevada concentração de ácidos graxos poli-insaturados presentes em suas membranas plasmáticas e à limitada quantidade de citoplasma, o que reduz significativamente a disponibilidade de sistemas antioxidantes intracelulares (Aitken; Baker, 2006).

Além dos danos às membranas, o estresse oxidativo também pode afetar estruturas intracelulares importantes para o desempenho espermático. As mitocôndrias, localizadas na peça intermediária dos espermatozoides, são responsáveis pela produção de energia necessária para a movimentação celular. A ação excessiva das ROS pode comprometer a função mitocondrial e reduzir a produção de ATP, resultando em menor motilidade e vigor espermático (Surai; Fisinin, 2016).

Em galos reprodutores, diversos estudos demonstram associação entre o aumento do estresse oxidativo e a redução de parâmetros seminais como motilidade, vigor, concentração espermática e percentual de células morfolologicamente normais. Além disso, o envelhecimento das aves está frequentemente relacionado à diminuição da atividade antioxidante presente no plasma seminal, aumentando a susceptibilidade dos espermatozoides aos danos oxidativos e contribuindo para o declínio da fertilidade observado em lotes mais velhos (Rocha et al., 2013; Triques et al., 2016).

A proteção antioxidante dos espermatozoides depende da ação conjunta de enzimas antioxidantes presentes no plasma seminal, como superóxido dismutase (SOD), catalase (CAT) e glutathione peroxidase (GPx), além de antioxidantes não enzimáticos obtidos pela dieta, incluindo vitamina E, selênio, carotenoides e compostos fenólicos. Dessa forma, estratégias nutricionais voltadas ao fortalecimento desses mecanismos têm sido amplamente estudadas como alternativas para melhorar a qualidade seminal e preservar a fertilidade dos machos reprodutores (Surai, 2020).

### **3 SISTEMA ANTIOXIDANTE DAS AVES**

Os organismos aeróbios desenvolveram ao longo da evolução um complexo sistema de defesa antioxidante capaz de controlar a produção de espécies reativas de oxigênio (ROS) e minimizar os danos causados por essas moléculas. Em aves, esse sistema é particularmente importante devido à elevada taxa metabólica característica da espécie e às intensas demandas fisiológicas associadas ao crescimento, produção de ovos, reprodução e desenvolvimento embrionário (Surai, 2016).

O sistema antioxidante atua de forma integrada para manter o equilíbrio redox celular, prevenindo que a produção de radicais livres ultrapasse a capacidade de neutralização do organismo. Esse sistema é composto por mecanismos enzimáticos e não enzimáticos que atuam em diferentes compartimentos celulares, removendo espécies reativas antes que elas possam causar danos a lipídios, proteínas e ácidos nucleicos (Fisinin et al., 2019).

De maneira geral, os antioxidantes podem ser classificados em endógenos, quando produzidos pelo próprio organismo, e exógenos, quando obtidos por meio da alimentação. Os antioxidantes endógenos constituem a primeira linha de defesa contra o estresse oxidativo e incluem principalmente enzimas especializadas na detoxificação das espécies reativas de oxigênio, destacando-se a superóxido dismutase (SOD), a catalase (CAT) e a glutathione peroxidase (GPx) (Surai; Fisinin, 2016).

A eficiência desses sistemas é fundamental para a manutenção da saúde e da função reprodutiva das aves. Alterações na atividade dessas enzimas têm sido associadas ao envelhecimento, ao estresse térmico, aos desafios sanitários e à redução da fertilidade e da eclodibilidade em matrizes avícolas. Dessa forma, compreender os mecanismos de atuação dos antioxidantes endógenos é essencial para entender como o organismo das aves responde aos desafios oxidativos e como estratégias nutricionais podem contribuir para fortalecer esses mecanismos de defesa (Ren et al., 2021).

### 3.1 SISTEMA ANTIOXIDANTE ENDÓGENO

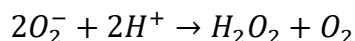
O sistema antioxidante endógeno constitui a principal barreira de proteção contra os efeitos deletérios das espécies reativas de oxigênio produzidas durante o metabolismo celular. Esse sistema é formado por um conjunto de enzimas que atuam de maneira coordenada para neutralizar diferentes radicais livres e impedir que estes promovam danos oxidativos às estruturas celulares (Halliwell; Gutteridge, 2015).

Entre as principais enzimas antioxidantes presentes nos tecidos das aves destacam-se a superóxido dismutase (SOD), a catalase (CAT) e a glutathione peroxidase (GPx), consideradas os componentes centrais da defesa antioxidante celular. Essas enzimas atuam sequencialmente na eliminação das espécies reativas de oxigênio, convertendo moléculas altamente reativas em compostos menos tóxicos e mais facilmente eliminados pelo organismo (Surai, 2016).

#### 3.1.1 Superóxido Dismutase (SOD)

A superóxido dismutase (SOD) é considerada a primeira linha de defesa enzimática contra o estresse oxidativo. Sua principal função consiste em catalisar a conversão do radical superóxido ( $O_2^-$ ), uma das primeiras espécies reativas produzidas durante o metabolismo aeróbio, em peróxido de hidrogênio ( $H_2O_2$ ) e oxigênio molecular ( $O_2$ ) (Mccord; Fridovich, 1969).

A reação catalisada pela SOD pode ser representada da seguinte forma:

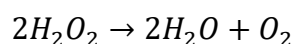


Embora o peróxido de hidrogênio seja menos reativo que o radical superóxido, ele ainda apresenta potencial tóxico e necessita ser posteriormente removido por outras enzimas antioxidantes, como a catalase e a glutathione peroxidase. Dessa forma, a atuação da SOD representa o primeiro passo de uma cascata de proteção antioxidante altamente integrada (Surai et al., 2018). Nas aves, diferentes isoformas da SOD estão presentes em compartimentos celulares específicos. A Cu/Zn-SOD encontra-se predominantemente no citoplasma, enquanto a Mn-SOD está localizada nas mitocôndrias, local onde ocorre grande parte da produção de espécies reativas de oxigênio. Existe ainda uma forma extracelular da enzima, responsável pela proteção antioxidante em fluidos biológicos e tecidos extracelulares (Surai, 2016). Diversos estudos demonstram que alterações na atividade da SOD estão associadas a condições de estresse térmico, envelhecimento e desafios sanitários em aves. A redução da atividade dessa enzima pode favorecer o acúmulo de radicais superóxido e aumentar a susceptibilidade dos tecidos aos danos oxidativos, comprometendo funções fisiológicas importantes, incluindo a reprodução (Fisinin et al., 2019).

### 3.1.2 Catalase (CAT)

A catalase (CAT) é uma enzima antioxidante responsável pela decomposição do peróxido de hidrogênio gerado durante o metabolismo celular e pela ação da superóxido dismutase. Sua função é impedir o acúmulo de  $H_2O_2$ , evitando que essa molécula participe da reação de Fenton e origine o radical hidroxila ( $OH^\bullet$ ), considerado uma das espécies reativas mais agressivas aos sistemas biológicos (Halliwell; Gutteridge, 2015).

A reação catalisada pela catalase pode ser descrita da seguinte forma:



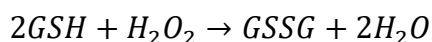
A catalase encontra-se principalmente nos peroxissomos, organelas especializadas em processos oxidativos e na detoxificação celular. Sua elevada eficiência catalítica permite a rápida conversão de grandes quantidades de peróxido de hidrogênio em água e oxigênio, protegendo as células contra danos oxidativos (Surai, 2016). Em aves reprodutoras, a atividade da catalase tem sido relacionada à manutenção da integridade dos tecidos reprodutivos e à proteção dos gametas contra os efeitos deletérios do estresse

oxidativo. Reduções na atividade dessa enzima podem resultar em maior susceptibilidade à peroxidação lipídica e comprometimento da qualidade seminal e embrionária (Ren et al., 2021).

### 3.1.3 Glutathione Peroxidase (GPx)

A glutathione peroxidase (GPx) é considerada uma das mais importantes enzimas antioxidantes do organismo, desempenhando papel fundamental na neutralização do peróxido de hidrogênio e dos hidroperóxidos lipídicos produzidos durante os processos oxidativos. Diferentemente da catalase, que atua principalmente sobre o peróxido de hidrogênio, a GPx também é capaz de reduzir produtos da peroxidação lipídica, protegendo diretamente as membranas celulares contra danos oxidativos (Surai, 2020).

A ação da GPx ocorre por meio da utilização da glutathione reduzida (GSH) como doadora de elétrons:



Um aspecto importante dessa enzima é sua dependência do selênio. O mineral integra o sítio ativo da GPx na forma do aminoácido selenocisteína, sendo essencial para sua atividade biológica. Dessa forma, a disponibilidade de selênio na dieta influencia diretamente a capacidade antioxidante do organismo e a eficiência da resposta ao estresse oxidativo (Surai, 2020). Em aves reprodutoras, a GPx exerce papel fundamental na proteção dos gametas, dos tecidos reprodutivos e dos embriões em desenvolvimento. Diversos estudos demonstram que aumentos na atividade dessa enzima estão associados à melhora da fertilidade, redução da mortalidade embrionária e maior resistência dos tecidos aos danos oxidativos (Attia et al., 2019). Assim, a atuação conjunta da superóxido dismutase, da catalase e da glutathione peroxidase constitui o principal mecanismo de defesa antioxidante enzimática das aves, garantindo a manutenção da homeostase celular e a proteção contra os efeitos deletérios do estresse oxidativo.

## 3.2 SISTEMA ANTIOXIDANTE EXÓGENO

Além dos mecanismos antioxidantes produzidos pelo próprio organismo, as aves dependem da obtenção de compostos antioxidantes por meio da alimentação para complementar suas defesas contra os danos causados pelas espécies reativas de oxigênio (ROS). Esses antioxidantes exógenos atuam em conjunto com os sistemas antioxidantes endógenos, contribuindo para a manutenção da homeostase celular e para a proteção dos tecidos frente aos desafios oxidativos impostos pelo metabolismo, pela reprodução e pelas condições ambientais (Surai, 2016).

A importância dos antioxidantes dietéticos torna-se ainda mais evidente em aves de elevado potencial produtivo e reprodutivo, nas quais a produção de radicais livres frequentemente excede a capacidade dos mecanismos antioxidantes endógenos. Nesses casos, a suplementação adequada de nutrientes com atividade antioxidante é fundamental para preservar a integridade celular, melhorar a resposta imunológica e manter o desempenho produtivo e reprodutivo das aves (Attia et al., 2019).

### **3.2.1 Nutrientes obtidos pela dieta**

Os antioxidantes exógenos compreendem uma ampla variedade de vitaminas, minerais e compostos bioativos presentes naturalmente nos ingredientes da dieta ou adicionados por meio da suplementação nutricional. Esses compostos desempenham diferentes funções na proteção contra o estresse oxidativo, atuando na neutralização direta de radicais livres, na interrupção das reações de peroxidação lipídica ou no fortalecimento dos sistemas antioxidantes enzimáticos (Surai; Fisinin, 2016).

Entre os antioxidantes dietéticos mais estudados na nutrição avícola destacam-se a vitamina E, a vitamina C, o selênio e os carotenoides. A vitamina E é considerada um dos principais antioxidantes lipossolúveis presentes nos tecidos animais, atuando principalmente na proteção das membranas celulares contra a peroxidação lipídica. Sua capacidade de interromper reações em cadeia iniciadas por radicais livres torna esse nutriente essencial para a preservação da integridade dos tecidos reprodutivos, dos gametas e dos ovos incubáveis (Surai, 2020).

O selênio, por sua vez, desempenha papel fundamental como componente estrutural da glutathione peroxidase (GPx), uma das principais enzimas antioxidantes do organismo. A adequada suplementação desse mineral está associada à melhora da capacidade antioxidante, ao fortalecimento do sistema imune e à proteção dos tecidos contra danos oxidativos (Surai, 2020).

A vitamina C também exerce importante função antioxidante, especialmente em situações de estresse. Embora as aves possuam capacidade de sintetizar essa vitamina, sua suplementação pode ser benéfica em condições de elevada demanda fisiológica, como estresse térmico, desafios sanitários e reprodução intensiva. Além de atuar diretamente na neutralização de radicais livres, a vitamina C participa da regeneração da vitamina E oxidada, contribuindo para a manutenção da eficiência antioxidante do organismo (Attia et al., 2017).

Outro grupo de compostos de grande relevância são os carotenoides, incluindo luteína, zeaxantina, licopeno e cantaxantina. Esses pigmentos naturais apresentam elevada capacidade de neutralização de radicais livres e podem ser depositados nos ovos, fornecendo proteção antioxidante adicional ao embrião durante a incubação e ao pintinho após a eclosão (Karadas et al., 2005).

Nos últimos anos, compostos fenólicos de origem vegetal também têm recebido crescente atenção na nutrição avícola. Flavonoides, taninos, ácidos fenólicos e outros metabólitos secundários presentes em

extratos vegetais apresentam propriedades antioxidantes e anti-inflamatórias que podem auxiliar na manutenção do equilíbrio redox e na melhora da eficiência reprodutiva das aves (Surai et al., 2024).

### **3.2.2 Interação entre antioxidantes nutricionais e enzimas antioxidantes**

O sistema antioxidante das aves funciona de forma integrada, sendo a ação dos antioxidantes dietéticos complementada pelos mecanismos antioxidantes endógenos. Em vez de atuarem isoladamente, os diferentes antioxidantes estabelecem uma rede de proteção na qual cada componente exerce funções específicas e interdependentes para garantir a manutenção do equilíbrio redox celular (Surai, 2016).

Um exemplo clássico dessa interação ocorre entre a vitamina E e a glutathione peroxidase. Enquanto a vitamina E atua prevenindo a peroxidação dos lipídios presentes nas membranas celulares, a GPx é responsável pela remoção dos hidroperóxidos formados durante os processos oxidativos. Dessa forma, ambos os mecanismos atuam de maneira complementar para impedir a propagação dos danos oxidativos (Surai, 2020).

A relação entre selênio e glutathione peroxidase constitui outro exemplo importante de interação entre nutrientes e enzimas antioxidantes. Como o selênio integra a estrutura funcional da GPx na forma de selenocisteína, a deficiência desse mineral compromete diretamente a atividade da enzima e reduz a capacidade antioxidante do organismo. Por outro lado, níveis adequados de selênio favorecem o funcionamento eficiente da GPx e aumentam a resistência dos tecidos ao estresse oxidativo (Surai, 2020).

A vitamina C também participa ativamente dessa rede antioxidante ao regenerar a vitamina E oxidada, permitindo que esta continue exercendo sua função protetora nas membranas celulares. Esse mecanismo de reciclagem aumenta a eficiência do sistema antioxidante e reduz a necessidade de reposição constante dos antioxidantes celulares (Halliwell; Gutteridge, 2015).

Além disso, diversos compostos fenólicos presentes em extratos vegetais têm demonstrado capacidade de estimular a expressão de genes relacionados à produção de enzimas antioxidantes, incluindo superóxido dismutase (SOD), catalase (CAT) e glutathione peroxidase (GPx). Esse efeito sugere que determinados antioxidantes dietéticos podem atuar não apenas como sequestradores de radicais livres, mas também como moduladores da resposta antioxidante endógena (Surai et al., 2024).

Em matrizes avícolas, essa interação entre antioxidantes nutricionais e enzimas antioxidantes é particularmente importante para a manutenção da fertilidade, da qualidade dos ovos incubáveis e da viabilidade embrionária. A eficiência da resposta antioxidante depende não apenas da presença dos antioxidantes na dieta, mas também da capacidade do organismo de utilizar esses nutrientes para fortalecer seus mecanismos fisiológicos de defesa (Fisinin et al., 2019).

Portanto, a suplementação adequada de antioxidantes exógenos desempenha papel fundamental na manutenção do equilíbrio redox das aves, atuando de forma sinérgica com os sistemas antioxidantes endógenos para reduzir os efeitos do estresse oxidativo e preservar a saúde e o desempenho reprodutivo dos plantéis.

#### **4 PRINCIPAIS COMPOSTOS ANTIOXIDANTES UTILIZADOS NA NUTRIÇÃO DE MATRIZES**

A suplementação de compostos antioxidantes tem se consolidado como uma importante estratégia nutricional para reduzir os efeitos do estresse oxidativo em aves reprodutoras. Considerando a elevada demanda metabólica associada à produção de ovos, à manutenção da fertilidade e ao desenvolvimento embrionário, a utilização de antioxidantes na dieta pode contribuir para a preservação da integridade celular, melhora da eficiência reprodutiva e aumento da qualidade da progênie (Surai, 2016).

Os antioxidantes utilizados na nutrição avícola podem ser classificados em diferentes grupos, incluindo vitaminas, minerais, carotenoides e compostos bioativos de origem vegetal. Esses compostos atuam por mecanismos distintos, como neutralização direta de radicais livres, interrupção de reações de peroxidação lipídica, regeneração de outros antioxidantes e estímulo aos sistemas antioxidantes endógenos. Dessa forma, desempenham papel fundamental na manutenção do equilíbrio redox e na proteção dos tecidos contra danos oxidativos (Attia et al., 2019).

Entre os antioxidantes mais estudados na alimentação de matrizes destacam-se a vitamina E, o selênio, a vitamina C, os carotenoides e, mais recentemente, compostos fenólicos e óleos essenciais extraídos de plantas. Além de protegerem os tecidos reprodutivos de machos e fêmeas, muitos desses compostos podem ser transferidos para os ovos, contribuindo para a proteção antioxidante do embrião e favorecendo o desenvolvimento inicial da progênie (Surai et al., 2018).

Nas últimas décadas, o interesse por antioxidantes naturais tem aumentado significativamente em função da busca por alternativas sustentáveis e pela crescente valorização de aditivos com propriedades multifuncionais. Compostos como flavonoides, taninos, carotenoides e óleos essenciais têm demonstrado potencial não apenas para reduzir os danos causados pelas espécies reativas de oxigênio, mas também para modular respostas inflamatórias, melhorar a imunidade e otimizar parâmetros reprodutivos em aves (Surai et al., 2024).

##### **4.1 VITAMINA E**

###### **4.1.1 Mecanismo de ação**

A vitamina E atua principalmente como antioxidante lipossolúvel, localizando-se nas membranas celulares e em outras estruturas ricas em lipídios. Sua principal função consiste em interromper as reações



em cadeia da peroxidação lipídica iniciadas pelos radicais livres, impedindo que o dano oxidativo se propague ao longo das membranas celulares (Surai, 2016).

Quando uma espécie reativa de oxigênio ataca um ácido graxo poli-insaturado presente na membrana celular, ocorre a formação de radicais lipídicos que desencadeiam reações sucessivas de oxidação. A vitamina E atua doando um átomo de hidrogênio para neutralizar esses radicais, transformando-os em moléculas mais estáveis e interrompendo a progressão da reação oxidativa. Dessa forma, reduz significativamente os danos causados às estruturas celulares (Halliwell; Gutteridge, 2015).

Após neutralizar os radicais livres, a vitamina E oxidada pode ser regenerada por outros antioxidantes presentes no organismo, especialmente a vitamina C, demonstrando a integração existente entre os diferentes componentes do sistema antioxidante. Essa interação permite que a vitamina E mantenha sua atividade protetora por períodos mais prolongados, aumentando a eficiência da defesa antioxidante celular (Surai; Fisinin, 2016).

Além de sua ação antioxidante direta, a vitamina E também participa da modulação da resposta imunológica, da regulação da expressão gênica e da manutenção da integridade funcional de diversos tecidos, incluindo os órgãos reprodutivos de machos e fêmeas (Attia et al., 2019).

#### **4.1.2 Proteção das membranas celulares**

A proteção das membranas celulares representa uma das funções mais importantes da vitamina E na fisiologia avícola. As membranas biológicas são compostas por elevadas concentrações de fosfolipídios contendo ácidos graxos poli-insaturados, moléculas altamente susceptíveis à ação das espécies reativas de oxigênio. Quando ocorre peroxidação lipídica, a estrutura e a funcionalidade dessas membranas podem ser severamente comprometidas, afetando processos como transporte de nutrientes, comunicação celular e produção de energia (Surai, 2020).

Em aves reprodutoras, essa proteção assume importância ainda maior devido à elevada concentração de lipídios presentes nos tecidos reprodutivos, nos espermatozoides e na gema dos ovos. Os espermatozoides, por exemplo, possuem membranas extremamente ricas em ácidos graxos poli-insaturados, condição que favorece a fluidez necessária para a fertilização, mas que também aumenta sua vulnerabilidade à oxidação. A presença adequada de vitamina E auxilia na preservação da integridade dessas membranas, contribuindo para a manutenção da motilidade e da viabilidade espermática (Aitken; Baker, 2006).

Nas matrizes fêmeas, a vitamina E é transferida para a gema dos ovos, onde desempenha papel fundamental na proteção dos lipídios utilizados pelo embrião como fonte energética durante a incubação. Essa transferência materna constitui um importante mecanismo de proteção antioxidante para o embrião

em desenvolvimento, especialmente durante os estágios finais da incubação, quando o consumo de oxigênio e a produção de espécies reativas aumentam significativamente (Surai et al., 2003).

## 4.2 SELÊNIO ORGÂNICO E INORGÂNICO

O selênio utilizado na alimentação animal pode ser encontrado em formas inorgânicas e orgânicas, que diferem quanto à biodisponibilidade, absorção, retenção tecidual e eficiência biológica. As fontes inorgânicas mais utilizadas incluem o selenito de sódio e o selenato de sódio. Embora apresentem eficácia na prevenção da deficiência de selênio, essas fontes possuem menor retenção nos tecidos e maior susceptibilidade a interações químicas durante os processos digestivos (Surai, 2020).

Por outro lado, as fontes orgânicas são constituídas principalmente por selenometionina e leveduras enriquecidas com selênio. Essas formas apresentam maior biodisponibilidade e podem ser incorporadas às proteínas corporais de maneira semelhante aos aminoácidos sulfurados, permitindo a formação de reservas orgânicas do mineral nos tecidos e nos ovos (Payne; Southern, 2005).

Diversos estudos demonstram que o selênio orgânico promove maior deposição do mineral na gema, melhora a transferência materna para o embrião e aumenta a capacidade antioxidante da progênie quando comparado às fontes inorgânicas (Surai; Fisinin, 2014).

### 4.2.1 Participação na glutathione peroxidase

A principal função antioxidante do selênio está relacionada à sua participação na estrutura da glutathione peroxidase (GPx), enzima responsável pela redução do peróxido de hidrogênio e dos hidroperóxidos lipídicos gerados durante os processos oxidativos.

A GPx catalisa a conversão dessas moléculas potencialmente tóxicas em compostos menos reativos, utilizando a glutathione reduzida (GSH) como substrato. Dessa forma, evita o acúmulo de espécies oxidantes capazes de causar danos às membranas celulares, proteínas e ácidos nucleicos (Surai, 2020).

Em situações de deficiência de selênio, ocorre redução da atividade da glutathione peroxidase, aumentando a susceptibilidade dos tecidos aos danos oxidativos. Por essa razão, a adequada suplementação desse mineral é considerada essencial para a manutenção da homeostase redox e da saúde reprodutiva das aves (Attia et al., 2019). Além da GPx, o selênio participa da composição de outras selenoproteínas envolvidas na regulação da resposta antioxidante, da imunidade e do metabolismo energético, reforçando sua importância para o funcionamento fisiológico do organismo (Rayman, 2012).

## 4.3 VITAMINA C

A vitamina C (ácido ascórbico) é um importante antioxidante hidrossolúvel envolvido em diversos processos fisiológicos relacionados à manutenção da homeostase celular, à resposta imunológica e à

proteção contra os danos causados pelo estresse oxidativo. Diferentemente dos mamíferos, as aves possuem a capacidade de sintetizar vitamina C a partir da glicose nos rins, o que levou, por muitos anos, à suposição de que sua suplementação dietética seria desnecessária. No entanto, estudos demonstram que, em situações de elevada demanda metabólica ou sob condições de estresse, a síntese endógena pode não ser suficiente para atender às necessidades do organismo, tornando a suplementação uma ferramenta nutricional de interesse para a produção avícola (Attia et al., 2017; Surai, 2016).

Nas matrizes avícolas, a vitamina C tem sido associada à melhora da capacidade antioxidante, à manutenção da saúde reprodutiva e ao aumento da resistência a fatores estressantes. Além disso, sua atuação complementar a outros antioxidantes, especialmente à vitamina E, reforça sua importância na proteção dos tecidos reprodutivos e no desenvolvimento embrionário (Sahin et al., 2003).

#### **4.3.1 Papel antioxidante**

A principal função antioxidante da vitamina C está relacionada à sua capacidade de doar elétrons para neutralizar espécies reativas de oxigênio (ROS), convertendo-as em moléculas menos reativas e impedindo que provoquem danos celulares. Por ser hidrossolúvel, sua ação ocorre predominantemente nos fluidos intracelulares e extracelulares, onde atua como uma importante linha de defesa contra a oxidação de proteínas, lipídios e ácidos nucleicos (Halliwell; Gutteridge, 2015).

Além da neutralização direta dos radicais livres, a vitamina C participa da regeneração de outros antioxidantes oxidativamente modificados, contribuindo para a manutenção da eficiência do sistema antioxidante global. Essa característica permite que a vitamina exerça papel central na rede antioxidante celular, ampliando a proteção contra os efeitos deletérios do estresse oxidativo (Surai, 2016).

Outro aspecto importante refere-se à sua participação em processos fisiológicos essenciais, incluindo síntese de colágeno, metabolismo de aminoácidos, produção de hormônios e funcionamento adequado do sistema imunológico. Dessa forma, os benefícios da vitamina C vão além de sua ação antioxidante direta, contribuindo para a manutenção da saúde geral das aves (Attia et al., 2017).

#### **4.3.2 Sinergismo com a vitamina E**

A interação entre vitamina C e vitamina E constitui um dos exemplos mais conhecidos de cooperação entre antioxidantes no organismo animal. Enquanto a vitamina E atua principalmente na proteção dos lipídios das membranas celulares, a vitamina C atua nos meios aquosos, formando um sistema integrado de defesa antioxidante (Surai; Fisinin, 2016).

Durante o processo de neutralização de radicais livres, a vitamina E sofre oxidação e perde temporariamente sua capacidade antioxidante. A vitamina C é capaz de regenerar a vitamina E oxidada,

restaurando sua atividade biológica e permitindo que ela continue protegendo as membranas celulares contra a peroxidação lipídica. Esse mecanismo aumenta significativamente a eficiência antioxidante do organismo e reduz a necessidade de reposição constante da vitamina E (Halliwell; Gutteridge, 2015).

#### 4.4 CAROTENOIDES

Os carotenoides constituem um grupo de pigmentos naturais lipossolúveis amplamente distribuídos em plantas, algas, fungos e alguns microrganismos. Além de sua função como pigmentantes naturais, esses compostos desempenham importante papel biológico devido às suas propriedades antioxidantes, imunomoduladoras e pró-vitamínicas. Na nutrição de matrizes avícolas, os carotenoides têm recebido crescente atenção por sua capacidade de proteger tecidos reprodutivos contra o estresse oxidativo, melhorar a qualidade dos ovos incubáveis e favorecer o desenvolvimento embrionário e a qualidade da progênie (Surai et al., 2003; Fisinin et al., 2019).

A ação antioxidante dos carotenoides está relacionada principalmente à sua capacidade de neutralizar oxigênio singlete ( $^1O_2$ ) e sequestrar radicais livres produzidos durante os processos metabólicos. Além disso, esses compostos atuam de forma complementar a outros antioxidantes, como a vitamina E, contribuindo para a manutenção da integridade das membranas celulares e para a redução dos danos oxidativos em diferentes tecidos (Krinsky; Johnson, 2005).

Uma característica particularmente importante dos carotenoides em aves reprodutoras é sua capacidade de serem transferidos da dieta materna para a gema dos ovos. Essa transferência permite que os embriões recebam proteção antioxidante ainda durante o desenvolvimento embrionário, favorecendo a sobrevivência celular, a formação adequada dos tecidos e a adaptação ao ambiente pós-eclosão (Karadas et al., 2005). Entre os carotenoides mais estudados na nutrição de matrizes destacam-se a luteína, a zeaxantina e a astaxantina, compostos que apresentam elevada atividade antioxidante e diferentes funções fisiológicas relacionadas à reprodução e ao desenvolvimento da progênie.

##### 4.4.1 Luteína

A luteína é uma xantofila amplamente encontrada em vegetais verdes, especialmente em folhas e gramíneas. Esse carotenoide possui elevada capacidade antioxidante e desempenha papel importante na proteção celular contra danos causados pelas espécies reativas de oxigênio (ROS). Em aves, a luteína é absorvida pelo trato gastrointestinal e posteriormente depositada em tecidos corporais e nos ovos, contribuindo para a proteção antioxidante do embrião (Surai et al., 2003).

Diversos estudos demonstram que a suplementação de luteína aumenta sua concentração na gema e melhora a capacidade antioxidante dos ovos incubáveis. Como consequência, observa-se redução da peroxidação lipídica, maior viabilidade embrionária e melhora da qualidade dos pintos ao nascimento. Além

disso, a luteína apresenta propriedades imunomoduladoras que podem contribuir para o fortalecimento do sistema imune da progênie nas fases iniciais de vida (Karadas et al., 2005).

#### **4.4.2 Zeaxantina**

A zeaxantina é outro carotenoide pertencente ao grupo das xantofilas e frequentemente está associada à luteína nos ingredientes vegetais utilizados na alimentação das aves. Sua estrutura química permite elevada eficiência na neutralização de espécies reativas de oxigênio, atuando como importante agente protetor contra a oxidação de lipídios e proteínas (Krinsky; Johnson, 2005).

Em matrizes avícolas, a zeaxantina também pode ser transferida para os ovos, aumentando a proteção antioxidante do embrião durante a incubação. Estudos indicam que a presença desse carotenoide na gema contribui para a redução dos danos oxidativos e para a manutenção da integridade celular durante os períodos de maior atividade metabólica embrionária (Surai, 2016).

Além de seus efeitos antioxidantes, a zeaxantina participa da pigmentação da gema, característica frequentemente associada à percepção de qualidade dos ovos pelos consumidores. Entretanto, sua importância biológica para a reprodução vai muito além da pigmentação, estando diretamente relacionada à proteção celular e ao desenvolvimento embrionário (Fisinin et al., 2019).

#### **4.4.3 Astaxantina**

A astaxantina é considerada um dos carotenoides de maior potencial antioxidante encontrados na natureza. Esse composto é produzido principalmente por microalgas e alguns organismos marinhos, apresentando capacidade antioxidante superior à de diversos outros carotenoides e até mesmo à de algumas vitaminas antioxidantes (Ambati et al., 2014).

Seu elevado poder antioxidante está relacionado à capacidade de neutralizar diferentes espécies reativas de oxigênio e de se posicionar estrategicamente nas membranas celulares, protegendo tanto a região interna quanto externa da bicamada lipídica. Dessa forma, a astaxantina atua de maneira eficiente na prevenção da peroxidação lipídica e na manutenção da integridade celular (Surai, 2020).

Na reprodução avícola, estudos indicam que a suplementação com astaxantina pode melhorar a capacidade antioxidante dos tecidos reprodutivos, aumentar a proteção dos ovos incubáveis e favorecer o desenvolvimento embrionário. Além disso, sua deposição na gema contribui para o fortalecimento das defesas antioxidantes da progênie durante as primeiras fases de vida (Fisinin et al., 2019).

#### **4.4.4 Transferência para a gema e para o embrião**

Uma das principais características dos carotenoides na nutrição de matrizes avícolas é sua eficiente transferência da dieta para os ovos. Após a absorção intestinal, esses compostos são transportados pelo sangue até o fígado e posteriormente incorporados às lipoproteínas responsáveis pelo transporte dos nutrientes destinados à formação da gema (Surai et al., 2003).

Durante a embriogênese, os carotenoides acumulam-se na gema e tornam-se disponíveis para o embrião ao longo da incubação. Essa transferência materna representa um importante mecanismo de proteção antioxidante, uma vez que os embriões apresentam intensa atividade metabólica e elevada susceptibilidade aos danos causados pelas espécies reativas de oxigênio (Karadas et al., 2005).

Diversos trabalhos demonstram que níveis mais elevados de carotenoides nos ovos estão associados à redução da mortalidade embrionária, aumento da eclodibilidade, melhora da qualidade dos pintos e fortalecimento da resposta imunológica da progênie (Rosa et al., 2017; Bonilla et al 2017) . Além disso, esses compostos podem atuar em conjunto com outros antioxidantes transferidos pela matriz, como vitamina E e selênio, potencializando a proteção contra o estresse oxidativo durante o desenvolvimento embrionário (Surai, 2020). Dessa forma, os carotenoides representam uma importante ferramenta nutricional para a reprodução avícola, contribuindo não apenas para a proteção dos tecidos reprodutivos das matrizes, mas também para a promoção da saúde embrionária e da qualidade da progênie.

#### **4.4.5 Compostos fenólicos e extratos vegetais**

Nos últimos anos, os compostos fenólicos e os extratos vegetais têm despertado crescente interesse na nutrição animal devido ao seu potencial antioxidante, anti-inflamatório e imunomodulador. A busca por alternativas naturais capazes de melhorar a saúde e o desempenho dos animais, associada às restrições ao uso de determinados aditivos sintéticos, impulsionou o desenvolvimento de pesquisas envolvendo metabólitos secundários de plantas como ferramentas nutricionais para mitigar os efeitos do estresse oxidativo em aves reprodutoras (Surai et al., 2024).

Os compostos fenólicos constituem uma ampla classe de moléculas caracterizadas pela presença de um ou mais grupos hidroxila ligados a anéis aromáticos. Esses compostos são produzidos naturalmente pelas plantas como mecanismos de defesa contra estresses ambientais, patógenos e herbívoros. Quando incorporados à dieta animal, podem exercer importantes funções biológicas relacionadas à neutralização de radicais livres, modulação de vias inflamatórias e fortalecimento dos sistemas antioxidantes endógenos (Perez-Vizcaino; Fraga, 2018).

Diferentemente dos antioxidantes clássicos, que atuam principalmente pela neutralização direta das espécies reativas de oxigênio (ROS), muitos compostos fenólicos também são capazes de estimular a expressão de genes relacionados à síntese de enzimas antioxidantes, como superóxido dismutase (SOD),

catalase (CAT) e glutathione peroxidase (GPx). Dessa forma, seus efeitos podem ser observados tanto na redução imediata dos danos oxidativos quanto no fortalecimento da capacidade antioxidante do organismo a longo prazo (Surai et al., 2024). Entre os principais compostos fenólicos estudados na nutrição de matrizes avícolas destacam-se os flavonoides, os taninos e os ácidos fenólicos, além de diversos extratos obtidos de plantas medicinais com reconhecida atividade antioxidante.

#### 4.5 FLAVONOIDES

Os flavonoides representam o maior grupo de compostos fenólicos encontrados na natureza. Estão amplamente distribuídos em frutas, sementes, folhas, flores e cascas de plantas, sendo responsáveis por diversas propriedades biológicas relacionadas à proteção antioxidante e à regulação de processos inflamatórios (Panchal; Brown, 2022).

A atividade antioxidante dos flavonoides está relacionada principalmente à capacidade de doar elétrons ou hidrogênios para neutralizar radicais livres, interrompendo reações oxidativas em cadeia. Além disso, esses compostos podem atuar como quelantes de metais de transição, reduzindo a formação de espécies reativas derivadas de reações de oxidação catalisadas por ferro e cobre (Perez-Vizcaino; Fraga, 2018).

Na reprodução avícola, os flavonoides têm sido associados à melhora da capacidade antioxidante dos tecidos reprodutivos, proteção dos gametas contra danos oxidativos e aumento da viabilidade embrionária. Estudos recentes sugerem que a suplementação com compostos ricos em flavonoides pode contribuir para a manutenção da fertilidade e da qualidade dos ovos incubáveis, especialmente em matrizes submetidas a condições de estresse oxidativo (Surai et al., 2024).

##### 4.5.1 Taninos

Os taninos constituem um grupo de compostos fenólicos de elevado peso molecular encontrados em diversas espécies vegetais. Tradicionalmente, esses compostos foram associados à redução da digestibilidade dos nutrientes devido à sua capacidade de formar complexos com proteínas. Entretanto, pesquisas mais recentes demonstram que, quando utilizados em níveis adequados, os taninos podem apresentar importantes efeitos benéficos sobre a saúde intestinal, a imunidade e a capacidade antioxidante dos animais (Huang et al., 2018).

A ação antioxidante dos taninos está relacionada à sua elevada capacidade de sequestrar radicais livres e de inibir reações de peroxidação lipídica. Além disso, esses compostos podem modular processos inflamatórios e auxiliar na preservação da integridade das membranas celulares sob condições de estresse oxidativo (Surai et al., 2024).

Na avicultura reprodutiva, estudos envolvendo taninos condensados, especialmente aqueles derivados da acácia (*Acacia mearnsii*), têm demonstrado potencial para melhorar parâmetros relacionados à qualidade seminal, fertilidade e incubabilidade. Esses efeitos são frequentemente atribuídos à redução dos danos oxidativos nos tecidos reprodutivos e à melhora da eficiência dos mecanismos antioxidantes endógenos (Starcevic et al., 2015).

#### 4.5.2 Ácidos fenólicos

Os ácidos fenólicos constituem outra importante classe de compostos bioativos presentes em plantas. Entre os mais estudados destacam-se os ácidos gálico, cafeico, ferúlico e clorogênico, moléculas reconhecidas por sua elevada capacidade antioxidante e anti-inflamatória (Rice-Evans et al., 1997). Esses compostos atuam neutralizando espécies reativas de oxigênio e protegendo biomoléculas contra danos oxidativos. Além disso, podem influenciar a atividade de enzimas antioxidantes e modular vias celulares relacionadas à inflamação e à resposta imune (Perez-Vizcaino; Fraga, 2018).

Em aves reprodutoras, os ácidos fenólicos têm sido associados à melhora do status antioxidante e à proteção contra os efeitos deletérios do envelhecimento reprodutivo e do estresse térmico. Sua presença em extratos vegetais comerciais tem despertado interesse crescente devido ao potencial de melhorar a eficiência reprodutiva sem comprometer o desempenho produtivo das aves (Surai et al., 2024).

### 5 CONCLUSÃO

A presente revisão bibliográfica teve como objetivo analisar os principais compostos antioxidantes utilizados na nutrição de matrizes avícolas e seus efeitos sobre a reprodução. A literatura consultada demonstra que o estresse oxidativo pode comprometer a qualidade dos gametas, a fertilidade, a incubabilidade e o desenvolvimento embrionário, impactando negativamente a eficiência reprodutiva das aves.

Os resultados evidenciam que antioxidantes como vitamina E, selênio, vitamina C, carotenoides e compostos fenólicos auxiliam na manutenção do equilíbrio oxidativo, contribuindo para a proteção dos tecidos reprodutivos e para a melhoria dos índices reprodutivos. Além disso, a transferência desses compostos para os ovos pode favorecer o desenvolvimento embrionário e a qualidade da progênie.

Dessa forma, conclui-se que a suplementação de compostos antioxidantes representa uma importante estratégia nutricional para preservar a saúde reprodutiva das matrizes e otimizar os resultados produtivos da avicultura. Contudo, estudos adicionais são necessários para definir níveis ideais de suplementação e ampliar o conhecimento sobre os efeitos de diferentes fontes antioxidantes na reprodução avícola.



## REFERÊNCIAS

- AITKEN, R. J.; BAKER, M. A. Oxidative stress, sperm survival and fertility control. **Molecular and Cellular Endocrinology**, v. 250, p. 66–69, 2006.
- AITKEN, R. J.; DE IULIIS, G. N. On the possible origins of DNA damage in human spermatozoa. **Molecular Human Reproduction**, v. 16, p. 3–13, 2010.
- AMBATI, R. R.; PHANG, S. M.; RAVI, S.; ASWATHANARAYANA, R. G. Astaxanthin: sources, extraction, stability, biological activities and its commercial applications. **Marine Drugs**, v. 12, p. 128–152, 2014.
- ATTIA, Y. A.; AL-HARTHI, M. A.; ELNAGGAR, A. S. Productive, physiological and immunological responses of poultry to heat stress: a review. **International Journal of Biometeorology**, v. 61, p. 1–15, 2017.
- ATTIA, Y. A.; ALAGAWANY, M.; FARAG, M. R. et al. Beneficial impacts of dietary antioxidants on poultry production and health. **Poultry Science**, v. 98, p. 5181–5197, 2019.
- AYALA, A.; MUÑOZ, M. F.; ARGÜELLES, S. Lipid peroxidation: production, metabolism and signaling mechanisms of malondialdehyde and 4-hydroxy-2-nonenal. **Oxidative Medicine and Cellular Longevity**, v. 2014, Article ID 360438, 2014.
- BAIN, M. M.; NYS, Y.; DUNN, I. C. Increasing persistency in lay and stabilising egg quality in longer laying cycles: what are the challenges? **British Poultry Science**, v. 57, p. 330–338, 2016.
- BAKST, M. R.; WISHART, G.; BRILLARD, J. P. Oviductal sperm selection, transport and storage in poultry. **World's Poultry Science Journal**, v. 71, p. 293–308, 2015.
- BONILLA, C. E. V. et al. Effect of broiler breeders fed with corn or sorghum diet and canthaxanthin supplementation on production and reproductive performance. **Poultry science**, v. 96, n. 6, p. 1725–1734, 2017.
- CHERIAN, G.; HOLSONBAKE, T. B.; GOEGER, M. P. Fatty acid composition and egg components during storage. **Poultry Science**, v. 86, p. 1913–1918, 2007.
- FISININ, V. I.; SURAI, P. F.; KARADAS, F. Antioxidant systems in poultry biology and reproduction. **Animal Feed Science and Technology**, v. 250, p. 1–16, 2019.
- HALLIWELL, B.; GUTTERIDGE, J. M. C. **Free Radicals in Biology and Medicine**. 5. ed. Oxford: Oxford University Press, 2015.
- HARMAN, D. Aging: overview. **Annals of the New York Academy of Sciences**, v. 928, p. 1–21, 2001.
- HUANG, Q.; LIU, X.; ZHAO, G.; HU, T.; WANG, Y. Potential and challenges of tannins as an alternative to in-feed antibiotics for farm animal production. **Animal Nutrition**, v. 4, p. 137–150, 2018.

- KARADAS, F.; SURAI, P. F.; GRAMMENIDIS, E.; SPARKS, N. H. C.; ACAMOVIC, T. Supplementation of maternal diet with carotenoids and selenium as a way of increasing the antioxidant system of the developing chick. **British Poultry Science**, v. 46, p. 73–77, 2005.
- KRINSKY, N. I.; JOHNSON, E. J. Carotenoid actions and their relation to health and disease. **Molecular Aspects of Medicine**, v. 26, p. 459–516, 2005.
- LIU, H. K.; NIU, Z. Y.; SUN, T. T.; WANG, J.; ZHANG, J. F. Effects of age on reproductive performance and antioxidant status of broiler breeders. **Poultry Science**, v. 97, p. 1605–1612, 2018.
- MCCORD, J. M.; FRIDOVICH, I. Superoxide dismutase: an enzymic function for erythrocuprein. **Journal of Biological Chemistry**, v. 244, p. 6049–6055, 1969.
- OPUWARI, C. S.; HENKEL, R. R. An update on oxidative damage to spermatozoa and oocytes. **BioMed Research International**, v. 2016, Article ID 9540142, 2016.
- PAYNE, R. L.; SOUTHERN, L. L. Comparison of inorganic and organic selenium sources for broilers. **Poultry Science**, v. 84, p. 898–902, 2005.
- PEREZ-VIZCAINO, F.; FRAGA, C. G. Research trends in flavonoids and health. **Archives of Biochemistry and Biophysics**, v. 646, p. 107–112, 2018.
- RAYMAN, M. P. Selenium and human health. **The Lancet**, v. 379, p. 1256–1268, 2012.
- REN, X.; YANG, X.; SHAO, Y. et al. Effects of aging on reproductive performance and oxidative status in breeder hens. **Animals**, v. 11, 3350, 2021.
- RICE-EVANS, C.; MILLER, N.; PAGANGA, G. Antioxidant properties of phenolic compounds. **Trends in Plant Science**, v. 2, p. 152–159, 1997.
- ROCHA, J. S. R.; LARA, L. J. C.; BAIÃO, N. C. Canthaxanthin supplementation in poultry diets and its effects on reproduction. **Revista Brasileira de Ciência Avícola**, v. 15, p. 1–8, 2013.
- ROSA, A. P. et al. Effect of broiler breeders fed with corn or sorghum and canthaxanthin on lipid peroxidation, fatty acid profile of hatching eggs, and offspring performance. **Poultry Science**, v. 96, n. 3, p. 647–658, 2017.
- SAHIN, K.; SAHIN, N.; ONDERCI, M.; YARALIOGLU, S.; KUCUK, O. Protective role of supplemental vitamin C and vitamin E on lipid peroxidation, antioxidant status, and some serum hormone concentrations of Japanese quails reared under heat stress. **International Journal for Vitamin and Nutrition Research**, v. 73, p. 91–100, 2003.
- SIES, H. Oxidative stress: a concept in redox biology and medicine. **Redox Biology**, v. 4, p. 180–183, 2015.
- STARCEVIC, K.; KRSTULOVIC, L.; BROZIC, D. et al. Production performance, meat composition and oxidative susceptibility in broiler chicken fed with different phenolic compounds. **Journal of the Science of Food and Agriculture**, v. 95, p. 1172–1178, 2015.

SURAI, P. F. **Antioxidant Systems in Poultry Biology**. Wageningen: Wageningen Academic Publishers, 2016.

SURAI, P. F. **Selenium in Poultry Nutrition and Health**. Wageningen: Wageningen Academic Publishers, 2020.

SURAI, P. F.; FISININ, V. I. Selenium in poultry breeder nutrition: an update. **Animal Feed Science and Technology**, v. 191, p. 1–15, 2014.

SURAI, P. F.; FISININ, V. I. Antioxidant-prooxidant balance in poultry reproduction. **Journal of Applied Poultry Research**, v. 24, p. 1–14, 2015.

SURAI, P. F.; FISININ, V. I. Antioxidant-prooxidant balance in poultry: from basic mechanisms to practical applications. **Journal of Applied Poultry Research**, v. 25, p. 443–456, 2016.

SURAI, P. F.; KOCHISH, I. I.; FISININ, V. I.; KIDD, M. T. Antioxidant defence systems and oxidative stress in poultry biology: an update. **Antioxidants**, v. 8, n. 7, 235, 2019.

SURAI, P. F.; KOCHISH, I. I.; FISININ, V. I.; KIDD, M. T. Polyphenols in poultry nutrition: new developments and future perspectives. **Antioxidants**, v. 13, 2024.

SURAI, P. F.; SPARKS, N. H. C.; NOBLE, R. C. Antioxidant systems of the avian embryo. **Poultry and Avian Biology Reviews**, v. 14, p. 57–115, 2003.

TRIQUES, G. E.; RUTZ, F.; ANCIUTI, M. A.; SILVA, J. G. C.; MAIER, J. C. Canthaxanthin supplementation for broiler breeder roosters in post-peak production. **Brazilian Journal of Poultry Science**, v. 18, p. 269–276, 2016.