

UNIVERSIDADE ESTADUAL DE MARINGÁ
CENTRO DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS

ÁCIDOS GRAXOS POLINSATURADOS E VITAMINA E EM
DIETAS PARA REPRODUTORES DE CODORNAS
JAPONESAS E SUA PROGENIE

Autor: Letícia Aline Lima da Silva
Orientador: Prof^a. Dr^a. Tatiana Carlesso dos Santos
Coorientador: Prof . Dr. Paulo Cesar Pozza

Maringá - PR
Abril - 2024

UNIVERSIDADE ESTADUAL DE MARINGÁ
CENTRO DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS

ÁCIDOS GRAXOS POLINSATURADOS E VITAMINA E EM
DIETAS PARA REPRODUTORES DE CODORNAS
JAPONESAS E SUA PROGENIE

Autor: Letícia Aline Lima da Silva
Orientador: Prof^a. Dr^a. Tatiana Carlesso dos Santos
Coorientador: Prof . Dr. Paulo Cesar Pozza

Tese apresentada, como parte das exigências
para obtenção do título de DOUTOR EM
ZOOTECNIA, no Programa de Pós-Graduação
em Zootecnia da Universidade Estadual de
Maringá - Área de Concentração Produção
Animal/Pastagens e Forragicultura

Maringá - PR
Abril - 2024

Ficha catalográfica preparada pela Seção de Catalogação e Classificação da
Biblioteca Central da UEM

Dados Internacionais de Catalogação-na-Publicação (CIP)
(Biblioteca Central - UEM, Maringá - PR, Brasil)

S586a

Silva, Leticia Aline Lima da

Ácidos graxos polinsaturados e vitamina E em dietas para reprodutores de codornas japonesas e sua progênie / Leticia Aline Lima da Silva. -- Maringá, PR, 2024.
iv, 182 f. : il. color., figs., tabs.

Orientadora: Profa. Dra. Tatiana Carlesso dos Santos.

Coorientador: Prof. Paulo Cesar Pozza.

Tese (doutorado) - Universidade Estadual de Maringá, Centro de Ciências Agrárias, Departamento de Zootecnia, Programa de Pós-Graduação em Zootecnia, 2024.

1. Codornas japonesas - Reprodução. 2. Codornas japonesas - Dieta - Ácidos graxos polinsaturados. 3. Codornas japonesas - Dieta - Vitamina E. 4. Ovos - Fontes de DHA. I. Santos, Tatiana Carlesso dos, orient. II. Pozza, Paulo Cesar, coorient. III. Universidade Estadual de Maringá. Centro de Ciências Agrárias. Departamento de Zootecnia. Programa de Pós-Graduação em Zootecnia. IV. Título.

CDD 23.ed. 636.6

Elaine Cristina Soares Lira - CRB-9/1202



UNIVERSIDADE ESTADUAL DE MARINGÁ
CENTRO DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS

ÁCIDOS GRAXOS POLINSATURADOS E VITAMINA E EM
DIETAS PARA REPRODUTORES (AS) DE CODORNAS
JAPONESAS E SUA PROGÊNIE

Autor: Letícia Aline Lima da Silva
Orientador: Prof^a. Dr^a. Tatiana Carlesso dos Santos
Coorientador: Prof . Dr. Paulo Cesar Pozza

TITULAÇÃO: Doutor em Zootecnia - Área de Concentração Produção
Animal/Pastagens e Forragicultura

APROVADA em 12 de abril de 2024.

Prof. Dra. Taynara Prestes Perine Moretto Prof. Dr. Leandro Dalcin Castilha
Rodrigues

Prof. Dra. Maria Marta

Dra. Tainara Ciuffi Euzébio Dornelas

Prof^a. Dr^a. Tatiana Carlesso dos Santos
(Orientadora)

“É muito melhor lançar-se em busca de conquistas grandiosas, mesmo expondo-se ao fracasso, do que alinhar-se com os pobres de espírito, que nem gozam muito nem sofrem muito, porque vivem numa penumbra cinzenta, onde não conhecem nem vitória, nem derrota.” (Theodore Roosevelt)

A Deus, pela força e determinação para vencer os obstáculos. Aos meus avós José Cosme e Jofesa Alice (*in memoriam*), obrigada por todos os momentos e ensinamentos. Sinto falta de vocês, mas acima de tudo a influência de vocês em tudo que faço. Sei que somos ligadas por um elo que nunca se rompe: o Amor! Sei que onde vocês estão vibram junto comigo cada passo da minha caminhada. A minha mãe e família por todo o apoio e carinho, sem vocês não sou nada. Ao meu filho Heitor Lima, indubitavelmente a razão mais forte da minha própria existência.

DEDICO

AGRADECIMENTOS

A Deus, por permitir ser quem sou, conquistar novos conhecimentos e a dádiva da constante evolução.

À minha mãe Maria das Dôres, o ser especial e importante da minha vida. Tenho muito orgulho dela, exemplo de mulher guerreira e lutadora. Muito obrigada pela confiança, incentivo e por sempre acreditar nos meus sonhos, cheguei até aqui porque a senhora nunca soltou a minha mão, obrigada por ser minha mãe, minha amiga e incentivadora.

Ao meu filho Heitor Lima, que chegou no meio de uma confusão, para me mostrar o amor mais sincero e puro. Que fez minha vida ter um novo sentido e se tornar mais leve. E, que no meio do caos foi a minha calmaria, meu refúgio, que me faz querer ser uma pessoa melhor todo dia por você e por me dar um ânimo e novos caminhos para a minha vida.

Ao meu irmão Gabriel, obrigada por me ouvir, pelas risadas, por estar ao meu lado, por toda vez que eu fiquei triste você sempre me animou, enfim pelo companheirismo de sempre!

Aos meus segundos pais Maria Santos e Armando Francisco, por todo o carinho, amor, ensinamentos e dedicação comigo ao longo de todo esse tempo e por acreditarem nas minhas escolhas e por compreenderem minha ausência, mas sempre ao meu lado.

Às minhas primas-irmãs Cristiane Santos, Betânia Santos, Lanna Caroline, por todas as risadas, ensinamentos, momentos juntos, por fazer parte do que eu sou hoje. Obrigada pelo amor incondicional e pela companhia incansável. Minha vida se torna mais feliz com vocês por perto. E a minha afilhada Alice Santos que sua alegria e inocência me fez rir e ver a vida mais feliz e leve.

À professora Tatiana Carlesso dos Santos, por ter sido minha orientadora nesses longos 5 anos e ter desempenhado tal função com dedicação e amizade. Obrigada pela confiança, orientações valiosas, ensinamentos, incentivo e me fazer crescer como ser humano, como profissional, por apoiar minhas ideias e pela amizade. Sem sua orientação, apoio, confiança, não somente neste trabalho, mas em todo o caminho percorrido até aqui, nada disso seria possível.

Ao meu grupo de pesquisa Gemorfia, meus estagiários e amigos, Daniel Tokawa, Marina Santos, Rafaella Scaboro, Allanna Rabelato e a Ana Júlia, obrigada por toda a ajuda nos experimentos, por aguentar minhas chatices, pela amizade, pelo companheirismo, força e apoio, vocês fizeram meu doutorado ser mais leve. Levarei vocês no meu coração.

Ao Vinício Cardoso, obrigada por estar ao meu lado, nos momentos bons e difíceis que não foram poucos nesse último ano, mas você sempre me fez acreditar que eu iria conseguir a chegar ao final de tudo isso. Sou grata por cada ajuda na fazenda que não foram poucas, por cada gesto de carinho, apoio, sorriso, por escutar eu reclamar, por aceitar as minhas ideias mais malucas e dizer não sei porque ainda escuto você, pela amizade, por tudo que você sabe que eu sou grata a você.

Às minhas amigas Maria Tereza e Brena Cristina, tenho nem palavras pra agradecer tudo o que vocês fizeram nesses três longos anos de doutorado, obrigada por sempre estar ao meu lado, pelas idas infinitas a FEI que com vocês ficavam mais leves e divertidas, pela amizade incondicional e pelo apoio demonstrado ao longo de todo o período de tempo em que me dediquei a este trabalho.

Agradeço aos meus pontos de luz (Dayane Albuquerque e Rita de Cássia), que mesmo a 3 mil km de distância sempre estiveram ao meu lado. Obrigada por mesmo na correria sempre terem um tempo pra mim e escutar desde a coisa mais importante a maior besteira, mas estavam ali para me alegrar e me apoiar. Obrigada por nunca ter soltado a minha mão e terem me puxado pra cima quando mais precisei. Amo vocês inexplicavelmente.

Desejo igualmente agradecer a todos os meus colegas do Mestrado e Doutorado, especialmente a Ingrid Silva, Josiane Aparecida, Rodrigo Basaglia, Tainara Euzebio, José Matheus cujo apoio e amizade estiveram presentes em todos os momentos.

Agradeço à minha primeira turma como professora, meu muito obrigado por terem me recebido tão bem, por terem me ajudado a me torna uma professora, pelo apoio, como vocês dizem “Você já é doutora” e por todo o carinho, vocês estarão sempre no meu coração.

À Universidade Estadual de Maringá (UEM), pela oportunidade e apoio para a realização deste trabalho.

À Capes, pela concessão da bolsa de mestrado que viabilizou a minha pesquisa.

Aos professores e funcionários do Programa de Pós-Graduação em Zootecnia, da Universidade Estadual de Maringá, pelos ensinamentos e toda a ajuda durante a minha caminhada que fez eu chegar até aqui. Em especial meu coorientador Paulo Pozza que sempre me auxiliou quando eu precisei e ajudou na realização deste trabalho.

À Empresa DSM, pelo fornecimento do produto para a execução deste trabalho.

Agradeço imensamente a todos que contribuíram direta ou indiretamente com este trabalho e para minha formação, não só profissional como também pessoal

BIOGRAFIA DO AUTOR

Letícia Aline Lima da Silva, Filha de José Lima da Silva e Maria das Dores Santos, nascida em 07 de outubro de 1995 na cidade de Condado – Pernambuco. Em 2018, concluiu o curso de Graduação em Zootecnia na Universidade Federal Rural de Pernambuco. Em fevereiro de 2019 iniciou no programa de Pós-Graduação em Zootecnia, mestrado na área de concentração Produção Animal, subárea Nutrição e Produção de Não Ruminantes, na Universidade Estadual de Maringá. Em fevereiro de 2021, obteve o título de Mestre em Zootecnia. Em março de 2020, ingressou no curso de Doutorado no Programa de Pós Graduação em Zootecnia, área de concentração Produção Animal, na Universidade Estadual de Maringá, tendo como orientadora a Professora Doutora Tatiana Carlesso dos Santos, e, submeteu-se a banca examinadora em abril de 2024.

ÍNDICE

	Página
LISTA DE TABELA.....	I
LISTA DE FIGURA.....	II
RESUMO	III
ABSTRACT.....	IV
I - INTRODUÇÃO	1
1.1. Introdução Geral	1
2. Revisão de Literatura.....	2
2.1 Ácidos Graxos Polinsaturados.....	2
2.2 Fontes de DHA	4
2.2.1 Linhaça.....	5
2.2.2 Microalgas.....	6
2.3 Ovos Enriquecidos com DHA	7
2.4 DHA na Incubação e na Qualidade de Pintinho.....	8
2.5 Processos Oxidativos.....	10
2.6 Vitamina E.....	12
3. Considerações Finais.....	14
II - OBJETIVOS GERAIS.....	23
III. SUPLEMENTAÇÃO DE DHA NA DIETA DE REPRODUTORES DE CODORNAS JAPONESAS SOBRE O DESEMPENHO PRODUTIVO, O PERFIL BIOQUÍMICO SÉRICO, PERFIL DE ÁCIDO GRAXO DA GEMA E ANÁLISE SENSORIAL DO OVO	
Resumo.....	24
Abstract.....	25
Introdução.....	26

Material e Métodos.....	29
Resultados.....	37
Discussão.....	40
Conclusão.....	49

IV. EFEITO DA INCLUSÃO DO ÁCIDO DOCOSAHEXAENOICO NO DESEMPENHO DE INCUBAÇÃO, QUALIDADE DA PROGÊNIE E CAPACIDADE ANTIOXIDANTE DE REPRODUTORES DE CODORNAS JAPONESAS

Resumo.....	66
Abstract.....	67
Introdução.....	68
Material e Métodos.....	69
Resultados.....	74
Discussão.....	76
Conclusão.....	82

V. CARACTERÍSTICAS FÍSICO-QUÍMICA E ANÁLISE SENSORIAL DE CARNE DE MATRIZES DE CODORNAS JAPONESAS ALIMENTADAS COM DIFERENTES NÍVEIS DHA

Resumo.....	93
Abstract.....	94
Introdução.....	94
Material e Métodos.....	96
Resultados.....	101
Discussão.....	102
Conclusão.....	106

VI. RELAÇÃO DE ÁCIDOS LINOLEICO E ALFA LINOLÊNICO E VITAMINA E SOBRE O DESEMPENHO PRODUTIVO, O PERFIL BIOQUÍMICO SÉRICO E O COMPOSIÇÃO DA GEMA DE REPRODUTORES DE CODORNAS JAPONESAS

Resumo.....	119
Abstract.....	120
Introdução.....	121
Material e Métodos.....	123
Resultados.....	127
Discussão.....	129
Conclusão.....	134

VII. DIFERENTES RELAÇÕES DE ÁCIDO LINOLEICO E ALFA LINOLÊNICO SUPLEMENTADOS COM NÍVEIS DE VITAMINA E NO DESEMPENHO DE INCUBAÇÃO, QUALIDADE DA PROGENIE E CAPACIDADE ANTIOXIDADE DE CODORNAS JAPONESAS

Resumo.....	148
Abstract.....	149
Introdução.....	150
Material e Métodos.....	152
Resultados.....	158
Discussão.....	162
Conclusão.....	168
VIII – CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	182

LISTA DE TABELAS

III. SUPLEMENTAÇÃO DE DHA NA DIETA DE REPRODUTORES DE CODORNAS JAPONESAS SOBRE O DESEMPENHO PRODUTIVO, O PERFIL BIOQUÍMICO SÉRICO, PERFIL DE ÁCIDO GRAXO DA GEMA E ANÁLISE SENSORIAL DO OVO

TABELA 1. Composição das dietas experimentais para reprodutores de codornas.....57

TABELA 2. Perfil de ácido graxo do produto da microalga como fonte de DHA (%) e das dietas experimentais58

TABELA 3. Desempenho produtivos de reprodutores (as) de codornas japonesas, e qualidade de ovos e coloração de gema de ovos de codornas japonesas alimentadas com diferentes níveis de DHA (n=12).....59

TABELA 4. Composição química da gema de ovos de matrizes alimentadas com diferentes níveis de DHA (n=10).....61

TABELA 5. Perfil de ácido graxo da gema de ovos de matrizes alimentadas com diferentes níveis de DHA (n=4).....62

IV. EFEITO DA INCLUSÃO DO ÁCIDO DOCOSAHEXAENOICO NO DESEMPENHO DE INCUBAÇÃO, QUALIDADE DA PROGÊNIE E CAPACIDADE ANTIOXIDANTE DE REPRODUTORES DE CODORNAS JAPONESAS

TABELA 1. Composição das dietas experimentais para reprodutores de codornas.....87

TABELA 2. Perfil de ácido graxo do produto da microalga como fonte de DHA (%) e das dietas experimentais.....88

TABELA 3. Dados médios observados e estimados (valores entre parênteses) das variáveis de desempenho da incubação de ovos de codornas japonesas alimentadas com diferentes níveis de DHA (n=12 gaiolas).....89

TABELA 4 . Avaliação da qualidade de pintinhos de 1 dia oriundos de reprodutores e de matrizes de codornas japonesas alimentadas com diferentes níveis de DHA (n=50 pintinhos).....90

TABELA 5. Análises das médias de estado oxidativo mensurada pela inibição do radical DPPH (%) na gema, no vitelo e no fígado de embrião de pintinhos oriundos de matrizes de codornas japonesas alimentados com diferentes níveis de DHA (n=5).....90

TABELA 6. Análises das médias da peroxidação lipídica medida pela dosagem de MDA (µg/g) na gema, no vitelo e no fígado de embrião de pintinhos oriundos de matrizes de

codornas japonesas alimentados com diferentes níveis de DHA (n=5).....	91
--	----

TABELA 7. Perfil de ácido graxo do vitelo de 15 dias de incubação de pintinhos oriundos de matrizes de codornas japonesas alimentadas com diferentes níveis de DHA (n=5).....	91
--	----

TABELA 8. Perfil de ácido graxo do vitelo residual de pintinhos oriundos de matrizes de codornas japonesas alimentadas com diferentes níveis de DHA (n=5).....	92
---	----

TABELA 9. Perfil de ácido graxo do fígado de 1 dia de pintinhos oriundos de matrizes de codornas japonesas alimentadas com diferentes níveis de DHA (n=5).....	92
---	----

V. CARACTERÍSTICAS FÍSICO-QUÍMICA E ANÁLISE SENSORIAL DE CARNE DE MATRIZES DE CODORNAS JAPONESAS ALIMENTADAS COM NÍVEIS DHA

TABELA 1. Composição das dietas experimentais para matrizes de codornas.....	112
---	-----

TABELA 2. Perfil de ácido graxo do produto da microalga como fonte de DHA (%) e das dietas experimentais.....	113
--	-----

TABELA 3. Rendimento de carcaça, peso relativo dos órgãos comestíveis e coloração do músculo do peito de codornas japonesas alimentadas com diferentes níveis de DHA com 24 semanas (n=10).....	114
--	-----

TABELA 4. Valores médios dos parâmetros de qualidade de carne: pH, perda de água por gotejamento (PG %), perda de água por cocção (%) e força de cisalhamento nos músculos do peito de codornas japonesas alimentadas com diferentes níveis de DHA com 24 semanas (n=10).....	115
--	-----

TABELA 5. Composição química do músculo do peito de fêmeas alimentadas com diferentes níveis de DHA com 24 semanas (n=10).....	115
---	-----

TABELA 6. Composição de ácido graxos Polinsaturados do músculo do peito de fêmeas alimentadas com diferentes níveis de DHA com 24 semanas de idade (n=5).....	116
--	-----

VI. RELAÇÃO DE ÁCIDOS LINOLEICO E ALFA LINOLÊNICO E VITAMINA E SOBRE O DESEMPENHO PRODUTIVO, O PERFIL BIOQUÍMICO SÉRICO E O COMPOSIÇÃO DA GEMA DE REPRODUTORES DE CODORNAS JAPONESAS

TABELA 1. Composição das dietas experimentais para codornas em postura.....	141
--	-----

TABELA 2. Perfil de ácido graxo do óleo de soja e linhaça e das rações.....	142
--	-----

TABELA 3. Teores de vitamina E nos produtos.....	142
---	-----

TABELA 4 - Desempenho produtivo de reprodutores de codornas alimentadas com duas	
---	--

reações LA:LNA e diferentes níveis de vitamina E.....	143
---	-----

TABELA 5. Qualidade interna e externa do ovo de matrizes codornas japonesas alimentadas com duas relações LA:LNA e diferentes níveis de vitamina E com 14 a 23 semanas (n=10).....	144
---	-----

TABELA 6. Variáveis bioquímicas séricas de matrizes de codornas japonesas alimentadas com diferentes relações LA:LNA associados com níveis de vitamina E...	145
--	-----

TABELA 7. Variáveis bioquímicas séricas de reprodutores de codornas japonesas alimentadas com diferentes relações LA:LNA associados com níveis de vitamina E...	146
--	-----

TABELA 8 . Descrição qualitativa do perfil de ácido graxo das gemas de ovos de codornas japonesas alimentadas com diferentes relações LA:LNA associados com níveis de vitamina E (n=2/pools).....	147
--	-----

TABELA 9. Composição bromatológica da gema de ovos de codornas japonesas alimentadas com diferentes relações LA:LNA associados com níveis de vitamina E...	147
---	-----

VII. DIFERENTES RELAÇÕES DE ÁCIDO LINOLEICO E ALFA LINOLÊNICO SUPLEMENTADOS COM NÍVEIS DE VITAMINA E NO DESEMPENHO DE INCUBAÇÃO, QUALIDADE DA PROGÊNIE E CAPACIDADE ANTIOXIDANTE DE CODORNAS JAPONESAS

TABELA 1. Composição das dietas experimentais para codornas em postura.....	173
--	-----

TABELA 2. Perfil de ácido graxo do óleo de soja e linhaça e das rações.....	174
--	-----

TABELA 3. Teores de vitamina E nos produtos.....	176
---	-----

TABELA 4. Dados estimados e observados (entre parênteses) das variáveis de desempenho de incubação (n=10) de ovos oriundos de matrizes de codornas alimentadas com diferentes relações LA:LNA e níveis de vitamina E da 14 a 23 semana.....	175
--	-----

TABELA 5. Dados médios da análise de qualidade de pintinhos de 1 dia (n=50) oriundos de matrizes de codornas japonesas alimentadas com diferentes relações LA:LNA e níveis de vitamina E entre 14 e 23 semana.....	176
---	-----

TABELA 6. Análises das médias de estado oxidativo mensurada pela inibição do radical DPPH (%) na gema, no vitelo e no fígado de embrião de pintinhos (n= 10) de matrizes de codornas japonesas alimentadas com diferentes relações e níveis de vitamina E (Vit E).	177
--	-----

TABELA 7. Análises das médias da peroxidação lipídica medida pela dosagem de MDA	
---	--

($\mu\text{g/g}$) na gema, no vitelo de ovos e no fígado de embrião e de pintinhos ($n=5$) de matrizes de codornas japonesas alimentadas com diferentes relações e níveis de vitamina E (Vit E).....178

TABELA 8. Composição de ácido graxos (%) do saco vitelínico de embriões com 15 dias de incubação oriundos de ovos de codornas japonesas alimentadas com diferentes relações LA:LNA associados com níveis de vitamina E.....179

TABELA 9. Composição de ácido graxos (%) do saco vitelínico residual de 1 dia de ovos de codornas japonesas alimentadas com diferentes relações LA:LNA associados com níveis de vitamina E.....180

TABELA 10. Composição de ácido graxos (%) do fígado com 1 dia de vida de ovos de codornas japonesas alimentadas com diferentes relações LA:LNA associados com níveis de vitamina E.....181

LISTA DE FIGURAS

I. INTRODUÇÃO

Figura 1. Metabolismo do α - ácido linolênico e ácido linoleico. Fonte: Adaptado de Franco, (2007).....4

III. SUPLEMENTAÇÃO DE DHA NA DIETA DE REPRODUTORES DE CODORNAS JAPONESAS SOBRE O DESEMPENHO PRODUTIVO, O PERFIL BIOQUÍMICO SÉRICO, PERFIL DE ÁCIDO GRAXO DA GEMA E ANÁLISE SENSORIAL DO OVO

Figura 1. Variáveis bioquímicas de reprodutoras de codornas alimentadas com diferentes níveis de DHA (n=5).....60

Figura 2. Variáveis bioquímicas de reprodutores de codornas alimentadas com diferentes níveis de DHA (n=5).....60

Figura 3. Gráfico de análise dos dados de vida de prateleira evidenciando a interação significativa ($p<0,05$) entre o ambiente e os dias de armazenamento para o índice de gema e entre os níveis de DHA e dias de armazenamento para % Gema, % Albúmen, pH e perda de peso do ovo ($p<0,05$) (n=10).....63

Figura 4. T Gráfico de análise de interação dos teores de MDA (μg) na gema do ovo de matrizes de codornas japonesas armazenando na geladeira e temperatura ambiente ao longo dos dias (n=40).....64

Figura 5. Análise sensorial do ovo de reprodutores de codornas alimentadas com diferentes níveis de DHA.....65

V. CARACTERÍSTICAS FÍSICO-QUÍMICA E ANÁLISE SENSORIAL DE CARNE DE MATRIZES DE CODORNAS JAPONESAS ALIMENTADAS COM NÍVEIS DHA

Figura 1 . Análises da interação das médias da peroxidação lipídica medida pela concentração de MDA ($\mu\text{g/g}$) no shelf life da carne do peito de matrizes de codornas japonesas alimentados com diferentes níveis de DHA em função da interação entre os dias de armazenamento e os níveis de DHA na dieta (n=5).....117

Figura 2. Atributos sensoriais da carne de peito de matrizes de codornas japonesas alimentadas com diferentes níveis de DHA ($p<0,005$).....118

RESUMO

Objetivou-se estudar a interação do ácido linoleico (18:2 n-6) e alfa linolênico (18:3 n-3) associados a vitamina E e diferentes níveis de DHA na alimentação de codornas japonesas, sobre a reprodução, produção e desempenho de incubação em dois experimentos. No Experimento 1 (Exp1) utilizou-se um delineamento inteiramente ao acaso, com 5 dietas com 5 níveis de DHA (0, 0,015, 0,030, 0,045 e 0,060 %) e 12 repetições de 8 aves cada (6F e 2 M), no Experimento 2 (Exp2) foi utilizado um delineamento inteiramente ao acaso, em esquema fatorial 2×3 com duas relações de ácido linoleico: ácido alfa linolênico (9,29:1 e 13,23:1) × três níveis de vitamina E (Vit E) (25, 200 e 250 mg), com 10 repetições (6F e 2M). Em ambos foram analisados desempenho produtivo, qualidade dos ovos, perfil bioquímico do sangue, composição da gema, desempenho de incubação, qualidade do pintinho, atividade antioxidante da gema, vitelo e fígado do pintinho durante a incubação e no primeiro dia de vida. Para o Exp1 também foi analisada a vida de prateleira e composição da carcaça de matrizes de codornas japonesas. No Exp1 os níveis de DHA aumentaram a taxa de postura, a massa de ovo, a conversão alimentar (g/g) e (g/dúzia) ($p<0,05$). Foi observado um efeito quadrático para o consumo de ração ($p<0,05$). Para a qualidade de ovo, o peso do ovo apresentou um efeito quadrático, sendo observado um aumento na % de gema e uma diminuição na % de albúmen com o aumento dos níveis de DHA da dieta ($p<0,05$). Para bioquímica sérica nas fêmeas e machos, ocorreu uma diminuição para os níveis de colesterol e LDL e um aumento para os níveis de triglicerídeos e HDL ($p<0,05$). Nos resultados de análise de vida de prateleira, foi observada redução ($p<0,005$) sobre o peso relativo da gema, aumento ($p<0,005$) sobre o peso relativo do albúmen. Aumento ($p<0,005$) da perda de peso o tempo de armazenamento em função dos níveis de DHA. Na análise sensorial, foi observado que com a inclusão de DHA diminuiu a aceitabilidade do ovo. Para o desempenho de incubação nas variáveis de fertilidade, eclosão e eclosão de ovos férteis foi observado aumento e o inverso para a taxa de infertilidade e mortalidade total, sendo que os maiores valores com o aumento da inclusão de DHA. O DHA na dieta aumentou a atividade antioxidante na gema, vitelo e fígado e diminuiu a peroxidação lipídica. Os níveis crescentes de DHA na dieta das matrizes aumentaram de forma linear o rendimento do peito das fêmeas e não influenciaram o peso médio das aves e nem o peso relativo dos órgãos comestíveis, parâmetros de qualidade de carne e a aceitabilidade da carne. No Exp2 não houve interação entre os tratamentos para desempenho e qualidade

de ovo. Nas fêmeas foi observada interação para os teores de HDL e LDL, onde as matrizes que receberam a ração com a relação 9,29 e 200 mg de VitE aumentaram os teores de HDL e reduziram os de LDL. Foi observada uma interação para a fertilidade e a eclosão total entre as relações e os níveis de vitamina E, em que as aves que foram alimentadas com 200 e 250 mg de Vit E nas duas relações 13,75:1 e 9,29:1 apresentaram os maiores valores. Na qualidade do pintinho foi observada uma interação entre a vitamina E e as relações para o comprimento com pintinhos maiores na relação 13,75 com 25mg e 9,29 com 250mg de Vit E. A maior percentagem de inibição de DPPH foi na relação 9,29 com a suplementação de 250 mg de vitamina E. A relação 13,75 com 250 mg de vitamina E resultou nos menores valores de peroxidação lipídica na gema, vitelo e fígado. Conclui-se que a utilização de 0,060 % de DHA na dieta de reprodutores melhora o desempenho produtivo, o de incubação, atividade antioxidante e perfil de ácidos graxos. A relação LA:LNA obtida com o uso de óleo de linhaça de 9,29:1 e 250mg de vitamina E também é indicada para melhorar os parâmetros produtivos e reprodutivos e diminuir a oxidação da progênie.

Palavras chaves: ácidos graxos, codornas japonesas e microalgas.

ABSTRACT

The aim of this study was to study the interaction of linoleic acid (18:2 n-6) and alpha linolenic acid (18:3 n-3) associated with vitamin E and different levels of DHA in the diet of Japanese quails on reproduction, production, and incubation performance in two experiments. In Experiment 1 (Exp1), a completely randomized design was used, with 5 diets with 5 levels of DHA (0, 0.015, 0.030, 0.045 and 0.060 %) and 12 replicates of 8 birds each (6F and 2 M). In Experiment 2 (Exp2), a completely randomized design was used, in a 2×3 factorial scheme with two ratios of linoleic acid: alpha linolenic acid (9.29:1 and 13.23:1) × three levels of vitamin E (Vit E) (25, 200 and 250 mg), with 10 repetitions (6F and 2M). Both tests analyzed production performance, egg quality, blood biochemical profile, yolk composition, incubation performance, chick quality, and antioxidant activity of yolk, calf, and chick liver during incubation and on the first day of life. For Exp1, the shelf life and carcass composition of Japanese quail breeders were also analyzed. In Exp1, DHA levels increased the laying rate, egg mass, and feed conversion (g/g) and (g/dozen) ($p<0.05$). A quadratic effect was observed for feed consumption ($p<0.05$). Regarding egg quality, egg weight showed a quadratic effect, and there was an increase in the percentage of yolk and a decrease in the % of albumen with increasing levels of DHA in the diet ($p<0.05$). For serum biochemistry in females and males, there was a decrease in cholesterol and LDL levels and an increase in triglyceride and HDL levels ($p<0.05$). In the results of the shelf life analysis, a statistical difference was observed ($p<0.005$): the relative weight of the yolk decreased and the relative weight of the albumen increased, and the weight loss increased with storage time as a function of the levels of DHA; in the sensory analysis, it was observed that the inclusion of DHA decreased the acceptability of the egg. For the incubation performance of the fertility, hatching, and hatching of fertile variables, an increase was observed and the opposite was true for the infertility rate and total mortality, with the highest values at the 0.060 % DHA inclusion level. DHA in the diet increased antioxidant activity in the yolk, calf, and liver and decreased lipid peroxidation. Increasing levels of DHA in the sow diets linearly increased the breast yield of the females and did not influence the average weight or relative weight of the edible organs, meat quality parameters, or meat acceptability. In Exp2, there was no significant effect of the interactions on performance or egg quality. In the females, an interaction effect was observed for HDL and LDL levels, where the sows that received the feed with the 9.29 ratio and 200 mg of VitE increased HDL levels

and reduced LDL levels. An interaction was observed for fertility and total hatchability between the ratios and levels of vitamin E, with the birds fed 200 and 250 mg of Vit E in the two ratios 13.75:1 and 9.29:1 showing the highest values. In terms of chick quality, an interaction was observed between vitamin E and the ratios for length, with longer chicks in the 13.75 ratio with 25mg and 9.29 with 250mg of Vit E. The highest percentage of DPPH inhibition was in the 9.29 ratio with 250mg of vitamin E supplementation. The 13.75 ratio with 250 mg of vitamin E showed the lowest lipid peroxidation values in the yolk, calf, and liver. It is concluded that the use of 0.060 % DHA in the diet of broiler breeders improves productive performance, and incubation and progeny is recommended. The LA:LNA ratio obtained using 9.29:1 linseed oil and 250mg of vitamin E is also indicated to improve productive and reproductive parameters and reduce oxidation in the offspring.

Key words: fatty acids, Japanese quails and microalgae.

I. INTRODUÇÃO

1. Introdução Geral

O uso de diferentes fontes lipídicas na alimentação de aves, influencia os tipos de lipídios que serão transferidos para a gema do ovo, pois os mesmos podem causar mudanças coordenadas no metabolismo da ave (Cherian, 2022). Essa modificação no teor de lipídios no ovo é bastante estudada para o enriquecimento do ovo para o consumo humano, como fonte de ácidos graxos essenciais. Porém, a característica das aves de transferir o perfil lipídico da dieta para o ovo também favorece uma melhor nutrição para o desenvolvimento embrionário, melhorando assim a qualidade do pintinho no nascimento (Fard et al., 2019).

Os principais ácidos graxos que vêm sendo estudados para o enriquecimento dos ovos são o aumento da concentração de ácidos graxos Polinsaturados (PUFAS) da família do ômega-3 como o ácido eicosapentaenoico (EPA) e docosahexaenoico (DHA), que refletem em bons resultados tanto para o consumo de ovos quanto para a nutrição de pintinhos (Surai et al., 2016). A carne e os ovos de aves que possuem um maior teor de PUFA são mais propensos a oxidação lipídica, principalmente se forem armazenados por longos períodos, seja para o consumo ou para a incubação. A oxidação lipídica leva à perda de valor nutricional e à produção de compostos tóxicos que reduzem a qualidade do ovo (Lima et al., 2013). Portanto, métodos alternativos como a suplementação com PUFAS e antioxidantes naturais para os produtos finais como a carne ou os ovos de aves aumente o teor de ácidos graxos ômega-3 e, simultaneamente, reduzir a oxidação lipídica são extremamente importantes. Um dos métodos é a utilização de antioxidantes na dieta para prevenir essa oxidação como a vitamina E e os carotenoides.

A modificação da relação de ácido linoleico (LA): ácido alfa linolênico (LNA) na dieta de aves vem demonstrando efeitos benéficos para a produção e a reprodução (Silva et al., 2023). Essa modificação da relação ocorre através da manipulação dos ácidos graxos na dieta. Uma das formas mais utilizadas é a incorporação de óleos ricos em ácido alfa linolênico, como o óleo de linhaça e óleo de peixe. Quando fornecida essas fontes ricas em ácido alfa linolênico, deverão ocorrer processos de desaturação e alongação para geração de EPA e DHA, porém há uma limitação nessa conversão nos animais, além da sua baixa estabilidade, e com isso o enriquecimento dos alimentos com EPA e DHA quando proveniente do LNA pode ser limitada (Lenhinger, 2014). Devido a esses

problemas vem se estudando a utilização de microalgas marinhas por serem fontes primárias de EPA e DHA, sendo assim desenvolvidos produtos com altas concentrações de DHA de fontes marinhas a partir da biofermentação industrial. Para a produção em larga escala de DHA o microrganismo comercial utilizado é *Schizochytrium sp* , que foi descrito inicialmente por Barclay e Zeller (1994) e Abril et al (2003). Os autores utilizaram o DHA desidratado oriundo da *Schizochytrium sp* diretamente na ração de aves em substituição ao óleo de linhaça e óleo de peixe.

Ao comparar os efeitos da inclusão de LNA com estudos usando EPA e DHA, o LNA parece ter um efeito menor do que seus produtos de cadeia longa (Lau et al., 2013). Embora seja possível que o LNA exerça indiretamente seus efeitos por meio de sua conversão em EPA e/ou DHA, a probabilidade ou a eficácia deste mecanismo depende da taxa de conversão, que é baixa em humanos e em aves (Burdge et al., 2006).

Do ponto de vista da nutrição animal, é importante saber até que ponto os produtos de microalgas podem fornecer nutrientes digestíveis e conhecer o impacto no desempenho da produção e na reprodução. Em relação aos produtos avícolas (carnes e ovos), microalgas presentes na dieta de aves podem alterar a composição de ácidos graxos do produto (Neijat et al., 2020). Em matrizes de codornas a suplementação de LNA melhorou a composição de ácidos graxos na gema dos ovos e melhorou o desenvolvimento do tecido ósseo nos embriões (Liu e Denbow, 2001). Com isso, a utilização direta de DHA pode melhorar ainda mais os efeitos benéficos desses nutrientes para a produção, reprodução e melhorar a qualidade do pintinho devido à modificação do perfil da gema. O objetivo desta revisão é mostrar os efeitos gerais da inclusão de LA, LNA e DHA na dieta de matrizes reprodutoras e seus efeitos na reprodução e qualidade do pintinho.

2. Revisão de Literatura

2.1 Ácidos Graxos Polinsaturados

Os lipídios são definidos como um grupo heterogêneo e quimicamente diferentes entre si, insolúveis em água e solúveis em solventes orgânicos, representados pelo triacilglicerol, fosfolipídios, colesterol, ácidos graxos, entre outros. Os lipídios na dieta do animal são importantes não apenas para atender às suas necessidades energéticas, mas também para suprir sua necessidade de ácidos graxos essenciais, além de servir como

veículo de transporte para vitaminas solúveis (Lehninger et al., 2014).

Os ácidos graxos são os principais componentes da estrutura lipídica, sendo produtos de hidrólise dos triglicerídeos, e podem ser encontrados em fontes de origem animal e vegetal (Bertechini, 2010). Os ácidos graxos da família ômega 3 e ômega 6 são considerados essenciais, pois não podem ser sintetizados pelo organismo dos animais, porém são essenciais para diversas funções no organismo, como a produção de eicosanoides, formação óssea, sistema nervoso e reprodução, devendo ser fornecidos via dieta (Butolo, 2002). Os ácidos graxos dessas famílias de ômegas são classificados como ácidos graxos polinsaturados por apresentarem mais de duas duplas ligações entre carbonos, sendo divididos em dois grupos: os n-3 e n-6. No grupo dos n-3, encontram-se o ácido α -linolênico ou LNA (18:3n-3), o ácido eicosapentaenoico ou EPA (20:5n-3) e o ácido docosahexaenoico ou DHA (22:6n-3). Já para a família do n-6, os principais ácidos graxos são o ácido linoleico ou LA (18:2n-6) e o ácido araquidônico ou AA (20:4n-6), presentes nas membranas plasmáticas das células dos eritrócitos, plaquetas, monócitos, linfócitos, granulócitos, fibroblastos, células endoteliais, neuronais, hepáticas, do neuroblastoma e da retina (Simopoulos, 2008).

Os LA e LNA podem ser modificados pelos mamíferos e pelas aves, através do alongamento da cadeia, com a inserção de insaturações e descarboxilação de pares de cadeia. Dessa forma, os ácidos graxos LA e LNA competem entre si, pelas enzimas de dessaturação, elongase e a acetil transferases, sendo a principal enzima de competição a dessaturase delta 6. Porém, as enzimas dessaturases apresentam maior afinidade pelos ácidos graxos que apresentam mais insaturações. Os produtos do metabolismo da elongação e dessaturação dos LA e LNA dão origem a substratos da mesma família, onde o EPA e DHA, são produtos do metabolismo do LNA, assim como o AA é o produto do metabolismo do LA (Vaz et al., 2006).

O metabolismo do ácido linoleico (18:2 n-6) utiliza as mesmas enzimas do ácido alfa-linolênico. O ácido linoleico (18:2) é convertido em ácido γ -linolênico (18:3n-6) através da ação da $\Delta 6$ dessaturase, seguida de elongase em ácido dihomog γ -linolênico (20:3n-6), que é convertido em ácido araquidônico (AA) (20:4n-6), por $\Delta 5$ dessaturase. AA ainda pode dar mais dois passos simples e se produzir outros ácidos graxos (ácido docosatetraenoico 22:4n-6 e ácido tetracosatetraenoico 24:4 n-6), os produtos formados participarão da reação $\Delta 6$, criando uma reação ácida. O ácido tetracosapentaenóico (24:5), quando ocorre a oxidação β peroxissomal, formará ácido docosapentaenóico

(22:5) (Sprecher, 2000) (Figura 1). O metabolismo do ácido α -linolênico ocorre através da sua degradação (combinação de ligação dupla na cadeia acila), pelas enzimas $\Delta 5$ e $\Delta 6$, e aumentando uma enzima. A primeira etapa é a conversão do ácido α -linolênico (18:3n-3) em ácido estearidônico (18:4n-3) sob a ação da $\Delta 6$ dessaturase, e depois a ácido eicosatetraenóico (20:4n-3), que será convertido em ácido eicosapentaenoico (20:5n-3), ou EPA, com $\Delta 5$ dessaturase (Figura 2). A EPA pode seguir dois caminhos, um é convertido em ácido docosahexaenoico (22:6n-3), o DHA ocorre através da adição de dois átomos de carbono no EPA, via elongase, formam o ácido docosapentaenóico (22:5n-3) (Sprecher, 2000).



Figura 1. Metabolismo do α - ácido linolênico e ácido linoleico. Fonte: Adaptado de Franco, (2007).

2.2 Fontes de DHA

Na alimentação de aves, diversas fontes ricas em ácidos graxos polinsaturados podem ser utilizadas para a obtenção de produtos enriquecidos e para melhorar a reprodução, principalmente da série n-3 (Neijat et al., 2020). A quantidade de lipídios na dieta das aves altera a proporção destes no ovo, nos tecidos e nos espermatozoides das aves. A principal fonte de lipídios utilizada são os óleos, sendo que as principais fontes de ácido linoleico são os óleos das plantas oleaginosas como soja, milho, girassol e as castanhas. Como fonte de ácido α -linolênico, é encontrado principalmente em peixes de

126 águas frias e profundas (óleos de peixes), microalgas e algumas oleaginosas como o óleo
127 de linhaça, de chia e de canola (Youdim et al., 2000).

128
129 É importante destacar também a qualidade nutricional dos lipídios, o que
130 certamente influenciará no conteúdo nutricional dos ovos produzidos. O uso de óleo de
131 linhaça e de peixe na alimentação animal comercial aumenta o teor de ácido linolênico e
132 de ácido docosahexaenóico dos ovos, respectivamente (Ceylan et al., 2011). Poedeiras
133 alimentadas com óleo de soja podem produzir ovos com maior teor de ácidos graxos
134 polinsaturados n-6, enquanto galinhas alimentadas com uma dieta rica em linhaça
135 produzirão ovos com maior teor de ácidos graxos polinsaturados n-3 mais elevados
136 (Oliveira et al., 2011).

137 138 **2.2.1 Linhaça**

139
140 A linhaça pode ser utilizada na forma de farinha ou na forma de óleo, sendo que
141 ambas as formas são ricas em LNA e podem ser utilizadas na alimentação de aves sem
142 afetar a produção de ovos. A farinha da semente de linhaça pode ser incluída entre 5% a
143 30%, e o óleo de linhaça pode ser incluído entre 1-3% na dieta. Na forma moída e no
144 óleo, a linhaça deposita até sete vezes mais ácido linolênico na gema do ovo, quando
145 comparada às gemas dos ovos de aves não alimentadas com linhaça (Costa et al., 2017).

146
147 O óleo de linhaça possui em sua composição 57% de ácidos graxos LNA, 16% de
148 LA, 18% de ácidos graxos monoinsaturados e somente 9% de ácidos graxos saturados.
149 Dentre as fontes de origem vegetal, é a que apresenta a maior composição de LNA, que
150 é em torno de cinco vezes maior do que em nozes ou óleo de canola, e possui três vezes
151 mais LNA que LA (Figueiredo et al., 2017).

152
153 A influência da suplementação de linhaça ou do óleo de linhaça sobre o
154 desempenho produtivo, reprodutivo e características do ovo foram estudadas. Ovos
155 enriquecidos com LNA, produzidos com a suplementação de linhaça, já estão disponíveis
156 no mercado de muitos países (Fraeye et al., 2012). Além do óleo de linhaça, a semente
157 também pode ser utilizada para esse enriquecimento, pois possui em sua composição alto
158 teor de proteína, energia e ácidos graxos LNA. Essa composição pode ser adicionada à
159 dieta de aves sem afetar seu desempenho e melhorar a concentração de ácidos graxos na

carne e no ovo (Moghadam et al., 2020). Para codornas japonesas, ao utilizar relações de 1,48:1; 4,57:1; 7,63:1; 10,69:1 e 13,75:1, utilizando óleo de linhaça e soja, foi observado que a relação encontrada na gema (1,12:1; 4,38:1; 7,62:1; 10,78:1 e 13,72:1) foi próxima da fornecida na ração, demonstrando que os ácidos graxos fornecidos na dieta podem ser incorporados na gema em quase sua totalidade, podendo assim aumentar os teores de LNA facilmente (Silva et al., 2024).

2.2.2 Microalgas

As microalgas são um importante recurso aquático e fontes de PUFAS, principalmente o EPA e o DHA. Para o enriquecimento dos produtos com DHA, são utilizadas microalgas heterotróficas e microalgas autotróficas para a produção de EPA (Adarme-Veja et al., 2012). A *Schizochytrium limacinum* possui em sua composição uma porcentagem de DHA entre 30-40% do total, quando cultivado heterotroficamente. Para as microalgas autotróficas como as *Phaeodactylum tricornutum* e a *Nannochloropsis sp.*, estas algas possuem um teor de EPA de até 39%, desta forma os valores encontrados nas microalgas superam os encontrados nos peixes (Adarme-Veja et al., 2012). Esse alto teor de DHA nas microalgas ocorre devido a esses organismos possuírem a enzima alfa-4-dessaturase que é mais eficiente em converter LNA em DHA através da síntese biológica, aumentando assim seu conteúdo de DHA (Appolinário et al., 2011). As microalgas são classificadas como um grupo geneticamente heterogêneo, que possui uma ampla diversidade de características fisiológicas e bioquímicas, apresentando assim modificações no seu modo de atuação, porém possui um perfil de nutrientes próximos (Becker, 2004).

As microalgas aproveitam a energia solar de forma mais eficiente do que as plantas superiores, devido ao seu potencial de realizar fotossíntese rápida e assim produzir diversos compostos. Devido a essas propriedades, iniciaram-se as pesquisas sobre a utilização de biomassa de microalgas na alimentação humana e na ração animal (Chew et al., 2017). Elas podem ser cultivadas para a obtenção de proteínas, carboidratos, lipídios, vitaminas e suplementos dietéticos para a alimentação animal (Priyadarhani e Rath, 2012). Quando adicionadas às rações, podem fornecer vitaminas, aminoácidos essenciais, polissacarídeos, ácidos graxos polinsaturados n-3 e n-6 (MUFA e PUFA n-3 e n-6, respectivamente), minerais e pigmentos (como carotenoides e clorofilas) (Priyadarshani

e Rath, 2012).

Para a suplementação de DHA na dieta de aves, a microalga mais utilizada é a *Schizochytrium sp.*, que é utilizada na forma de extrato de DHA (Yan et al., 2012). Esse extrato, além de melhorar o teor de ácidos graxos na gema e na carne, melhora o desempenho produtivo e reprodutivo (Ribeiro et al., 2013 e 2014). A *Schizochytrium sp.* é um microrganismo unicelular esférico, que apresenta alta taxa de crescimento e pode ser facilmente cultivado (Sarker et al., 2016).

2.3 Ovos Enriquecidos com DHA

Os precursores da gema são a vitelogenina e a lipoproteína de muito baixa densidade (VLDL), que são sintetizadas pelo estrogênio, que vai estimular o fígado a produzir essas macromoléculas. A vitelogenina e o VLDL são transportados pelo plasma, até o ovário que vai atravessar as camadas da parede do folículo ovariano em fase final de crescimento antes de serem encorpados na gema. Além disso, o estrógeno aumenta a taxa de síntese de ácidos graxos, fosfolipídios e triglicerídeos, alterando assim a composição do VLDL a ser depositado na gema. Com o aumento do LNA, EPA e DHA na corrente sanguínea esses vão alterar o metabolismo do estrogênio e com isso vai ocorrer um aumento desses ácidos graxos na gema (Palermo Neto et al., 2005). O perfil de ácido graxo do ovo vai ser próximo do fornecido na dieta das aves, conforme observado por Oliveira et al. (2010) que quando forneceu para poedeiras dietas ricas em óleo de soja, os ovos eram ricos em ácidos graxos polinsaturados n-6, enquanto nas dietas que possuíam óleo de linhaça, os ovos eram ricos em ácidos graxos polinsaturados LNA. A qualidade nutricional dos ovos pode variar dependendo da quantidade e fonte de lipídios adicionados à dieta. É, portanto, uma fonte eficiente de produção de alimentos saudáveis (Araújo, 2017).

Os ovos de codornas possuem uma maior concentração de DHA quando comparados com os de galinhas 1,27 contra 0,56%, respectivamente, e com isso possui uma menor relação de LA:LNA. Os ovos de codornas possuem a relação de 5,6:1 e os de galinha 14,2:1, de modo que esse maior enriquecimento dos ovos de codornas favorece o desenvolvimento embrionário e também o ovo para consumo humano (Bertechini 2006). Os ovos de codorna são ricos em lipídios, contendo 1,8 vezes mais ácidos graxos insaturados (AGI) versus saturado (AGS). Sobre a proporção contida em 100g de gema:

7,41g de gordura saturada e 13,32g de gordura insaturada, dessa gordura insaturada 9,64 g são ácidos graxos polinsaturados.. Entre os PUFAS, importantes componentes dos ácidos graxos da gema, os ovos contêm 2,58 g de ácido linoleico, 0,50 g de ácido docosahexaenoico e 0,44 g araquidônico (Tunsaringkarn et al. 2013).

2.4 DHA na incubação e na qualidade de pintinho

Os PUFAs exercem um grande impacto na reprodução devido à sua ligação com a produção de prostaglandinas, esteroidogênese, fatores de transcrição e propriedades da membrana (Wathes et al., 2007). A suplementação de LNA, DHA e EPA aumenta significativamente a fertilidade do esperma em aves (Zanini et al., 2003). Isso ocorre devido à capacidade dos LNAs de modificar as concentrações de hormônio liberador de gonadotrofinas (GnRH), hormônio folículo estimulante (FSH) e hormônio luteinizante (LH), os quais estão intimamente ligados à reprodução. Aumentar os níveis de LNA, EPA e DHA resulta em um aumento desses hormônios, enquanto a inclusão maior de LA leva a uma diminuição, com efeitos opostos na reprodução (Yan et al., 2013). A composição lipídica do espermatozoide determina a motilidade, sensibilidade ao calor, integridade e propriedades biofísicas da membrana, como fluidez e permeabilidade, sendo os lipídios da família do ômega-3 os mais benéficos para essas características (Cherian, 2015).

O lipídio do ovo é uma matriz complexa composta por diversas classes de lipídios, como triacilgliceróis, diferentes glicerofosfolipídios, ceramidas, esfingolipídios e esteróis. Os componentes lipídicos do ovo desempenham várias funções metabólicas (por exemplo, energéticas, termogênicas) e fisiológicas (por exemplo, estruturais celulares, sinalização) durante a embriogênese aviária (Cherian, 2022). O crescimento e desenvolvimento do embrião dependem dos nutrientes depositados nos ovos férteis. Os nutrientes do ovo são transferidos para o embrião em desenvolvimento por meio de um tecido especializado, a membrana do saco vitelínico, formada a partir do intestino na primeira semana de incubação (Yadgary et al., 2014). As células epiteliais do saco vitelínico atuam como mediadoras para o transporte de nutrientes do conteúdo da gema para a circulação sanguínea do embrião em desenvolvimento (Cherian, 2022).

Os lipídios da gema são a principal fonte de energia na última semana de incubação e nos pintos recém-eclodidos, via vitelo residual (Cherian, 2015). Além disso,

ácidos graxos poli-insaturados de cadeia longa, como o DHA e o EPA, são fundamentais para o desenvolvimento ideal de células, tecidos e órgãos (Yadgary et al., 2014). Esses ácidos graxos são necessários para o desenvolvimento durante a incubação e após a eclosão, devido ao seu papel vital na síntese de lipídios estruturais (Mennitti et al., 2015). Pesquisas anteriores demonstraram que o embrião de galinha prefere utilizar PUFA, especialmente DHA, entre os dias 15 e 19 de incubação, em comparação com todos os outros ácidos graxos examinados, e mostram um aumento substancial na regulação dos transportadores de ácidos graxos de membrana e das proteínas ligadoras de ácidos graxos citosólicos (FABP) associadas à captação de PUFA (Yadgary et al., 2014).

No início da incubação, nem todos os ácidos graxos estão disponíveis, especialmente o DHA. O DHA não é detectado na porção de triacilglicerol do vitelo na primeira semana de incubação, mas quando o vitelo é analisado no 12º dia de incubação, o DHA pode representar até 20% do total dos triacilgliceróis. Esse ácido é encontrado principalmente no cérebro e na retina. Baixas concentrações desse ácido graxo podem causar danos ao cérebro e à retina ao longo do tempo de vida embrionária, o que pode resultar em má formação do sistema nervoso e problemas de visão (Neuringer et al., 1998).

Ao utilizar DHA e EPA em alimentos na proporção de 1:1, 1:2 e 2:1, observa-se que na gema, no tecido embrionário e no tecido do pintinho existem proporções desses ácidos muito próximas às fornecidas na dieta. Isso ocorre porque os lipídios fornecidos na dieta materna são adicionados à gema na mesma quantidade, principalmente com ácidos graxos. Esses ovos são enriquecidos e, ao serem incubados, transferem esses ácidos graxos para o embrião, resultando em concentrações mais altas de EPA e DHA no fígado do pintinho após a eclosão (Koppenol et al., 2014).

A utilização de biomassa de algas marinhas na dieta de poedeiras resultou em aumento de DHA na gema do ovo (Wu et al., 2020). Esses resultados sobre a caracterização das espécies de PUFA n-3 e n-6 na gema do ovo elucidam como a dieta materna altera o perfil dos ácidos graxos de LA, LNA, EPA e DHA nos fosfolipídios dos ovos. Uma vez que os ácidos graxos, especialmente o DHA, são utilizados para a formação das membranas celulares embrionárias, a quantificação e identificação desses ácidos graxos são essenciais para uma compreensão completa do papel dos PUFA no

metabolismo lipídico dos pintinhos (Neijat et al., 2020).

O AA, EPA e DHA são esterificados nos fosfolipídios do tecido cardíaco e são liberados pela fosfolipase A2, sendo posteriormente metabolizados por ciclooxigenases e lipooxigenases para diferentes eicosanoides mediadores da inflamação (Fard et al., 2019). Os eicosanoides derivados dos ácidos araquidônicos são mais pró-inflamatórios do que os derivados dos ácidos graxos n-3 (Calder, 2017; Calder e Sim, 1992). O aumento no teor de ácido araquidônico e a consequente diminuição do teor de DHA na dieta materna fornecem aos pintinhos baixo teor de DHA, resultando em uma maior presença de mediadores lipídicos pró-inflamatórios (Cherian et al., 2009; Hall, 2007). No sistema cardiovascular, os eicosanoides derivados do ácido araquidônico são responsáveis pela constrição da musculatura lisa, agregação plaquetária e diminuição da formação de trombos (Fard et al., 2019; Shibadaw, 2021).

Estudos demonstram que a redução de eicosanoides pró-inflamatórios observada nos pintos de ovos ricos em n-3 pode ser atribuída à maior disponibilidade de ácidos graxos precursores de cadeia longa n-3 nos fosfolipídios da membrana celular (Shibadaw, 2021). Mudanças na orientação das espécies moleculares de fosfolipídios do ventrículo cardíaco podem alterar as propriedades biofísicas e bioquímicas da membrana, destacando a importância da exposição precoce aos AGPI n-3 por meio de fontes in ovo para melhorar as características cardíacas (Fard et al., 2019). Em conjunto, esses resultados ampliaram a compreensão da composição fosfolipídica, dos padrões de enriquecimento de AGPI n-3 no tecido cardíaco de pintinhos de progênie e da geração de eicosanoides em pintinhos recém-eclodidos por meio da dieta materna e manipulação de PUFA n-3 do ovo (Cherian, 2022).

2.5 Processos Oxidativos

Os embriões precisam de proteção contra os radicais livres e a peroxidação lipídica que pode causar lesões teciduais. Na dieta materna pode ser adicionado antioxidante com função de proteger os tecidos dos reprodutores e podem ser transferidos para os ovos essas substâncias consequentemente para os embriões, ajudando assim a reduzir o estresse bioquímico que ocorre durante a incubação (Surai, 2019). Os lipídios são oxidáveis em diferentes graus e consistem em uma ou mais das seguintes classes: mistura de mono-, di- e triglicerídeos, fosfolipídios, ácidos graxos livres e esteróis. Os

triglicerídeos resultam da esterificação de uma molécula de glicerol com três ácidos graxos e são considerados os principais responsáveis pelo desenvolvimento do ranço, com mudança no odor e sabor. As reações de oxidação lipídica ocorrem principalmente em ácidos graxos, e os fosfolipídios presentes nas membranas e nas estruturas subcelulares podem ser um bom substrato para esta reação, que prejudicam na formação dos tecidos durante o desenvolvimento embrionário (Wójciak & Dolatowski, 2012).

A oxidação lipídica (LOx) é definida como uma reação em cadeia de radicais livres e consiste em três estágios: iniciação, propagação e terminação. No decorrer da reação, existe um radical livre que reage com a cadeia hidrocarbonada do ácido graxo formando peróxidos, que, por sua vez, reagem com outras cadeias hidrocarbonadas abstraindo hidrogênios, originando os hidroperóxidos. A cadeia de carbono, da qual foram abstraídos os hidrogênios, atuará como novo peróxido, perpetuando o ciclo (Estevez, 2015).

Os PUFA's oxidam mais rapidamente do que os ácidos graxos monoinsaturados, principalmente porque é necessário menos energia para a remoção do hidrogênio de uma ligação dupla de carbono do que a energia necessária para remover de um carbono metílico, especialmente quando o carbono está entre duas ligações duplas. O hidrogênio ligado a esse carbono é facilmente removido e assim ocorre a peroxidação lipídica. Em geral, a formação de peróxidos lipídicos não é afetada pelo comprimento da cadeia de ácidos graxos, mas a peroxidação lipídica aumenta exponencialmente com o número de duplas ligações (Lima et al., 2013; Li e Liu, 2012).

A oxidação lipídica aumenta significativamente com o aumento de grupos insaturados (ligação dupla) e com o aumento das moléculas de oxigênio. Durante a incubação os tecidos embrionários utilizam mais oxigênio e PUFA's, aumentando assim a oxidação. Para diminuir essa oxidação é necessário o aumento da atividade dos antioxidantes nos diferentes tecidos (Surai, 1999). As enzimas antioxidantes têm a função de proteger os tecidos embrionários de forma específica contra a peroxidação lipídica durante a incubação e são usadas como sistema de defesa antioxidante do embrião até o momento da eclosão (Surai, 2019). As enzimas antioxidantes também estão presentes na gema do ovo e nos espermatozoides. No plasma seminal e nos espermatozoides, tem função de proteger a membrana espermática, rica em PUFA, da peroxidação (Makker et al., 2009). Essa proteção ocorre em curto tempo, pois são substituídos pelo fluido secretado pelo oviduto. Quando os espermatozoides são armazenados nas glândulas hospedeiras do oviduto, os espermatozoides passam a ser protegidos por um mecanismo

complexo, no qual participam as enzimas a glutathione peroxidase, glutathione reductase, superóxido dismutase e as vitaminas C e E.

A produção de espécies reativas de oxigênio (EROS) no metabolismo animal é uma condição biológica normal e para diminuir os efeitos existe um sistema de defesa antioxidante que vai inibir ou mitigar os efeitos causados pelos EROS. O sistema antioxidante é composto por meios não enzimáticos e enzimáticos, que vão atuar de forma isolada ou em conjunto para manter o equilíbrio da produção de pró oxidantes e no sequestro dessas substâncias. O mecanismo de defesa antioxidante é composto por três linhas de defesa. A primeira linha de defesa é formada por enzimas, sendo as principais superóxido dismutase (SOD), a glutathione peroxidase (GPx) e a catalase (CAT), a segunda composta por antioxidantes naturais, como as vitaminas e os carotenoides, e a terceira por enzimas, como as peptidases, as proteases, as transferases e as lipases que tem função de reparar os danos causados pelos EROS (Panda e Cherian, 2014).

A adição de substâncias com propriedades antioxidantes como vitaminas E, C e carotenóides auxilia o mecanismo de proteção enzimática a controlar os danos causados pelos radicais livres (RL) às células. Nas membranas, o principal reagente RL é o alfa-tocoferol ou vitamina E. As formas beta, gama e sigma-tocoferol são menos importantes porque são pouco absorvidas. A diferença entre esses tipos é estrutural. Os tocoferóis removem os radicais peroxil doando-lhes átomos de hidrogênio, transformando-os em peróxidos (Combs e McClung, 2017).

2.6 Vitamina E

Existem oito formas naturais de vitamina E que podem ser classificadas em dois grupos sendo saturadas ou insaturadas. As quatro saturadas são alfa, beta, gama e delta tocoferóis, a forma alfa é a mais difundida e com maior atividade biológica. As formas insaturadas denominam-se alfa, beta, gama e delta tocotrienóis, a forma alfa que apresenta uma certa atividade vitamínica E, que representa, aproximadamente, 16% da correspondente forma saturada. A mais utilizada na alimentação animal é a forma alfa saturada, por apresentar uma maior atividade e ser mais fácil de ser absorvida (Combs e McClung, 2017).

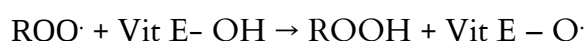
Devido à característica lipossolúvel, a vitamina E oriunda da dieta requer lipídios para a absorção no trato gastrointestinal dos animais. Sendo absorvida na forma não esterificada no intestino delgado, e é incorporada aos quilomícrons e secretada na

circulação via sistema porta. A enzima lipase hidrolisa os triacilgliceróis dos quilomícrons e são captados pelo fígado, via receptor específico, pela apolipoproteína E, sendo secretada pelas células parenquimais hepáticas, associadas ao VLDL (Azzi, 2017).

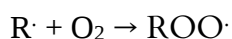
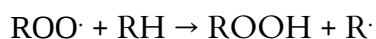
As principais funções da vitamina E são a sinalização e regulação gênica de vias associadas ao metabolismo de lipídios; respostas imune e inflamatória, proteção de células neuronais e homeostase de vasos (Galli et al., 2017). Porém possui ainda uma importante função: capacidade antioxidante, pois dentre os antioxidantes ela é o único composto que quando absorvido pode ser depositado nos tecidos animais. Com isso ela ajuda a neutralização de radicais peroxilas de ácidos graxos, protegendo membranas e lipoproteínas (Azzi, 2017).

Os tocoferóis são os principais antioxidantes naturais do grupo primário, que tem como meio de atuação remover ou inativar os radicais livres através da doação de átomos de hidrogênio a estas moléculas, interrompendo a reação em cadeia. A vitamina E tem capacidade de captar o radical peroxil ($\text{ROO}\cdot$) impedindo assim o desencadeamento das outras reações do processo de oxidação. Com esse mecanismo de captação ocorre a formação dos radicais hidroperóxido orgânico e tocoferoxil, que podem ser reduzidos novamente a peroxil. Isso vai ocorrer na oxidação dos lipídios, quando os hidroperóxidos de lipídeos (ROOH) são oxidados a radicais peroxil ($\text{ROO}\cdot$), e antes que ele consiga reagir com os PUFA's, a vitamina E (Vit E- OH) vai se ligar a ele, evitando assim a oxidação, como demonstrado no esquema a seguir (Ramalho e Jorge, 2006).

Na presença de vitamina E:



Sem a vitamina E:



Em espécies aviárias, a vitamina E é considerada essencial, precisando assim ser suplementada, pois os níveis dela presentes nos ingredientes não atendem as necessidades nutricionais. Para frangos de corte a inclusão varia de 26 a 50 mg/kg, 12 mg/kg para galinhas poedeiras e 50 mg/kg para aves reprodutoras (Rostagno et al., 2017) e 25 mg/kg para matrizes de codornas (NRC, 1994). Porém, em reprodutores de codornas tem sido

observado que a inclusão de até 250mg pode melhorar os parâmetros reprodutivos, a qualidade do pintinho e diminuir a oxidação do fígado e do conteúdo do vitelo na incubação (Roza, 2021). Para frangos de corte e galinhas poedeiras suplementações maiores também vêm sendo aplicadas com o objetivo de melhorar a produção.

3. Considerações Finais

A nutrição de ácidos graxos LNA através de fontes da dieta materna desempenha um papel crucial no remodelamento de PUFA nos fosfolipídios, no metabolismo lipídico, desenvolvimento e crescimento das aves. Além de melhorar a reprodução das aves, aumentando a qualidade do espermatozoide, melhora a qualidade do pintinho. Desta forma, a inclusão de microalgas como fontes de DHA e de óleos como a linhaça rica em LNA na ração de aves, pode ser praticada para enriquecer os ovos e melhorar os parâmetros de reprodução, que é ponto importante da produção.

4. Referências

Abril, R., Garrett, J., Zeller, S.G., Sander, W.J. & Mast, R.W. 2003. Safety assessment of DHA-rich microalgae from *Schizochytrium* sp. Part V: target animal safety/toxicity study in growing swine. *Regulatory Toxicology and Pharmacology*, 37,73–82.

Adarme-Veja, T.C., Lim, D.K., Timmins, M., Vernen, F., Li, Y. & Schenk, P.M., 2012. Microalgal biofactories: a promising approach towards sustainable omega-3 fatty acid production. *Microbial Cell Factories*, 11,96.

Appolinário, P.P., Derogis, P.B.M.C., Yamaguti, T.H. & Miyamoto, S. 2011. Metabolismo, oxidação e implicações biológicas do ácido docosaexaenoico em doenças neurodegenerativas. *Química Nova*, 34,1409–141.

Araújo, R.G.A.C. 2017. Perfil de ácidos graxos e energia metabolizável aparente de diferentes fontes lipídicas para galinhas poedeiras. 2017. 56 f. Dissertação (Mestrado) -, Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho”, São Paulo.

Azzi, A. 2017. Many tocopherols, one vitamin E. *Molecular Aspects of Medicine*, 61: 92-103.

- Barclay, W.R., Meager, K.M. & Abril, J.R. 1994. Heterotrophic production of long chain omega-3 fatty acids utilizing algae and algae-like microorganisms. *Journal of Applied Phycology*, 6,123-129.
- Becker, E.W., 2004. Microalgae in human and animal nutrition. In: Richmond A., editor. *Handbook of Microalgae Culture. Biotechnology and Applied Phycology*. Oxford: Blackwell Science.
- Becker, W. 2004. Microalgae in Human and Animal Nutrition. In: Richmond, A., Ed., *Handbook of Microalgal Culture: Biotechnology and Applied Phycology*, Blackwell Science, London, 566 p.
- Bertechini, A.G. 2016. Mitos e verdades sobre os ovos de codornas. In: Congresso de Produção e Comercialização de Ovos, 14., 2016, Ribeirão Preto - SP, Anai, São Paulo: APA. CD-ROM.
- Bertechini, A.G. Nutrição de monogástricos. Lavras: Editora UFLA, 2006. 301p.
- Burdge G.C. 2006. Metabolism of alpha-linolenic acid in humans. *Prostaglandins Leukot Essent Fatty Acids*, 2006;75:161–168. doi: 10.1016/j.plefa.2006.05.013
- Burdge, G.C. 2006. Metabolism of α -linolenic acid in humans. *Prostaglandins, Leukotrienes and Essential Fatty Acids*, 75,161–168.
- Butolo ,J.E. 2002. Qualidade de ingredientes na alimentação animal. Campinas SP. Colégio Brasileiro de nutrição animal. 430p.
- Calder, P.C. 2017. Omega-3 fatty acids and inflammatory processes: from molecules to man. *Biochemical Society Transactions*, 45, 105–115.
- Caston, L. J., Squires, E. J. & Leeson, S. (1994). Hen performance, egg quality, and the sensory evaluation of eggs from SCWL hens fed dietary flax. *Canadian Journal of Animal Science*, 74 (2), 347-353.

Ceylan, N., Ciftci, I., Mizrak, C. & Kahraman, Z. 2011. Influence of different dietary oil sources on performance and fatty acid profile of egg yolk in laying hens. *Journal of Animal and Feed Sciences*, 20(1), 71-83.

Cherian G. 2015. Nutrition and metabolism in poultry: role of lipids in early diet. *Journal Animal Science Biotechnology*, 24;6(1):28.

Cherian G. 2022. Hatching egg polyunsaturated fatty acids and the broiler chick. *Journal of Animal Science and Biotechnology*, 13, 98-107.

Cherian, G., Bautista-Ortega, J. & Goeger, D.E. 2009 Maternal dietary n-3 fatty acids alter cardiac ventricle fatty acid composition, prostaglandin and thromboxane production in growing chicks. *Prostaglandins Leukot Essent Fatty Acid*, 80, 297–203.

Chew, K.W., Yap, J.Y., Show, P.L., Suan, N.H., Juan, J.C., Ling, T.C., Lee, D.J. & Chang, J.S., 2017. Microalgae biorefinery: High value products perspectives. *Bioresource Technology*, 229, 53-62.

Combs, G.F. & McCamp;. 2017. *The Vitamins: Fundamental Aspects in Nutrition and Health*. 5th Edition, Academic Press.

Costa, F.D., Tavernari, F.C., Costa, O.A.D., Castro, F.F. & Remus, A. 2017. Enriquecimento com ácidos graxos da série ômega 3 em carne de aves e ovos. *PUBVET Medicina Veterinária e Zootecnia*, 11(2), 113-123.

Estevez, M. 2015. Oxidative damage to poultry: from farm to fork. *Poultry Science*, 94(6), 1368-1378.

Fard, S.G., Wang, F., Sinclair, A. J. , Elliott, G. & Turchini, G.M. 2019. How does high DHA fish oil affect health? A systematic review of evidence. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, 59(11), 1684-1727.

Figueiredo, M. S., Maia, L. de A., Guarda, D. S., Lisboa, P. C. & Moura, E, G. 2017

Flaxseed secoisolariciresinol diglucoside (SDG) during lactation improves bone metabolism in offspring at adulthood. *Journal of Functional Foods*, 29,161171.

Fraeye, I., Brunell, C., Lemahieu, C., Buyse, J., Muylaert, K. & Foubert, I. 2012 Dietary enrichment of eggs with ω -3 fatty acids: A review. *Food Research International*, 8: 961-969.

Franco, E.Z. 2007. Efeito do ácido linoleico conjugado na dieta de matrizes de corte e sua progênie. 55 f. Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria.

Galli F, Azzi A, Birringer M, Cook-Mills Jm, Eggersdorfer M, Frank J & Özer Nk. 2017. Vitamin E: Emerging aspects and new directions. *Free Radical Biology and Medicine* , 102: 16–36.

Hall, J.A.; Jha, S.; Skinner, M.M.; Cherian, G. 2007. Maternal dietary n-3 fatty acids alter immune cell fatty acid composition and leukotriene production in growing chicks. *Prostaglandins, Leukotrienes and Essential Fatty Acids*, 76(1), 19- 28.

Koppenol, A., Buyse, J., Everaert, N., Willems, E., Wang, Y., Franssens, L. & Delezie, E. 2014. Transition of maternal dietary n-3 fatty acids from the yolk to the liver of broiler breeder progeny via the residual yolk sac. *Poultry Science*, 94(1), 43-52.

Lau, B.Y., Cohen, D.J., Ward, W.E. & Ma, D.W. 2013. Investigating the role of polyunsaturated fatty acids in bone development using animal models. *Molecules*, 18,14203–27.

Lehninger, A. L.; Nelson, D. L. & Cox, M. M. 2014. *Princípios de Bioquímica*. 6.ed. São Paulo: Sarvier.

Li, Y., & Liu, S. 2012. Reducing lipid peroxidation for improving colour stability of beef and lamb: on-farm considerations. *Journal of the Science of Food and Agriculture* , 92(4), 719-726.

- Lima, D. M., Rangel, A., Urbano, S., Mitzi, G. & Moreno, G.M. 2013. Oxidação lipídica da carne ovina. *Acta Veterinaria Brasilica*, 7(1), 14-28.
- Liu, D.; & Denbow, D.M. 2001 Maternal dietary lipids modify composition of bone lipids and ex vivo prostaglandin e2 production in early postnatal japanese quail. *Poultry Science Association*, 80, 1344 – 1352.
- Makker, K., Agarwal, A. & Sharma, R. 2009. Oxidative stress & male infertility. *The Indian Journal Medical Research*, 129, 357-367.
- Mennitti, L.V., Oliveira, J.L., Morais, C.A., Estadella, D., Oyama, L.M., Nascimento, C.M.O. and Pisani, L.P. 2015. Type of fatty acids in maternal diets during pregnancy and/or lactation and metabolic consequences of the offspring. *The Journal of Nutritional Biochemistry*, 26:99–111.
- Moghadam, M. H., Beheshti. A., Shehab, A.& Cherian, G. 2020. Production Performance, Quality and Lipid Composition of Eggs from Laying Hens Fed Heated Flaxseed with Carbohydrase Enzymes. *Journal Of Applied Poultry Research*, 29(1), 121-129.
- NATIONAL RESEARCH COUNCIL – NRC. 1994. Nutrient requirements of poultry. 9.ed. Washington: National Academy Press, 155p.
- Neijat, M., Zacekd, P., Pickloe, M.J. & House, J.D. 2020. Lipidomic characterization of omega-3 polyunsaturated fatty acids in phosphatidylcholine and phosphatidylethanolamine species of egg yolk lipid derived from hens fed flaxseed oil and marine algal biomass. *Prostaglandins Leukot Essent Fatty Acids*, 161, 102–178.
- Neuringer, M., Anderson, G.J & Connor, W.E. 1988. The essentiality of n-3 fatty acids for the development and function of the retina and brain. *Annual Review of Nutrition*, 8 (1), 517-541.
- Oliveira, D.D., Baião, N.C., Cançado, S.V., Grimaldi, R., Souza, M.R., Lara, L.J.C. & Lana, A.M.Q. 2010. Effects of lipid sources in the diet of laying hens on the fatty acid

profiles of egg yolks. Poultry Science, 89(11),2484- 2490.

Oliveira, D.D., Cançado, S.V., Oliveira, B.L., Lana, A.M.Q. & Figueiredo, T.C. 2011. Effects of the use of soybean oil and animal fat in the diet of laying hens on production performance and egg quality. Ciência e Agrotecnologia, 35(5), 995-1001.

Palermo Neto, J., Spinosa, H. S. & Górnaiak, S. L. 2005. Farmacologia aplicada à avicultura. Editora Roca, São Paulo.

Panda, A.K & Cherian, G. 2014. Role of Vitamin E in Counteracting Oxidative Stress in Poultry. Journal Poultry Science, 51: 109-117. <https://doi.org/10.2141/jpsa.0130134>.

Priyadarshani, I & Rath, B., 2012. Commercial and industrial applications of micro algae - A review. Journal of Algal Biomass Utilization , 3, 89-100.

Ramalho, V. C. & Jorge, N. Antioxidantes utilizados em óleos, gorduras e alimentos gordurosos. Química Nova, 29 (4), 755-760.

Ribeiro, T., Lordelo, M.M., Alves, S.P., Bessa, R.J.B., Costa, O., Lemos, J.P.C., Ferreira, L.M.A., Fontes, C.M.G.A. & Prates, J.A.M., 2013. Direct supplementation of die tis the 33 most efficient way to enriching broiler meat with n-3 long-chain polyunsaturated fatty acids. British Poultry Science, 54, 753-765.

Ribeiro, T., Lordelo, M.M., Costa, P., Alves, S.P., Benevides, W.S., Bessa, R.J.B., Lemos, J.P.C., Pinto, R.M.A., Ferreira, L.M.A., Fontes, C.M.G.A. & Prates, J.A.M., 2014. Effect of reduced dietary protein and supplementation with a docosahexaenoic acid product on broiler performance and meat quality. British Poultry Science ,55, 752-765.

Rostagno, H.S., Albino, L.F.T., Hannas, M.I., Donzele, J.L., Sakomura, N.K., Perazzo, F.G., Saraiva, A., Teixeira, M.L., Rodrigues, P.B., Oliveira, R.F., Barreto, S.L.T. & Brito, C.O. 2017. Brazilian tables for poultry and swine: composition of foods and nutritional requirements, Fourth ed. Viçosa, Minas Gerais, Brazil, 488p.

Roza, LF. Extrato floral de *Tajetes erecta* e vitamina e em dietas para matrizes de codornas: perfil oxidativo, produção, reprodução, incubação e progênie. [TESE].

- Maringá (PR): Universidade Estadual de Maringá; 2021.
- Sarker, P.K., Kapuscinski, A.R., Lanois, A.J., Livesey, E.D., Bernhard, K.P. & Coley, M.L. 2016. Towards Sustainable Aquafeeds: Complete Substitution of Fish Oil with Marine Microalga *Schizochytrium* sp. Improves Growth and Fatty Acid Deposition in Juvenile Nile Tilapia (*Oreochromis niloticus*). PLoS ONE 11(6): e0156684.
- Shibabaw, T. 2022. Omega-3 polyunsaturated fatty acids: anti-inflammatory and anti-hypertriglyceridemia mechanisms in cardiovascular disease. Molecular and Cellular Biochemistry, 476, 993–903.
- Silva LAL. Relação do ácido linoleico e alfa linolênico em reprodutores (as) de codornas japonesas e sua progênie. [dissertação]. Maringá (PR): Universidade Estadual de Maringá; 2021.
- Silva, L.A.L., Miranda, V.M.M.C., Roza, L.F., Marcato, S.M., Pozza, P.C. & Santos, T.C. 2023. Relationship of Linoleic and Alpha-Linolenic Acids on the Productive Performance and Serum Biochemical Profile of Japanese Quail Breeders. Brazilian Journal of Poultry Science, 25(2), 001-010.
- Simopoulos, A.P. 2008. The importance of the Omega-6/Omega-3 fatty acid ratio in cardiovascular disease and other chronic diseases. Experimental Biology and Medicine, London, 33(6), 674-688.
- Sprecher, H. 2000. Metabolism of highly unsaturated n-3 and n-6 fatty acids. Biochimica et Biophysica Acta (Bba) - Molecular and Cell Biology of Lipids, 1486 (2-3), 219-231.
- Surai, P.F. 1999. Tissue-specific changes in the activities of antioxidant enzymes during the development of the chicken embryo. British Poultry Science, 40, 397-405.
- Surai, P.F., Fisinin, V.I. & Karadas F. 2016. Antioxidant systems in chick embryo development. Part 1. Vitamin E, carotenoids and selenium. Animal Nutrition, 2(1), 1–11.
- Surai, P.F., Kochish I. I., Fisinin, V.I. & Kidd, M.T. 2019. Antioxidant defense systems

and oxidative stress in poultry biology: An Update. *Antioxidants*, 8(7): 235.

Tunsaringkarn, T., Tungjaroenchai, W. & Siriwong, W. 2013. Nutrient benefits of quail (*Coturnix japonica*) eggs. *Journal of Scientific and Research Publications*. 3(5).

Vaz, J.S., Deboni, F., Azevedo, M.J., Gross, J.L. & Zelmanovitz, T. 2006 Ácidos graxos como marcadores biológicos da ingestão de gordura. *Revista de Nutrição*, Campinas, 14(4), 489-500.

Wathes, D.C., Abayasekara, D.R. & Aitken, R.J. 2007. Polyunsaturated fatty acids in male and female reproduction. *Biology of Reproduction*, 2007;77(2):190–201.

Wathes, D.C., Abayasekara, D.R. & Aitken, R.J. 2007 Polyunsaturated fatty acids in male and female reproduction *Biology of Reproduction*, 77, 190-201.

Wójciak, K. M., & Dolatowski, Z. J. 2012. Oxidative stability of fermented meat products. *Acta Scientiarum Polonorum. Technologia Alimentaria* , 11(2), 99-109.

Wu, B., Xie, Y., Xu, S., Lv, X., Yin, H., Xiang, J., Chen, H. & Wei, F. 2020. Comprehensive lipidomics analysis reveals the effects of different omega-3 polyunsaturated fatty acid-rich diets on egg yolk lipids. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 68, 15048–15060.

Yadgary, L., Wong, E.A. & Uni, Z. 2014. Temporal transcriptome analysis of the chicken embryo yolk sac. *BMC Genomics*. 15,690.

Yan, L., Bai, X.L., Fang, Z.F., Che, L.Q., Xu, S.Y. & Wu, D. 2013. Effect of different dietary omega-3/omega-6 fatty acid ratios on reproduction in male rats. *Lipids Health*, 12:33.

Yan, L., Lim, S.U. & Kim, I.H., 2012. Effect of fermented *Chlorella* supplementation on growth performance, nutrient digestibility, blood characteristics, fecal microbial and fecal noxious gas content in growing pigs. *Asian-Aust. Journal Animal Science*, 25, 1742-1747.

Youdim, K.A., Martin, A. & Joseph, J.A. 2000. Essential fatty acids and the brain: possible health implications. *International Journal of Developmental Neuroscience*, Galveston, 18(4-5),383-399.

Zanini, S.F., Torres, C.A., Bragagnolo, N., Turatti, J.M., Silva, M.G. & Zanini, M.S. 2003. Evaluation of the ratio of omega (6: omega3 fatty acids and vitamin E levels in the diet on the reproductive performance of cockerels. *Archivfur Tierernahrung*, 57(6), 429–42.

II. OBJETIVOS GERAIS

Estudar o efeito da interação do ácido linoleico (18:2 n-6) e alfa linolênico (18:3 n-3) associados à vitamina E e de diferentes níveis de DHA na alimentação de codornas japonesas, sobre a reprodução, produção e desempenho de incubação.

II.1 Objetivo Específicos

- Avaliar o desempenho produtivo, qualidade interna e externa do ovo e perfil bioquímico sérico durante o ciclo produtivo de matrizes e reprodutores de codornas japonesas.
- Avaliar vida de prateleira de ovos de matrizes de codornas alimentadas com DHA.
- Estudar o desempenho de incubação, qualidade de pintinho e fertilidade em codornas japonesas.
- Avaliar a qualidade de carcaça de matrizes de codornas alimentadas com DHA.
- Identificar o perfil lipídico da gema do ovo, a atividade antioxidante da gema e do saco vitelínico e fígado de pintinhos durante a incubação e após a eclosão.

III. SUPLEMENTAÇÃO DE DHA NA DIETA DE CODORNAS JAPONESAS SOBRE O DESEMPENHO PRODUTIVO, O PERFIL BIOQUÍMICO SÉRICO, PERFIL DE ÁCIDO GRAXO DA GEMA E ANÁLISE SENSORIAL DO OVO

Artigo Redigido nas Normas British Poultry Science

RESUMO

1.A suplementação de DHA na dieta de aves melhora a composição da gema e o metabolismo animal, por apresentar funções nos sistemas cardiovascular, ósseo e urogenital.

2. Objetivou-se avaliar o efeito da suplementação de DHA na dieta para reprodutores de codornas, sobre o desempenho produtivo, qualidade de ovo, bioquímica sérica, composição da gema do ovo, vida de prateleira e análise sensorial do ovo.

3. Foram utilizadas 480 codornas com 14 semanas em um delineamento inteiramente casualizado, com cinco dietas contendo diferentes níveis de DHA (0, 0,015, 0,030, 0,045 e 0,060 %) e 12 repetições de 6 fêmeas +2 machos. Utilizando produtos a base das microalgas marinhas do gênero *Schizochytrium sp.* foram utilizadas como fonte de DHA.

4. Os níveis de DHA aumentaram a taxa de postura, massa de ovo, consumo de ração conversão alimentar (g/g) e (g/dúzia) ($p<0,005$). Para a qualidade de ovo, o peso do ovo e a percentagem de gema apresentaram um efeito linear crescente e um efeito linear decrescente para a percentagem de albúmen com o aumento dos níveis de DHA da dieta ($p<0,005$).

5. Para a bioquímica sérica de fêmeas e machos, ocorreu diminuição dos níveis de colesterol e LDL e um aumento para os níveis de triglicerídeos e HDL ($p<0,005$) em função dos níveis de DHA na dieta. O teor e o perfil de lipídios da gema foram alterados pelos níveis de DHA na dieta. Houve aumento na concentração de ácido alfa linolênico (LNA) e DHA e diminuição de ácido linolênico (LA) e da relação LA:LNA. Estes resultados demonstram a incorporação dos ácidos graxos presentes na dieta para a gema.

6. Nos resultados sobre as análise de vida de prateleira, houve um aumento do peso relativo da gema e diminuição do peso relativo do albúmen ($p<0,005$) ao longo do tempo e com o aumento do nível de DHA. A peroxidação lipídica foi menor nos ovos armazenados na geladeira, quando comparados a temperatura ambiente ($p<0,005$) e o nível de 0,060% de DHA apresentou os menores valores de MDA comprovando a redução na peroxidação lipídica da gema. Para a análise sensorial foi observado que com a inclusão de DHA diminuiu a aceitabilidade do ovo.

7. Conclui-se que a inclusão de DHA na dieta de reprodutores melhora o desempenho, o peso do ovo e da gema, modifica o perfil lipídico do sangue e o perfil de ácido graxo da gema, sendo indicado a utilização de 0,06% de DHA na dieta de codornas reprodutoras para a produção de ovos férteis.

Palavras-chave: ácido docosaenoico, ácidos graxos polinsaturados, microalgas, qualidade do ovo, *Schizochytrium sp.*

ABSTRACT

1. DHA supplementation in poultry diets improves yolk composition and animal metabolism because it functions in the cardiovascular, bone, and urogenital systems.

2. The aim of this study was to evaluate the effect of DHA supplementation in the diet of quail breeders on production performance, egg quality, serum biochemistry, egg yolk composition, shelf life, and sensory analysis.

3. A total of 480 quails aged 14 weeks were used in a completely randomized design, with five diets containing different levels of DHA (0, 0.015, 0.030, 0.045 and 0.060 %) and 12 replicates of 6F + 2M. Products based on marine microalgae of the genus *Schizochytrium* sp. were used as a source of DHA.

4. DHA levels increased the laying rate, egg mass, feed conversion (g/g) and (g/dozen) ($p<0.005$). A quadratic effect was observed for feed consumption ($p<0.005$). For egg quality, egg weight showed a quadratic effect, and there was an increase in the % of yolk and a decrease in the % of albumen with increasing levels of DHA in the diet ($p<0.005$).

5. For the serum biochemistry of females and males, there was a decrease in cholesterol and LDL levels and an increase in triglyceride and HDL levels ($p<0.005$) as a function of the levels of DHA in the diet. The lipid content and profile of the yolk were altered by the levels of DHA in the diet. There was an increase in the concentrations of alpha linolenic acid (LNA) and DHA and a decrease in linolenic acid (LA) and the LA:LNA ratio. These results demonstrate the incorporation of the fatty acids present in the diet into the yolk.

6. In the results of the shelf life analysis, there was an increase in the relative weight of the yolk and a decrease in the relative weight of the albumen ($p<0.005$) over time and with increasing levels of DHA. Lipid peroxidation was lower in eggs stored in the fridge than in those stored at room temperature ($p<0.005$) and the 0.060% DHA level showed the lowest MDA values, proving a reduction in yolk lipid peroxidation. Sensory analysis showed that the inclusion of DHA reduced the egg's acceptability.

7. It is concluded that the inclusion of DHA in the diet of breeders improves performance, egg and yolk weight, modifies the lipid profile of the blood and the fatty acid profile of the yolk, and that the use of 0.06% DHA in the diet of breeding quails is indicated for the production of fertile eggs.

Keywords: docosahexaenoic acid, microalgae, *Schizochytrium* sp.

1. INTRODUÇÃO

A suplementação de ácido alfa linolênico (LNA) na dieta de aves é amplamente utilizada para o enriquecimento dos produtos avícolas, mas também para melhorar a

produção, saúde e reprodução dos animais. As fontes vegetais de LNA mais utilizadas são a linhaça e canola, já entre as fontes de origem animal a principal é o óleo ou farinha de peixe (Thanabalan e Kiarie, 2021). As fontes vegetais são ricas em LNA e a capacidade de animais de converter LNA em ácido docosaenoico (DHA) é baixa e, quando a dieta possui mais de 50% de LA na dieta, a conversão de LNA em DHA é ainda mais baixa, com isso vem se buscando fontes ricas com maiores concentrações de DHA, uma dessas fontes são as microalgas (Neijat et al., 2016).

As microalgas podem ser utilizadas para suplementar DHA na dieta animal. Avanços na pesquisa encontraram maneiras de cultivar microalgas ricas em DHA em larga escala (Harwood, 2019). Ao selecionar cepas relevantes, a biomassa das microalgas pode ser utilizada como fonte de gordura, competindo assim com os óleos utilizados nas dietas ou podem ser adicionados em conjunto com o óleo com a função de fornecer mais ácidos graxos para o ovo (Mens et al., 2022). Uma das algas marinhas que vêm sendo incluídas na alimentação animal para melhorar o teor de ácido graxo, principalmente o DHA, é a do gênero *Schizochytrium*. A *Schizochytrium sp.* é produzida em escala comercial em lagoas ou fermentadores de aço inoxidável com células concentradas ricas em DHA, extraídas por centrifugação e secas, resultando em flocos dourados com teor de DHA superior a 17% (Sarker et al., 2016). As aves alimentadas com microalgas apresentam perfil de ácido graxo na gema semelhante aos das aves alimentadas com óleo de linhaça e óleo de peixe (Miranda et al., 2015).

Outro aspecto importante da suplementação com DHA é a produção de ovos férteis para melhorar resultados nas taxas de fertilidade, eclodibilidade e melhorar a qualidade do pintinho em codornas (Idamokoro et al., 2020). Porém, ao realizar a suplementação e obter este enriquecimento do ovo e melhora na qualidade dos ovos, isso não deve

877 impactar negativamente sobre o desempenho zootécnico, imunidade e reprodução desses
878 animais (Mens et al., 2022).

879 O enriquecimento de DHA no ovo é importante tanto na saúde humana, quanto no
880 animal. Isso porque o DHA é um componente importante das células receptoras
881 (Alessandrini, et al., 1998) e um inibidor da síntese de tromboxano (Zhao et al.,2021).
882 Em relação à formação de trombos, estudos clínicos epidemiológicos demonstraram que
883 os efeitos antitrombogênicos podem ser atribuídos ao aumento de ácidos graxos n-3 na
884 dieta (Basho e Bin, 2010). Além disso, o DHA desempenha um papel importante na
885 formação, desenvolvimento e funcionamento do cérebro e da retina, prevalecendo na
886 maioria das suas membranas celulares e em vários tecidos do corpo. Nas mulheres
887 grávidas e no desenvolvimento embrionário das aves, estimula o cérebro do feto e
888 embrião, proporcionando maior número de sinapses e favorecendo mielinização
889 adequada (Castro-Tamayo et al.,2020).

890 Há pouca informação na literatura sobre a influência da inclusão de DHA
891 provenientes de algas na dieta de reprodutores de codornas, já que foram realizados
892 estudos com outras fontes como óleo de linhaça e peixes já foram utilizados. Portanto, a
893 hipótese do estudo foi que a inclusão de DHA na dieta enriquece o ovo de codorna com
894 maiores concentrações de DHA e causa efeitos positivos no desempenho e outros
895 parâmetros. Desta forma, objetivou-se avaliar o efeito da suplementação de DHA na dieta
896 para reprodutores de codornas, sobre o desempenho produtivo, a qualidade de ovo, a
897 bioquímica sérica, composição da gema do ovo, vida de prateleira e análise sensorial do
898 ovo.

2. MATERIAL E MÉTODOS

O experimento foi aprovado pelo Comitê de Ética Animal (CEUA) da Universidade Estadual de Maringá (protocolo 3124060821). O experimento foi realizado no setor avícola na Fazenda Experimental de Iguatemi (FEI), da Universidade Estadual de Maringá, Maringá, Brasil.

2.1 ANIMAIS E MANEJO

Foram utilizadas 480 codornas japonesas (360 fêmeas + 120 machos) com 14 semanas, homogeneizadas pelo peso (fêmea 125g e machos 154g) e taxa de postura (93,21%). As aves foram alojadas em galpão de postura com gaiolas metálicas de ferro galvanizado (25 × 39 cm, 212 cm² ave), com bebedouro tipo nipple e comedouro tipo calha. O programa de luz adotado foi de 17 horas de luz (natural + artificial). A água e a ração foram fornecidas *ad libitum* durante todo o período experimental. A temperatura e umidade foram medidas diariamente durante todo o período experimental, com o auxílio de termo-higrômetro digital, registrando média de temperatura máxima 28 °C e mínima de 20 °C e a umidade máxima de 80% e mínima de 60%, o experimento ocorreu nos meses de junho a setembro com a estação inverno/ primavera.

2.2 DELINEAMENTO EXPERIMENTAIS E DIETAS

O delineamento utilizado foi inteiramente ao acaso, com 5 tratamentos (dietas) e 12 repetições (gaiolas) de 8 aves cada (6 fêmeas + 2 machos). O desempenho produtivo foi

determinado em conjunto para machos e fêmeas. Os tratamentos consistiram em rações experimentais com diferentes níveis de inclusão de DHA na dieta, a inclusão foi de: 0, 0,015, 0,030, 0,045 e 0,060 %. O DHA foi proveniente da microalga da espécie *Schizochytrium sp* que possui em sua composição 17 % de DHA. As rações foram formuladas à base de milho e farelo de soja (Tabela 1) para atender às exigências nutricionais de codornas em período de postura (Rostagno et al., 2017).

2.3 DESEMPENHO PRODUTIVO E QUALIDADE DOS OVOS

Após a adaptação de 5 dias, iniciou o experimento que teve duração de 63 dias, divididos em 3 ciclos de 21 dias cada. O consumo de ração foi monitorado semanalmente e a mortalidade foi monitorada diariamente. A produção de ovos foi registrada diariamente para calcular a produção de ovos. O desempenho produtivo foi mensurado a cada ciclo através da taxa de postura, consumo diário de ração (CDR g/ave), massa de ovos (MO, g) e conversão alimentar (CA kg/kg e CA kg/dúzia).

A qualidade externa e interna dos ovos foi avaliada no final de cada ciclo de produção. Em três ovos por unidade experimental, os quais foram avaliados individualmente. As variáveis analisadas para obtenção da qualidade externa foram: peso médio ovo (PM), gravidade específica (GE), peso relativo da casca (%casca) e espessura da casca (CE). Foram consideradas as seguintes variáveis para qualidade interna: cor da gema, percentagem de casca, albúmen e gema (% casca, % albúmen, % gema), unidade Haugh (UH), índice de gema (IG).

A gravidade específica (g/L) foi determinada em soluções salinas de diferentes densidades (Pym,1969), (1,055 a 1,085 g/cm³). Em superfície plana e lisa de vidro, a

altura de gema e albúmen foi determinada com o auxílio de um paquímetro digital acoplado a um tripé. A unidade Haugh foi determinada pela equação: $UH = 100 \log (H + 7,57 - 1,7 W^{0,37})$, em que: H = altura de albúmen (mm); W = peso do ovo (gramas). O índice de gema foi calculado pelo produto da divisão entre a altura de gema (mm) dividida pelo diâmetro de gema (mm) multiplicado por 100. As cascas foram lavadas e secas em estufa de ventilação forçada a 65 °C por 72 horas. Foram pesadas em balança de precisão digital e realizada a mensuração para determinação da espessura da casca com o auxílio de micrômetro digital (Mitutoyo Co, Modelo 00s, Kawasaki, JP). As medidas de espessura foram realizadas em três pontos distintos na região equatorial.

A coloração da gema foi determinada por meio de um colorímetro Minolta CR-400, no sistema CIELab, previamente calibrado em superfície branca, de acordo com padrões pré-estabelecidos, segundo Bible e Singha (1993) e Mutschler et al. (1992). Foram avaliados os valores de cor: a*, b* e L. Sendo o valor de a* a captação da cor na região do vermelho (+a*) ao verde (-a*), o valor b* a coloração no intervalo do espectro amarelo (+b*) ao azul (-b*), e o valor de L fornece a luminosidade, que varia do branco (L=100) ao preto (L=0).

2.3 BIOQUÍMICA SÉRICA

Ao fim do último ciclo experimental (24 semanas), as codornas foram pesadas e, dentro do peso médio de cada tratamento, foram selecionadas 10 fêmeas e 10 machos por tratamento sendo 1 de cada gaiola para a colheita de sangue (n=10/sexo/dieta). Foi colhido todo o volume sanguíneo possível por venopunção. O soro foi obtido após a centrifugação (3000 rpm, 15 minutos), aliqotadas em tubos cônicos e congelados (-20°

C). As amostras foram analisadas em três dias após a coleta. O perfil lipídico foi analisado e determinado para triglicerídeos, colesterol, HDL e LDL através do método de ELISA.

2.4 ANÁLISE DE COMPOSIÇÃO DA GEMA

Para a composição da gema foram obtidos 10 pools/ tratamento composto pelo conteúdo de 05 gemas. Esse conteúdo foi homogeneizado, congelado em ultra-freezer -80° C e liofilizado. Nas amostras liofilizadas foram determinadas segundo a AOAC (2005) os teores de matéria seca (925-09), matéria mineral (923-03), proteína bruta (920-87) e extrato etéreo (920-85).

2.5 ANÁLISE DE ÁCIDO GRAXOS

As análises de ácidos graxos foram realizadas no produto comercial a base de algas, na ração e nas amostras de gema liofilizadas. Na gema foram utilizados 5 pools por tratamento, obtidos de 5 gemas e foram congelados em ultra-freezer -80° C. Para a ração e o produto DHA foram utilizadas duas amostras de cada. As amostras foram submetidas à extração lipídica baseada nos métodos de Bligh e Dyer (1959) na presença de quantidades conhecidas de Padrão Interno para análises de ácidos graxos. Foi utilizado 3g de amostra de gema, ração e DHA e adicionado água destilada (12ml), metanol (30ml), clorofórmio (30ml) e mais 15 ml de água destilada e foi agitado por 12 minutos em seguida filtrado a vácuo em funil de buchner e o conteúdo foi transferido para um funil de separação de fases e após isso foi drenado a fase inferior contendo o clorofórmio que foi evaporado. Em seguida as amostras transesterificadas, os ésteres metílicos de ácidos graxos foram obtidos através da transesterificação dos triacilgliceróis, conforme método

5509 da ISSO (1978), em solução de n-heptano e KOH/metanol. Os ésteres de ácido graxos foram separados no cromatógrafo gasoso, equipado com detector de ionização de chama e coluna capilar de sílica fundida. A identificação dos ácidos graxos foi feita através da comparação dos tempos de retenção com padrões Sigma, e as concentrações determinadas através do cálculo de área de picos com integrados – processador.

2.5 VIDA DE PRATELEIRA OVO

Foram coletados 350 ovos no final do 3 ciclo produtivo, sendo 70 ovos por tratamento e distribuídos em esquema fatorial 5x4x2 (cinco níveis de inclusão de DHA x quatros períodos de armazenamento x dois ambientes). Destes, 50 ovos (10/ tratamento) foram avaliados no dia da coleta, 150 ovos restantes foram armazenados em refrigeração ($\pm 5,0^{\circ}\text{C}$) e 150 ovos foram armazenados em temperatura ambiente para posterior à análises. As temperaturas máximas e mínimas e a umidade relativa (UR) foram monitoradas diariamente através de termohigrômetro digital, sendo a temperatura para os ovos refrigerados foram de máxima de $6,0^{\circ}\text{C}$ e umidade máxima de 59% e a temperatura mínima foi de $2,9^{\circ}\text{C}$ e 46 % de umidade. As temperaturas para os ovos em temperatura ambiente foram de temperatura máxima foi de $28,9^{\circ}\text{C}$ e umidade 82% e mínima de $20,1^{\circ}\text{C}$ e umidade 67%. A cada 10 dias, 10 ovos por tratamento foram avaliados até o 30º dia de armazenamento. Sendo o período de armazenamento dividido em 0, 10, 20, e 30 para os ovos refrigerados e os de temperatura ambiente.

Os parâmetros externos avaliados foram: perda de peso do ovo, índice de gema, porcentagem de gema e albúmen. A determinação do pH foi realizada com um medidor de pH (Digital tipo caneta, modelo T-PHM-0010.00), introduzido diretamente na gema até estabilizar, a cada dia que era realizada a qualidade do ovo. No início de cada coleta (dia 0), todos os ovos foram pesados individualmente, sendo 10 repetições para cada dia

de armazenamento (10 ,20 e 30 dias). No dia da avaliação de qualidade dos ovos, estes foram pesados novamente, e pela diferença do peso inicial e final, foi determinada a perda de peso dos ovos.

2.6 OXIDAÇÃO LIPÍDICA DOS OVOS

Em outro grupos de 600 ovo (120 por tratamento) foram realizadas análises de peroxidação lipídica, os ovos foram identificados e armazenados à temperatura ambiente e refrigerados e foram avaliados ao longo do tempo 0, 10, 20 e 30 dias . A peroxidação lipídica através da mensuração da produção de malonaldeído (MDA) por meio de substâncias reativas ao ácido tiobarbitúrico (TBARS) de acordo com metodologia adaptada de Vital et al. (2016). A gema foi misturada em solução de TCA - Ácido Tricloroacético (15% TCA, 0,1% ácido etilenodiamino tetra-acético e 0,1% ácido gálico) (1:3, m/v) e centrifugado a 4°C por 15 min a 3.000 rpm (MPW Med. Instruments, MPW-351R, Varsóvia, PL) sendo então o sobrenadante coletado. Em tudo protegido da luz, adicionou-se a solução de ácido tiobarbitúrico (TBA) (1% TBA, 562,5 µM HCl e 15% TCA, em água destilada) e extrato (1:1, v/v), seguido de banho fervente durante 15 minutos a 100°C. Após o banho as amostras foram resfriadas e realizou-se leitura em espectrofotômetro (Thermo Scientific™, Evolution™ 212 300 UV-VIS, Waltham, USA) a 532 nm de comprimento de onda. TBARS foi expresso em µg e MDA/g de tecido calculado usando curva padrão de 1,1,3,3-tetrametoxipropano (TMP) 1mM como padrão.

2.7 ANÁLISE SENSORIAL

No final do experimento 50 ovos por tratamento foram coletados e identificados. Para a análise sensorial. Ovos de codorna utilizados foram coletados dentro de 48 horas após a postura, sendo considerados ovos frescos. Os ovos selecionados foram lavados e cozidos a 100°C por 10 minutos, contados a partir do momento em que a água ferve. Nos primeiros três minutos foi realizada a agitação manual para cozimento total e concentração da gema no centro. Imediatamente depois disso, os ovos são embebidos em água fria para promover choque térmico, para completar o processo de cozimento.

O teste foi realizado no laboratório de análise sensorial, equipado com 10 cabines individuais, e realizado em 80 provadores aleatoriamente e sem treinamento prévio. Todos os consumidores convidados e que aceitaram participar do estudo assinaram um Termo de Consentimento Livre e Esclarecido (TCLE) e preencheram uma ficha de identificação para a caracterização dos julgadores, contendo faixa etária e gênero, sendo 58,23 % mulheres e 41,77 % homens na faixa etária de menor que 25 anos.

As amostras foram oferecidas aos degustadores, em pratos brancos codificados com algarismos de três dígitos com quantidades padronizadas, foi fornecido biscoito “água e sal”, e água para limpeza do palato entre a avaliação das amostras e ficha de avaliação com lápis. Foram utilizados os testes de escala hedônica de nove pontos para os seguintes parâmetros: cor, maciez, sabor, cor, aparência, aroma, suculência e avaliação geral: 1 – desgostei muitíssimo; 2 – desgostei muito; 3 – desgostei moderadamente; 4 – desgostei ligeiramente; 5 – não gostei/ nem desgostei; 6 – gostei ligeiramente; 7 – gostei moderadamente; 8 – gostei muito e 9 – gostei extremamente.

Além da caracterização sensorial, os degustadores também foram solicitados a opinar, após a degustação, sobre a intenção de compra do produto em eventual pesquisa de

mercado foi usado a escala: 1- certamente não compraria; 2- provavelmente compraria; 3- tenho dúvidas se compraria; 5 – certamente compraria.. Também foi questionado se consumiria este produto numa escala de 1 a 7, 1-nunca comeria; 2-comeria muito raramente; 3- comeria raramente; 4- comeria ocasionalmente; 5- comeria frequentemente; 6 comeria muito frequentemente; 7- comeria sempre.

2.8 ANÁLISE ESTATÍSTICA

Os dados foram submetidos ao teste de normalidade Shapiro - Wilk e à análise de variância utilizando o programa Statistical Analysis System (SAS, 2010) e considerados significativos quando $P < 0,05$, por meio do procedimento GLM. A análise de regressão foi utilizada para determinar o melhor nível de inclusão de DHA.

$$\hat{Y} = \beta_0 + \beta_1 x_i + \beta_2 x_i^2 + \epsilon_i,$$

no qual: $\hat{Y}$, representa os valores observados da variável dependente;

$\beta_0, \beta_1, \beta_2$, são os parâmetros a serem estimados;

x_i, x_i^2 representam os valores das variáveis independentes;

ϵ_i , são os erros experimentais relacionados com os valores observados y , que, em geral, são considerados independentes e normalmente distribuídos com média zero e variância constante.

3. RESULTADO

3.1 DESEMPENHO PRODUTIVO E QUALIDADE DO OVO

Os resultados correspondentes ao desempenho produtivo, qualidade de ovos e coloração da gema estão apresentados na Tabela 3. Foi observado um efeito linear crescente dos níveis de DHA para a taxa de postura, consumo de ração, massa de ovo e conversão alimentar (g/g e g/dúzia). A maior taxa de postura (94,75%) foi observada com o maior nível de inclusão de DHA 0,060% e a massa de ovo variou de 9,90g sem DHA para 11,60g com a maior inclusão.

Não foi observado diferença significativa para as variáveis de peso relativo das cascas, UH, IG, espessura de casca e gravidade específicas pela suplementação de DHA na dieta das aves. Para o peso dos ovos, foi observado efeito linear, onde houve aumento do peso com a inclusão de DHA na dieta. Para o peso relativo da gema foi observado efeito linear crescente com o aumento dos níveis, enquanto para o albúmen foi observado efeito linear decrescente. Houve efeito quadrático para a luminosidade da gema e a intensidade de b^* , influenciadas pela dieta com ponto ótimo de 0,03 de DHA.

3.2 BIOQUÍMICA SÉRICA

O fornecimento de DHA na dieta das fêmeas (Figura 1) e machos (Figura 2) resultou em efeito linear decrescente para os níveis de colesterol total (mg/dL) e LDL (mg/dL), os quais reduziram conforme aumentaram os níveis de DHA na dieta. Para o HDL e os triglicerídeos foi observado efeito linear crescente, tendo um aumento dos

níveis séricos com o aumento dos níveis de DHA na dieta dos reprodutores, tanto os machos quanto fêmeas (Figura 1 e 2).

3.3 COMPOSIÇÃO DA GEMA

Não foi observado efeito significativo dos níveis de DHA sobre os teores de MS, MM, PB. Já para o teor de EE foi observado efeito linear crescente, tendo um aumento no EE de gema com a inclusão de DHA na dieta (Tabela 4).

Para as análises dos teores de ácido graxos na gema (Tabela 5), foi observado um efeito linear decrescente dos níveis de DHA na dieta de matrizes de codornas para os ácidos graxos, linoleico, araquidônico, total de ácidos graxos polinsaturados, N6 e a relação LA:LNA. Para os teores de ácidos graxos alfa linolênico, eicosapentaenoico, docosaenoico e N3 foi observado efeito linear crescente, onde os teores desses ácidos graxos aumentaram com o aumento dos níveis de DHA na dieta.

3.4 VIDA DE PRATELEIRA DO OVO

Não houve diferenças estatísticas quanto ao índice de gema em relação à adição de DHA na dieta das aves. Para o índice de gema, foi observada interação entre os dias de armazenamento e o local de armazenamento (Figura 3). O menor índice de gema ocorre nos ovos armazenados à temperatura ambiente, e com o passar dos dias, os ovos armazenados na geladeira apresentaram melhores resultados de índice de gema, mesmo com o armazenamento. Para a medida de pH foi observada interação entre os níveis de DHA e os dias de armazenamento (Figura 3). Desdobrando essa interação, foi possível

observar aumento do teor de pH da gema ao longo dos dias armazenados, tendo o maior pH inicial e final as gemas provenientes das aves alimentadas com a inclusão de 0,060% de DHA na dieta.

Foi observada interação entre o ambiente, o dia e os níveis de DHA e os níveis de DHA com os dias. A inclusão de 0,060% de DHA apresentou a menor perda de peso aos 10 dias, porém aos 30 dias apresentou a maior perda de peso. Além disso, os ovos das geladeiras apresentaram uma menor perda de peso. Para o peso relativo da gema foi observada interação entre os dias de armazenamento e os níveis de DHA da dieta. Com o passar dos dias de armazenamento foi observado aumento do peso relativo da gema, tendo como média no dia zero : 33,27% e no dia trinta 34,47%. O tratamento sem a adição de DHA foi o que apresentou o menor índice no dia zero e o maior no dia trinta. O inverso foi observado para o peso relativo do albúmen, que teve uma interação entre os dias de armazenamentos e a inclusão de DHA na dieta, e com o passar dos dias o peso relativo foi diminuindo, já que ele é inversamente proporcional à gema (Figura 3).

3.5 PEROXIDAÇÃO LIPÍDICA DO OVO E ANÁLISE SENSORIAL DO OVO

Os valores de MDA (μg) da gema foram afetados pelos níveis de DHA, pelo ambiente de armazenamento e os dias de armazenamento (Figura 4). Foi observada interação entre o DHA, ambiente e os dias de armazenamento. Mesmo com o aumento do tempo de armazenamento, o nível de 0,060 DHA e os ovos armazenados na geladeira apresentou os menores valores de MDA (μg).

Os atributos sensoriais aparência, aroma, sabor, maciez, cor, suculência, avaliação geral, consumo de produto e intenção de compra dos ovos de codorna alimentadas com rações suplementadas com níveis crescentes de DHA foram afetados significativamente. Houve efeito linear decrescente para maciez, aroma, suculência e avaliação geral do ovo, com o aumento dos níveis de DHA, para a cor foi observado um efeito linear crescente. Houve efeito quadrático para os atributos aparência, consumo e intenção de compra. Para o consumo e intenção de compra o ponto ótimo foi de 0,03 e 0,05 respectivamente DHA (figura 3).

4. DISCUSSÃO

4.1 DESEMPENHO PRODUTIVO E QUALIDADE DE OVO

Os efeitos de diferentes níveis de DHA foram descritos em reprodutores de codornas japonesas. Os resultados em geral para desempenho produtivo e qualidade de ovo demonstraram efeitos para o consumo de ração, conversão alimentar, massa de ovo, peso do ovo, percentagem de gema e albúmen. Também houve modificação no perfil lipídico do sangue dos reprodutores de codornas e alteração na composição da gema.

Em nosso estudo, a taxa de postura apresentou efeito linear crescente com o aumento da inclusão de DHA. O mesmo foi observado por Mens et al. (2022), ao utilizar alga *Nannochloropsis limnetica*, que possui em sua composição 0,04 g/kg de DHA, com três níveis de inclusão (1,2 e 3 %) para poedeiras, onde os autores observaram um aumento na taxa de postura com o aumento da inclusão. Em estudo utilizado o pó da microalga *Schizochytrium sp* com 37 % de DHA, o mesmo utilizando nesse estudo, em poedeiras

com 44 a 46 semanas de idade, também foi observado um efeito linear crescente para a taxa de postura (Park et al., 2015). O aumento na taxa de postura pode estar relacionado ao conteúdo de aminoácidos essenciais ou outros compostos das microalgas benéficos para a saúde com influência positiva na produção (Mens et al., 2022). Outro fator é a influência das microalgas na microbiota. A composição da microbiota e os metabólitos fornecidos pelas microalgas podem influenciar o processo de produção de ovos (Janczyk et al., 2009). Com o aumento da taxa de postura e o peso dos ovos foi observado o mesmo comportamento para a massa de ovo, que está relacionado a esses parâmetros.

O efeito positivo sobre o consumo de ração neste trabalho foi observado em galinhas por Menes et al. (2022). O consumo de ração foi maior nos tratamentos com 2 e 3% de suplementação de *Nannochloropsis limnetica*. O aumento no consumo de ração ocorre em resposta à necessidade de maior aporte de nutrientes para aumentar a taxa de postura e o peso dos ovos. Em nosso estudo, foi observado um efeito linear na conversão alimentar (g/g e g/dúzia), isso pode ter ocorrido porque, a redução da relação LA:LNA aumenta a conversão alimentar, sendo que quanto menor a relação, maior a conversão alimentar (Qi et al., 2010).

A percentagem da gema pode ser influenciada pelo nível de lipídios na dieta, mesmo as dietas utilizadas neste estudo possuíam o mesmo nível de gordura bruta (isolipídica). O aumento do peso dos ovos em galinhas pode ser alterado pela dieta rica em gordura, devido à maior disponibilidade de ácidos graxos para deposição de gema. Resultados similares foram observados por Koppenol et al. (2015), onde a inclusão de DHA e EPA na dieta de matrizes de frango de corte aumentou o peso da gema. O DHA aumenta a síntese de lipoproteínas absorvidas pela gema em desenvolvimento e pode aumentar o peso da gema e, portanto, o peso do ovo, o que foi observado no presente trabalho em matrizes de codorna. A diferença no peso do ovo é consequência da diferença do peso

absoluto da gema, onde gemas mais pesadas levam ao aumento no peso do ovo (Pappas et al., 2005).

O aumento no peso dos ovos está relacionado ao aumento do consumo diário de ração, sendo esses fatores correlacionados. Reda et al. (2020), em seu estudo com codornas japonesas, também observaram um aumento no peso dos ovos e no consumo de ração quando as aves foram alimentadas com diferentes fontes de óleo (linhaça e soja) e níveis elevados de ácido alfa-linolênico. Este ácido é depositado em maior quantidade na gema do ovo, elevando seu peso.

A cor da gema é um dos parâmetros importantes da qualidade dos ovos. No presente estudo, a coloração da gema foi modificada no parâmetro a^* . Isso pode ser devido ao fato da alga *Schizochtrium sp* ser rica em carotenóides como β -caroteno, zeaxantina e violaxantina (Begum et al., 2016), que poderiam ser depositados na gema do ovo e com isso modificar a coloração da gema para um tom mais agradável para o consumidor (Begum et al., 2016).

4.2 PERFIL BIOQUÍMICO DO SANGUE

Para o perfil bioquímico sérico foi observado uma diminuição nos teores de colesterol e LDL e aumento dos triglicerídeos e HDL. Uma maior concentração do LNA e DHA nos eritrócitos e no plasma ocorre quando existe um aumento dos mesmos na dieta. Com isso, ocorreu um aumento dos metabólitos derivados desses ácidos graxos, como os triglicerídeos e o HDL tanto nas fêmeas como nos machos reprodutores (Kartikasari, 2009). A redução nos níveis de colesterol nos machos e fêmeas pode ter ocorrido devido ao DHA inibir a atividade da 3-hidroxi-3-metilglutaril-coenzima A (HMG-CoA)

redutase, reduzindo a síntese de colesterol e, portanto, reduz o nível de colesterol plasmático. A HMG-CoA redutase é uma enzima limitante na biossíntese do colesterol e do colesterol tipo LDL. Além disso, estudos indicam que o óleo de peixe, linhaça, sendo fontes de ácidos graxos insaturados n-3, EPA e DHA reduzem os níveis de colesterol total e LDL (Chen et al., 2011). A diminuição no teor de colesterol foi observada em poedeiras por Park et al. (2015), utilizando 0,5 e 1 % do pó da alga *Schizochytrium sp*, (alga possui com 37% de DHA) a mesma alga utilizada neste estudo.

4.3 COMPOSIÇÃO DA GEMA

O aumento no extrato etéreo na gema ocorre devido à modificação no perfil lipídico da gema e do aumento do seu peso, onde com a inclusão de DHA nas dietas das matrizes em níveis mais altos. Essa melhora na deposição de gema ocorre devido a gema ser composta por 60% de lipídios, sendo os ácidos graxos depositados de forma mais eficiente na gema (Fraeye et al., 2012).

O enriquecimento de ovos com DHA ocorre quando as aves são suplementadas com dietas ricas nesses ácidos graxos, os ácidos graxos da dieta são transferidos para a gema em quase sua totalidade (Neijat et al., 2016). O mesmo foi observado neste estudo, que com o aumento da concentração de DHA na dieta ocorreu aumento do conteúdo da gema e uma diminuição nos valores de LA e AA na gema do ovo. O mesmo foi observado por Manaia et al. (2023), onde o total de AG n-6 diminuiu em resposta aos óleos algas (*Schizochytrium sp*) na dieta de poedeiras. Os teores de n-6 a n-3 AG na gema refletiram a composição da dieta, sendo a proporção menor para os ovos das aves alimentadas com DHA em relação às aves alimentadas com as dietas padrão.

A modificação do teor de ácido graxo na gema ocorre devido os ácidos graxos presentes na dieta serem incorporados no fígado e serem transferidos para a gema. O fígado é o principal local de processamento e metabolismo de gordura na reprodução de aves (Robinson e Kiarie, 2019). Manaia et al. (2023) observou que com o aumento da concentração de DHA na dieta, ocorreu aumento também no tecido hepático das aves, que foi transferido para a gema do ovo em quase sua totalidade. Provavelmente o mesmo ocorreu nas matrizes de codornas deste estudo.

A modificação das concentrações de ácidos graxos na gema ocorre, devido à competição pela enzima por $\Delta 6$ desaturase (enzima limitante da taxa de conversão) entre os LA e LNA na via de dessaturação-alongamento. Dessa forma as moléculas de LNA conseguem penetrar preferencialmente nas membranas biológicas em comparação com os LA (Fraeye et al., 2012). Isso explicou nossos resultados, em que houve aumento nos LNA e diminuição nos LA e na relação LA/LNA nas gemas de matrizes de codornas em função dos níveis de DHA na dieta. Em estudos com galinhas ISA alimentadas com dietas contendo 0, 0,5, 1,5 e 2,0 de microalga rica em DHA, foi observado na gema valores de 60,30, 163,80, 258,90 e 410 mg DHA/100 g, mostrando o aumento do teor de DHA com a inclusão do mesmo na dieta, já que a ave consegue transferir os ácidos graxos da dieta para a gema de forma eficiente (Moran et al., 2020).

Para os teores de EPA na gema, foi observado aumento em relação ao tratamento controle, devido à alga também ter concentrações altas de EPA comparado ao óleo de soja utilizado na dieta controle. Isso foi observado em outros estudos que relataram enriquecimento de EPA em gema de ovo e tecidos quando aves foram alimentadas com algas, devido a essa transferência mais eficiente, quando comparados ao animal que ainda precisa sintetizar no organismo (Neijat et al., 2016; Moran et al., 2018). Esse enriquecimento pode ocorrer devido também o aumento do DHA no organismo onde as

aves conseguem realizar a retroconversão de DHA em EPA, aumentando assim também a sua concentração na gema e no fígado (Metherel et al., 2019).

A proporção ideal de AG n-6 para n-3 para a reprodução de codornas é em torno de 9:1 a 10:1, que apresentam benefícios na eclosão, fertilidade e mortalidade embrionária (Castro-Tamayo et al., 2019, Silva et al., 2024). No entanto, dietas de aves convencionais são ricas em AG n-6 por apresentarem óleo de soja em sua composição, resultando em ingestão dietética de AG n-6 para n-3 >10:1 em muitos casos. No presente estudo, a relação de ovos n-6 para n-3 AG foi de 13,44, 12,70, 11,49, 10,72 e 10,01, ocorrendo assim uma diminuição na relação, podendo melhorar tanto o desempenho produtivo como a reprodução dessas aves. No presente estudo a inclusão de menos de 1% de DHA na dieta de codornas foi adequada para reduzir a proporção de AG n-6 e n-3 para níveis desejáveis e enriquecer a gema de forma eficiente. A diminuição da relação também foi relatada por Park et al. (2015) que, ao suplementar com 0,5% e 1,0% *Schizochytrium sp* para galinhas poedeiras, observou relações em torno de 8,20 e 6,08, respectivamente, e o grupo controle teve uma relação de 11,36.

Os resultados do presente estudo contribuem para elucidar metabolicamente como a suplementação de DHA na dieta causa uma melhora na produção de ovos, pesos de ovos e porcentagem de gema. As codornas alimentadas com 0,06 % de DHA apresentaram níveis circulantes de triglicérides em torno de 55% a mais que o das aves do grupo controle (937,57 mg/dL vs. 409,40 mg/dL). Esses resultados demonstram um aumento da secreção hepática de VLDLy, uma vez que as partículas de VLDLy plasmáticas de aves contêm aproximadamente 65 a 69% de triglicerídeos (Sato et al., 2009).

Para matrizes de codornas, o principal objetivo é a produção de ovos férteis. O enriquecimento de DHA desses ovos de matrizes de codornas é importante para o desenvolvimento embrionário na incubação além de servir como a principal fonte de energia, auxilia na formação dos tecidos do cérebro, olho e tecido ósseo e no período pós-eclosão participa da rápida proliferação celular e intenso acúmulo, além de favorecer a maturação dos órgãos linfóides (Castro-Tamayo et al., 2020).

A utilização de DHA para codornas japonesas mostrou resultados benéficos para o enriquecimento dos ovos e melhoras no desempenho produtivo, como aumento na taxa de postura, peso do ovo e peso relativo da gema. Além de melhorar o perfil lipídico sanguíneo. Esses resultados são importantes para o desenvolvimento de pesquisas futuras em todas as espécies de aves, para o enriquecimento da gema de ovo e melhora o desempenho produtivo.

4.3 VIDA DE PRATELEIRA DO OVO

A deterioração da qualidade interna, ocorre conforme o tempo e o local de estocagem, essa perda na qualidade ocorre devido a movimentação dióxido de carbono na casca do ovo (Pires 2019), principalmente quando existe uma condição ambiental favorável para tal processo. Características de qualidade dos ovos como: peso do ovo, índice de gema, e peso relativo do albúmen decrescem conforme o tempo de armazenamento aumenta e, conseqüentemente, sua vida de prateleira diminui (Samli et al., 2005). Com o armazenamento o peso relativo do albúmen vai variar, durante a armazenagem do produto, devido à liquefação de sua parte densa (Lana et al., 2017). No presente estudo foi observado que com a inclusão de DHA o aumento do peso relativo da gema não foi tão alto como o do tratamento sem o DHA, isso pode ter ocorrido devido à mudança no perfil

lipídico da gema, com o aumento de ácidos graxos polinsaturados dificultar a passagem da água, já que os lipídios são hidrofóbicos (Santana,2018). O peso relativo do albúmen no presente estudo foi maior ao longo dos dias na dieta sem a inclusão de DHA, isso pode ter ocorrido pois a forma que o albúmen perde umidade é através da absorção de água pela gema (Freitas et al., 2011), o que não ocorreu no presente estudo. O índice de gema só foi afetado pelo tempo de armazenamento e o ambiente, o que já era esperado pois a gema vai absorvendo água do albúmen e com isso modifica o seu diâmetro e altura (Freitas et al.,2011), tendo uma maior modificação quando armazenados em temperatura ambiente devido à troca maior de água por conta das temperaturas elevadas.

O pH da gema é afetado durante o armazenamento devido ao enfraquecimento das ligações entre as moléculas da membrana que a envolve, o que permite a migração de água do albúmen para a gema ao longo do tempo. Além disso, os íons alcalinos provenientes do albúmen também podem ser trocados com íons H⁺ presentes na gema, isso faz com que o pH da gema se eleve (Shang et al.,2004), o que foi observado no presente estudo. Com o aumento dos dias, o pH da gema se elevou e ocorreu maior desnaturação das proteínas, afetando assim também o pH da gema.

Os ovos são valorizados por serem fontes de ácidos graxos essenciais, e por estes serem importantes para a melhoria da saúde, porém os ácidos graxos da gema do ovo estão sujeitos à oxidação lipídica. Tais processos oxidativos nos ovos podem se tornar um problema na produção de ovos enriquecidos com ácidos graxos poliinsaturados (Costa, 2019).

Com a elevada concentração de ácidos graxos de duplas ligações nos ovos, a gema se torna sensível ao processo de oxidação lipídica, e esse processo é responsável por formar os peróxidos que causam a degradação oxidativa da gema. Para retardar esse processo

natural de deterioração é necessário que os ovos sejam mantidos em ambiente com temperatura baixa e umidade controlada. Quanto mais baixa for a temperatura e maior a umidade, maior o tempo em que as características de frescor foram preservadas no ovo (Figueiredo et al., 2011). Em controvérsia, a refrigeração dos ovos no Brasil não é obrigatória, assim os ovos comerciais podem ser acondicionados, desde o momento da postura até a distribuição final, em temperatura ambiente, sendo, em alguns casos, refrigerados apenas nas casas dos consumidores (Costa, 2019).

4.4 ANÁLISE SENSORIAL DO OVO

A atributo cor foi observado diferença devido a mudança de coloração na gema com a adição de DHA na dieta. Estudo demonstra que ovos de codornas cozidos com gemas pouco pigmentadas são menos atrativas para o consumidor, porém como as microalgas são ricas em pigmentantes elas são capazes de melhorar a coloração da gema (Duarte et al.,2010), isso explica a melhor avaliação da cor da gema pelos consumidores nos níveis mais elevados de DHA. O mesmo resultado foi observado por Santana (2018), que ao suplementar dietas de codornas com *Schizochytrium sp* observou um aumento na coloração da gema e os consumidores também observaram essa diferença, tendo assim uma maior aceitação pela coloração.

O sabor é um fator crucial para a aceitação do produto e compra do mesmo, ligado ao sabor o aroma é outro fator decisivo. O sabor é atribuído aos compostos solúveis presentes, como açúcares, sais e ácidos. O aroma está relacionado a diversas substâncias solúveis, representantes de várias classes químicas, com diferentes propriedades físico-químicas (Tomazini et al.,200). Essas características afetaram a aceitação pelos consumidores dos ovos enriquecidos com DHA, devido à baixa aceitação no sabor e

1363 aroma dos ovos. Ao estudarem a influência da adição suplementar de algas marinhas na
1364 dieta sobre as propriedades sensoriais de ovos de galinha, Carvalho et al. (2014) não
1365 detectaram odor ou sabor diferentes nos ovos, em relação a ovos típicos de mesa, todavia
1366 alguns provadores destacaram a presença da interação sabor e aroma semelhante a frutos
1367 do mar conferidos aos ovos dos tratamentos contendo algas marinhas em níveis crescentes
1368 na dieta.

1370 5. CONCLUSÃO

1371 A inclusão de 0,060 % de DHA em dietas de codornas japonesas melhora o
1372 desempenho produtivo, diminui os níveis séricos de colesterol e LDL e aumenta os níveis
1373 de triglicerídeos e HDL, modifica o perfil de ácido graxo da gema, aumentando os teores
1374 de n-3 e de DHA e reduzindo a relação n-6/n-3. Desta forma, é indicado o uso de produtos
1375 a base de microalgas como fonte de DHA para compor a dieta de reprodutores de
1376 codornas e a produção de ovos férteis.

1378 6. REFERÊNCIAS

1379 Alessandri, J.M., Goustard, B., Guesnet, P.; Durant, G. 1998. "Docosahexaenoic acid
1380 concentrations in retinal phospholipids of piglets fed na infant formula enriched with
1381 long-chain polyunsaturated fatty acids: effects of egg phospholipids and fish oils with
1382 different ratios of eicosapentaenoic acid to docosahexaenoic acid." *The American*
1383 *Journal Clinical Nutrition*, 67: 377-385. <https://doi.org/10.1093/ajcn/67.3.377>.

- 1384 Basho, S.M., Bin, M.C. 2010. “Propriedades dos alimentos funcionais e seu papel na
1385 prevenção e controle da hipertensão e diabetes.” *Interbio*, 4(1):48-58.
- 1386 Begum, H., Yusoff, F. M., Banerjee, S., Khatoon, H. and Shariff, M. 2016. “Availability
1387 and utilization of pigments from microalgae.” *Critical Reviews In Food Science and*
1388 *Nutrition* , 56:2209–2222. [https://doi.org/ 10.1080/10408398.2013.764841](https://doi.org/10.1080/10408398.2013.764841).
- 1389 Bligh, E.G. and Dyer, W.J. 1959. “A rapid method of total lipid extraction and
1390 purification”. *Canadian Journal Biochemistry. Physiology*, 37: 911-917.
- 1391 Carvalho, P. R., Pita, M. C. G., Piber-Neto, E., Mendonça Junior, C. X. 2014. “Influência
1392 da Adição Suplementar de Fontes Ricas de PUFAS n-3 de Origem Marinha na Dieta
1393 sobre as Propriedades Organolépticas de Ovos de Galinha.” *Revista Científica de*
1394 *Produção Animal*, 12(2): 236 - 239. <https://doi.org/10.1590/1808-1657v76p0272009>.
- 1395 Chashnidel, Y., Moravej, H., Towhidi, A., Asadi, F., and Zeinodini, S. 2010.” Influence
1396 of different levels of n-3 supplemented (fish oil) diet on performance, carcass quality and
1397 fat status in broilers.” *African Journal of Biotechnology*, 9(5): 687-691. [https://doi.org/](https://doi.org/10.5897/AJB09.818)
1398 [10.5897/AJB09.818](https://doi.org/10.5897/AJB09.818).
- 1399 Chen, J., Jiang, Y., Ma, K.Y., Chen, F. and Chen, Z.Y. 2011. “Microalga decreases
1400 plasma cholesterol by down-regulation of intestinal NPC1L1, hepatic LDL receptor, and
1401 HMG-CoA reductase”. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 59:6790–6797.
1402 <https://doi.org/10.1021/jf200757h>.
- 1403 Choi, Y., Lee, E.C., Na, Y. and . Lee, S.R. 2018. “Effects of dietary supplementation with
1404 fermented and non-fermented brown algae by-products on laying performance, egg

1405 quality, and blood profile in laying hens”. *Asian-Australasian Journal of Animal Sciences*
 1406 ,31(10): 1654-1659. [https://doi.org/ 10.5713/ajas.17.0921](https://doi.org/10.5713/ajas.17.0921).

1407 Costa, M. K. D. O. 2019. “Aproveitamento de coprodutos do biodiesel: torta de girassol
 1408 e glicerina bruta em rações para poedeiras comerciais.” Tese (Tese de doutorado em
 1409 Zootecnia). Universidade Federal do Ceará, Fortaleza.

1410 Duarte, D.R.S. 2010. “Alimentos funcionais com microalgas: nova fonte de pigmentos,
 1411 antioxidantes e ácidos gordos ômega 3.” Dissertação (Mestrado em Biologia Humana e
 1412 Ambiente) – Faculdade de Ciências da Universidade de Lisboa, Lisboa..

1413 Figueiredo, T.C., Cançado, S.V., Viegas, R.P., Rêgo, I.O.P., Lara, L.J.C., Souza, M.R.,
 1414 Baião, N.C. 2011. “Qualidade de ovos comerciais submetidos a diferentes condições de
 1415 armazenamento.” *Arquivo Brasileiro de Medicina Veterinária e Zootecnia*, 63(3): 712-
 1416 720. <https://doi.org/10.1590/S0102-09352011000300024>.

1417 Fraeye, I., Bruneel,C., Lemahieu,C., Buyse,J., Muylaert,K. and Foubert, I. 2012.
 1418 “Dietary enrichment of eggs with omega-3 fatty acids: A review.” *Food Research*
 1419 *International*, 48:961–969. <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2012.03.014>.

1420 Freitas, L.W., Paz, I. C.L.A., Garcia, R.G. 2011. “Aspectos qualitativos de ovos
 1421 comerciais submetidos a diferentes condições de armazenamento. “ *Revista Agrarian*,
 1422 4(11): 66-72.

1423 Harwood, J.L. 2019. “Algae: critical sources of very long-chain polyunsaturated fatty
 1424 acids”. *Biomolecules*, 9 (11): 708. <https://doi.org/10.3390/biom9110708>.

1425 Janczyk, P., Halle, B. and Souffrant, W.B. 2009. "Microbial community composition of the
 1426 crop and ceca contents of laying hens fed diets supplemented with *Chlorella vulgaris*"
 1427 *.Poultry Science*, 88 : 2324-2332. <https://doi.org/10.3382/ps.2009-00250>.

1428 Kartikasari LR. 2009 "Assessment of omega-3 long chain polyunsaturated fatty acid
 1429 incorporation in broiler chicken meat following the consumption of omega-3 rich
 1430 vegetable oils" (Doctoral dissertation).

1431 Koppenol, A., Delezie, E., Wang, Y., Franssens, L., Willems, E., Ampe, B., Buyse, J. and
 1432 everaert, N. 2015. "Effects of maternal dietary EPA and DHA supplementation and
 1433 breeder age on embryonic and post-hatch performance of broiler offspring." *Journal of*
 1434 *Animal Physiology and Animal Nutrition*, 99:36-47 <https://doi.org/10.1111/jpn.12308>.

1435 Lana, S.R.V., Lana, G.R.Q., Salvador, E.L., Lana, A.M.Q., Cunha, F.S.A., Marinho, A.L.
 1436 2017. "Qualidade de ovos de poedeiras comerciais armazenados em diferentes
 1437 temperaturas e períodos de estocagem." *Revista Brasileira de Saúde e Produção Animal*,
 1438 18(1):140-151. <https://doi.org/10.1590/S1519-99402017000100013>.

1439 Madeira, M.S., Cardoso, C., Lopes, P.A., Coelho, D., Afonso, C., Bandarra, N.M. and
 1440 Prates, J.A.M. 2017. "Microalgae as feed ingredients for livestock production and meat
 1441 quality: A review". *Livestock Science*, 205: 111-121.
 1442 <https://doi.org/10.1016/j.livsci.2017.09.020>.

1443 Maina, A.N., Lewis, E. and Kiarie, E.G. 2023. "Egg production, egg quality, and fatty
 1444 acids profiles in eggs and tissues in Lohmann LSL lite hens fed algal oils rich in
 1445 docosahexaenoic acid (DHA)". *Poultry Science*, [102\(10\):102921](https://doi.org/10.1016/j.psj.2023.102921).
 1446 <https://doi.org/10.1016/j.psj.2023.102921>.

1447 Mens, J.W. ,Krimpen, M.M., Kar, S.K, Guiscafne, F.J. and Sijtsma, L. 2022. “Enriching
1448 table eggs with n-3 polyunsaturated fatty acids through dietary supplementation with the
1449 phototrophically grown green algae *Nannochloropsis limnetica*: effects of microalgae on
1450 nutrient retention, performance, egg characteristics and health parameters”. *Poultry*
1451 *Science*, 101(6): 101869. <https://doi.org/10.1016/j.psj.2022.101869>.

1452 Metherel, A.H., Irfan, M., Klingel, S.L., Mutch, D.M. and Bazinet, R.P 2019.
1453 “Compound-specific isotope analysis reveals no retroconversion of DHA to EPA but
1454 substantial conversion of EPA to DHA following supplementation: a randomized control
1455 trial” *The American Journal of Clinical Nutrition*, 110: 823-831. [https://doi.org/](https://doi.org/10.1093/ajcn/nqz097)
1456 [10.1093/ajcn/nqz097](https://doi.org/10.1093/ajcn/nqz097).

1457 Miranda, J. M., Anton, X., Redondo-Valbuena, C., Roca-Saavedra, P., Rodriguez, J. A.,
1458 Lamas, A., Franco, C. M. and Cepeda, A. 2015. “Egg and Egg-derived foods: effects on
1459 human health and use as functional foods.” *Nutrients*, 7:706-729. [https://doi.org/](https://doi.org/10.3390/nu7010706)
1460 [10.3390/nu7010706](https://doi.org/10.3390/nu7010706).

1461 Moran, C.A, Morlacchini,M., Keegan, J.D. ,Rutz, F. and Fusconi,G.2020.
1462 “Docosahexaenoic acid enrichment of layer hen tissues and eggs through dietary
1463 supplementation with heterotrophically grown *Aurantiochytrium limacinum*” *Journal of*
1464 *Applied Poultry Research*, 29 :152-161. <https://doi.org/10.1016/j.japr.2019.10.002>.

1465 Moran,C.A., Currie,D. , Keegan, J.D. and Knox, A. 2018. “ Tolerance of broilers to
1466 dietary supplementation with high levels of the DHA-rich microalga, *Aurantiochytrium*
1467 *limacinum*: effects on health and productivity”. *Animals (Basel)*, 8:180 [https://doi.org/](https://doi.org/10.3390/ani8100180)
1468 [10.3390/ani8100180](https://doi.org/10.3390/ani8100180).

1469 Nain, S., Renema, R.A., Korver, D.R. and . Zuidhof, M.J. 2012.” Characterization of the
 1470 n-3 polyunsaturated fatty acid enrichment in laying hens fed an extruded flax enrichment
 1471 source”. *Poultry Science*, 91(7): 1720-1732. <https://doi.org/10.3382/ps.2011-02048>.

1472 Neijat,M., Ojekudo,O. and House, J.D. 2016. “Effect of flaxseed oil and microalgae
 1473 DHA on the production performance, fatty acids and total lipids of egg yolk and plasma
 1474 in laying hens”. *Prostaglandins, Leukotrienes and Essential Fatty Acids*, 115 :77-88.
 1475 <https://doi.org/10.1016/j.plefa.2016.10.010>.

1476 Pappas, A. C., T. Acamovic, N. H. Sparks, P. F. Surai, and R. M. Mcdevitt. 2005.” Effects
 1477 of supplementing broiler breeder diets with organic selenium and polyunsaturated fatty
 1478 acids on egg quality during storage.” *Poultry Science*, 84:865–874.
 1479 <https://doi.org/10.1093/ps/84.6.865>.

1480 Park, H., Upadhaya, S.D. and Kim, I.H. 2015. “Effect of dietary marine microalgae
 1481 (*Schizochytrium*) powder on egg production, blood lipid profiles, egg quality, and fatty
 1482 acid composition of egg yolk in layers”. *Asian-Australasian Journal of Animal Sciences*,
 1483 28: 391-397. <https://doi.org/10.5713/ajas.14.0463>.

1484 Park, J.H., Upadhaya, S.D. and Kim,I.H. 2015. “Effect of dietary marine microalgae
 1485 (*schizochytrium*) powder on egg production, blood lipid profiles, egg quality, and fatty
 1486 acid composition of egg yolk in layers”. *Asian-Australasian Journal of Animal Sciences*,
 1487 28(3): 391–397. <https://doi.org/10.5713/ajas.14.0463>.

1488 Pinto, M. F., Lima, V.M.F., Ribeiro, S.C., Bossolani, I. S. P., Ponsano, E. H. G. and
 1489 Garcia-Net, G. 2014. “Fontes de óleo na dieta e sua influência no desempenho e na
 1490 imunidade de frangos de corte.” *Pesquisa Veterinária Brasileira*, 34(5):409-414.
 1491 <https://doi.org/10.1590/S0100-736X2014000500004>.

1492 Qi, K.K., Chen, J.L., Zhao, G.P., Zheng, M.Q. and Wen, J. 2010. “ Effect of dietary $\omega 6/\omega 3$
1493 on growth performance, carcass traits, meat quality and fatty acid profiles of Beijing-you
1494 chicken.” *Journal of Animal Physiology and Animal Nutrition*, 94:474–485.
1495 <https://doi.org/10.1111/j.1439-0396.2009.00932.x>.

1496 Reda, F.M., El-Kholy, M.S., Abd El-Hack, M.E., Taha, A.E., Othman, S.I., Allam, A.A
1497 and Alagawany M.2020 “ Does the use of different oil sources in quail diets impact their
1498 productive and reproductive performance, egg quality, and blood constituents?” *Poultry*
1499 *Science*, 99:3511–3518. <https://doi.org/10.1016/j.psj.2020.03.054>.

1500 Robinson,S. and Kiarie, E.G.2019.” Production and metabolic consequences of high-
1501 energy and low-crude-protein diet fed to 49-wk-old shaver white leghorn without or with
1502 top-dressed organic selenium”. *Canadian Journal of Animal Science* , 99:848-857.
1503 <https://doi.org/110.1139/CJAS-2019-0044>.

1504 Samli, h. E., agma, a. Senkoylu, n. 2005. “ Effects of storage time and temperature on
1505 egg quality in old laying hens.” *Journal of Applied Poultry Research, Champaign*, 14(3):
1506 548 - 553. <https://doi.org/10.1093/japr/14.3.548>.

1507 Santana, L. C. 2018. “Desempenho zootécnico e qualidade de ovos de codornas
1508 japonesas alimentadas com rações contendo microalga *Schizochytrium sp.*” Dissertação
1509 (Mestrado profissional em produção animal) - Instituto Federal de Educação, Ciência e
1510 Tecnologia do Sudoestes de Minas Gerais, Minas gerais.

1511 Sarker, P.K., Kapuscinski, A.R., Lanois, A.J., Livesey, E.D., Bernhard, K. P. and Coley,
1512 M.L.2016. “ Towards Sustainable Aquafeeds: Complete Substitution of Fish Oil with
1513 Marine Microalga *Schizochytrium sp.* Improves Growth and Fatty Acid Deposition in

1514 Juvenile Nile Tilapia (*Oreochromis niloticus*).” PloS One, 11(6): 0156684, 2016.
 1515 <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0156684>.

1516 Sato, K., Suzuki, K., and Akiba, Y.. 2009. “Characterization of chicken portomicron
 1517 remnant and very low density lipoprotein remnant”. *The Journal of Poultry Science*,
 1518 46:35–39. <https://doi.org/10.2141/jpsa.46.35>.

1519 Shang, X. G., Wanf, F.L., Li, D.F., Yin, J.D., Li, J.Y. 2004. “Effects of dietary conjugated
 1520 linoleic acid on the productivity of laying hens and egg quality during refrigerated
 1521 storage.” *Poultry science*, 83(10)1688-1695. <https://doi.org/110.1093/ps/83.10.1688>.

1522 Thanabalan, A. and E.G. Kiarie, E.G.2021 “Influence of feeding omega-3
 1523 polyunsaturated fatty acids to broiler breeders on indices of immunocompetence,
 1524 gastrointestinal, and skeletal development in broiler chickens” *Frontiers in Veterinary*
 1525 *Science*, 8:711. <https://doi.org/10.3389/fvets.2021.653152>.

1526 Thomazini, M., Franco, M. R. B. 2000. “ Metodologia para análise dos constituintes
 1527 voláteis do sabor.” *Boletim da Sociedade Brasileira de Ciência e Tecnologia de*
 1528 *Alimentos*, 34(1): 52 - 59.

1529 Zhao, Y.C., Shi, H.H., Wang, C.C., Yang, J.Y., Xue, C.H., Jiang, Z.M., Chen, G.D.,
 1530 Zhang, T.T., Wang, Y.M. 2021. “The enrichment of eggs with docosahexaenoic acid and
 1531 eicosapentaenoic acid through supplementation of the laying hen diet”. *Food Chemistry*,
 1532 346: 128958. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2020.128958>.

1533

1534

Tabela 1. Composição das dietas experimentais para reprodutores de codornas

Ingredientes	Níveis de DHA %				
	0	0,015	0,030	0,045	0,060
Milho Grão	57,45	57,45	57,45	57,45	57,45
Farelo de Soja (45%)	30,81	30,81	30,81	30,81	30,81
Calcário Calcítico	6,80	6,80	6,80	6,80	6,80
Fosfato Bicálcico	1,30	1,30	1,30	1,30	1,30
Óleo de Soja	1,60	1,60	1,60	1,60	1,60
Sal Comum	0,33	0,33	0,33	0,33	0,33
L-Lisina (78%)	0,31	0,31	0,31	0,31	0,31
DL- Metionina (98%)	0,41	0,41	0,41	0,41	0,41
Amido	0,56	0,06	0,13	0,13	0,00
Antioxidante ²	0,06	0,06	0,06	0,06	0,06
Bicarbonato de Sódio	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02
Suplemento Vitamínico e Mineral ¹	0,40	0,40	0,40	0,40	0,40
DHAgold ^{TM3}	0	0,088	0,176	0,265	0,353
Inerte ⁴	0,00	0,42	0,27	0,17	0,21
Composição Calculada					
Energia Metabolizável (Kcal/kg)	2.896	2.896	2.896	2.896	2.896
Proteína (%)	19,00	19,00	19,00	19,00	19,00
Cálcio (%)	3,00	3,00	3,00	3,00	3,00
Cloro (%)	0,26	0,26	0,26	0,26	0,26
Potássio (%)	0,75	0,75	0,75	0,75	0,75
Fósforo Disponível (%)	0,32	0,32	0,32	0,32	0,32
Extrato Etéreo (%)	4,21	4,21	4,21	4,21	4,21
Lisina Digestível	1,15	1,15	1,15	1,15	1,15
Metionina + Cistina digestível	0,94	0,94	0,94	0,94	0,94
Treonina Digestível	0,66	0,66	0,66	0,66	0,66
Triptofano Digestível	0,21	0,21	0,21	0,21	0,21
Sódio (%)	0,15	0,15	0,15	0,15	0,15
BED (mEq/kg)	180,72	180,72	180,72	180,72	180,72

1 Quantidade por kg do produto – Vitamina A 2.500.000 UI; Vitamina D3: 500.000 UI; Vitamina E: 6.250 mg; Vitamina K3: 750 mg; Vitamina B1: 625 mg; Vitamina B2: 1.500 mg; Vitamina B6: 1.250 mg; Vitamina B12: 5.000 mg; Pantotenato de cálcio: 3.000 mg; Niacina: 6.000 mg; Ácido Fólico: 250 mg; Biotina: 50 mg; Colina: 75 g; Zinco: 13 g; Ferro: 13 g; Manganês: 15 g; Cobre: 3.000 mg; Iodo: 250 mg; Cobalto: 50 mg; Se: 63 mg; Etoxim: 25 mg. 2 Banox - Altech (mistura de antioxidantes) 1mg por kg de ração. 3 Produto comercial DHAgoldTM S17-B DSM proveniente de microalgas da espécie *Schizochtrium* sp com 17 % de DHA. 4 Inerte- caulim

1544 **Tabela** 2. Perfil de ácidos graxos do produto da microalga como fonte de DHA (%) e
 1545 das dietas experimentais

1546

Ácido Graxo	DHAgold™	0	0,015 %	0,030 %	0,045 %	0,060 %
LA	2,08	13,58	13,72	13,89	14,05	14,10
LNA (C18:3n3)	3,55	0,90	1,10	1,32	1,45	1,65
AA (C20:4)	1,03	0,01	0,02	0,03	0,05	0,06
EPA (C20:5 n3)	2,58	0,01	0,02	0,04	0,06	0,08
DHA (C22:6n3)	22,02	0,001	0,020	0,040	0,060	0,070
Total N6 (LA + AA)	3,11	13,59	13,74	13,92	14,10	14,46
Total N3 (LNA + DHA+ EPA)	28,15	0,911	1,14	1,4	1,57	1,80
N6:N3	0,11	14,91	12,05	9,94	8,98	8,03

1547

1548

1549

1550

1551

1552

1553

1554

1555

1556

1557

1558

1559

1560

1561

1562

1563

1564

1565

1566

1567 **Tabela 3.** Desempenho produtivo de reprodutores (as) de codornas japonesas, e qualidade de ovos e coloração de gema de ovos de codornas
1568 japonesas alimentadas com diferentes níveis de DHA (n=12)

Variável	DHA %					Média	CV (%)	P-valor
	0	0,015	0,030	0,045	0,060			
<i>Desempenho Produtivo</i>								
Postura (%)	92,85	91,94	93,91	94,02	94,75	93,57	2,20	0,021 L ¹
CRD (g/ave/dia)	23,08	24,55	25,09	25,49	26,19	24,93	1,22	<0,001L ²
MO (g/ave/dia)	9,90	10,01	10,72	10,61	11,60	10,62	4,69	<0,001 L ³
CA (g/g)	2,21	2,46	2,38	2,40	2,46	2,39	4,43	0,002 L ⁴
CA (g/dúzia)	298,74	321,24	320,86	324,47	330,69	319,72	2,76	<0,001L ⁵
<i>Qualidade de ovos</i>								
Peso ovo (g)	10,32	10,84	11,15	11,28	11,47	11,02	2,26	<0,001L ⁶
Casca (%)	7,14	7,15	7,49	7,14	7,44	7,27	6,31	0,534
Gema (%)	30,66	32,94	32,98	34,73	36,96	33,65	2,75	<0,001L ⁷
Albúmen (%)	62,28	59,93	59,64	58,27	55,41	59,11	1,92	<0,001L ⁸
EC (µm)	0,211	0,210	0,221	0,220	0,221	0,22	5,03	0,696
GE (g/L)	1068,67	1070,00	1071,23	1068,90	1071,12	1069,99	0,22	0,089
UH	84,21	81,59	82,89	83,12	85,56	83,89	0,12	0,254
IG	0,49	0,48	0,48	0,48	0,48	0,48	5,70	0,358
<i>Coloração da Gema</i>								
Luminosidade	67,24	67,12	66,48	67,15	67,39	66,48	1,15	0,170
Vermelho/verde	-0,95	-1,09	-0,97	-0,96	-0,90	-0,97		0,255
Amarelo/azul	15,53	16,21	17,12	16,69	15,52	17,12	8,77	0,034 Q ⁹

1569 CRD- consumo de ração diário; MO – massa de ovo; CA – conversão alimentar; EC- espessura de casca; GE- gravidade específica; UH- unidade Haug; IG- índice de gema; Linear; Q- quadrático;

1570 ¹ŷ = 92,3294+39,3025 DHA; R² :0,87; ²ŷ = 23,2168+78,6554 DHA; R² :0,92;

1571 ³ŷ = 9,7628+27,3561 DHA; R² :0,58; ⁴ŷ = 2,2557+8,2112 DHA- 85,9614DHA²; R² :0,85, Ponto max/min 0,05 DHA;

1572 ⁵ŷ = 301,7521+972,4846 DHA; R² :0,57;

1573 ⁶ŷ = 10,3486 +34,2227 DHA; R² : 0,73; ⁷ŷ = 30,7792 +96,0042 DHA; R² :0,81;

1574 ⁸ŷ = 62,1945 – 102,7912 DHA; R² :0,76; ⁹ŷ = 15,4117 +98,5771 DHA – 1593,5449 DHA²; R² :0,72, Ponto max/min 0,03DHA.

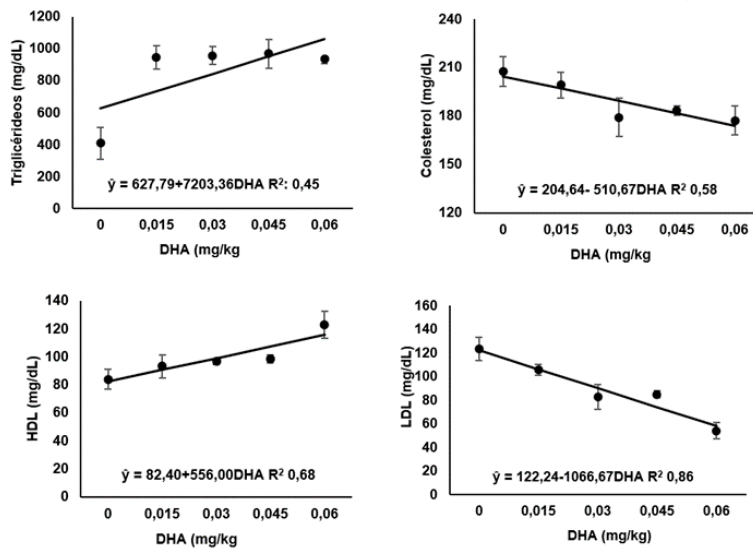


Figura 1. Variáveis bioquímicas de reprodutoras de codornas alimentadas com diferentes níveis de DHA (n=5)

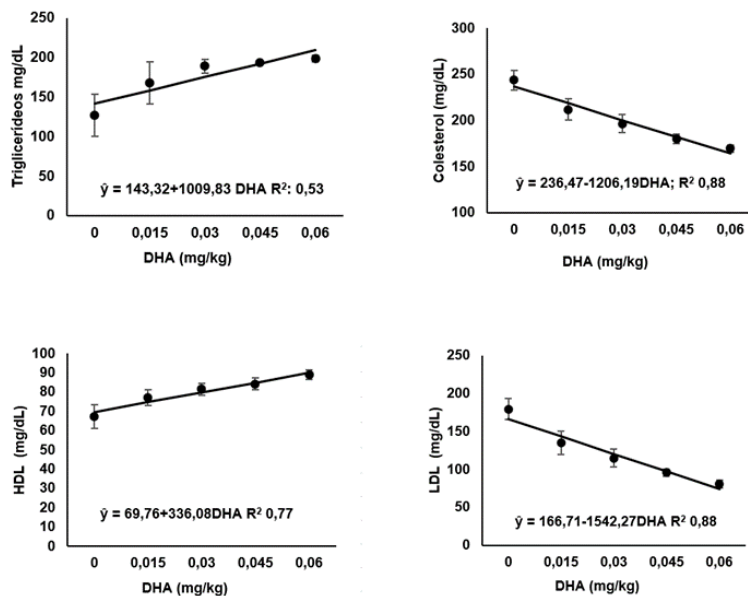


Figura 2. Variáveis bioquímicas de reprodutores de codornas alimentadas com diferentes níveis de DHA (n=5)

1 **Tabela 4.** Composição química da gema de ovos de matrizes alimentadas com diferentes níveis de DHA (n=10)

	DHA %							
Variável	0	0,015	0,030	0,045	0,060	Média	CV (%)	P-valor
Gema de ovos frescos								
MS (%)	52,59	51,10	52,13	50,93	52,02	50,93	2,23	0,385
MM (%)	1,84	1,80	1,85	1,78	1,80	1,79	2,75	0,337
PB (%)	20,53	21,86	19,70	19,99	21,51	19,99	6,87	0,441
EE (%)	30,11	31,47	32,74	31,62	32,18	31,61	2,51	<0,001L ¹

12 MS- Matéria seca; MM- matéria mineral; PB- proteína bruta; EE´ - extrato etéreo; L – linear;

13 ¹ $\hat{y} = 30,19 + 104,54DHA$; R² :0,51.

14

15

16

17

18

19 **Tabela 5.** Perfil de ácidos graxos da gema de ovos de matrizes alimentadas com diferentes níveis de DHA (n=4)

Variável (%)	DHA %					Média	CV (%)	P-valor
	0	0,015	0,030	0,045	0,060			
Ácido Linoleico	16,54	15,91	14,67	15,21	14,69	14,69	2,49	<0,001L ¹
Ácido Alfa Linolênico	0,70	0,80	0,85	0,96	0,98	0,98	2,16	<0,001L ²
Ácido Araquidônico	2,34	3,12	2,63	2,50	1,33	1,33	7,91	<0,001L ³
Ácido Eicosapentaenoico	0,03	0,05	0,05	0,05	0,08	0,08	16,96	<0,001L ⁴
Ácido Docosaexaenoico	0,007	0,015	0,030	0,047	0,055	0,06	12,64	<0,001L ⁵
Ácido Poliinsaturados	25,64	25,41	23,55	24,12	23,31	23,32	2,13	<0,001L ⁶
Total N6	23,73	23,43	21,57	21,94	21,06	21,06	2,18	<0,001L ⁷
Total N3	1,77	1,84	1,88	2,05	2,10	2,10	1,70	<0,001L ⁸
Relação N6/N3	13,44	12,70	11,49	10,72	10,01	10,01	1,23	<0,001L ⁹

32 ¹ $\hat{y} = 16,5685 - 67,154 \text{ DHA}; R^2 : 0,78;$

33 ² $\hat{y} = 0,7000 + 6,7333 \text{ DHA}; R^2 : 0,97;$

34 ³ $\hat{y} = 2,4042 + 50,0214 \text{ DHA}; R^2 : 0,91;$

35 ⁴ $\hat{y} = 0,037 + 0,633 \text{ DHA}; R^2 : 0,68;$

36 ⁵ $\hat{y} = 0,006 + 0,8367 \text{ DHA}; R^2 : 0,96;$

37 ⁶ $\hat{y} = 25,5964 - 39,5758 \text{ DHA}; R^2 : 0,73;$

38 ⁷ $\hat{y} = 23,7150 - 45,6739 \text{ DHA}; R^2 : 0,81;$

39 ⁸ $\hat{y} = 1,7517 + 5,8607 \text{ DHA}; R^2 : 0,94;$

40 ⁹ $\hat{y} = 13,4439 - 59,0462 \text{ DHA};$

1 **Figura 3.** Gráfico de análise dos dados de vida de prateleira evidenciando a interação
2 significativa ($p<0,05$) entre o ambiente e os dias de armazenamento para o índice de gema
3 e entre os níveis de DHA e dias de armazenamento para % Gema, % Albúmen, pH e
4 perda de peso do ovo ($p<0,05$) ($n=10$).

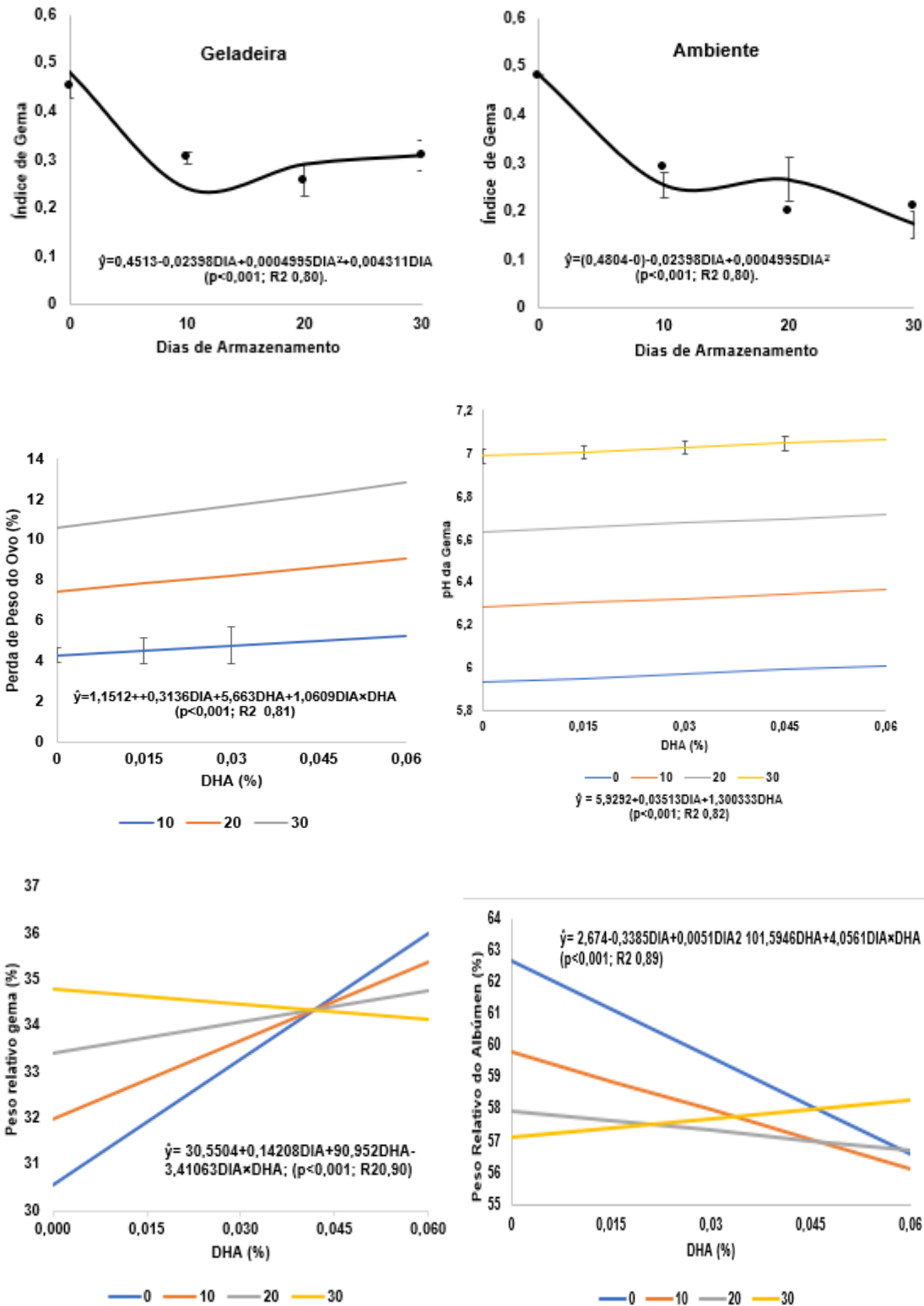


Figura 4. Gráfico de análise de interação dos teores de MDA ($\mu\text{g/g}$) na gema do ovo de matrizes de codornas japonesas armazenando na geladeira e temperatura ambiente ao longo dos dias (n=40)

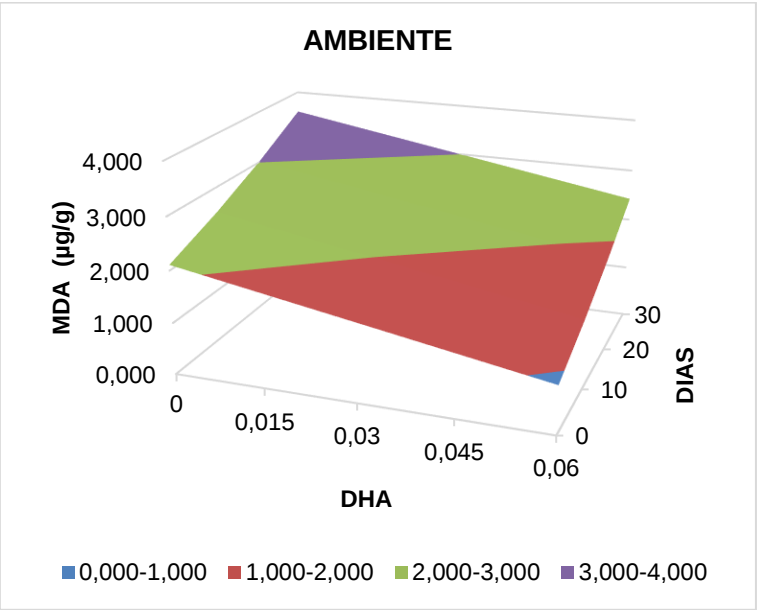
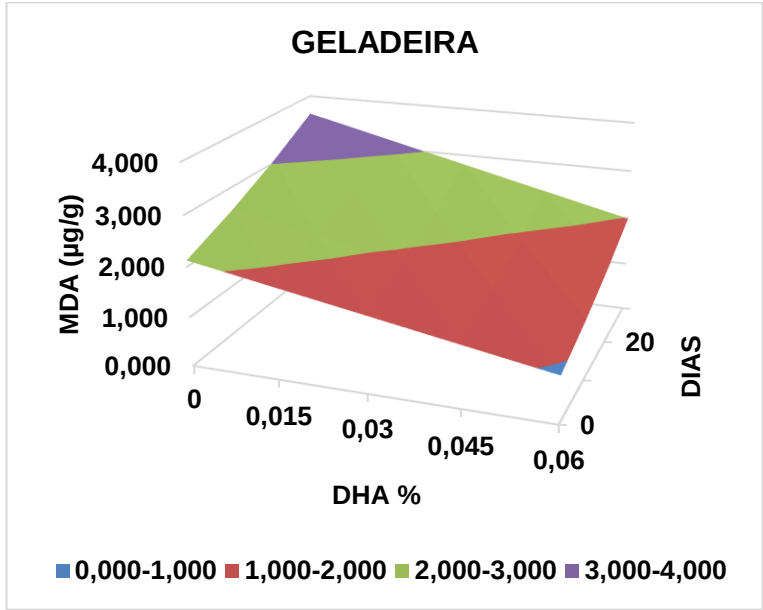
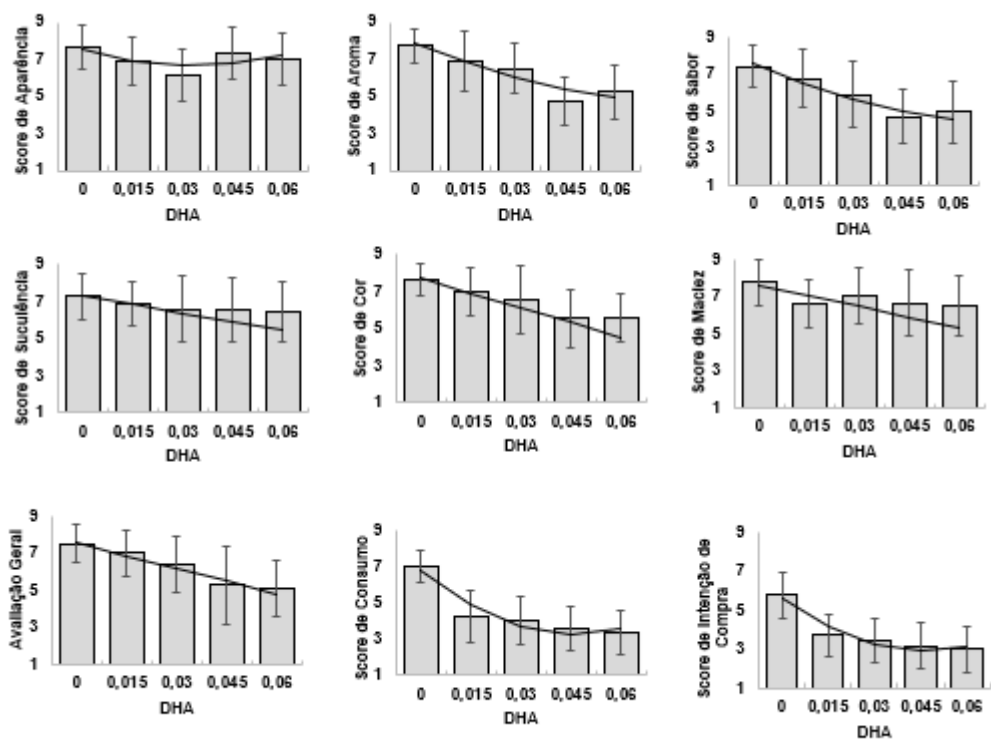


Figura 5. Análise sensorial do ovo de reprodutores de codornas alimentadas com diferentes níveis de DHA



Equações dos parâmetros: Score de Aparência: $\hat{y} = 7,5516 - 56,1225DHA + 845,2091DHA^2$; $R^2 : 0,28$; Ponto máx/min 0,03 % DHA; Score de Aroma $\hat{y} = 7,8534 - 73,503DHA$; $R^2 : 0,35$; Score de Sabor $\hat{y} = 7,554 - 75,5607DHA$; $R^2 : 0,30$; Score de Suculência $\hat{y} = 7,5750 - 46,5390DHA$; $R^2 : 0,40$; Score de Cor $\hat{y} = 7,6957 - 52,7143DHA$; $R^2 : 0,25$; Score de Maciez $\hat{y} = 7,5478 - 36,9649DHA$; $R^2 : 0,25$; Avaliação Geral $\hat{y} = 7,5750 - 46,5390DHA$; $R^2 : 0,29$; Score de Consumo $\hat{y} = 6,8006 - 150,1506DHA + 1606,6780DHA^2$; $R^2 : 0,48$; Ponto máx/min 0,05 % DHA; Score de Intenção de Compra $\hat{y} = 5,5676 - 111,2055DHA + 1177,0375DHA^2$; $R^2 : 0,39$; Ponto máx/min 0,05 % DHA.

IV - EFEITO DA INCLUSÃO DO ÁCIDO DOCOSAHEXAENOICO NO DESEMPENHO DE INCUBAÇÃO, QUALIDADE DA PROGÊNIE E CAPACIDADE ANTIOXIDANTE DE REPRODUTORES DE CODORNAS JAPONESAS

Artigo Redigido nas Normas British Poultry Science

Resumo:

1. A qualidade da incubação e da progênie está relacionada com a nutrição das matrizes e uma suplementação com DHA na dieta melhora a fertilidade e a qualidade da progênie.
2. Em reprodutores de codornas essa suplementação não está bem estabelecida, desta forma, objetivou-se avaliar os efeitos de diferentes níveis de DHA sobre o desempenho de incubação, qualidade da progênie e atividade antioxidante em dietas fornecidas para os reprodutores machos e fêmeas de codornas japonesas.
3. Utilizou-se um delineamento inteiramente ao acaso, com 5 dietas, sendo 5 níveis de DHA (0; 0,015; 0,030; 0,045 e 0,060 %) e 12 repetições de 8 aves cada (6F e 2 M).
4. Para o desempenho de incubação as variáveis de fertilidade, eclosão e eclosão de férteis foi observado aumento linear, tendo os maiores valores no maior nível de inclusão 0,060 % e o inverso para a taxa de infertilidade e mortalidade total
5. A pontuação do escore de Pasgar® e o peso dos pintinhos não diferiu estatisticamente. No comprimento dos pintos houve um efeito quadrático com ponto ótimo em 0,04 % de DHA.
6. Na gema, saco vitelínico (embrião 15 dias e vitelo residual pintinho de 1 dia) e no fígado (embrião 15 dias e pintinho de 1 dia), a oxidação lipídica (TBARs) reduziu e a capacidade antioxidante (DPPH) aumentou em função dos níveis de DHA na dieta materna.

7. Conclui-se que a inclusão de até 0,060 % na dieta de reprodutores de codornas japonesas melhora o desempenho reprodutivo e a atividade antioxidante.

Palavras chaves: ácidos graxos polinsaturados, DHA, incubação, ômega-3, qualidade de ovos.

Abstract:

1. The quality of incubation and offspring is related to the nutrition of the breeders, and supplementation with DHA in the diet improves fertility and offspring quality.

2. The effects of different levels of DHA on incubation performance, progeny quality, and antioxidant activity in diets fed to male and female Japanese quail breeders are not well established.

3. A completely randomized design was used, with 5 diets with 5 levels of DHA (0, 0.015, 0.030, 0.045 and 0.060 %) and 12 replicates of 8 birds each (6F and 2 M).

4. For incubation performance, the variables of fertility, hatching, and hatching of fertiles were observed to increase, with the highest values at the highest inclusion level of 0.060 % and the opposite for the infertility rate and total mortality.

5. The Pasgar® score and chick weight did not differ statistically. There was a quadratic effect on chick length, with an optimum point at 0.04 % DHA.

6. In the yolk sac (15-day embryo and residual 1-day chick yolk) and liver (15-day embryo and 1-day chick), lipid oxidation (TBARs) decreased and antioxidant capacity (DPPH) increased as a function of DHA levels in the maternal diet.

7. It can be concluded that including 0.060 % in the diet of Japanese quail breeders improves reproductive performance, chick quality, and antioxidant activity.

Key words: polyunsaturated fatty acids, DHA incubation, Omega-3.

1. INTRODUÇÃO

O desempenho reprodutivo e a qualidade dos pintinhos são usados como fatores mais importantes na produção avícola. O teor de DHA na dieta afeta alguns parâmetros como eclodibilidade e deposição de gordura abdominal, perfil de ácidos graxos da gema de ovo e metabolismo lipídico em pintos (Saber et al.,2018). Porém, as dietas comerciais são ricas em ômega-6 e quando suplementadas as principais fontes de ômega 3, são ricas em ácido alfa linolênico (α -ALA) e baixo teor de DHA. No entanto, nota-se que a síntese endógena de DHA (ácido docosahexaenoico) e EPA (ácido eicosapentaenoico) a partir de α -ALA é relativamente lenta e ineficiente, e o α -ALA possui a menor eficiência de conversão em comparação com a adição direta de DHA exógeno e EPA (Khatibjoo et al., 2018).

A suplementação de dietas das aves como fontes de EPA e DHA em vez de α -ALA é mais eficiente na deposição dos mesmos, tendo uma maior concentração de EPA e DHA na gema do ovo, ficando assim mais disponíveis para o desenvolvimento embrionário e com consequente melhora dos parâmetros de incubação, como o aumento da fertilidade, eclosão, qualidade dos pintos e prevenção da mortalidade embrionária em diferentes estágios do desenvolvimento embrionário (Akbari et al.,2020). Pesquisas anteriores de Lemahieu et al., (2016) mostraram que a eficiência de enriquecimento de DHA e EPA em ovos após suplementação com 120 mg de EPA/DHA de óleo de peixe por 21 dias foi de 9 vezes em comparação com 120 mg de α -LNA de linhaça por 100 g de dieta. Sendo as fontes ricas de DHA melhores para o enriquecimento de ovos, quando comparado com LNA, já que o mesmo ainda precisa ser metabolizado até chegar no DHA.

Além de melhorar o perfil lipídico da gema, a adição de DHA é responsável por manter a fluidez e a flexibilidade das membranas dos espermatozoides, apresentando assim uma correlação positiva entre fertilidade e concentração de ácido araquidônico

(ARA) e DHA e também melhoram o volume de sêmen e motilidade e o efeito negativo em altas doses pode ser a diminuição da concentração espermática (Cerolini et al., 1997).

Uma das fontes utilizadas para suplementar a dieta de animais com DHA são as microalgas, como aditivo alimentar que pode representar uma alternativa ao óleo de peixe e ao óleo de linhaça (Park et al., 2015). Várias microalgas estão comercialmente disponíveis na forma de biomassa e extratos. Estes incluem *Schizochytrium*, que produz altos níveis de DHA e tem o potencial de ser usado para enriquecer ovos com DHA (Hu et al., 2015).

O estudo da suplementação dessas microalgas no enriquecimento dos ovos já está bem estabelecido na literatura, porém esses efeitos sobre o desempenho reprodutivo e a qualidade do pintinho em matrizes de codornas japonesas não foram bem determinados. A suplementação de DHA na dieta de reprodutores de codornas, além de aumentar o conteúdo na gema pode melhorar a fertilidade, eclosão e qualidade do pintinho, porém os valores de inclusão na dieta não estão bem estabelecidos. Com isso, objetivou-se avaliar o efeito de diferentes níveis de DHA na dieta de reprodutores de codornas japonesas e seu efeito sobre o desempenho reprodutivo, qualidade do pintinho bem como na atividade antioxidante, peroxidação lipídica perfil de ácido graxo do fígado e vitelo.

2. MATERIAL E MÉTODOS

Todos os procedimentos experimentais foram aprovados pelo Comitê de Ética no Uso de Animais em Experimentação da Universidade Estadual de Maringá, PR, (nº3124060821).

2.1 ANIMAIS E MANEJO

Foram utilizadas 480 codornas japonesas (360 fêmeas + 120 machos) com 14 semanas de idade, homogeneizadas pelo peso e taxa de postura. O peso médio foi de 154

g para fêmeas e 125 g para machos e a taxa de postura foi de 93, 21 %. As aves foram alojadas em galpão de postura com gaiolas metálicas de ferro galvanizado (25 × 39 cm, 212 cm² / ave), com bebedouros tipo niplee e comedouros tipo calha. O programa de luz adotado foi de 17 horas de luz (natural + artificial). A água e a ração foram fornecidas *ad libitum* durante todo o período experimental. A temperatura e umidade foram medidas diariamente durante todo o período experimental, com o auxílio de termo-higrômetro digital, registrando média de temperatura máxima 28° C e mínima de 20° C e a umidade máxima 80% e mínima de 60%.

2.2 DELINEAMENTO EXPERIMENTAIS E DIETAS

O delineamento utilizado foi inteiramente ao acaso, com 5 tratamento (: 0, 0,015, 0,030, 0,045 e 0,060 % de DHA) e 12 repetições (gaiolas) de 8 aves cada (6 fêmeas + 2 machos), e cada gaiola foi considerada uma unidade experimental. Os tratamentos consistiram em rações experimentais com diferentes níveis de inclusão do produto comercial DHAgold S17-B proveniente de microalgas da espécie *Schizochtrium sp* na dieta, e as rações foram formuladas à base de milho e farelo de soja (Tabela 1) para atender as exigências nutricionais de codornas em período de postura (Rostagno et al., 2017).

2.3 DESEMPENHO DE INCUBAÇÃO E QUALIDADE DO PINTINHO

Após 8 semanas de consumo da dieta, os ovos foram coletados durante 4 dias, selecionados, excluindo os ovos sujos, casca fina, trincados e sem pigmentação. Foram identificados e armazenados em sala refrigerada (20° C). Em seguida os ovos foram incubados em incubadora vertical (Petersime, modelo Labo 13) a 37,4° C e 60% de umidade, com viragem automática. Decorridas 348h de incubação (14,5 dias), os ovos

foram transferidos para a câmara de eclosão (Petersime, modelo Labo 9), os ovos de cada gaiola foram colocados em sacos com tela e identificados, a 37, 0° C e 70% de umidade, por três dias até a eclosão.

Os ovos não eclodidos foram abertos para determinação das taxas de fertilidade e mortalidade, classificadas em mortalidade 1 foi considerado inicial + média (0-11 dias) e mortalidade 2 final (12-18d + ovos bicados). Para todos os cálculos considerou-se a gaiola como unidade experimental. A fertilidade, infertilidade e eclosão total foi baseada no total de ovos incubados em cada repetição e tratamento. Já a eclosão dos férteis e mortalidade total foram estimadas pelo número de ovos férteis. Para as categorias de mortalidade 1 e 2 foram baseadas no número de ovos não eclodidos e classificados em cada fase.

Ao final do 18º dia de incubação, todos os pintos eclodidos foram cuidadosamente retirados dos sacos e os pintos (n = 50 por tratamento) foram avaliados quanto ao peso corporal (g) numa balança de precisão. O comprimento dos pintos (cm) foi determinado medindo a distância entre a extremidade do bico e o terceiro dedo do pé (meio) com uma fita métrica. A qualidade dos pintos foi avaliada utilizando a pontuação de Pasgar® (Boerjan, 2002), em que os pintos perdem uma pontuação de um máximo de 10 quando são observadas anomalias em cinco características: alerta como medida de atividade e aparência das pernas, bico, abdômen e fecho do umbigo. Para cada característica, uma pontuação de 10 é representada por (1) Prontidão (o reflexo ou vitalidade observa a rapidez com que o pinto se vira); (2) Pernas (fortes e uniformemente coloridas); (3) Bico (limpo, narinas normalmente coloridas); (4) Abdômen (a barriga deve ser macia, lisa e flexível); e (5) Umbigo (limpo, fechado e seco, a penugem pode cobrir o umbigo). Por cada falha, subtraímos 1 ponto a 10. A pontuação da qualidade de um pinto foi definida como a média das pontuações citadas para todas as características, e os pintos com

pontuação 10 estavam livres de qualquer anormalidade.

2.4 COLETA, ARMAZENAMENTO DE AMOSTRAS E LIOFILIZAÇÃO

Para realização de atividade antioxidante e peroxidação lipídica, foram utilizados outros 750 ovos, que foram incubados nos mesmos critérios descritos anteriormente. Foram coletadas amostras dos ovos antes da incubação (dia 0), e durante a incubação no 15º dia e após a eclosão pintinho de um dia. Para a gema foram utilizados 50 ovos/tratamento para a obtenção de 10 pool/tratamento. Para o conteúdo vitelino e fígado (15 dias de incubação e nascimento), em cada dia, foram obtidos 10 pools/tratamento, composto por 5 ovos/tratamento, foram utilizados os mesmos ovos para a obtenção do conteúdo vitelínico e do fígado.

Para a análise de ácidos graxos, outros 300 ovos foram utilizados. Para a obtenção da gema foi feito 4 pool/tratamento composto de 5 ovos cada. O saco vitelínico de 15 dias de embrião foram utilizados 4 pools/tratamento para obtenção de cada pool e foram utilizados 5 ovos/tratamento. Para o conteúdo no dia da eclosão, o mesmo pintinho foi utilizado para coletar o fígado e o vitelo residual onde foram utilizados 5 pintinhos/tratamento para a obtenção de 4 pools/tratamento. Todas as amostras de gema, conteúdo vitelínico e fígado foram armazenadas em freezer -80 e liofilizadas para a análise de atividade antioxidante e peroxidação lipídica.

2.5 ATIVIDADE ANTIOXIDANTE (DPPH) E PEROXIDAÇÃO LIPÍDICA (TBARs)

A gema, fígado (15 dias embrião e nascimento) e saco vitelínico liofilizados, foram analisados pelo método de DPPH para a capacidade antioxidante e pelo método TBARs para a peroxidação lipídica. A capacidade antioxidante foi realizada em

5pools/tratamento através da análise de inibição dos DPPH (2,2–difetil–1–picril–hidrazil) (%). A partir de 100 mg de tecido (1:19; m/v em metanol) extratos foram preparados e em seguida homogeneizados (Phoenix luferco, AP22, Araraquara, BR) e centrifugados a 3000 rpm por 20 min (MPW Med. Instruments, MPW-351R, Varsóvia, PL) e realizada a coleta de sobrenadante para análise.

A análise de inibição do radical DPPH (%) seguiu metodologia adaptada de Li et al. (2009). A solução do radical DPPH (Sigma-Aldrich, D9132, Saint Louis, EUA) foi preparada em metanol (60 µM) a qual foi adicionada 2850 µl a 150 µl de extrato das amostras. As leituras deram-se após 30 min (ao abrigo da luz) a 515 nm de comprimento de onda, sendo a inibição calculada pela seguinte equação:

$$\text{Inibição do radical DPPH (\%)} = (1 - (abs amostra / abs DPPH)) \times 100, \text{ sendo}$$

Abs amostra = absorbância da amostra e Abs DPPH = absorbância do radical DPPH.

Para a análise de peroxidação lipídica foram utilizados 5 pools/tratamento e foi mensurada através da produção de malonaldeído (MDA) por meio de substâncias reativas ao ácido tiobarbitúrico (TBARS) de acordo com metodologia adaptada de Vital et al. (2016). O tecido hepático e o vitelo foram misturados em solução de TCA - Ácido Tricloroacético (15% TCA, 0,1% ácido etilenodiamino tetra-acético e 0,1% ácido gálico) (1:19, m/v) e centrifugado a 4°C por 15 min a 3.000 rpm (MPW Med. Instruments, MPW-351R, Varsóvia, PL) sendo então o sobrenadante coletado. Em tudo protegido da luz, adicionou-se a solução de ácido tiobarbitúrico (TBA) (1% TBA, 562,5 µM HCl e 15% TCA, em água destilada) e extrato (1:1, v/v), seguido de banho fervente durante 15 minutos a 100°C. Após o banho as amostras foram resfriadas e realizou-se leitura em espectrofotômetro (Thermo Scientific™, Evolution™ 212 300 UV-VIS, Waltham, USA) a 532 nm de comprimento de onda. TBARS foi expresso em µg e MDA/g de tecido calculado usando curva padrão de 1,1,3,3-tetrametoxipropano (TMP) 1mM como padrão.

2.6 DETERMINAÇÃO DE ÁCIDO GRAXOS

Para a extração de ácidos graxos foram utilizados 4 pools/tratamento, as amostras foram submetidas à extração lipídica baseada nos métodos de Bligh e Dyer (1959) na presença de quantidades conhecidas de Padrão Interno para análises de ácidos graxos, foi realizado a extração na gema, razão e no produto DHA. Foi utilizado 3g de cada amostra para a extração dos ácidos graxos, em seguida as amostras transesterificadas, os ésteres metílicos de ácidos graxos foram obtidos através da transesterificação dos triacilgliceróis, conforme método 5509 da ISSO (1978), em solução de n-heptano e KOH/metanol. A identificação dos ácidos graxos foi feita através da comparação dos tempos de retenção com padrões Sigma, e as concentrações determinadas através do cálculo de área de picos com integrados – processador.

2.7 ANÁLISE ESTATÍSTICA

Os dados foram submetidos à análise de variância utilizando o programa Statistical Analysis System (SAS®) e consideradas significativas quando $P < 0,05$. Os dados foram submetidos à análise de regressão, por intermédio do procedimento GLM, ao nível de significância de 5%, para as variáveis de qualidade de pintinho, atividade antioxidante, peroxidação lipídica e análise de ácido graxos, tendo como unidade experimental para a qualidade de pintinho no ovo e para as outras análises o pool/tratamento. A probabilidade de fertilidade e eclodibilidade foram analisadas em procedimentos GENMOD do SAS, com distribuição binomial e função de logaritmo, sendo $LOGIT = \frac{Exp(\beta)}{1 + Exp(\beta)}$.

3.RESULTADOS

3.1 DESEMPENHO DE INCUBAÇÃO E QUALIDADE DO PINTINHO

Os resultados das análises de desempenho da incubação estão descritos na Tabela

3. Os níveis de DHA da dieta das matrizes influenciaram a fertilidade, eclosão total e eclosão de férteis, sendo observado um efeito linear crescente, (98,99, 93,29, 94,23 %), respectivamente. Para a taxa de infertilidade e mortalidade total foi observado um efeito linear decrescente como aumento dos níveis de DHA na dieta. Os níveis de DHA, analisados por distribuição binomial, não influenciaram a mortalidade inicial e média.

A pontuação do escore de Pasgar® e o peso dos pintinhos não diferiu estatisticamente entre as dietas das matrizes tendo como média 9,95 e 7,26g respectivamente. Já para o comprimento dos pintos foi observado um efeito quadrático com ponto ótimo em 0,04% de DHA (Tabela 4).

3.2 CAPACIDADE ANTIOXIDANTE

A capacidade antioxidante na gema, vitelo e fígado de pintinho foi mensurada pela análise de captura dos radicais DPPH e peroxidação lipídica (Tabela 5 e 6). Nos dados do fígado do pintinho de um dia foi observado um efeito linear crescente na percentagem de inibição do DPPH com o aumento do nível da inclusão de DHA na dieta. Para o saco vitelínico com 15 dias de incubação foi observado um efeito quadrático com ponto ótimo de 0,05 % de DHA. No saco vitelínico residual e fígado do embrião 15 dias, foi observado um efeito linear crescente com o aumento dos níveis de DHA na dieta.

Para a peroxidação lipídica foi observado um efeito linear decrescente para os níveis de DHA na dieta, para as variáveis MDA na gema, saco vitelínico residual 1 dia e fígado (embrião 15 dias e pintinho 1 dia). Para o saco vitelínico com 15 dias não foi observado diferença significativa com média de 4,05 MDA µg/g de tecido liofilizado.

3.3 PERFIL DE ÁCIDO GRAXO VITelo E FÍGADO

No perfil de ácido graxo do vitelo do embrião de 15 dias foi observado efeito

quadrático para os ácidos graxos polinsaturados, exceto para o EPA que não foi observado diferença estatística e a relação que foi observado um efeito linear. Para o ácido linoleico, DHA e os ácidos polinsaturados o ponto ótimo foi de 0,03 % DHA. O LNA o ponto ótimo foi de 0,05 e o AA de 0,01 (Tabela 7).

O mesmo comportamento foi observado para o perfil de ácido graxo do vitelo residual, onde apenas o EPA não apresentou diferença estatística. Para o vitelo residual o LA e o AA foi observado um efeito linear decrescente. O DHA e os ácidos graxos polinsaturados apresentaram com ponto ótimo em 0,01 % DHA. O ponto ótimo de DHA para o LNA foi 0,04% DHA e da relação 0,05 DHA (Tabela 8). O perfil de ácido graxo do fígado não apresentou diferença em função dos níveis de DHA na dieta das matrizes para os teores LA e o EPA. O teor total de ácidos graxos polinsaturados apresentou um efeito linear decrescente. O teor dos outros ácidos graxos tiveram efeito quadrático. Para o LNA, o AA e a relação LA:LNA o ponto ótimo foi de 0,05 % DHA. Para o DHA no fígado o ponto ótimo foi de 0,01% DHA (Tabela 9).

4. DISCUSSÃO

Os efeitos de diferentes níveis de DHA foram descritos em reprodutores de codornas japonesas. Os resultados em geral para desempenho de incubação demonstraram efeitos para a fertilidade, eclodibilidade e mortalidade, com melhores taxas para a inclusão de 0,060 % de DHA, além de apresentar um aumento no comprimento do pintinho. Isso ocorreu devido à maior disponibilidade de DHA na gema e vitelo, que o embrião utilizou de forma eficiente.

4.1 DESEMPENHO DE INCUBAÇÃO E QUALIDADE DO PINTINHO

Os ácidos graxos polinsaturados principalmente o DHA e AA tem grande impacto

na reprodução, pois eles afetam a síntese de prostaglandinas, esteroidogêneses e fatores de transcrição e propriedades da membrana, que estão ligados a produção de espermatozoides e de formação dos folículos (Wathes et al., 2007). O DHA aumenta a fertilidade do esperma em aves, isso porque a espermatogênese e a esteroidogênese e o DHA e AA possui efeitos diretos na regulação da endocrinologia reprodutiva, onde o DHA melhora a qualidade do espermatozoide (Cherian, 2022). A diminuição das relações LA:LNA aumentam as concentrações de GnRH, FSH, LH e T, com isso melhora a reprodução aumentando assim a taxa de fertilidade, devido às melhores condições dos espermatozoides e da qualidade do folículo (Yan et al., 2013). Além disso trabalho mostram que a suplementação de LNA em dietas de reprodutores de frangos levou a maior fertilidade às 39 semanas de idade devido ao aumento da proporção de ácidos graxos ω -3 nos fosfolipídios dos espermatozoides e que a suplementação de AG na dieta pode influenciar as características dos espermatozoides (Yair et al., 2011).

A motilidade espermática pode ser usada como parâmetro para determinar as taxas de sucesso da ligação espermatozoide-óvulo – uma fase crítica no processo de fertilização. Galos alimentados com altas concentrações de ácidos graxos polinsaturados possuem uma boa mobilidade espermática, exibindo uma taxa de fertilidade significativamente maior (Olubowale et al., 2015).

Para a eclosão total e eclosão dos ovos férteis foi observado um aumento com o aumento do nível de DHA na dieta, resultados diferentes do encontrados por Castro-Tamayo et al (2019) que ao utilizar três relações (10:1, 4:1 e 1:1) para codornas japonesas não observaram diferenças, o mesmo foi observado em outros estudos quando se utilizam diferentes relações como Nadia et al. (2012) que após a inclusão de 1,73% de óleo de linhaça e proporções n-6: n-3 que variaram de 2: 1 a 10: 1 em galinhas reprodutoras leves; e Manohar (2017) em codornas com 2% linhaça, 4% peixe e 2% e 4% linhaça e

combinções de óleo de peixe, não observaram diferenças na eclodibilidade. A diferença na eclosão no presente estudo pode ter ocorrido devido à maior disponibilidade de DHA que quando se utiliza fontes de óleos, já que vai ser necessário a conversão de LNA em DHA que nem sempre é eficiente. A inclusão de DHA diretamente na ração melhora a taxa de eclosão.

O aumento da taxa de eclosão está ligado à taxa de mortalidade total, onde no presente estudo foi observado que com o aumento da taxa de eclosão ocorre uma diminuição na mortalidade. Essa modificação ocorre devido a melhora no perfil de ácidos graxos da gema, com isso também melhora o ambiente para o desenvolvimento do embrião aumentando assim a eclosão (Olubowale et al.,2015). A mortalidade total no presente estudo foi diminuindo com a inclusão de DHA na dieta e apresentou menores valores na mortalidade final, devido à utilização de DHA, isso tem sido observado nas fases tardias do desenvolvimento embrionário, para a síntese de fosfolípidios de membrana e eicosanoides (Akbari et al.,2020). Com o aumento do DHA no vitelo foi relatado uma diminuição na mortalidade embrionária em estágio avançado em ovos férteis, devido à maior disponibilidade de DHA para o embrião (Saber et al., 2020).

Os embriões consomem nutrientes depositados nos ovos, assim, a estratégia nutricional de enriquecimento da dieta de matrizes pode melhorar o conteúdo de nutrientes da gema, um dos nutrientes utilizados nessa suplementação é o DHA. Onde com essa suplementação na dieta é possível modificar o metabolismo do embrião, como a produção de hormônios, as características físicas e histológicas do osso (por exemplo, rigidez e densidade de osteócitos, respectivamente) (Yair et al., 2017) . Essa modificação no metabolismo do embrião pode ser observada no presente estudo com o aumento do comprimento do pintinho.

Deve-se notar também que o DHA da gema tem um papel único no metabolismo dos

eicosanoides e na modulação da progênie, pois o DHA é absorvido dos lipídios do saco vitelino e incorporado aos fosfolipídios da membrana celular do embrião em desenvolvimento durante a incubação e o crescimento pós-eclosão (Kopenol et al.,2015).

O escore de Pasgar© e o peso não foram afetados pela inclusão de DHA na dieta, resultados que divergem com Koppenol et al (2015), ao utilizarem diferentes EPA e DHA para matrizes de frangos de corte o maior peso do pintinho foi observado na dieta controle e o menor para as dietas que foram suplementadas com EPA e DHA. Em outro estudo com a modificação da relação variando de 10:1 a 2:1 não foi observada diferença no peso dos pintinhos (Radwan et al. 2012).

4.2 CAPACIDADE ANTIOXIDANTE

A suplementação na dieta materna elevou a concentração DHA na gema, vitelo e fígado e com isso pode ter aumentado os teores de carotenoides dos mesmos devido à sua alta concentração na alga, indicando que o DHA na dieta materna é uma boa alternativa para melhorar as defesas do embrião, reportado também em trabalhos anteriores (Roza et al.,2023)

Tem sido demonstrado que a oxidação lipídica aumenta linearmente com a concentração dos ácidos graxos Polinsaturados, isso ocorre com o aumento do grau de insaturação (Cortinas et al., 2005). Evidências sugerem maior suscetibilidade dos AGPI n-3 à oxidação do que dos AGPI n-6 (Li et al., 2013). A oxidação lipídica pode, em parte, iniciar-se no intestino antes da absorção e, portanto, quaisquer efeitos deletérios dos PUFA dietéticos provavelmente começarão no epitélio intestinal, o que irá dificultar a absorção dos lipídios (Konieczka et al., 2018).

As microalgas são fontes naturais de carotenoides e componentes bioativos de pigmentos , que possuem propriedades antioxidantes, anticarcinogênicas, e anti-

hipertensivas , que auxiliam em manter a estabilidade oxidativa dos PUFA's n-3 das microalgas (Gong et al., 2016). Isso justifica as melhorias na atividade antioxidante observadas no estudo. Esses componentes bioativos têm o potencial de desencadear respostas imunomoduladoras (Raja e Hemaiswarya, 2010), auxiliando durante a incubação para garantir que o pintinho possa utilizar os nutrientes disponíveis sem que ocorra deterioração. Foi observado nesse estudo que mesmo com o aumento de ácidos graxos no vitelo e fígado do pintinho, devido aos antioxidantes presentes na microalga, os animais conseguiram utilizar de forma mais efetivas esses nutrientes, tanto que apresentaram um comprimento corporal maior que tem influência do DHA.

4.3 PERFIL DE ÁCIDOS GRAXOS

Foi observado um aumento da concentração de DHA e EPA no vitelo de 15 dias de incubação, vitelo residual e no fígado de 1 dia, os valores observados foram próximos dos fornecidos na dieta, tendo uma diminuição do vitelo de 15 dias para o residual pois o embrião utilizou essas proporções no final da incubação para o seu desenvolvimento (Cherian, 2022). Isso pode ser observado pois, os teores de ácidos graxos fornecidos na dieta são incorporados na gema e com isso podem ser melhor aproveitados no desenvolvimento embrionário das aves. Essa incorporação acontece de forma eficiente devido ao mecanismo das aves de transferir através do VLDL toda a gordura consumida para ser depositada na gema (Cherian, 2015).

Essa modificação no perfil de ácido graxo do saco vitelínico é importante pois os lipídios da gema são a principal fonte de energia na última semana de incubação e em pintos recém-eclodidos via vitelo residual (Cherian, 2015). Além disso, AGPIs, como o DHA e EPA são fundamentais para o desenvolvimento ideal de células, tecidos e órgãos (Yadgary et al., 2014). Com a inclusão de DHA no presente trabalho foi observado um aumento desses ácidos graxos tanto no vitelo com 15 dias de incubação,

quanto no vitelo residual, tendo assim um ambiente para o pintinho se desenvolver de forma mais efetiva. Esses ácidos graxos são necessários para o desenvolvimento pré e pós-natal devido ao seu papel vital na síntese de lipídios estruturais (Mennitti et al., 2015).

O embrião de galinha usa preferencialmente PUFA, particularmente DHA, entre os dias 15 e 19 de incubação, em comparação com todos os outros ácidos graxos examinados (Yadgary et al., 2014). Investigações posteriores em galinhas revelaram um aumento substancial da regulação dos transportadores de ácidos graxos de membrana e das proteínas ligadoras de ácidos graxos citosólicos ligadas à captação de PUFA (Yadgary et al., 2014). Isso sugere que o embrião pode ter requisitos específicos para AGPI e com isso terem um desenvolvimento melhor e pintinhos de qualidade.

Durante o desenvolvimento embrionário o ácido graxo da dieta materna incorporado na gema é transferido para o fígado da prole através do resíduo da gema no momento da eclosão (Koppenol et al.,2015). No presente estudo ao suplementar as matrizes de codornas indica que a modificação da dieta modificou a incorporação de EPA e DHA na gema e a transferência para a progênie. A progênie na eclosão utiliza o DHA que foram incorporados (ou metabolizados) durante a incubação e o que permanece na gema residual, o que pode ser observado pela diminuição do teor de DHA e EPA no vitelo de 15 dias de incubação e no vitelo residual. O DHA foi transferido da gema para o fígado dos embriões, resultando em maiores concentrações hepáticas de DHA na eclosão. Não só o fígado da progênie, mas o vitelo residual continha mais DHA, estando disponível para o filhote em desenvolvimento, as concentrações de DHA na gema residual foram elevadas de forma semelhante ao observado na composição inicial da gema. A importância dessa transferência da gema para o vitelo, que foi visto no presente estudo é importante pois, o vitelo residual continua a ser consumida pós eclosão, portanto, serve

como uma fonte duradoura de DHA para a prole em desenvolvimento, para pelo menos mais 6 dias pós-eclosão (Cherian, 2022).

O aumento de DHA no vitelo e fígado, ajuda os pintinhos terem mais acesso ao DHA para usá-lo como fonte para a produção de eicosanoides, como tromboxanos, leucotrienos ou prostaglandinas, ou para incorporá-lo em membranas de tecidos como cérebro ou olhos (Zhou e Nilsson, 2001). Quando uma quantidade maior de DHA está presente na gema, mais dela pode ser transferida para a circulação sanguínea do pintinho. A suplementação materna de n-3 LNA, EPA e DHA foi incorporada na gema e transferida através da gema residual para se tornar disponível para o embrião em desenvolvimento e resultou em concentrações elevadas de EPA e DHA no fígado da prole na eclosão (Koppenol et al., 2015). O mesmo foi observado no presente estudo onde se observou uma maior concentração desses ácidos graxos no fígado do pintinho de 1 dia.

Além disso, foi relatado que a suplementação materna de n-3 FA, EPA e DHA foi incorporada na gema e transferida através da gema residual para se tornar disponível para o embrião em desenvolvimento e resultou em concentrações elevadas de EPA e DHA no fígado da prole na eclosão. (Koppenol et al., 2014). Com isso pode-se observar que a suplementação materna com DHA foi incorporada na gema e transferida via gema residual para tornar-se disponível para o embrião em desenvolvimento e resultou em concentrações elevadas de EPA e DHA no fígado da prole na eclosão.

5. CONCLUSÃO

Conclui-se que a utilização da inclusão de DHA no nível de 0,060% na dieta de matrizes de codornas japonesas melhora o desempenho de incubação e capacidade antioxidante (DPPH) e peroxidação lipídica (TBARS), com aumento da eclosão e fertilidade, e produção de pintinhos maiores.

6. REFERÊNCIAS

- Akbari Moghaddam Kakhki R., Ma, D.W.L., Price, K.R., Moats ,J.R., Karrow, N.A. and Kiarie, E.G. 2020 “Enriching ISA brown and Shaver white breeder diets with sources of n-3 polyunsaturated fatty acids increased embryonic utilization of docosahexaenoic acid.” *Poultry Science*, 99(2):1038-1051. <https://doi.org/10.1016/j.psj.2019.09.002>.
- Cerolini, S., Kelso, K. A., Noble, R. C., Speake, B. K., Pizzi, F., and Cavalchini, L. G. 1997. “Relationship between spermatozoan lipid composition and fertility during aging of chickens.” *Biology of Reproduction*, 57 : 976 - 980. <https://doi.org/10.1095/biolreprod57.5.976>
- Cherian G. 2015. “Nutrition and metabolism in poultry: role of lipids in early diet.” *Journal Animal Science Biotechnology*, 24;6(1):28. <https://doi.org/10.1186/s40104-015-0029-9>.
- Cherian G. 2022. “Hatching egg polyunsaturated fatty acids and the broiler chick. *Journal of Animal Science and Biotechnology*, 13:98-107. <https://doi.org/10.1186/s40104-022-00757-5>
- Cortinas, L. , Barroeta, A. C. , Villaverde, C. , Galobart, J. , Guardiola, F. , and Baucells, M. D. 2005. “Influence of the dietary polyunsaturation level on chicken meat quality: Lipid oxidation.” *Poultry Science*, 84:48–55. <https://doi.org/10.1093/ps/84.1.48>.
- Gong, M. and Bassi,A. 2016. “Carotenoids from microalgae: A review of recent developments”. *Biotechnology Advances*, 34 (8) : 1396-1412. <https://doi.org/10.1016/j.biotechadv.2016.10.005>
- Hu, X.C., Ren, L.J., Chen, S.L., Zhang, L., Ji, X.J. and Huang, H.2015. “ The roles of different salts and a novel osmotic pressure control strategy for improvement of DHA production by *Schizochytrium sp*” *Bioprocess Biosystems Engineering*, 42: 9429-9457. <https://doi.org/10.1007/s00449-015-1452-1>.
- Khatibjoo, A., Kermanshahi, H., Golian, A. and Zaghari, M. 2018. “ The effect of n-6/n-

3 fatty acid ratios on broiler breeder performance, hatchability, fatty acid profile and reproduction.” *Journal of Animal Physiology and Animal Nutrition*, 102(4):986-998. [https://doi.org/ 10.1111/jpn.12904](https://doi.org/10.1111/jpn.12904).

Konieczka, P., Barszcz, M., Choct, M., and Smulikowska, S. 2018. “The interactive effect of dietary n-6: n-3 fatty acid ratio and vitamin E level on tissue lipid peroxidation, DNA damage in intestinal epithelial cells, and gut morphology in chickens of different ages”. *Poultry Science*, 97(1): 149-158. <https://doi.org/10.3382/ps/pex274>.

Koppenol, A., Buyse, J., Everaert, N., Willems, E., Wang, Y., Franssens, L., and Delezie, E. 2015. “Transition of maternal dietary n-3 fatty acids from the yolk to the liver of broiler breeder progeny via the residual yolk sac”. *Poultry science*, 94: 43–52. <https://doi.org/10.3382/ps/peu006>.

Koppenol, A., Delezie, E., Aerts, J., Willems, E., Wang, Y., Franssens, L., and Buyse, J. 2014. “Effect of the ratio of dietary n-3 fatty acids eicosapentaenoic acid and docosahexaenoic acid on broiler breeder performance, egg quality, and yolk fatty acid composition at different breeder ages.” *Poultry Science*, 93, 564–573. <https://doi.org/10.3382/ps.2013-03320>.

Lemahieu, C., Bruneel, C., Dejonghe, C. and Buyse, J. 2016. “The cell wall of autotrophic microalgae influences the enrichment of long chain omega-3 fatty acids in the egg” *Algal Research*, 16:209-215. [https://doi.org/ 10.1016/j.algal.2016.03.015](https://doi.org/10.1016/j.algal.2016.03.015).

Li, Y., and Liu, S. 2013. “Reducing lipid peroxidation for improving colour stability of beef and lamb: on-farm considerations.” *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 92(4): 719-726. <http://dx.doi.org/10.1002/jsfa.4715>.

Manohar, G.R. 2017. “Effect of dietary omega-3 fatty acid rich oil sources on fertility and hatchability performance of Japanese quail eggs.” *International Journal of Science, Environment and Technology*, 6(1):923-926.

Mennitti, L.V., Oliveira, J.L., Morais, C.A., Estadella, D., Oyama, L.M., Nascimento, C.M.O. and Pisani, L.P. 2015. “Type of fatty acids in maternal diets during pregnancy and/or lactation and metabolic consequences of the offspring.” *The Journal of Nutritional*

- Biochemistry*,26:99–111. . <https://doi.org/10.1016/j.jnutbio.2014.10.001>.
- Nadia. L., Radwan, M.H., Sherin, A.N. 2012. “Effects of different dietary ratios of linoleic acid to α -linolenic acid on productive performance, immunity of laying hens and egg yolk fatty acid composition.” *Egyptian Poultry Science*, 32(1):163-188.
- Olubowale, O.S., Witt, F.H., Greyling, J.P.C., Hugo, A., Jooste, A.M. and Raito, M.B.. 2015. “ The effect of dietary lipid sources on layer fertility and hatchability.” *South African Journal of Animal Science*. 44 (5): S44-S50. <https://doi.org/10.4314/sajas.v44i5.10>.
- Park, J.H., Upadhaya, S.D. and Kim, I.H. 2015. “ Effect of dietary marine microalgae (schizochytrium) powder on egg production, blood lipid profiles, egg quality, and fatty acid composition of egg yolk in layers” *Asian-Australas. Journal Animal Science*. 28 : 391-397. <https://doi.org/10.5713/ajas.14.0463>.
- Radwan, N.L., Abd El-Samad, M.H. and Nada, S.A. 2012. “Effects of different dietary ratios of linoleic acid to α - linolenic acid on productive performance, immunity of laying hens and egg yolk fatty acid composition.” *Egyptian Poultry Science*, 32(1):163-188.
- Raja, R. and Hemaiswarya, S. 2010. “Microalgae and immune potential” *Dietary Components and Immune Function, Springer*. Part of the Nutrition and Health : 515-527.
- Rosa, L.F., Oliveira, E.M., Staub, L., Dornelas, T.C.E., Pinto, P.T, Hermoso, D.A.M., Iwamoto, E.L.I., Murakami, A.E. and Santos, T.C. 2023. “Supplementation of Japanese quail (*Coturnix coturnix japonica*) breeders with *Tagetes erecta* Flower Extract and Vitamin E improves the oxidative status of embryos and chicks.” *Poultry* 2:449-462. <https://doi.org/10.3390/poultry2040034>.
- Saber S.N. and Kutlu, H.R. 2020. “Effect of including n-3/n-6 fatty acid feed sources in diet on fertility and hatchability of broiler breeders and post-hatch performance and carcass parameters of progeny” *Asiático-Australas Journal Animal Science* 33:305–312. <https://doi.org/10.5713/ajas.19.0055>.

Surai, P., Noble, R., Sparks, N., and Speake, B. 2000. "Effect of long-term supplementation with arachidonic or docosahexaenoic acids on sperm production in the broiler chicken." *Reproduction*, 120: 257–264. <https://doi.org/10.1530/jrf.0.1200257>

Wathes, D.C., Abayasekara, D.R. and Aitken, R.J. 2007 "Polyunsaturated fatty acids in male and female reproduction" *Biology of Reproduction*, 77:190-201. <https://doi.org/10.1095/biolreprod.107.060558>.

Yadgary, L., Wong, E.A. and Uni, Z. 2014. "Temporal transcriptome analysis of the chicken embryo yolk sac." *BMC Genomics*. 15:690. <https://doi.org/10.1186/1471-2164-15-690>.

Yair R. and Uni Z. 2011. "Content and uptake of minerals in the yolk of broiler embryos during incubation and effect of nutrient enrichment." *Poultry Science* ;90:1523–1531. <https://doi.org/10.3382/ps.2010-01283>.

Yair, R., Cahaner, A., Uni, Z. and Shahar, R. 2017. "Maternal and genetic effects on broiler bone properties during incubation period". *Poultry Science*, 96 : 2301-2311. <https://doi.org/10.3382/ps/pex021>.

Yan, L., Bai, X.L., Fang, Z.F., Che, L.Q., Xu, S.Y. and Wu, D. 2013. "Effect of different dietary omega-3/omega-6 fatty acid ratios on reproduction in male rats." *Lipids Health Disease* ,12:33-42. <https://doi.org/10.1186/1476-511X-12-33>

Zhou, L. and Nilsson, A. 2001. "Sources of eicosanoid precursor fatty acid pools in tissues". *Journal of Lipid Research*. 42 : 1521-1542. [https://doi.org/10.1016/S0022-2275\(20\)32206-9](https://doi.org/10.1016/S0022-2275(20)32206-9).

563 **Tabela 1.** Composição das dietas experimentais para reprodutores de codornas

Ingredientes	Níveis de DHA %				
	0	0,015	0,030	0,045	0,060
Milho Grão	57,45	57,45	57,45	57,45	57,45
Farelo de Soja (45%)	30,81	30,81	30,81	30,81	30,81
Calcário Calcítico	6,80	6,80	6,80	6,80	6,80
Fosfato Bicálcico	1,30	1,30	1,30	1,30	1,30
Óleo de Soja	1,60	1,60	1,60	1,60	1,60
Sal Comum	0,33	0,33	0,33	0,33	0,33
L-Lisina (78%)	0,31	0,31	0,31	0,31	0,31
DL- Metionina (98%)	0,41	0,41	0,41	0,41	0,41
Amido	0,56	0,06	0,13	0,13	0,00
Antioxidante ²	0,06	0,06	0,06	0,06	0,06
Bicarbonato de Sódio	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02
Suplemento Vitamínico e Mineral ¹	0,40	0,40	0,40	0,40	0,40
DHAgold ^{TM3}	0	0,088	0,176	0,265	0,353
Inerte ⁴	0,00	0,42	0,27	0,17	0,21
Composição Calculada					
Energia Metabolizável (Kcal/kg)	2.896	2.896	2.896	2.896	2.896
Proteína (%)	19,00	19,00	19,00	19,00	19,00
Cálcio (%)	3,00	3,00	3,00	3,00	3,00
Cloro (%)	0,26	0,26	0,26	0,26	0,26
Potássio (%)	0,75	0,75	0,75	0,75	0,75
Fósforo Disponível (%)	0,32	0,32	0,32	0,32	0,32
Extrato Etéreo (%)	4,21	4,21	4,21	4,21	4,21
Lisina Digestível	1,15	1,15	1,15	1,15	1,15
Metionina + Cistina digestível	0,94	0,94	0,94	0,94	0,94
Treonina Digestível	0,66	0,66	0,66	0,66	0,66
Triptofano Digestível	0,21	0,21	0,21	0,21	0,21
Sódio (%)	0,15	0,15	0,15	0,15	0,15
BED (mEq/kg)	180,72	180,72	180,72	180,72	180,72

564 1 Quantidade por kg do produto – Vitamina A 2.500.000 UI; Vitamina D3: 500.000 UI; Vitamina E: 6.250
565 mg; Vitamina K3: 750 mg; Vitamina B1: 625 mg; Vitamina B2: 1.500 mg; Vitamina B6: 1.250 mg;
566 Vitamina B12: 5.000 mg; Pantotenato de cálcio: 3.000 mg; Niacina: 6.000 mg; Ácido Fólico: 250 mg;
567 Biotina: 50 mg; Colina: 75 g; Zinco: 13 g; Ferro: 13 g; Manganês: 15 g; Cobre: 3.000 mg; Iodo: 250 mg;
568 Cobalto: 50 mg; Se: 63 mg; Etoxim: 25 mg. 2 Banox - Altech (mistura de antioxidantes) 1mg por kg de
569 ração. 3 Produto comercial DHA gold S17-B DSM proveniente de microalgas da espécie *Schizochtrium sp*
570 com 17 % de DHA. 4 Inerte- caulim

571

572

573

574

575

576 **Tabela** 2. Perfil de ácido graxo do produto da microalga como fonte de DHA (%) e das
 577 dietas experimentais
 578

Ácido Graxo	DHAgold™	0	0,015 %	0,030 %	0,045 %	0,060 %
LA	2,08	13,58	13,72	13,89	14,05	14,10
LNA (C18:3n3)	3,55	0,90	1,10	1,32	1,45	1,65
AA (C20:4)	1,03	0,01	0,02	0,03	0,05	0,06
EPA (C20:5 n3)	2,58	0,01	0,02	0,04	0,06	0,08
DHA (C22:6n3)	22,02	0,001	0,020	0,040	0,060	0,070
Total N6 (LA + AA)	3,11	13,59	13,74	13,92	14,10	14,46
Tota N3 (LNA + DHA+ EPA)	28,15	0,911	1,14	1,4	1,57	1,80
N6:N3	0,11	14,91	12,05	9,94	8,98	8,03

579

580

581

Tabela 3. Dados médios estimados e observados (valores entre parênteses) das variáveis de desempenho da incubação de ovos de codornas japonesas alimentadas com diferentes níveis de DHA (n=12 gaiolas).

Variáveis (%)	DHA (%)					P-valor
	0	0,015	0,030	0,045	0,060	
Fertilidade	95,97 (96,10)	96,88 (96,85)	97,59 (97,69)	98,14 (97,45)	98,56 (98,99)	0,031 L ¹
Infertilidade	4,03 (3,90)	3,12 (3,14)	2,41 (2,63)	1,86 (1,81)	1,43 (1,01)	0,031 L ²
Eclodibilidade total	83,89 (83,33)	86,93 (88,11)	89,47 (88,82)	91,57 (91,63)	93,27 (93,29)	<0,001 L ³
Eclodibilidade férteis	87,40 (86,72)	89,74 (90,97)	91,70 (90,91)	93,30 (94,03)	94,62 (94,23)	0,008 L ⁴
Mortalidade total	12,42 (13,28)	10,19 (9,03)	8,32 (8,41)	6,77 (6,72)	5,49 (5,76)	0,001 L ⁵
Mortalidade inicial	28,65 (23,53)	32,68 (27,78)	36,98 (48,00)	41,51 (44,00)	46,17 (41,67)	0,164
Mortalidade tardia	72,50 (76,47)	68,37 (72,22)	63,93 (52,00)	59,24 (56 ,00)	54,37 (58,33)	0,149

L- linear; Q- quadrática; Probabilidade = $100 \times (\text{Exp}^{(\beta)}) / (1 + \text{Exp}^{(\beta)})$.

¹ $\beta = 3,1703 + 17,6825 \text{ DHA}$

² $\hat{\beta} = -3,1703 - 17,6825 \text{ DHA}$

³ $\beta = 1,6500 + 16,3415 \text{ DHA}$

⁴ $\beta = 1,9370 + 15,5050 \text{ DHA}$

⁵ $\beta = -1,9529 - 14,8661 \text{ DHA}$

Tabela 4. Avaliação da qualidade de pintinhos de 1 dia oriundos de reprodutores e de matrizes de codornas japonesas alimentadas com diferentes níveis de DHA (n=50 pintinhos)

Variável	DHA (%)					Média	CV (%)	P- valor
	0	0,015	0,03 0	0,045	0,06 0			
Escore de Pasgar®	9,94	9,94	9,96	9,93	9,98	9,95	0,006	0,116
Peso vivo (g)	7,28	7,25	7,28	7,21	7,30	7,26	0,044	0,954
Comprimento (cm)	10,63	11,52	11,50	11,60	11,45	11,34	0,037	<0,001 Q ¹

L- linear; Q- quadrática;

¹ $\hat{y} = 10,71 + 49,0800 \text{ DHA} - 626,6667 \text{ DHA}^2$; $R^2 : 0,58$, Ponto max/min 0,04 DHA

Tabela 5. Análises das médias de estado oxidativo mensurada pela inibição do radical DPPH (%) na gema, no vitelo e no fígado liofilizados de embrião de pintinhos oriundos de matrizes de codornas japonesas alimentados com diferentes níveis de DHA (n=5)

Variável (%)	DHA (%)					Média	CV (%)	P-valor
	0	0,015	0,030	0,045	0,060			
Gema (0d)	10,35	17,07	20,32	27,00	32,58	21,46	0,451	<0,001 L ¹
Saco vitelínico(15d)	74,91	80,80	86,49	87,52	87,74	83,49	0,497	<0,001 Q ²
Saco vitelínico (1 d)	52,15	66,24	72,96	84,54	87,52	72,68	0,357	<0,001 L ³
Fígado (15 d)	57,42	67,54	69,31	74,76	76,82	69,03	0,824	0,004 L ⁴
Fígado (1 d)	47,49	56,05	57,96	61,37	66,62	57,90	0,633	<0,001 L ⁵

L- linear; Q- quadrática; d- dias;

¹ $\hat{y} = 10,75 + 340,54 \text{ DHA}$; $R^2 : 0,98$;

² $\hat{y} = 74,73 + 520,42 \text{ DHA} - 5076,60 \text{ DHA}^2$; $R^2 : 0,95$, Ponto max/min 0,05 DHA;

³ $\hat{y} = 52,39 + 924,51 \text{ DHA}$; $R^2 : 0,99$;

⁴ $\hat{y} = 58,29 + 525,50 \text{ DHA}$; $R^2 : 0,91$;

⁵ $\hat{y} = 48,46 + 387,74 \text{ DHA}$; $R^2 : 0,92$.

Tabela 6. Análises das médias da peroxidação lipídica medida pela dosagem de MDA ($\mu\text{g/g}$) na gema, no vitelo e no fígado liofilizado de embrião de pintinhos oriundos de matrizes de codornas japonesas alimentados com diferentes níveis de DHA (n=5)

Variável ($\mu\text{g/g}$)	DHA (%)					Média	CV (%)	P-valor
	0	0,015	0,030	0,045	0,060			
Gema (0d)	2,01	1,88	1,66	0,99	0,97	1,50	0,019	0,004 L ¹
Saco vitelínico (15d)	4,40	4,61	4,06	3,67	3,51	4,05	0,068	0,357
Saco vitelínico (1 d)	4,54	4,11	3,90	3,26	3,15	3,79	0,069	<0,001 L ²
Fígado (15 d)	5,19	5,12	4,72	3,94	4,11	4,62	0,047	0,004 L ³
Fígado (1d)	3,56	3,46	3,27	1,98	2,81	3,01	0,055	0,025 L ⁴

L- linear; Q- quadrática; d- dias;

¹ $\hat{y} = 2,06 - 15,32 \text{ DHA}$; $R^2 : 0,91$;

² $\hat{y} = 4,55 - 28,54 \text{ DHA}$; $R^2 : 0,90$;

³ $\hat{y} = 5,31 - 24,42 \text{ DHA}$; $R^2 : 0,82$;

⁴ $\hat{y} = 3,72 - 34,32 \text{ DHA}$; $R^2 : 0,54$

Tabela 7. Perfil de ácidos graxos do vitelo de 15 dias de incubação de pintinhos oriundos de matrizes de codornas japonesas alimentadas com diferentes níveis de DHA (n=5)

Variável (%)	DHA %					Média	CV (%)	P-valor
	0	0,015	0,030	0,045	0,060			
LA	27,86	29,10	29,36	29,41	25,37	28,21	7,73	0,029 Q ¹
LNA	2,08	3,14	3,60	3,76	3,96	3,30	3,31	<0,001 Q ²
AA	1,01	0,99	0,96	0,91	0,85	0,95	1,57	<0,001 Q ³
EPA	0,02	0,02	0,03	0,04	0,05	0,032	1,47	0,247
DHA	0,01	0,01	0,03	0,04	0,05	0,027	2,06	<0,001 Q ⁴
POLI	31,01	33,26	34,13	30,27	30,28	32,56	6,61	0,016 Q ⁵
LA:LNA	13,46	9,49	7,98	7,91	6,47	9,06	1,25	<0,001 L ⁶

LA - Ácido Linoleico; LNA- Ácido Alfa Linolênico; AA- Ácido Araquidônico; EPA- Ácido Eicosapentaenoico ; DHA- Ácido Docosaenoico; POLI - Ácido Polinsaturados; L- Linear; Q- quadrática.

¹ $\hat{y} = 27,612 + 174,357 \text{ DHA} - 3425,397 \text{ DHA}^2$; $R^2 : 0,94$, Ponto max/min 0,03 DHA;

² $\hat{y} = 2,139 + 67,867 \text{ DHA} - 644,44 \text{ DHA}^2$; $R^2 : 0,98$, Ponto max/min 0,05 DHA;

³ $\hat{y} = 1,012 - 0,082 \text{ DHA} - 30,159 \text{ DHA}^2$; $R^2 : 0,94$, Ponto max/min 0,01 DHA;

⁴ $\hat{y} = 0,041 - 1,665 \text{ DHA} + 31,825 \text{ DHA}^2$; $R^2 : 0,79$, Ponto max/min 0,03 DHA;

⁵ $\hat{y} = 30,812 + 245,719 \text{ DHA} - 4160,317 \text{ DHA}^2$; $R^2 : 0,78$, Ponto max/min 0,03 DHA;

⁶ $\hat{y} = 13,1012 - 227,511 \text{ DHA} + 2062$; $R^2 : 0,88$.

Tabela 8. Perfil de ácidos graxos do vitelo residual de pintinhos oriundos de matrizes de codornas japonesas alimentadas com diferentes níveis de DHA (n=4)

Variável (%)	DHA (%)					Média	CV (%)	P-valor
	0	0,015	0,030	0,045	0,060			
LA	19,52	19,59	18,55	16,68	15,14	17,89	3,82	<0,001 L ¹
LNA	0,98	1,98	2,04	2,08	2,19	1,85	8,87	<0,001 Q ²
AA	0,94	0,91	0,90	0,84	0,86	0,89	2,24	<0,001 L ³
EPA	0,03	0,03	0,02	0,03	0,04	0,03	8,19	0,547
DHA	0,01	0,01	0,02	0,02	0,03	0,02	5,84	<0,001 Q ⁴
POLI	21,49	22,59	21,52	19,70	18,26	20,71	3,78	<0,001 Q ⁵
LA:LNA	19,76	9,79	9,36	8,01	7,06	10,80	14,86	<0,001 Q ⁶

LA - Ácido Linoleico; LNA- Ácido Alfa Linolênico; AA- Ácido Araquidônico; EPA- Ácido Eicosapentaenoico ; DHA- Ácido Docosaenoico; POLI - Ácido Polinsaturados; L- Linear; Q- quadrática.

¹ $\hat{y} = 19,6505 - 0,9095 \text{ DHA}$; $R^2 : 0,88$;

² $\hat{y} = 1,0882 + 51,4714 \text{ DHA} - 576,1904 \text{ DHA}^2$; $R^2 : 0,88$, Ponto max/min 0,04 DHA;

³ $\hat{y} = 0,9403 - 2,6142 \text{ DHA}$; $R^2 : 0,77$;

⁴ $\hat{y} = 0,0083 + 11,35 \text{ DHA} + 4,5238 \text{ DHA}^2$; $R^2 : 0,99$, Ponto max/min 0,01 DHA ;

⁵ $\hat{y} = 21,749 + 48,4595 \text{ DHA} - 1846,82 \text{ DHA}^2$; $R^2 : 0,81$, Ponto max/min 0,01 DHA ;

⁶ $\hat{y} = 18,6775 - 507,282 \text{ DHA} + 5435,7142 \text{ DHA}^2$; $R^2 : 0,89$ Ponto max/min 0,05 DHA.

Tabela 9. Perfil de ácido graxo do fígado de 1 dia de pintinhos oriundos de matrizes de codornas japonesas alimentadas com diferentes níveis de DHA (n=4)

Variável (%)	DHA %					Média	CV (%)	P-valor
	0	0,015	0,03	0,045	0,06			
LA	30,30	29,89	29,31	29,09	28,25	29,37	1,29	0,105
LNA	1,11	1,53	1,58	1,64	1,73	1,52	4,72	<0,001 Q ¹
AA	1,45	1,07	1,09	0,98	0,96	1,11	8,17	<0,001 Q ²
EPA	0,04	0,05	0,02	0,03	0,04	0,03	3,98	0,698
DHA	0,002	0,01	0,02	0,03	0,05	0,02	9,17	<0,001 Q ³
POLI	32,93	32,55	32,01	31,77	31,06	32,06	3,50	<0,001 L ⁴
LA:LNA	27,20	19,44	18,81	17,63	16,11	19,84	4,11	<0,001 Q ⁵

LA - Ácido Linoleico; LNA- Ácido Alfa Linolênico; AA- Ácido Araquidônico; EPA- Ácido Eicosapentaenoico ; DHA- Ácido Docosaenoico; POLI - Ácido Polinsaturados; L- Linear; Q- quadrática.

¹ $\hat{y} = 1,1587 + 21,11880 \text{ DHA} - 203,9682 \text{ DHA}^2$; $R^2 : 0,91$, Ponto max/min 0,05 DHA;

² $\hat{y} = 1,4135 - 18,8167 \text{ DHA} + 194,4444 \text{ DHA}^2$; $R^2 : 0,80$ Ponto max/min 0,05 DHA;

³ $\hat{y} = 0,0183 - 0,4064 \text{ DHA} + 14,5238 \text{ DHA}^2$; $R^2 : 0,96$, Ponto max/min 0,01 DHA ;

⁴ $\hat{y} = 32,9139 - 22,9904 \text{ DHA}$; $R^2 : 0,75$;

⁵ $\hat{y} = 26,3442 - 387,1380 \text{ DHA} + 3787,3015 \text{ DHA}^2$; $R^2 : 0,91$, Ponto max/min 0,05 DHA.

V. CARACTERÍSTICAS FÍSICO-QUÍMICA E ANÁLISE SENSORIAL DE CARNE DE MATRIZES DE CODORNAS JAPONESAS ALIMENTADAS COM DIFERENTES NÍVEIS DHA

Artigo Redigido nas Normas Revista Brasileira de Zootecnia

RESUMO

O enriquecimento de carne com ácido docosahexaenoico (DHA) vem sendo estudado devido a possibilidade de se aumentar os teores desse ácido graxo na carne via dieta, tendo um efeito benéfico a saúde humana. Ligado a isso, a matriz de final da produção vem sendo bastante utilizadas para consumo de carne. Com isso objetivou-se mensurar o rendimento de carcaça e as características físico-químicas da carne *in natura* de codornas japonesas fêmeas alimentadas com diferentes níveis de DHA. Foram utilizadas 360 fêmeas com 23 semanas de idade. Com 5 níveis de inclusão do DHA (0,0,015, 0,030, 0,045 e 0,060 %), sendo ao final do período abatidas 50 aves por tratamento. Foram avaliados rendimento de carcaça, e no músculo do peito qualidade de carne, análise bromatológica e perfil de ácido graxo e análise sensorial e a atividade antioxidante do músculo da coxa+ sobrecoxa ao longo dos dias (0,2,4 e 6) e análise sensorial do peito. Os níveis de DHA crescente na dieta das matrizes aumentaram de forma linear o rendimento do peito das fêmeas. Os níveis de DHA não influenciaram o peso médio e nem o peso relativo dos órgãos comestíveis e os parâmetros de qualidade de carne. Para a composição bromatológica, os teores de proteínas apresentaram um efeito linear crescente e o teor de extrato etéreo efeito linear decrescente, com a inclusão de DHA. O perfil de ácido graxo do músculo do peito foi similar aquele fornecido na dieta, demonstrando a deposição dos ácidos graxos no músculo. Para shelf life, foi observado um aumento no valor de MDA ao longo dos dias, porém, o tratamentamento 0,060% DHA apresentou os menores valores quando comparados ao controle. Para a análise sensorial não foi observado diferença para os atributos avaliados. Conclui-se que a inclusão de 0,060 % de DHA na dieta de matrizes de codornas japonesas, melhora o perfil de ácido graxo, torna uma carne mais magra e com maior capacidade antioxidante sem alteração dos atributos sensoriais, sendo indicado para produção de codornas em geral.

Palavras- Chaves: ácido graxos, qualidade de carne, shelf life

ABSTRACT

The enrichment of meat with docosahexaenoic acid (DHA) has been studied because of the possibility of increasing the levels of this fatty acid in meat via the diet, with a beneficial effect on human health. In addition, end-of-production sows have been widely used for meat consumption. The aim of this study was to measure the carcass yield and physicochemical characteristics of fresh meat from female Japanese quails fed with different levels of DHA. A total of 360 females aged 23 weeks were used. Five levels of DHA were included (0, 0.015, 0.030, 0.045 and 0.060 %), and 50 birds per treatment were slaughtered at the end of the study period. Carcass yield, breast muscle meat quality, bromatological analysis, fatty acid profile, and sensory analysis were evaluated, as well as the antioxidant activity of the thigh + drumstick muscle over the days (0, 2, 4 and 6) and sensory analysis of the breast. Increasing levels of DHA in the sow diet linearly increased the breast yield of females. DHA levels did not influence the average weight or relative weight of edible organs or meat quality parameters. As for the bromatological composition, the protein content showed an increasing linear effect and the ether extract content showed a decreasing linear effect with the inclusion of DHA. The fatty acid profile of the breast muscle was similar to that supplied in the diet, demonstrating the deposition of fatty acids in the muscle. For shelf life, an increase in the MDA value was observed over the days, but the 0.060% DHA treatment showed the lowest values when compared with the control. No difference was observed in the sensory analysis of the attributes evaluated. It can be concluded that the inclusion of 0.060% DHA in the diet of Japanese quail breeders improves the fatty acid profile, produces leaner meat with greater antioxidant capacity without altering sensory attributes, and is suitable for quail production in general.

Keywords: fatty acids, meat quality, shelf life

1. INTRODUÇÃO

O consumo da carne de codorna no Brasil não é uma prática comum, sendo considerada um alimento refinado e gourmet, devido ao seu preço de mercado ser elevado (Medeiros, 2014). Porém, o mercado vem sofrendo grandes mudanças e a busca por

produtos de qualidade e enriquecidos com ácidos graxos polinsaturados (PUFA), devido a demanda da população por produtos mais saudáveis. Os PUFAs de cadeia longa estão associados a uma série de benefícios à saúde, como apoiar o desenvolvimento cerebral e a função cognitiva, bem como reduzir os riscos de doenças cardiovasculares e transtornos depressivos (Sheppard e Cheatham, 2018; Swanson et al., 2012). Esse enriquecimento da carne com ácidos graxos Polinsaturados pode ser feito através da suplementação na dieta com microalgas fotossintéticas específicas, contendo altas quantidades de ácido docosahexaenoico (DHA, C22:6 n-3) e ácido eicosapentaenoico (EPA, C20:5 n-3) e a carne enriquecida pode ajudar a aumentar o consumo de ômega-3 em humanos (Sun et al., 2018).

Do ponto de vista da nutrição animal, é importante saber até que ponto os produtos de microalgas podem fornecer nutrientes digestíveis e conhecer o impacto no desempenho da produção (Keegan et al., 2019). Em relação aos produtos avícolas, microalgas presentes na dieta de aves podem alterar a composição de ácidos graxos, aumentando o teor de lipídios na carne (Moran et al., 2019). Ao direcionar os alimentos comumente consumidos para o enriquecimento, um aumento do consumo de PUFA pode ser alcançado sem grandes mudanças alimentares em toda a população (Adkins e Kelley, 2010). O teor de PUFA de alimentos de origem animal pode ser alterado pela suplementação de ração animal com ingredientes ricos em PUFA. Isso pode resultar em um aumento na absorção e enriquecimento de PUFA na carne (Keegan et al., 2019; Moran et al., 2019).

A carne de frango, em particular é uma escolha óbvia para o enriquecimento, pois é comumente consumido em todo o mundo e o teor de DHA da carne de frango e dos ovos pode ser aumentado pela suplementação de dietas de aves com plantas, óleos de peixe ou algas, o mesmo pode ser feito com produtos de codornas (Stark et al., 2016 ; Konieczka et al., 2017).

Os lipídios são componentes importantes de todos os tipos de carne e são responsáveis por muitas características desejáveis das carnes. São importantes para o perfil lipídico, sabor e aroma das carnes e contribuem para a maciez e suculência. A oxidação lipídica é o principal processo responsável pela deterioração da qualidade da carne e dos produtos cárneos, reduzindo o prazo de validade. A oxidação lipídica afeta a cor, a textura, o valor nutricional, o sabor e o aroma, levando ao ranço, é responsável por sabores estranhos e sabores inaceitáveis, que são motivos importantes para a rejeição do consumidor. Com o aumento da inclusão de ácidos graxos Polinsaturados na dieta pode

causar uma maior oxidação lipídica da carne (Lima et al., 2013).No entanto, resultados conflitantes de produtividade têm sido observados na suplementação de dietas de poedeiras e frangos de corte quando utilizados diferentes fontes de POLI n-3, mas nenhuma explicação clara para essas discrepâncias foi aparente, com diferenças no arranjo experimental, raça e formulação da dieta potencialmente responsáveis (Fraeye et al. 2012).

Com essa variedade nos resultados em diferentes espécies e visando o aproveitamento em toda a cadeia produtiva das codornas, são necessários mais estudos sobre a qualidade da carne de codornas de postura, suplementadas com ácidos graxos polinsaturados, sobre a qualidade de carne e o enriquecimento do produto final. Sente-se a falta de informação sobre o enriquecimento da carne de codorna. Assim, não há informações suficientes sobre o enriquecimento da carne de codorna com DHA e subsequentes parâmetros de qualidade da carne, nem qualquer relato sobre o melhor momento para a inclusão de fontes de DHA na dieta das codornas. Objetivou-se dessa forma mensurar o rendimento de carcaça e as características físico-químicas da carne *in natura* de codornas japonesas fêmeas alimentadas com diferentes níveis de DHA.

2. MATERIAL E MÉTODOS

O projeto está aprovado para execução na Comissão de Ética no Uso de Animais (CEUA) com o número (3124060821) e na Comissão de Ética Humana da Universidade Estadual de Maringá (UEM) com o número (6014902).

2.1 ANIMAIS E MANEJO

Foram utilizadas 360 fêmeas com 14 semanas de idade com peso médio de 125g. A adaptação teve duração de 5 dias. O período experimental teve duração de 63 dias, as aves foram abatidas com 23 semanas. As aves foram alojadas em galpão de postura com gaiolas metálicas de ferro galvanizado (25 x 39 cm, 212 cm² / ave), com bebedouros tipo niplee e comedouros tipo calha. O programa de luz adotado foi de 17 horas de luz (natural + artificial). A água e a ração foram fornecidas *ad libitum* durante todo o período experimental. A temperatura e umidade foram medidas diariamente durante todo o período experimental, com o auxílio de termo higrômetro digital, registrando média de temperatura máxima 28° C e mínima de 20° C e a umidade máxima 80% e mínima de 60%.

2.2 DELINEAMENTO EXPERIMENTAL

Foram distribuídas em 5 tratamentos (dietas experimentais) com 50 matrizes de codornas cada. Os tratamentos consistiram em rações experimentais com diferentes níveis de inclusão do produto comercial DHAgold™ S17-B DSM proveniente de microalgas da espécie *Schizochytrium sp* na dieta. As rações foram formuladas à base de milho e farelo de soja (Tabela 1) para atender as exigências nutricionais de codornas em período de postura (Rostagno et al., 2017). Os tratamentos foram compostos da Ração Basal (sem DHA) e 04 tratamentos em que foram adicionados 0,0015; 0,030; 0,045 e 0,060 % de DHA na ração basal.

2.3 CARACTERÍSTICAS DE CARCAÇA E QUALIDADE DA CARNE

Ao final do terceiro ciclo produtivo 50 aves/tratamento foram submetidas ao jejum alimentar de 8 horas, para evitar comida no trato gastrointestinal. Após o jejum os animais foram abatidos segundo o Regulamento Técnico de Manejo Pré-abate e Abate Humanitário e os métodos de insensibilização autorizados pelo Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento (PORTARIA Nº 365, DE 16 DE JULHO DE 2021 do MAPA), com eletroanestesia seguida de sangria. Em seguida, as aves foram depenadas de forma manual e evisceradas.

As aves foram abatidas no período da manhã e o estágio de formação do ovo foi anotado e para o rendimento de carcaça foi considerado o peso vivo em relação ao peso da carcaça limpa, eviscerada, sem cabeça, pés e pernas. Os rendimentos do peito, coxa e sobrecoxa juntas e as asas foram determinados por meio da relação entre os pesos absolutos das respectivas frações com o peso vivo ao abate. Os pesos relativos dos órgãos comestíveis (coração, fígado e moela) foram determinados por meio da relação entre os pesos absolutos dos órgãos e o peso da carcaça quente. O pH do músculo do peito foi mensurado na carcaça quente, 15 min após o abate (pH15) e na carcaça resfriada, por 24h (pH24), utilizando um medidor de pH portátil digital (Texto 205).

A cor do músculo do peito foi mensurada após 24 h após do abate, por meio de medições de luminosidades Minolta (L, a* e b*), utilizando o colorímetro portátil CR-400 Konica Minolta's, (configurações: Iluminante D65; 0° ângulo de visão e 4 auto-

average). Os componentes L (luminosidade), a* (componente vermelho-verde) e b* (componente amarelo-azul) foram expressos no sistema de cor CIELAB.

Para a determinação de perda por descongelamento, cocção e força de cisalhamento foram utilizados 10 peitos por tratamento. Os peitos com osso foram descongelados para a determinação de perda de água por descongelamento, onde os peitos foram pesados congelados e descongelados e por diferença de peso foi determinada a perda de água por descongelamento. Para a perda por cocção foi utilizado a metodologia descrita por Honikel (1987), onde as amostras de peito inteiro foram cozidas em grill elétrico até atingirem a temperatura de 75° C, medido por um termopar no centro do músculo. Após resfriar, os peitos foram pesados novamente e os resultados foram expressos em percentagem calculados por diferença entre o peso inicial e peso final divididos pelo peso inicial e multiplicados por 100. Essas mesmas amostras foram utilizadas para medir a força de cisalhamento (kgf/cm²). De cada amostra, foram retiradas, longitudinalmente, no sentido das fibras musculares, duas subamostras em formato cilíndrico, segundo recomendações de Ramos e Gomide (2007). As análises foram realizadas em um texturômetro Stable Micro System TA-XT2i, acoplado à probe Warner-Bratzler Shear Force e ao software Texture Expert Exponent – Stable Micro Systems.

2.4 COMPOSIÇÃO QUÍMICA DO PEITO DE CODORNAS

Para a determinação da composição química do músculo do peito de codornas, foram utilizados 10 peitos sem pele e ossos. Os peitos foram congelados, posteriormente descongelados, descarnados e moídos em moinho industrial e homogeneizados, para desidratação em estufa com circulação forçada de ar, sob temperatura de 55° C por 72h. Para análise de composição química, foram determinados os teores de matéria (925-09), matéria mineral (923-03), proteína bruta (920-87) e extrato etéreo (920-85), de acordo com as metodologias propostas pela AOAC (2005).

Para a extração de ácidos graxos, foram utilizados 5 músculos do peito por tratamentamento, as amostras foram submetidas à extração lipídica baseada nos métodos de Bligh e Dyer (1959) na presença de quantidades conhecidas de Padrão Interno para análises de ácidos graxos. Foi utilizado 3g de amostra de gema, ração e DHA e adicionado água destilada (12ml), metanol (30ml), clorofórmio (30ml) e mais 15 ml de água destilada e foi agitado por 12 minutos em seguida filtrado a vácuo em funil de buchner e o conteúdo foi transferido para um funil de separação de fases e após isso foi drenado a fase inferior

contendo o clorofórmio que foi evaporado. Em seguida as amostras transesterificadas, os ésteres metílicos de ácidos graxos foram obtidos através da transesterificação dos triacilgliceróis, conforme método 5509 da ISSO (1978), em solução de n-heptano e KOH/metanol. Os ésteres de ácido graxos foram separados no cromatógrafo gasoso, equipado com detector de ionização de chama e coluna capilar de sílica fundida. A identificação dos ácidos graxos foi feita através da comparação dos tempos de retenção com padrões Sigma, e as concentrações determinadas através do cálculo de área de picos com integrados – processador.

2.5 SHELF LIFE DA CARNE DE CODORNAS JAPONESAS

Nos períodos 0, 2, 4 e 6 dias após a obtenção da carcaça resfriada ao abate, as amostras de carne da perna direita (coxa + sobrecoxa) foram coletadas para a realização da extração lipídica, que foi imediatamente armazenada em congelador (-18°C) até a análise. Foi feita a avaliação de estabilidade oxidativa por meio da mensuração de malonaldeído (MDA), através da análise de Espécies Reativas ao Ácido Tiobarbitúrico (TBARs), de acordo com metodologia utilizada por Vital et al. (2016). Para isso, ± 1 g de carne foi triturada em Ultra-turax com 2 ml de solução ácido tricloroacético para extração da proteína. O material foi centrifugado (3000 rpm; 4°C por 15 min) e o sobrenadante coletado, filtrado e misturado com solução de ácido tiobarbitúrico. Após homogeneização, a solução foi submetida ao banho maria (100°C por 15 minutos) e resfriada. A leitura foi feita em espectrofotômetro a 532 nm e os resultados apresentados em mg malonaldeído/kg de carne.

2.6 ANÁLISE SENSORIAL

Após o abate 25 peitos por tratamento foram separados e congelados. No dia da análise sensorial os peitos foram descongelados, envolvidos com folha de alumínio e levados ao grill até atingirem uma temperatura interna de 75°C.

O teste foi realizado no laboratório de análise sensorial, equipado com 10 cabines individuais, 67 provadores aleatoriamente e sem treinamento prévio. Todos os consumidores convidados e que aceitaram participar do estudo assinaram um Termo de Consentimento Livre e Esclarecido (TCLE) e preencheram uma ficha de identificação para a caracterização dos julgadores, contendo faixa etária e gênero. Sendo 45,26 % mulheres e 54,74 % homens na faixa etária de menor de 25 anos.

As amostras foram oferecidas aos degustadores, em pratos brancos codificados

com Algarismos de três dígitos com quantidades padronizadas, foi fornecido biscoito “água e sal”, e água para limpeza do palato entre a avaliação das amostras e ficha de avaliação com lápis. Foram utilizados os testes de escala hedônica de nove pontos (1-9) para os seguintes parâmetros: cor, maciez, sabor, cor, aparência, aroma, suculência e avaliação geral: 1 – desgostei muitíssimo; 2 – desgostei muito; 3 – desgostei moderadamente; 4 – desgostei ligeiramente; 5 – não gostei/ nem desgostei; 6 – gostei ligeiramente; 7 – gostei moderadamente; 8 – gostei muito e 9 – gostei extremamente.

Além da caracterização sensorial, os degustadores também foram solicitados a opinar, após a degustação, sobre a intenção de compra do produto em eventual pesquisa de mercado foi usado a escala 1 a 5: 1- certamente não compraria; 2- provavelmente compraria; 3- tenho dúvidas se compraria; 5 – certamente compraria. Também foi questionado se consumiria este produto numa escala de 1 a 7, 1-nunca comeria; 2-comeria muito raramente; 3- comeria raramente; 4- comeria ocasionalmente; 5- comeria frequentemente; 6 comeria muito frequentemente; 7- comeria sempre.

2.6 ANÁLISE ESTATÍSTICA

Os dados foram submetidos ao teste de normalidade por Shapiro Wilks e análise de variância utilizando o programa Statistical Analysis System (SAS, 2010) e consideradas significativas quando $P < 0,05$. Para a análise sensorial foi utilizado o teste de Tukey, Os dados foram submetidos à análise de regressão, por intermédio do procedimento GLM, ao nível de significância de 5%,

$$\hat{Y} = \beta_0 + \beta_1 x_1 + \beta_2 x_2 + \varepsilon_i,$$

no qual:

$\hat{Y}$, representa os valores observados da variável dependente;

$\beta_0, \beta_1, \beta_2$, são os parâmetros a serem estimados;

x_1, x_2 representam os valores das variáveis independentes;

ε_i , são os erros experimentais relacionados com os valores observados y , que, em geral, são considerados independentes e normalmente distribuídos com média zero e variância constante.

3.RESULTADOS

3.1 CARACTERÍSTICAS DE CARCAÇA E QUALIDADE DA CARNE

Os níveis de DHA na dieta não afetaram ($P>0,05$) as variáveis de peso vivo, rendimento da carcaça, coxa e asa de matrizes codornas japonesas abatidas aos 163 dias de idade final de produção (Tabela 3). Verificou-se efeito linear ($P = 0,0378$) para o rendimento de peito. O peso médio foi de $\pm 154,49g$.

Os pesos relativos dos órgãos comestíveis não foram influenciados pelos níveis de DHA na dieta, onde coração, moela e fígado apresentaram peso médio de 0,95, 2,67 e 2,78%, respectivamente. Para a coloração vermelho/verde e amarelo/azul não foi observado diferença significativa dos níveis de DHA na dieta para o músculo do peito. Já para a Luminosidade houve um efeito linear decrescente nos níveis de DHA na dieta (Tabela 3), em que a luminosidade diminuiu conforme aumentou os níveis de DHA na ração.

Não houve influência dos níveis de DHA para as variáveis de perda por gotejamento, forças de cisalhamento e perdas por cocção ($P>0,05$). No presente estudo, não foi observado diferença significativa para os valores de para o pH 45 minutos e pH 24 horas do músculo do peito de codornas japonesas. O pH de 45 minutos apresentou valor médio de 5,65 e pH 24 de 5,50 (Tabela 4).

3.2 COMPOSIÇÃO QUÍMICA DO MÚSCULO DO PEITO

Para os teores de matéria seca e matéria mineral ($P>0,05$), não foi observado efeito dos níveis de DHA da dieta. Para o teor de proteína bruta, houve uma resposta linear, sendo que o maior teor de proteína bruta foi aumentando conforme o aumento da inclusão de DHA. Para o extrato etéreo também teve uma resposta linear decrescente, sendo o inverso da proteína bruta (Tabela 5).

Para o perfil de ácido graxos do músculo do peito de codornas japonesas, o ácido linoleico e o total de N6 tiveram uma resposta linear decrescente aos níveis de DHA na dieta. O ácido eicosapentaenoico, DHA, relação e o total de N3 teve uma resposta linear crescente em que com o aumento dos níveis de DHA ocorreu um aumento na concentração desses ácidos (Tabela 5).

3.3 SHELF LIFE DA CARNE DE CODORNAS JAPONESAS

Os resultados dos valores de produção de MDA, indicativo do processo de

oxidação lipídica na carne, nas amostras da carne da coxa e da sobrecoxa estão demonstrados na figura 1, houve interação entre os níveis de DHA na dieta e os dias armazenados ($P < 0,0001$). Houve efeito quadrático dos dias dentro de cada nível de DHA, sendo que o MDA aumentou com o tempo e reduziu com a inclusão de DHA na dieta.

3.4 ANÁLISE SENSORIAL

Na análise dos resultados do teste de aceitação da carne de peito de codornas japonesas alimentadas com diferentes níveis de DHA, não houve diferença estatística de aceitabilidade entre as amostras, de acordo com a análise de variância. Os resultados para análise sensorial estão expressos na Figura 2.

Para os resultados para intenção de compra e consumo do produto não foram observados diferença estatística. A intenção de compra ficou na escala de 3 como tenho dúvidas se compraria e em relação ao consumo do produto ficou na escala de 4 como comeria ocasionalmente.

4. DISCUSSÃO

A incorporação de DHA na dieta de matrizes de codornas de postura melhorou o perfil lipídico da carne, sem afetar os parâmetros de qualidade e da análise sensorial. No rendimento do peito foi observado diferença significativa com uma diminuição no peito, isso ocorreu devido a modificação do perfil de ácidos graxos, que com isso diminuiu o teor gordura do peito e aumento da proteína, tendo assim uma carne mais magra só que com melhor perfil lipídico. Para os outros cortes não foi observado diferença, resultados similares foram observados por Bharath et al. (2017), que relataram que características de carcaça como rendimento dos cortes e peso relativo do fígado não foram influenciadas pelos ácidos graxos polinsaturados em frangos de corte. O peso relativo dos órgãos não foi observado diferença, o que corrobora com o estudo de Petrolli et al. (2019), que ao fornecer microalgas *Schizochtrium JB5* para frangos de corte não observaram diferença no peso dos órgãos e nem na coxa.

A luminosidade da carne foi afetada, pelos níveis de DHA na dieta isso pode resultar devido a concentração de carotenoides presente no produto de algas DHA que é em torno de 0,9%, o mesmo foi observado por Ribeiro et al. (2013), que ao utilizar o mesmo produto para frangos de corte observou diferença na coloração no músculo do peito. Com relação à cor da carne, os valores de a^* são indicativos do grau de oxidação

dos pigmentos musculares (Suman e Joseph, 2013). Valores mais altos de vermelhidão estão associados a maiores concentrações de oximioglobina, enquanto valores mais baixos tipicamente representam a transição das mioglobinas para a metmioglobina oxidada (AMSA, 2012). No presente estudo não foi observado diferença nos teores de a^* e b^* o que pode representar essa baixa concentração de oximioglobina. O efeito linear decrescente no L^* pode ter ocorrido devido a diminuição dos valores de TBARS e com isso a diminuição da oxidação lipídica da carne levando diminuição na oxidação das mioglobinas (Faustman et al., 2010). Além disso, as características físicas da carne, pH 45 minutos, não foram significativamente influenciadas quando DHA foi adicionado à dieta. Embora a composição de ácidos graxos da carne seja influenciada pela suplementação de PUFA ω -3 ou suas fontes na dieta, os parâmetros de qualidade da carne, como pH, maciez, perda por cocção força de cisalhamento, não foram afetados nesse trabalho e em outros estudos (Abdulla et al., 2017). Esses resultados podem ser explorados para projetar alimentos funcionais com PUFA ajustados e sem diferenças na palatabilidade e sem perda na qualidade da carne em codornas de descarte, como é o caso dos lotes de matrizes desse experimento.

A modificação na qualidade da carne está envolvida com os níveis de peptídeos e antioxidantes. Com a suplementação de DHA proveniente de algas, aumentam os níveis de peptídeos bioativos e antioxidantes ou EPA e DHA (Bleakley et al., 2017). O aumento de EPA e DHA podem estar correlacionados com a capacidade antimicrobiana (Beaulieu, 2019), o que pode ter ocorrido no presente estudo. Desta forma, os resultados indicam que pode ter havido um aumento da atividade antimicrobiana com maior atividade antioxidante, o que contribui para um maior efeito conservante da carne.

A adição de DHA à dieta de codornas japonesas não teve influência significativa sobre as características físicas da carne. Embora a composição de ácidos graxos da carne seja influenciada pela suplementação de PUFA ω -3 ou suas fontes na dieta, parâmetros de qualidade da carne como pH da carne, maciez, perda de grelha, tenacidade e suculência não são afetados. Com isso, a adição de DHA pode ser utilizada na dieta de codornas de descarte para produzir alimentos funcionais com PUFA ajustados e sem diferenças na palatabilidade.

4.2 COMPOSIÇÃO QUÍMICA DO PEITO DE CODORNAS

As variações nos teores de proteínas e extrato etéreo, observadas ocorreram porque o DHA diminuiu o teor de gordura do músculo do peito, pois o DHA são

depositados nos fosfolipídios de membranas, diferentes dos saturados que são depositados como triglicerídeos em tecidos e com isso aumento o teor de gordura na carne (Pannampalam et al., 2001).

Com a inclusão de DHA foi observado uma diminuição na relação LA:LNA, em que estudos com ratos essa diminuição da relação ocorreu um aumento de peroxissomos e mitocôndrias, que são oriundos da beta-oxidação do LA. Essa modificação da proporção das organelas ocasiona o aumento da carnitina aciltransferase I, reduzindo os teores de lipídios no corpo e aumentando a massa magra nos animais (Moussavi et al., 2010).

Este trabalho mostra que o conteúdo de DHA no peito de matrizes de codornas japonesas pode ser significativamente aumentado pela adição de níveis moderados (0,015-0,060 %) de DHA proveniente de algas na dieta. O enriquecimento do carne do peito de codornas com DHA no presente estudo concordou com estudos anteriores de poedeiras que alimentaram biomassa de alga onde galinhas ISA Brown de 45 semanas alimentadas com dietas contendo 0,064, 0,15 e 0,35% de biomassa alga rica em DHA apresentaram 6,7, 15,5, 19,6 e 41,7 mg DHA/100g de peito, respectivamente (Moran et al., 2020). No entanto, vários estudos têm demonstrado que frangos de corte depositam mais DHA nos tecidos. Por exemplo, no músculo do peito de frangos de corte contendo 0,03, 0,09, 0,37 e 0,71% de biomassa alga DHA apresentaram 12,2, 34,5, 89,1 e 139,5 mg DHA/100 g, respectivamente. As concentrações correspondentes de DHA na coxa foram 14,3, 42,6, 114,8 e 179,8 mg DHA/100 g, respectivamente (EL-Barh et al., 2020). O aumento significativo detectado nos níveis de EPA, DHA, AG n-3, AGPI e ácido araquidônico no músculo peitoral é consistente com os resultados em frangos de corte alimentados com microalgas em comparação com os de aves alimentadas com grupo controle, pois, os ácidos graxos fornecidos na ração são depositados em quase sua totalidade nos músculos das aves (El-Barh et al., 2020).

3.3 SHELF LIFE DA CARNE DE CODORNAS JAPONESAS

O aumento da peroxidação lipídica é esperado durante o armazenamento devido a reação de oxidação dos ácidos graxos nela contidos (Surai et al., 2024). E a exposição dos fosfolipídios da membrana ao oxigênio inicia uma série de reações que produzem radicais livres que posteriormente se decompõem em aldeídos que se tornam acumula-se nos alimentos durante o armazenamento (Xing et al., 2020).

O perfil lipídico da carne se altera com mudanças na composição lipídica da dieta e o teor de ácidos graxos Polinsaturados da dieta. Os ácidos linoleicos e linolênicos, e

seus derivados promovem maior susceptibilidade à oxidação lipídica da carne e podem oxidar mesmo congelados (Dillon et al., 2019). No presente trabalho o tratamentamento 0,060 de DHA apresentou baixos valores de MDA, devido a sua composição ser derivada da microalga, rica em carotenoides e vitamina E que são antioxidantes que auxiliam na diminuição da oxidação. O mesmo foi observado por Longo et al. (2018), que ao fornecer 1% de microalgas *Schizochytrium limacinum* observou uma diminuição na peroxidação lipídica no peito e na coxa de frangos de corte devido o aumento de DHA na dieta e de antioxidantes presentes na algas. A alta concentração de DHA elimina radicais livres e regula o nível de espécies reativas de oxigênio in vivo através da ação da NAD (P) H oxidase ou através de sua própria reação de peroxidação e reação de radicais livres (Richard et al., 2008).

A redução nos valores de MDA mesmo ao longo do tempo, ocorre devido às algas possuírem em sua composição um alto teor de antioxidantes naturais, principalmente os carotenoides (Armin et al., 2015). Na carne da coxa a estabilidade oxidativa tende a ser afetada pelas dietas após 2 e 4 dias de armazenamento, com carnes provenientes do tratamentamento com DHA, revelando maior estabilidade quando comparadas aos demais tratamentos. A estabilidade oxidativa foi diretamente influenciada pelos mesmos ácidos graxos que os atributos sensoriais (EPA e DHA). As reduzidas estabilidades oxidativas da carne de aves suplementadas com lipídios provavelmente resultaram do enriquecimento da carne com PUFA, especialmente DHA, que são muito suscetíveis à oxidação (Longo et al., 2018). A oxidação lipídica aumenta linearmente à medida que a concentração de PUFA aumenta nos tecidos.

Os presentes achados revelaram uma diminuição significativa nos valores de MDA no tecido das aves em comparação com o controle. Este achado está de acordo com trabalhos anteriores que descreveram a alta capacidade antioxidante de algas em frangos de corte (El-Bahr et al., 2020), que foi atribuída ao seu conteúdo de betacaroteno, zeaxantina, ficocianina e aloficocianina.

3.4 ANÁLISE SENSORIAL

O enriquecimento da carne de codorna com DHA não causou alterações significativas nas características sensoriais das amostras, sendo considerado como resultado positivo, pois além de suplementar a carne com DHA não transmitiu características negativas para o seu consumo. No geral, os dados revelaram que a inclusão de DHA na dieta não afeta as características sensoriais da carne. A deterioração da

qualidade do sabor pela suplementação dietética com óleo de peixe e algas marinhas é bem conhecida (Mooney et al., 1998).

Com a diminuição da oxidação lipídica quando fornecido mais DHA, pode ter evitado à formação de produtos de degradação que afetam o odor, podendo gerar sabor estranho, descoloração, perda de valores nutricionais e diminuição da vida útil de armazenamento, em carnes e produtos cárneos (Xing et al., 2020). Em outros estudos a aceitabilidade da carne foi afetada negativamente quando *Schizochytrium* foi incluído em uma taxa de 7,4%, na ração (Ribeiro et al., 2013), não foi observado efeito sobre a aceitação no presente estudo, isso ocorreu devido a dosagem utilizada, não afetou o sabor, porém enriqueceu a carne.

No entanto, uma redução na pontuação de sabor é menos acentuada com suplementação de algas marinhas do que o óleo de peixe, provavelmente porque a alga possui um alto teor de carotenoides, protegendo-as assim da deterioração oxidativa, diminuindo o sabor desagradável e além disso as algas possui um cheiro e sabor mais agradável que o óleo de peixe (Mendonça et al., 2015). Como não foi afetado o sabor e aroma ocorreu uma aceitação maior, pois em termos de análise sensorial, a aparência externa da carne como o cheiro e o sabor da carne estão relacionados à memória sensorial do consumidor e têm aparece como parâmetro de aceitação ou rejeição do produto, pois, a visão e o olfato evocam o consumo, e o paladar também interage com o olfato odor (Assunção et al., 2017).

Este estudo demonstrou que a suplementação das dietas de matrizes de codornas japonesas com DHA, aumentou significativamente o teor de DHA e EPA do peito, além do teor total de ômega 3, reduzindo a relação n-6/n-3 para um nível mais desejável para a nutrição humana, melhorando a qualidade da carne e fornecendo um método seguro e sustentável de aumentar o consumo de ômega 3 da população humana.

5. CONCLUSÃO

Em conclusão, a suplementação de microalgas enriquecidas DHA na dieta pode melhorar a composição de ácidos graxos da carne do peito sem afetar as características físicas, químicas e sensoriais da carne de matrizes de codornas japonesas. A suplementação de DHA melhora a capacidade antioxidante da carne mesmo com o armazenamento sendo indicado o uso de 0,60 % na dieta de matrizes de codornas para o enriquecimento da carne.

6. REFERÊNCIAS

- Abdulla, N. R.; Mohd Zamri, A. N.; Sabow, A. B.; Kareem, K. Y. ; Nurhazirah. S; Ling, F. .H; Sazili, A. Q. and Loh, T. C. 2017. Physico-chemical properties of breast muscle in broiler chickens fed probiotics, antibiotics or antibiotic–probiotic mix. *Journal of Applied Animal Research* 45: 64–70. <https://doi.org/10.1080/09712119.2015.1124330>
- Adkins, Y. and Kelley, D.S. 2010. Mechanisms underlying the cardioprotective effects of omega-3 polyunsaturated fatty acids. *The Journal of Nutritional Biochemistry*, 21 :781-792. <https://doi.org/10.1016/j.jnutbio.2009.12.004>.
- AMSA . American Meat Science Association; Champaign, IL: 2012. Meat Color Measurement Guidelines.
- Armin, F.; Rahimi, S.; Abkenar, A.M; Ivary, Y.G and Ebrahimi, H. 2015. Effect of *Sargassum sp* and vitamin E on stability of fish oil enriched meat in broiler chickens. *Iranian Journal of Applied Animal Science*, 5(2): 385-392.
- Assunção, A. S. A.; Komiyama, C. M.; Lima, J. D. F. P.; Gonçalves, N. S.; Andrade, A. C. F.; De Andrade, E. A.; Maba, W. C. and Bet, A. D. N. 2017. tratamentomento químico da cama de frango sobre as características sensoriais da carne de frango de corte. In: Anais do IV Workshop de Pós-Graduação em Zootecnia e Ciência Animal do Estado de Mato Grosso do Sul-2017. Aquidauana, MS.
- Bharath, N.; Chinnipreetam, V.; Ravinder, V. and Panda, A.K. 2017. Effect of Omega-3 fatty acids enrichment on performance and carcass traits of broiler. *Indian Journal of Animal Research.*, 51 (3) 2017 : 489-494. <https://doi.org/10.18805/ijar.v0iOF.6997>
- Bleakley, S. and Hayes, M. 2017. Algal proteins: Extraction, application, and challenges concerning production. *Foods*, 6 (5) : 33. <https://doi.org/10.3390/foods6050033>.
- Bligh E.G., Dyer W.J. A rapid method of total lipid extraction and purification. *Can. J. Biochem. Physiol.* 1959;37:911–917.

Dillon, G. P.; Yiannikouris, A.; Brandl, D.; Cardinall, C.; Yuan, W. and Moran, C.D. 2019. Fitness for Purpose and Stability Assessment of Long-Chain Polyunsaturated Fatty Acids in Chicken Tissues. *Regulatory Toxicology and Pharmacology* 103: 93–99. <https://doi.org/10.1016/j.yrtph.2019.01.014>.

El-Bahr, S.; Shousha, S.; Shehab, A.; Khattab, W.; Ahmed-Farid, O.; Sabike, I.; El-Garhy, O.; Albokhadaim, I. and Albosadah, K. 2020. Effect of dietary microalgae on growth performance, profiles of amino and fatty acids, antioxidant status, and meat quality of broiler chickens. *Animals (Basel)* 10(5), 761. <https://doi.org/10.3390/ani10050761>

Faustman C.; Sun Q.; Mancini R. and Suman S.P. 2010. Myoglobin and lipid oxidation interactions: Mechanistic bases and control. *Journal Meat Science*, 86:86–94. <http://dx.doi.org/10.1016/j.meatsci.2010.04.025>.

Fraeye, I.; Bruneel, C.; Lemahieu, C.; Buyse, J.; Muylaert, K. and Foubert, I. 2012. Dietary Enrichment of Eggs with Omega-3 Fatty Acids: A Review. *Food Research International* 48 (2): 961–969. <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2012.03.014>.

Keegan, J.D.; Currie, D.; Knox, C. and Moran, A. 2019. Including DHA-rich *Aurantiochytrium limacinum* in broiler diets increases tissue omega-3 fatty acid content and lowers the n-6:n-3. *British Poultry Science*, 60: 414–422 <https://doi.org/10.1080/00071668.2019.1605153>.

Konieczka, P.; Czauderna, M. and Smulikowska, S. 2017. The enrichment of chicken meat with omega-3 fatty acids by dietary fish oil or its mixture with rapeseed or flaxseed. Effect of feeding duration: dietary fish oil, flaxseed, and rapeseed and n-3 enriched broiler meat. *Animal Feed Science and Technology*, 223:42–52. <https://doi.org/10.1016/j.anifeedsci.2016.10.023>.

Lima, D. M.; Rangel, A.; Urbano, S.; Mitzi, G. and Moreno, G.M. 2013. Oxidação lipídica da carne ovina. *Acta Veterinaria Brasilica*, 7(1), 14–28.

Long, S.F.; Kang, S.; Wang, Q.Q.; Xu, Y.T.; Pan, L.; Hu, J.X.; Li, M. and Piao, X.S.

2018. Dietary supplementation with DHA-rich microalgae improves performance, serum composition, carcass trait, antioxidant status, and fatty acid profile of broilers. *Poultry Science* 97:1881–1890. <https://doi.org/10.3382/ps/pey027>.
- Medeiros, T. T. B. 2014. Desempenho e rendimento de carcaça de codornas de corte originárias de diferentes incubatórios criadas no semiárido Paraibano. Trabalho de Conclusão de Curso (Medicina Veterinária) - Universidade Federal de Campina Grande, Centro de Saúde e Tecnologia Rural.
- Mendonça, M. O. 2015. Desempenho zootécnico e qualidade de ovos de codornas japonesas alimentadas com diferentes rações de ômega-3. Tese (Doutorado em Zootecnia). Departamento de Zootecnia. Universidade Federal de Viçosa. Viçosa.
- Miotto, F. R. C.; Restle, J.; Neiva, J. N. M.; Castro, K. J.; Sousa, L. F.; Silva, R. O.; Freitas, B. B. and Leão, J. P. 2013. Replacement of corn by babassu mesocarp bran in diets for feedlot young bulls. *Revista Brasileira de Zootecnia* 42:213-219. <https://doi.org/10.1590/S1516-35982013000300009>.
- Mohamed L.A.; El-Hindawy M.M.; Alagawany M.; Salah A.S. and El-Sayed S.A. 2019 .Effect of low- or high-CP diet with cold-pressed oil supplementation on growth, immunity and antioxidant indices of growing quail. *Journal Animal Physiology Animal Nutrition*,103(5): 1380-1387. <https://doi.org/10.1111/jpn.13121>.
- Mooney, J.W.; Hirschler, E.M.; Kennedy, A.K.; Sams, A.R. and Van Elswyk, M.E. 1998. Lipid and flavour quality of stored breast meat from broilers fed marine algae. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 78:134–140. [https://doi.org/10.1002/\(SICI\)1097-0010\(199809\)78:1<134::AID-JSFA96>3.0.CO;2-0](https://doi.org/10.1002/(SICI)1097-0010(199809)78:1<134::AID-JSFA96>3.0.CO;2-0)
- Moran, C. A., D. Currie, J. D. Keegan, and A. Knox. 2018. Tolerance of Broilers to Dietary Supplementation with High Levels of the DHA-Rich Microalga, *Aurantiochytrium limacinum*: Effects on Health and Productivity. *Animals* 8 (10): 180. <https://doi.org/10.3390/ani8100180>.
- Moran, C.A.; Morlacchini, M.; Keegan, J.D.; Rutz, F. and Fusconi, G. 2020.

Docosahexaenoic acid enrichment of layer hen tissues and eggs through dietary supplementation with heterotrophically grown *Aurantiochytrium limacinum*. Journal of Applied Poultry Research. 29:152–161. <https://doi.org/10.1016/j.japr.2019.10.002>.

Moran, C.A.; Currie, D. and Knox, A. 2019. Increasing the Omega-3 Content of Hen's Eggs Through Dietary Supplementation with *Aurantiochytrium limacinum* Microalgae: Effect of Inclusion Rate on the Temporal Pattern of Docosahexaenoic Acid Enrichment, Efficiency of Transfer, and Egg Characteristics. The Journal of Applied Poultry Research. 28 (2): 329-338. <https://doi.org/10.3382/japr/pfy075>.

Moussavi, N.; Gavino, V. and Receveur, O.2010. Could the quality of dietary fat, and not just its quantity, be related to risk of obesity? . Obesity 16 (1):51-61.

Petrolli, T.G.I.; Petrolli, O.J.I.I.; Pereira, A.S.C.I.I.I.; Zotti, C.A.I.; Romani, J.I.V.; Villani, R.I.V.; Leite, F.I.V. and Zanandréa, F.M.I.V. 2019. Effects of the Dietary Supplementation with a Microalga Extract on Broiler Performance and Fatty-Acid Meat Profile. Brazilian Journal of Poultry Science, 21(3): 001-008. <http://dx.doi.org/10.1590/1806-9061-2018-0958>.

Ponnampalam, R.N.; Trou, G.R.; Sinclair, A.J.; Egan, A.R. and Leury, B.J. 2001.Comparison of the color stability and lipid oxidative stability of fresh and vacuum packaged lamb muscle containing elevated omega-3 and omega-6 fatty acid levels from dietary manipulation. Meat Science, 58(2): 151-161. [https://doi.org/10.1016/S0309-1740\(00\)00143-1](https://doi.org/10.1016/S0309-1740(00)00143-1)

Ribeiro, T., M. M.; Lordelo, S. P. ; Alves, R. J. B.; Bessa, P. ;Costa, J. P. C.; Lemos, L. M. A. ; Ferreira, C. M.; Fontes,G.A. and Prates, J. A. M.2013. Direct Supplementation of Diet Is the Most Efficient Way of Enriching Broiler Meat with N-3 Long-Chain Polyunsaturated Fatty Acids. British Poultry Science, 54 (6): 753–765. <https://doi.org/10.1080/00071668.2013.841861>.

Richard, D.; Kefi,K.; Barbe, U.; Bausero,P. and Visioli, F.2008. Polyunsaturated fatty acids as antioxidants. Pharmacological Research. 57 :451-455. <https://doi.org/10.1016/j.phrs.2008.05.002>

Sheppard, K.W. and Cheatham, C.L. 2018. Omega-6/Omega-3 fatty acid intake of children and older adults in the U.S.: dietary intake in comparison to current dietary recommendations and the Healthy Eating Index. *Lipids Health* 17 : 43. <https://doi.org/10.1186/s12944-018-0693-9>.

Stark, K.D. ; Van Elswyk, M.E.; Higgins, M.R. ; Weatherford, C.A. and Salem, N. 2016. Global survey of the omega-3 fatty acids, docosahexaenoic acid and eicosapentaenoic acid in the blood stream of healthy adults. *Progress in Lipid Research*, 63: 132-152. <https://doi.org/10.1016/j.plipres.2016.05.001>

Suman S.P. and Joseph P. 2013. Myoglobin chemistry and meat color. *Annual Review Food Science and Technology* 2013;4:79–99. <http://dx.doi.org/10.1146/annurev-food-030212-182623>.

Sun, G. Y. A.; Simonyi, K. L.; Fritsche, D. Y. ; Chuang, M.; Hannink, Z. ; Gu, C. M.; Greenlief, J. K.; Yao, J. C.; and Beversdorf, D.Q. 2018. Docosahexaenoic Acid (DHA): An Essential Nutrient and a Nutraceutical for Brain Health and Diseases. *Prostaglandins, Leukotrienes and Essential Fatty Acids* 136: 3–13. <https://doi.org/10.1016/j.plefa.2017.03.006>.

Swanson, D.;Block, R. and Mousa, S.A. Omega-3 fatty acids EPA and DHA: health benefits throughout life. *Advances in Nutrition*, 3 : 1-7. <https://doi.org/10.3945/an.111.000893>.

Xing, T.; Zhao, X.; Zhang,L.; Li, J. L.; Zhou, G. H; Xu. .X.L. and Gao. F. 2020. Characteristics and incidence of broiler chicken wooden breast meat under commercial conditions in China. *Poultry Science*,99(1): 620–628. <https://doi.org/10.3382/ps/pez560>.

637 **TABELA 1.** Composição das dietas experimentais para matrizes de codornas
638

Ingredientes	Níveis de DHA %				
	0	0,015	0,030	0,045	0,060
Milho Grão	57,45	57,45	57,45	57,45	57,45
Farelo de Soja (45%)	30,81	30,81	30,81	30,81	30,81
Calcário Calcítico	6,80	6,80	6,80	6,80	6,80
Fosfato Bicálcico	1,30	1,30	1,30	1,30	1,30
Óleo de Soja	1,60	1,60	1,60	1,60	1,60
Sal Comum	0,33	0,33	0,33	0,33	0,33
L-Lisina (78%)	0,31	0,31	0,31	0,31	0,31
DL- Metionina (98%)	0,41	0,41	0,41	0,41	0,41
Amido	0,56	0,06	0,13	0,13	0,00
Antioxidante ²	0,06	0,06	0,06	0,06	0,06
Bicarbonato de Sódio	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02
Suplemento Vitamínico e Mineral ¹	0,40	0,40	0,40	0,40	0,40
DHAgold ^{TM3}	0	0,088	0,176	0,265	0,353
Inerte ⁴	0,00	0,42	0,27	0,17	0,21
Composição Calculada					
Energia Metabolizável (Mcal/kg)	2.896	2.896	2.896	2.896	2.896
Proteína (%)	19,00	19,00	19,00	19,00	19,00
Cálcio (%)	3,00	3,00	3,00	3,00	3,00
Cloro (%)	0,26	0,26	0,26	0,26	0,26
Potássio (%)	0,75	0,75	0,75	0,75	0,75
Fósforo Disponível (%)	0,32	0,32	0,32	0,32	0,32
Extrato Etéreo (%)	4,21	4,21	4,21	4,21	4,21
Lisina Digestível	1,15	1,15	1,15	1,15	1,15
Metionina + Cistina digestível	0,94	0,94	0,94	0,94	0,94
Treonina Digestível	0,66	0,66	0,66	0,66	0,66
Triptofano Digestível	0,21	0,21	0,21	0,21	0,21
Sódio (%)	0,15	0,15	0,15	0,15	0,15
BED (mEq/kg)	180,72	180,72	180,72	180,72	180,72

639 1 Quantidade por kg do produto – Vitamina A 2.500.000 UI; Vitamina D3: 500.000 UI; Vitamina E: 6.250
640 mg; Vitamina K3: 750 mg; Vitamina B1: 625 mg; Vitamina B2: 1.500 mg; Vitamina B6: 1.250 mg;
641 Vitamina B12: 5.000 mg; Pantotenato de cálcio: 3.000 mg; Niacina: 6.000 mg; Ácido Fólico: 250 mg;
642 Biotina: 50 mg; Colina: 75 g; Zinco: 13 g; Ferro: 13 g; Manganês: 15 g; Cobre: 3.000 mg; Iodo: 250 mg;
643 Cobalto: 50 mg; Se: 63 mg; Etoxim: 25 mg. 2 Banox - Altech (mistura de antioxidantes) 1mg por kg de
644 ração. 3 Produto comercial DHA gold S17-B DSM proveniente de microalgas da espécie *Schizochtrium sp*
645 com 17 % de DHA. 4 Inerte- caulim

646

647

648

649

650 **TABELA 2.** Perfil de ácido graxo do produto da microalga como fonte de DHA (%) e
651 das dietas experimentais
652

Ácido Graxo	DHAgold™	0	0,015 %	0,030 %	0,045 %	0,060 %
LA	2,08	13,58	13,72	13,89	14,05	14,10
LNA (C18:3n3)	3,55	0,90	1,10	1,32	1,45	1,65
AA (C20:4)	1,03	0,01	0,02	0,03	0,05	0,06
EPA (C20:5 n3)	2,58	0,01	0,02	0,04	0,06	0,08
DHA (C22:6n3)	22,02	0,001	0,020	0,040	0,060	0,070
Total N6 (LA + AA)	3,11	13,59	13,74	13,92	14,10	14,46
Total N3 (LNA + DHA+ EPA)	28,15	0,911	1,14	1,4	1,57	1,80
N6:N3	9,05	14,91	12,05	9,94	8,98	8,03

653
654
655
656
657
658
659
660
661
662
663
664
665
666

TABELA 3. Rendimento de carcaça, peso relativo dos órgãos comestíveis e coloração do músculo do peito de codornas japonesas alimentadas com diferentes níveis de DHA com 24 semanas (n=10)

Variável	DHA %					Média	CV (%)	P-valor
	0	0,015	0,030	0,045	0,060			
<i>Rendimento Carcaça</i>								
Peso (g)	149,51	157,36	152,39	156,29	164,21	154,49	5,65	0,427
Carcaça (%)	52,42	54,14	52,37	54,63	51,81	53,02	1,43	0,595
Peito (%)	41,91	40,50	39,57	40,34	41,30	40,73	0,82	0,033 L ¹
Coxa + sobrecoxa (%)	26,15	26,12	32,02	25,90	26,97	27,47	3,01	0,569
Asa (%)	8,95	8,46	8,90	8,51	8,60	8,69	0,35	0,810
<i>Peso relativo órgãos (%)</i>								
Coração	0,99	0,99	0,90	1,02	0,84	0,95	0,062	0,267
Moela	2,90	2,70	2,54	2,70	2,51	2,67	0,13	0,254
Fígado	2,81	2,69	2,79	2,80	2,82	2,78	0,18	0,984
<i>Coloração da Carne</i>								
Luminosidade	45,81	45,50	43,88	43,98	44,08	44,66	0,56	0,0404 L ²
Vermelho/verde	8,30	8,53	8,76	9,67	9,70	8,98	0,39	0,485
Amarelo/azul	2,72	2,85	2,70	2,94	2,47	2,74	0,24	0,730

L – Regressão linear, Q – Regressão quadrática.

¹ŷ = 41,9246- 132,45 DHA; R² : 0,80 ;

² ŷ = 46,01-81,73 DHA; R² : 0,80.

TABELA 4. Valores médios dos parâmetros de qualidade de carne: pH, perda de água por gotejamento (PG %), perda de água por cocção (%) e força de cisalhamento nos músculos do peito de codornas japonesas alimentadas com diferentes níveis de DHA com 24 semanas (n=10)

Variável	DHA %					Média	CV (%)	P-valor
	0	0,015	0,030	0,045	0,060			
PG (%)	0,45	0,79	0,51	0,54	0,56	0,57	0,10	0,164
Perda por cocção (%)	8,94	11,25	8,64	9,83	10,85	9,86	0,94	0,219
Força de cisalhamento (kgf/cm ⁻²)	30,27	31,67	29,66	23,38	30,19	29,27	1,96	0,095
pH 45 minutos	5,85	5,67	5,41	5,56	5,80	5,65	0,09	0,130
pH 24 horas	5,50	5,54	5,40	5,48	5,52	5,50	0,05	0,856

PG- perda de água por gotejamento

TABELA 5. Composição química do músculo do peito de fêmeas alimentadas com diferentes níveis de DHA com 24 semanas (n=10)

Variável	DHA %					Média	CV (%)	ANOVA
	0	0,015	0,030	0,045	0,060			
MS (%)	23,97	23,98	24,87	23,99	24,25	24,21	0,77	0,906
MM (%)	1,64	1,82	1,73	1,76	1,85	1,76	0,12	0,786
PB (%)	10,16	10,27	12,89	12,34	13,54	2,66	0,20	0,006 L ¹
EE (%)	3,36	3,33	2,333	2,16	1,98	11,76	0,07	0,004 L ²

MS- Matéria seca, MM- Matéria mineral, PB- Proteína Bruta, EE- Extrato Etéreo.

¹ $\hat{y} = 9,9714 + 81,2496 \text{ DHA}$; R²: 0,74.

² $\hat{y} = 3,4733 - 36,6788 \text{ DHA}$; R²: 0,85;

TABELA 6. Composição de ácido graxos Polinsaturados do músculo do peito de fêmeas alimentadas com diferentes níveis de DHA com 24 semanas de idade (n=5)

Variável	DHA %					Média	CV (%)	P-valor
	0	0,015	0,030	0,045	0,060			
Ácido Linoleico	15,44	14,91	13,92	13,21	13,44	14,18	0,17	0,006 L ¹
Ácido Alfa Linolênico	1,00	1,14	1,15	1,23	1,28	1,16	0,03	0,171
Ácido Araquidônico	2,44	2,08	2,14	1,38	1,71	1,95	0,16	0,077
Ácido Eicosapentaenoico	0,05	0,11	0,12	0,16	0,19	0,13	0,01	<0,001 L ²
Ácido Docosaexaenoico	0,01	0,152	0,293	0,473	0,500	0,29	0,01	0,002 L ³
Total N6	16,88	16,98	16,06	14,58	15,14	15,92	0,22	0,001 L ⁴
Total N3	1,05	1,31	1,56	1,86	1,98	1,55	0,03	0,003 L ⁵
Relação LA:LNA	16,03	12,98	10,33	7,85	7,67	10,97	0,30	0,001 L ⁶

N6- ômega 6, N3- ômega3, LA- ácido linoleico, LNA- ácido alfa linolênico.

¹ $\hat{y} = 15,4783 - 66,6632 \text{ DHA}$; $R^2 : 0,91$;

² $\hat{y} = 0,0504 + 3,0061 \text{ DHA}$; $R^2 : 0,93$;

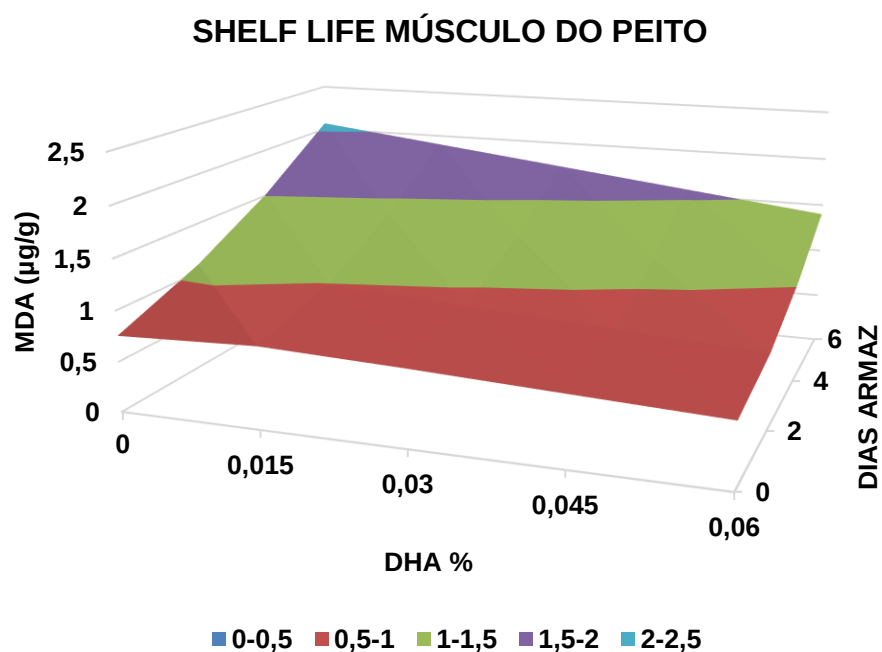
³ $\hat{y} = -0,0016 + 12,2857 \text{ DHA}$; $R^2 : 0,94$;

⁴ $\hat{y} = 1,0302 + 19,3509 \text{ DHA}$; $R^2 : 0,97$;

⁵ $\hat{y} = 16,1879 + 243,7572 \text{ DHA}$; $R^2 : 0,97$;

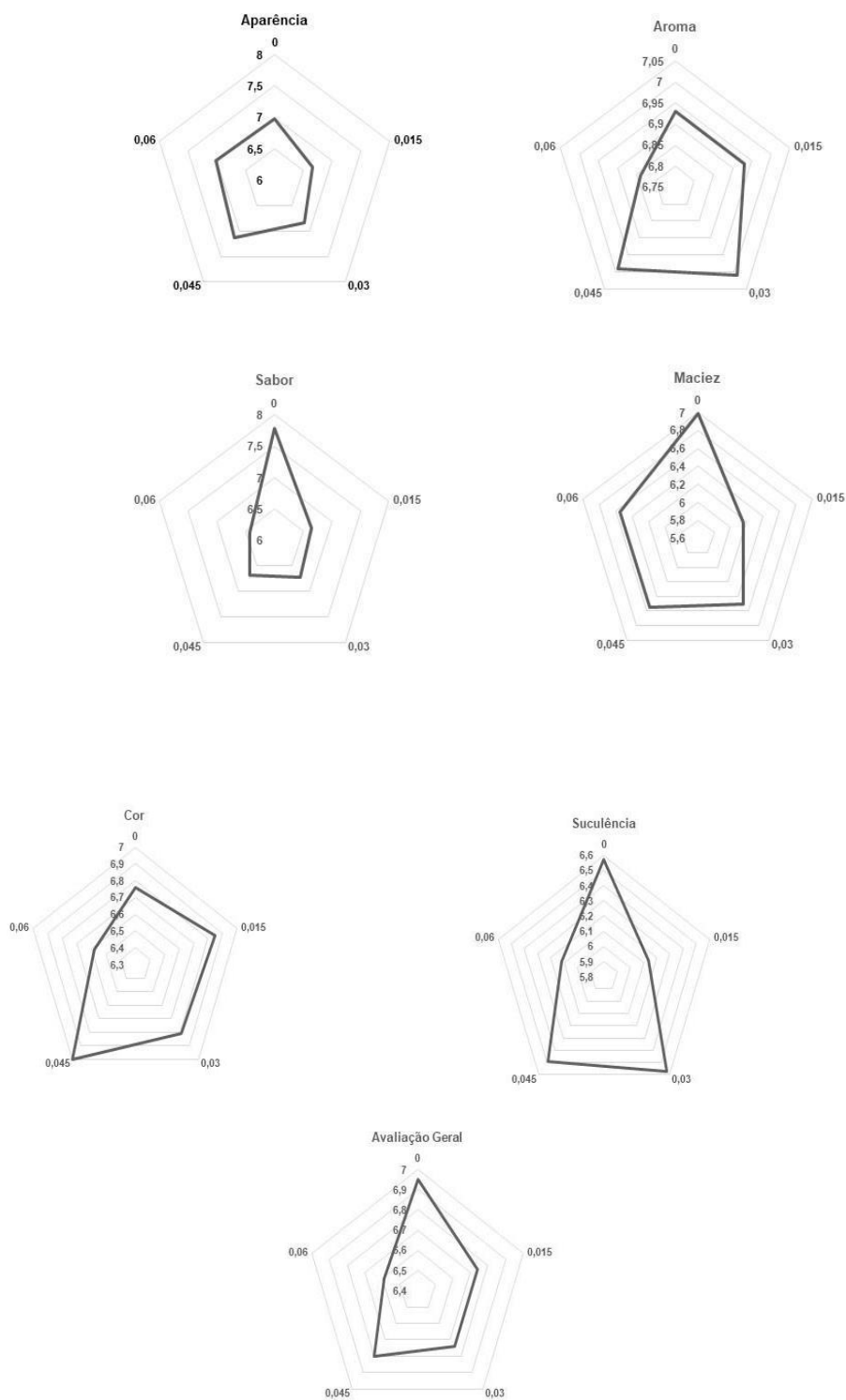
⁶ $\hat{y} = 16,1889 - 258,3624 \text{ DH}$; $R^2 : 0,97$.

Figura 1 . Análises da interação das médias da peroxidação lipídica medida pela concentração de MDA (µg/g) no shelf life da carne do peito de matrizes de codornas japonesas alimentados com diferentes níveis de DHA em função da interação entre os dias de armazenamento e os níveis de DHA na dieta (n=5)



A equação da interação : $\hat{y} = 0,7533 + 0,1327DIA + 0,014DIA^2 - 2,7894DHA - 1,3886 DIA \times DHA$; $p < 0,001$.

Figura 2. Atributos sensoriais da carne de peito de matrizes de codornas japonesas alimentadas com diferentes níveis de DHA ($p<0,005$)



VI. RELAÇÃO DE ÁCIDOS LINOLEICO E ALFA LINOLÊNICO E VITAMINA E SOBRE O DESEMPENHO PRODUTIVO, O PERFIL BIOQUÍMICO SÉRICO E A COMPOSIÇÃO DA GEMA DE CODORNAS JAPONESAS

Artigo Redigido nas Normas da Brazilian Journal of Poultry Science

RESUMO

A vitamina E em aves possui efeitos benéficos no desempenho produtivo e reprodutivos, e age como antioxidante protegendo os ácidos graxos poliinsaturados da família do ômega-3 como o ácido alfa linolênico (LNA) e o ácido linoleico (LA). Desta forma objetivou-se avaliar os efeitos da vitamina E em dietas contendo duas relações LA:LNA sobre o desempenho produtivo, a qualidade dos ovos, a composição ovo e os parâmetros bioquímicos de reprodutores de codornas japonesas. O delineamento utilizado foi inteiramente ao acaso, em esquema fatorial 2×3 com duas relações LA:LNA (9,29:1 e 13,75:1) $\times$ três níveis de vitamina E (25, 200 e 250 mg). com 10 repetições de 6 fêmeas+2 machos. Os dados foram submetidos à análise de variância em esquema fatorial pelo teste de Tukey. Não houve efeito significativo das interações para o desempenho e qualidade de ovo. Os ovos das fêmeas alimentadas com a relação LA:LNA de 9,29 apresentaram a menor percentagem de gema e a maior percentagem de albúmen e maior luminosidade. Fêmeas e machos recebendo a relação de 13,75 apresentaram maiores níveis de triglicerídeos e colesterol sérico. Nas fêmeas foi observado efeito de interação para os teores de HDL e LDL sérico, onde as matrizes que receberam a ração com a relação 9,29 e 200 mg de vitamina E aumentaram os teores de HDL e reduziram o de LDL. Para a composição bromatológica da gema, não foi observado efeito dos tratamentos. Conclui-se que a relação 9,29 com a suplementação de 200 mg de vitamina E pode ser fornecida aos reprodutores de codornas japonesas sem afetar o desempenho produtivo e melhorar a composição bioquímica do sangue e da gema.

Palavras-chave: ácidos graxos polinsaturados, *Coturnix japonica*, α -tocoferol, ovo.

ABSTRACT

Vitamin E in poultry has beneficial effects on productive and reproductive performance and acts as an antioxidant protecting polyunsaturated fatty acids of the omega-3 family such as alpha linolenic acid (LNA) and linoleic acid (LA). The aim of this study was to evaluate the effects of vitamin E in diets containing two LA:LNA ratios on the production performance, egg quality, egg composition, and biochemical parameters of Japanese quails. The design used was entirely randomized, in a 2×3 factorial scheme with two LA:LNA ratios (9.29:1 and 13.23:1) × three levels of vitamin E (25, 200 and 250 mg). with 10 replicates of 6 females + 2 males. The data were submitted for analysis of variance in a factorial scheme using the Tukey test. There was no significant effect of the interactions on egg performance or egg quality. Eggs from females fed an LA:LNA ratio of 9.29 had the lowest percentage of yolk and the highest percentage of albumen and the highest luminosity. Females and males fed a ratio of 13.75 had higher levels of triglycerides and serum cholesterol. In females, an interaction effect was observed for serum HDL and LDL levels, where sows receiving the 9.29 ratio and 200 mg of vitamin E increased HDL levels and reduced LDL levels. There was no effect of the treatments on the bromatological composition of the yolk. It can be concluded that the 9.29 ratio with the supplementation of 200 mg of vitamin E can be fed to Japanese quail breeders without affecting productive performance and improving the biochemical composition of the blood and yolk.

Keywords: α -tocopherol, *Coturnix japonica*, egg, polyunsaturated fatty acid.

1. INTRODUÇÃO

O enriquecimento com ácidos graxos polinsaturados (PUFA) principalmente os ácidos graxos alfa linolênico (LNA) e docosahexaenoico (DHA) na dieta de aves têm sido investigados, devido aos seus efeitos benéficos sobre o desempenho produtivo e reprodutivo, além de enriquecer os produtos avícolas com LNA. Esta prática de suplementação tem sido mais utilizada comercialmente. No entanto, esses ácidos graxos aumentam também a susceptibilidade à oxidação, devido ao grande número de duplas ligações presentes nesses ácidos graxos. A principal fonte vegetal utilizada é a linhaça, que é rica em LNA (Mousa et al., 2017).

A linhaça (*Linum usitatissimum*) tem sido testada como fonte de precursor do LNA na dieta de poedeiras e de codornas pela possibilidade de conversão deste em ácidos graxos insaturados de cadeia longa, como o ácido eicosapentaenoico (EPA) e o ácido docosahexaenoico (DHA) (Panaite et al., 2021; Coorey et al., 2015 & Keum et al., 2018). No entanto, algumas desvantagens no uso da linhaça como fonte de LNA para enriquecer ovos, são observadas algumas desvantagens, como sua alta susceptibilidade à oxidação. Assim, as dietas ricas em PUFA aumentam a necessidade de uso de substâncias antioxidantes. O aumento da oxidação em ovos enriquecidos com LNA reduz o valor nutricional e desenvolve um sabor indesejável (Panaite et al., 2021). O aumento da oxidação do LNA também afeta a sua conversão em EPA e DHA nos tecidos em geral levando a uma baixa suplementação desses ácidos no ovo, podendo afetar o desenvolvimento embrionário (Shinn et al., 2018).

O uso de antioxidantes naturais tem sido uma alternativa para aumentar a capacidade de conversão de LNA em EPA e DHA, devido à diminuição da oxidação desses ácidos graxos (Vlaicu et al., 2021 & Njembe et al., 2021), para melhorar o status antioxidante

em aves (Wen et al., 2019) e para satisfazer as preocupações dos consumidores sobre a segurança e toxicidade de antioxidantes sintéticos (Kavtarashvili et al., 2018). Portanto, há um crescente interesse na adição de antioxidantes naturais, que são melhores do que compostos antioxidantes sintéticos. Um antioxidante natural que vem sendo bastante utilizado é a vitamina E que é uma forma eficiente de prevenir a peroxidação lipídica em ovos (Kavtarashvili et al., 2018 & Untea et al., 2020). As propriedades antioxidantes da vitamina E contribuem para a redução do estresse oxidativo, protegendo e mantendo o equilíbrio oxidação-redução nos tecidos (Han et al., 2019).

A oxidação lipídica pode ocorrer na carne, nos tecidos e na gema dos ovos, que causa perdas do valor nutricional, bem como a formação de compostos potencialmente tóxicos, que comprometem a qualidade dos produtos, o desempenho produtivo e reprodutivo das aves (Elwan et al., 2019). Os antioxidantes naturais impossibilitam o ataque dos radicais livres aos lipídios, proteínas e às duplas ligações dos ácidos graxos polinsaturados, evitando assim a formação de lesões nos tecidos e a perda da integridade dos produtos, como os ovos (Alagawany et al., 2018).

Há pouca informação na literatura sobre a influência da vitamina E em dietas contendo baixas relações de LA:LNA na dieta de reprodutores de codornas. Portanto, a hipótese do estudo foi que a vitamina E poderia melhorar o desempenho e outros parâmetros de codornas alimentadas com baixa relação, que contêm uma alta concentração de ácidos graxos polinsaturados da família do ômega-3, que são suscetíveis à oxidação. Estudos prévios determinaram para matrizes de codornas que a relação LA:LNA de 9,29:1 não afeta o desempenho produtivo e a qualidade de ovo, porém melhoram os parâmetros de incubação e a qualidade do pintinho (Silva et al., 2024). Desta forma, os efeitos da vitamina E em dietas contendo duas relações LA:LNA sobre o desempenho produtivo, qualidade dos ovos, composição ovo e parâmetros bioquímicos

de reprodutores de codornas japonesas foram estudados.

2. MATERIAL E MÉTODOS

O projeto possui parecer para execução na Comissão de Ética no Uso de Animais em experimentação da Universidade Estadual de Maringá/Maringá-PR sob o protocolo de número 312406021.

2.1 ANIMAIS E MANEJO

Foram utilizadas 480 codornas japonesas (360 fêmeas + 120 machos) com 14 semanas, selecionadas por peso ($160 \pm 1,10$ fêmeas e $125 \pm 1,50$ g machos) e postura ($90\% \pm 5\%$). As aves foram alojadas em galpão de postura equipada com gaiolas metálicas de ferro galvanizado (25×39 cm), com bebedouro tipo nipple e comedouro tipo calha. O controle de iluminação foi de 17 horas de luz (natural + artificial) para manter a estimulação da oviposição das aves. Ração e água foram fornecidas *ad libitum* durante todo o experimento.

2.2 DELINEAMENTO E DIETAS EXPERIMENTAIS

O delineamento experimental utilizado foi inteiramente ao acaso, em esquema fatorial 2×3 , com duas relações de LA:LNA (9,29:1 e 13,23:1) e três níveis de vitamina E (25, 200 e 250 mg), com 10 repetições com 8 aves (6 fêmeas + 2 machos). A fonte de vitamina E utilizada foi o acetato de tocoferol (500 g/kg de produto, Basf®). Foi utilizado óleo de soja refinado como fonte de LA, e óleo de linhaça dourada (Cisbra extraído a frio) para LNA. As dietas foram formuladas baseadas em milho e farelo de soja (Tabela 1),

conforme a composição dos ingredientes e exigências nutricionais para codornas em fase de postura das tabelas brasileiras de aves e suínos (Rostagno et al. 2017), os teores de ácido graxos da ração e dos óleos estão descritos na Tabela 2. A exigência de vitamina E na dieta basal seguiu a recomendação do NRC (1994) de 25 mg/kg de ração, e a quantidade fornecida de vitamina E na dieta para nível testado está descrita na Tabela 3.

2.3 DESEMPENHO E QUALIDADE DE OVO

As aves foram avaliadas após 07 dias de período de adaptação às dietas em 03 ciclos produtivos de 21 dias cada, totalizando um período experimental de 63 dias. No desempenho produtivo foram avaliados a produção de ovos (%/ave/dia), o consumo médio de ração (g/ave/dia), a conversão alimentar (CA g/g e g/dúzia) e a massa de ovo (g/ave/dia). Devido à mesma gaiola possuir machos e fêmeas, o desempenho produtivo considerou o consumo dos machos e fêmeas para os cálculos.

Para a avaliação da qualidade de ovos, foram coletados nos três últimos dias de cada ciclo, três ovos de cada repetição. Os ovos foram coletados aleatoriamente, identificados e pesados em balança digital com precisão 0,01 g. A gravidade específica (GE) foi aferida pelo método de flutuação de cada ovo em solução salina com densidade estabelecida em 1.055 a 1.090 g de sal/cm³ de água, utilizando-se um densímetro de petróleo, conforme metodologia descrita por Hamilton (1982). Em seguida, os ovos foram quebrados sobre uma superfície de vidro plana e nivelada, para aferir a altura do albúmen e da gema (mm) e o diâmetro da gema utilizando-se paquímetro digital. A Unidade Haugh (UH) foi determinada pela fórmula de Haugh (1937) em que: UH= Unidade Haugh, AAlb = Altura de albúmen denso (mm), P = peso do ovo (g).

O índice de gema (IG) foi determinado pelo produto da altura pelo diâmetro da gema e o peso da gema e da casca foram obtidos em balança digital (0,01 g). As cascas foram previamente lavadas, secas em estufa (72 h) e pesadas. A espessura da casca (EC) foi obtida em 3 pontos na porção média do ovo, com auxílio de micrômetro digital (Mitutoyo Co., Modelo 700s, Kawasaki, JP). O peso do albúmen foi obtido pela diferença entre peso do ovo e da gema e casca em cada ovo. Os pesos relativos de cada componente do ovo (gema, de albúmen e de casca), foram obtidos através da divisão dos componentes pelo peso do ovo.

A quantificação de cor foi realizada com o colorímetro Konica Minolta CR-400, previamente calibrado em base branca de acordo com os padrões pré-estabelecidos. A medição da coloração foi feita diretamente na superfície da gema que era acondicionada em recipiente para que permitisse o contato com o equipamento sem que ela se movesse, mantendo a integridade da gema. Foram avaliados três parâmetros de cor, pelo sistema Cielab, sendo eles: L* (luminosidade), a* (teor de vermelho) e b* (teor de amarelo).

2.4 BIOQUÍMICA SÉRICA

Ao final do experimento, foi colhido sangue da veia da asa de 10 fêmeas e 10 machos, uma ave por unidade experimental em cada tratamento. As amostras de sangue foram centrifugadas a 3000 rpm (15 min) e o soro aliquoteado e congelado para análises bioquímicas. Os níveis séricos de colesterol, lipoproteína de baixa densidade (LDL), colesterol lipoproteína de alta densidade (HDL) e triglicerídeos totais foram determinados usando kits de reagentes seguindo as instruções do fabricante e usando um analisador bioquímico Bioplus.

2.5 ANÁLISE DE COMPOSIÇÃO DA GEMA

A composição química da gema foi determinada em 10 pool de 5 gemas/tratamento. O conteúdo das gemas foi isolado da membrana perivitelínica, homogeneizado, congelado em ultra-freezer -80C e liofilizado. As metodologias utilizadas seguiram orientações da AOAC (2005) e foi determinado os teores de matéria seca (925-09), matéria mineral (923-03), proteína bruta (920-87) e extrato etéreo (920-85).

2.6 ANÁLISES DE ÁCIDOS GRAXOS

As análises de composição de AG da gema, ração e óleo, foram feitas de forma qualitativas. Foram utilizados 2 pools de conteúdo de gema por tratamento foram preparados e 02 amostras de ração de cada tratamento foram congelados em ultrafreezer -80C. As amostras de óleo de soja e linhaça foram analisadas em 2 amostras cada. De cada amostra de ração ou conteúdo da gema foram obtidos os extratos lipídicos com a adaptação do método de extração descrito por Bligh & Dyer (1959). Foram utilizadas 3g de amostra e adicionados água destilada (12ml), metanol (30ml), clorofórmio (30ml) e mais 15 ml de água destilada, agitado por 12 minutos, filtrado a vácuo em funil de buchner e o conteúdo foi transferido para um funil de separação de fases. Na sequência as amostras foram drenadas e a fase inferior contendo o clorofórmio que foi evaporada. Em seguida as amostras foram transesterificadas, conforme método 5509 da ISSO (1978), em solução de n-heptano e KOH/metanol. Os ésteres de ácido graxos foram separados no cromatógrafo gasoso, equipado com detector de ionização de chama e coluna capilar de sílica fundida. A identificação dos ácidos graxos foi realizada através da comparação dos tempos de retenção com padrões Sigma, e as concentrações determinadas através do

cálculo de área de picos com integrados – processador.

2.6 ANÁLISE ESTATÍSTICA

Os dados foram submetidos ao teste de normalidade Shapiro Wilks e por meio análise de variância utilizando o programa Statistical Analysis System (SAS®). As médias foram analisadas em esquema fatorial 2 x 3, com duas relações (9,29:1 e 13,75:1) e com 3 níveis de vitamina E na dieta (0, 200 e 250 mg/kg) e sua interação. As médias de cada relação e níveis de vitamina E foram comparadas entre si pelo teste de Tukey.

3. RESULTADO

3.1 DESEMPENHO PRODUTIVO E QUALIDADE DE OVO

Não houve efeito significativo da interação entre as relações de LA:LNA e os níveis de vitE ou efeitos isolados sobre a taxa de postura, o consumo de ração e a conversão alimentar (Tabela 4). Para a massa de ovos, houve um efeito significativo nos níveis de vitE ($p = 0,0095$), sendo que a suplementação de 250 mg apresentou a menor massa de ovo (10,23).

Para as variáveis de qualidade interna e externa do ovo e coloração da gema não foram observadas interações significativas entre as LA:LNA e a vitE ou seus efeitos isolados ($p > 0,05$) (Tabela 5). Já para percentagem de gema ($p = 0,005$) e de albúmen ($p = 0,004$) houve efeito das relações LÁ:LNA, com menor percentagem de gema e maior percentagem de albúmen para a relação de 9,29-

3.2 BIOQUÍMICA SÉRICA

Houve um feito significativo da relação LA:LNA sobre os níveis de triglicerídeos e de colesterol no sangue das matrizes de codornas japonesas analisadas. As fêmeas com a relação de 13,75 tiveram níveis de triglicerídeos e colesterol maiores (600,80 e 202,00 mg/dL, respetivamente) quando comparado à relação 9,29 (261,13 e 179,93 mg/dL, respetivamente) (Tabela 6).

As relações LA:LNA e os níveis de vit E tiveram interação significativa para os níveis de HDL e LDL séricos. O desdobramento da interação demonstrou que as matrizes que receberam a ração com a relação 9,29 e os níveis de vitE aumentaram os teores de HDL, tendo a maior concentração na dieta 9,29 com a suplementação de vitE 200 mg, enquanto as matrizes com 13,75 e adição de 25 e 200 mg houve uma redução nos valores. O efeito contrário foi observado na interação para o LDL, em que houve diminuição nas médias no grupo 9,29 com 200 mg de vitamina E aumentou quando a relação foi de 13,75 em todos os níveis de suplementação. (Tabela 6).

Para a bioquímica sérica do sangue de machos (Tabela 7) foi observado efeito significativo para os parâmetros de triglicerídeos, colesterol e LDL, tendo os maiores valores nas aves que receberam a relação 9,29. A suplementação de vitamina E afetou os teores de triglicerídeo, com o nível mais baixo com 200 mg e o maior com 250 mg. Os valores de LDL também tiveram diferenças significativas, sendo que o maior valor com 200 mg e o menor com 250 mg.

3.3 COMPOSIÇÃO DA GEMA

Para os teores de ácidos graxos, analisados de forma qualitativa, na relação de 9,29,

foi observado um aumento no teor de ácidos alfa linolênico, DHA e EPA. Na relação 13,75, os maiores teores foram os dos ácidos graxos ácido linoleico e AA, apresentando uma relação de LA:LNA de 9,66 e 13,70 respectivamente (Tabela 8).

Para os teores de MS, MM e PB não foi observada interação significativa das relações de LA:LNA e dos níveis de vit E. Para a composição bromatológica da gema, foi observado que a relação 9,29 diminuiu o teor de EE e que a suplementação de vit E afetou o teor de proteína bruta na gema, tendo a maior concentração no tratamento com 250 mg (Tabela 9).

4. DISCUSSÃO

4.1 DESEMPENHO PRODUTIVO E QUALIDADE DE OVO

De modo geral, as relações e os níveis de vitamina E na alimentação de reprodutores de codornas não afetaram o desempenho produtivo. Em concordância com esse estudo, Abadi et al. (2016) observaram que a suplementação de até 240 mg de vitamina E não afetou o consumo de ração e a conversão alimentar. As relações utilizadas não apresentaram efeito sobre a taxa de postura, consumo de ração diário, conversão alimentar (g/g e g/dúzia) e massa de ovos (Tabela 4). Esses resultados corroboram com os observados por Castro et al. (2020), que ao utilizarem três relações de 1; 4; e 10:1 de LA:LNA para matrizes de codornas não observaram diferença para o consumo de ração. Porém, as relações mais baixas como 4:1 e 1:1 apresentaram diferença na postura, na relação mais próxima da usada neste estudo foi a que apresentou a menor taxa de postura.

Os parâmetros de qualidade de ovo, não apresentaram interação. Em nossos estudos, o peso da casca foi influenciado pelos níveis de vitamina E, onde a suplementação com

200 mg apresentou o maior peso. O peso da casca é influenciado pelo metabolismo do cálcio. Estudo demonstrou que, ao suplementar galinhas com vitamina E, foram observadas maiores concentrações séricas de cálcio no soro e, com o aumento de cálcio circulante, obteve-se uma maior deposição na casca (El-Hack et al., 2017). A peroxidação lipídica nas membranas celulares reduz os teores de cálcio, zinco e vitelogenina, devido a liberação de ácidos graxos que formam sabões com os minerais, assim não sendo absorvidos e nem utilizados pelo organismo. Com a diminuição dos danos oxidativos, o cálcio no sangue consegue se manter em níveis maiores (Bollengier et al., 1998), isso pode ter ocorrido neste trabalho devido à suplementação com ácidos graxos poliinsaturados e com a suplementação da vitamina E que preveniu esses danos oxidativos e a diminuição nos valores de MDA.

A relação 9,29 diminuiu o peso da gema e aumentou o peso do albúmen. A gema de ovo é composta por cerca de 30% de lipídios, cuja composição varia conforme a idade e dieta da galinha (Sahan et al., 2014). Relatos são sugeridos que o aumento de AGPI n-3 na dieta de poedeiras pode ter efeitos adversos sobre o peso da gema, pois os ácidos graxos LNA são mais utilizados para a formação de membranas celulares, tecido ósseo e eicosanoides. Com a maior absorção do LNA eles vão diminuir na deposição de gordura, com isso a gema pode apresentar uma menor concentração de lipídios e o maior teor de proteína, assim tendo uma diminuição no seu peso (Castro et al. 2020).

Os achados deste trabalho corroboram com os dados de Roll et al. (2014), utilizando óleo de canola e selênio orgânico, não encontrou interação significativa para nenhum dos parâmetros de desempenho e qualidade de ovo. Onde a associação de vitamina E com diferentes relações podem ser utilizados sem afetar o desempenho produtivo de reprodutores de codornas japonesas.

4.2 BIOQUÍMICA SÉRICA

Os níveis de triglicerídeos e colesterol foram afetados com a modificação da relação LA:LNA da dieta, onde a diminuição da relação LA:LNA, aumenta as concentrações de ácido alfa linolênico, DHA e EPA na dieta de codornas japonesas e interfere nas concentrações séricas de triglicerídeos e colesterol total. Com o aumento da concentração de LNA na dieta, com a inclusão de óleo de linhaça nesse trabalho, afetou o metabolismo de lipídios devido ao aumento no tamanho da cadeia, pois esses ácidos graxos têm maior afinidade pelas rotas utilizadas pelos triglicerídeos e colesterol. Com isso foi observado uma diminuição nos níveis de triglicerídeos, colesterol e LDL séricos e um aumento de HDL na relação 9,29. O mesmo foi observado por Saeidi et al. (2016), que ao fornecer 4 níveis de ácidos graxos de cadeia média para codornas japonesas, observou uma diminuição nos níveis de triglicerídeos, colesterol e LDL e um aumento do HDL.

A modificação no teor de colesterol observado neste trabalho ocorreu provavelmente pela ação bioquímica do LNA que pode inibir a atividade das enzimas responsáveis pela síntese de colesterol no fígado. As principais enzimas do fígado que auxiliam na síntese de colesterol são a 7 alfa-hidroxilase e beta-hidroximetilglutaril-coa, que transforma mevalonato em esqueleto para produzir colesterol, com a suplementação de LNA ocorre uma diminuição na produção dessas enzimas assim tendo uma diminuição na síntese de colesterol (Lehninger et al., 2014).

O LNA também pode apresentar efeitos hipocolesterolêmicos que afetam a produção de LDL, com redução da atividade de enzimas hepáticas relacionadas com a síntese de ácidos graxos, e com isso reduzir a síntese de lipoproteínas de muita baixa densidade (VLDL). Tendo assim uma redução nos níveis de lipoproteínas de baixa densidade (LDL), devido ao aumento das excreções biliares e fecais de colesterol, com isso a

diminuição do teor de colesterol e uma baixa na taxa de síntese de triglicerídeos no fígado (Santos,2001). Esse mesmo efeito metabólico provavelmente ocorreu nas aves deste trabalho devido ao aumento da concentração de ômega 3 com a inclusão de óleo de linhaça na dieta.

Com a suplementação de vitamina E no presente estudo ocorreu uma diminuição nos níveis de LDL e um aumento do HDL sérico nas fêmeas. Esses resultados ocorreram, pois, no plasma, os tocoferóis estão ligados às lipoproteínas HDL e LDL para poder ser transportado e absorvido no organismo. O LDL pode causar diversas doenças cardiovasculares e uma alta toxicidade e aterogenicidade no organismo quando sofre oxidação. A vitamina E, além de ser transportada por esse colesterol, ajuda a proteger contra a oxidação e protege as paredes das artérias (Martínez et al., 2002).

Os teores de LDL e HDL são influenciados pela atividade hepática, onde os ácidos graxos poliinsaturados na dieta aumentam a atividade relacionada com a oxidação dos ácidos graxos. A enzima responsável é a enzima carnitina palmitoil transferase hepática, que aumenta a oxidação. A interação entre as relações e a vitamina E foi observado que a relação 9,29 com 200 mg apresentou os melhores valores para LDL e HDL, isso pode ser consequência de a ativação da enzima causar redução nos teores de colesterol derivado dos ômegas-3 e a diminuição na atividade oxidativa devido à vitamina E (Martínez et al., 2002).

4.3 COMPOSIÇÃO DA GEMA

O teor de gordura da gema foi maior na relação 9,29, porém, para o teor de proteína não foi observado diferença estatística. O mesmo foi observado por Lee et al.

(2021), que ao alimentar galinhas poedeiras com óleos de linhaça, observou uma diminuição linear na proteína bruta, mas o aumento linear no extrato etéreo nos ovos após 2 semanas de alimentação. Ele relata que a gordura da dieta pode ser eficientemente depositada nos ovos, substituindo assim os teores de proteína bruta na composição dos ovos à medida que a relação da dieta diminui (Lee et al., 2021), o mesmo pode ter ocorrido no presente trabalho.

Para o teor de proteína bruta, com o aumento de vitamina E, ocorreu um aumento do teor de proteína bruta na gema do ovo. Esse aumento no teor de proteína pode ter ocorrido devido à função da vitamina E de melhorar a qualidade e estabilidade das proteínas (Lehninger et al., 2014). O radical peróxido pode atacar os lipídios, mas também as proteínas, modificando a sua estrutura e função biológicas (Barbosa et al., 2010). A vitamina E ajuda a melhorar a absorção intestinal das proteínas e lipídios na dieta, que podem ser mais facilmente depositadas na gema do ovo (Philippi, 2014).

A relação de ácidos graxos na gema do ovo, neste trabalho foi próxima da fornecida na dieta, isso ocorreu, pois, os ácidos graxos em quase sua totalidade são transferidos para a gema do ovo. As gemas da relação 9,29 apresentaram maiores teores de EPA e DHA, já que possuem um maior teor de LNA. Em trabalhos utilizando diferentes relações de PUFAS, observou-se que com a diminuição das relações de 16:1 para 4:1 ocorreu um aumento nos teores de DHA, EPA e LNA além do total de n-3 e uma diminuição do teor de n-6 na gema do ovo (Khatibjoo et al. 2018). Semelhante aos nossos resultados, ao utilizar a inclusão de óleo de peixe na dieta de matrizes para obter diferentes razões de EPA e DHA sendo 1:1, 1:2 ou 2:1. Os autores relataram que todas as dietas enriquecidas com n-3 resultaram em um menor n-6 e superiores concentrações de n-3 na gema, resultando em uma baixa relação de LA:LNA na gema, e as concentrações de EPA assemelha-se à suplementação dietética EPA (Koppenol et al., 2015).

Esse aumento de LNA , EPA e DHA também foi observado por Tadesse et al. (2023), que ao alimentar poedeiras com linhaça e diferentes antioxidantes naturais incluindo a vitamina E, esse aumento da soma de AGPIs n-3 (LNA + EPA + DPA + DHA) em gemas de ovos é uma das funções mais desejáveis dos ovos enriquecidos, tornando-os mais favoráveis que os ovos comuns para a nutrição humana e para o embrião já que na última semana de incubação e no primeiro dia de vida ocorre um aumento proporcional de LA, LNA, AA, DHA e o total de ácidos graxos poliinsaturados para que o embrião termine o seu desenvolvimento (Shetty et al., 2020; Kralik et al., 2019 & Khatibjoo et al., 2018).

Ao favorecer rações para reprodutoras com relação de 9,29:1 com a suplementação de 200 mg de vitamina E; pode ser utilizado, pois apresentam melhorias nos parâmetros de sangue e enriquecimento da gema, sem afetar a produção. Sugere-se, portanto, que esses valores podem ser utilizados para matrizes pesadas e galinhas poedeiras para melhorar a qualidade do ovo.

5. CONCLUSÕES

O uso de óleo de linhaça para obter a relação de LA:LNA de 9,29 com a suplementação de 200 mg vit E pode ser fornecida a codornas japonesas sem afetar o desempenho produtivo, com e melhoras no perfil lipídico sérico e na composição de ácidos graxos na gema do ovo, especialmente os polinsaturados da família ômega-3.

6. REFERÊNCIAS

Adabi SG, Fani A, Ceylan N. et al. Enrichment of quail (*Coturnix cot. Japonica*) eggs by omega-3 fatty acids and its nutritional effect on young healthy women Eurean Poultry

Science 2016; 80:149-169. <https://doi.org/10.1399/eps.2016.149>.

Alagawany M, Farag MR, Dhama K, et al. Nutritional significance and health benefits of designer eggs. *Journal World's Poultry Science* 2018 ;74: 317–330. <https://doi.org/10.1017/S0043933918000041>.

AOAC (Association of Official Analytical Chemistry). 2005. *Official methods of analysis*. 18 ed. Washington, DC.

Barbosa KBF, Costa NMB, Alfenas RCG, et al. Estresse Oxidativo: conceito, implicações e fatores modulatórios. *Revista de Nutrição* 2010; 23(4): 629-643. <https://doi.org/10.1590/S1415-52732010000400013>.

Bligh EG, Dyer G. A rapid method of total lipid extraction and purification. *Canadian Journal of Biochemistry and Physiology* 1959; 37(8):911-7. <https://doi.org/10.1139/o59-099>.

Bollengier-Lee S, Mitchell Ma, Utomo Db, et al Influence of high dietary vitamin E supplementation on egg roduction and plasma characteristics in hens subjected to heat stress. *British Poultry Science* 1998; 39: 106–112. <https://doi.org/10.1080/00071669889466>.

Castro CBT, Rios-Rincón FG, Castillo-Lopez R, et al. Effect of essential fatty acid proportion in feed on productive and reproductive performance of japanese quail (*Coturnix coturnix japonica*). *Brazilian Journal of Poultry Science* 2019; 22 (1): 1-8. <https://doi.org/10.1590/1806-9061-2019-1014> .

Coorey R, Novinda A, Williams H, et al. Omega-3 Fatty Acid Profile of Eggs from Laying Hens Fed Diets Supplemented with Chia, Fish Oil, and Flaxseed. *Journal Food Science* 2015; 80: S180–S187. <https://doi.org/10.1111/1750-3841.12735>.

Du Q., Zhou L, Li M, et al .Omega-3 polyunsaturated fatty acid encapsulation system: Physical and oxidative stability, and medical applications. *Food Front* 2022; 3: 239–255. <https://doi.org/10.1002/fft2.134>

El-Hack Mea, Mahrose K, Arif M, et al. Alleviating the environmental heat burden on laying hens by feeding on diets enriched with certain antioxidants (vitamin E and selenium) individually or combined. *Environmental Science and Pollution Research International* 2017; 24(11):10708-10171. <https://doi.org/10.1007/s11356-017-8690-5>.

Elwan HA, Elnesr SS, Mohany M, et al. The effects of dietary tomato powder (*Solanum lycopersicum* L.) supplementation on the haematological, immunological, serum biochemical and antioxidant parameters of growing rabbits. *Journal of Animal Physiology and Animal Nutrition* 2019; 103:534–546. <https://doi.org/10.1111/jpn.13054>.

Han F, Song Z, Nawaz MH, et al. MoS₂/ZnO-Heterostructures-Based Label-Free, Visible-Light-Excited Photoelectrochemical Sensor for Sensitive and Selective Determination of Synthetic Antioxidant Propyl Gallate. *Analytical Chemistry* 2019; 91: 10657–10662. <https://doi.org/10.1021/acs.analchem.9b01889>.

Kavtarashvili AS, Stefanova IL, Svitkin VS et al. The ration recipes developed to improve effective and safe biofortification of hen (*Gallus gallus* L.) eggs. *Agricultural Biology* 2018; 53: 787–798. <https://doi.org/10.15389/agrobiology.2018.4.787eng>.

Keum MC, An BK, Shin KH, et al. Influence of dietary fat sources and conjugated fatty acid on egg quality, yolk cholesterol, and yolk fatty acid composition of laying hens. *Revista Brasileira de Zootecnia* 2018; 47. <https://doi.org/10.1590/rbz4720170303>.

Khatibjoo A, Kermanshahi H, Golian A, et al. The effect of n-6/n-3 fatty acid ratios on broiler breeder performance, hatchability, fatty acid profile and reproduction. *Journal of Animal Physiology and Animal Nutrition* 2018; 102(4):986-998. <https://doi.org/10.1111/jpn.12904>.

Koppenol A, Buyse J, Everaert N, et al. Transition of maternal dietary n-3 fatty acids from the yolk to the liver of broiler breeder progeny via the residual yolk sac. *Poultry Science* 2015; 94(1): 43-52. <https://doi.org/10.3382/ps/peu006>.

Kralik G, Kralik Z, Grčević M, et al. Qualitative characteristics of fatty acid profile in fresh and boiled n-3 PUFA enriched eggs. *Journal of Central European Agriculture* 2019; 20:802–808. <https://doi.org/10.5513/JCEA01/20.3.2488>.

Kumar F, Tyagi PKPK, Mir NA, et al. Dietary flaxseed and turmeric is a novel strategy to enrich chicken meat with long chain ω -3 polyunsaturated fatty acids with better oxidative stability and functional properties. *Food Chemistry* 2020;305:125458. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2019.125458>.

Lee SH, Kim YB, Kim DH, et al. Dietary soluble flaxseed oils as a source of omega-3 polyunsaturated fatty acids for laying hens. *Poultry Science*, 2021; 100(8): 101276. <https://doi.org/10.1016/j.psj.2021.101276>.

500 Lehninger AL, Nelson DL, Cox MM. Princípios de Bioquímica. 6.ed. São Paulo: Sarvier,
501 2014.

502

503 Martinez R, Quintana K, Navarro R, et al. Pro-oxidant and antioxidant potential of
504 catecholestrogens against ferrylmyoglobin-induced oxidative stress. *Biochimica et*
505 *Biophysica Acta (BBA) - Molecular and Cell Biology of Lipids* 2002; 1583(2): 167-175.

506

507 Mousa SA, Abdel-Raheem SM, Abdel-Raheem HA, et al. Effect of dietary fat sources
508 and antioxidant types on growth performance and carcass quality of Japanese quails.
509 *International Journal of Poultry Science* 2017; 16:443–450. [https://doi.org/](https://doi.org/10.3923/ijps.2017.443.450)
510 [10.3923/ijps.2017.443.450](https://doi.org/10.3923/ijps.2017.443.450).

511

512 Njembe MN, Dormal E, Gardin C, et al. Effect of the dietary combination of flaxseed and
513 *Ricinodendron heudelotii* or *Punica granatum* seed oil on the fatty acid profile of eggs.
514 *Food Chemistry*. 2021; 344: 128668. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2020.128668>.

515

516 Panaite TD, Nour V, Saracila M, et al; 2021. Effects of Linseed Meal and Carotenoids
517 from Different Sources on Egg Characteristics, Yolk Fatty Acid and Carotenoid Profile
518 and Lipid Peroxidation. *Foods* 2021; 10: 1246. <https://doi.org/10.3390/foods10061246>.

519

520 Philippi ST. Pirâmide dos alimentos: Fundamentos básicos da nutrição. 2. ed. Barueri:
521 Manole, 2014.

522

523 Romero C, Arija I, Viveros A, et al. Productive Performance, Egg Quality and Yolk
524 Lipid Oxidation in Laying Hens Fed Diets including Grape Pomace or Grape Extract.
525 *Animals* 2022; 12: 1076. <https://doi.org/10.3390/ani12091076>.

Saeidi E, Shokrollahi B, Karimi KE, et al. Effects of medium-chain fatty acids on performance, carcass characteristics, blood biochemical parameters and immune response in Japanese quail. *British Poultry Science* 2016; 57:358-363. <https://doi.org/10.1080/00071668.2016.1169508>.

,Santos, R.D. II Diretrizes brasileiras sobre dislipidemias e diretriz de prevenção da aterosclerose do departamento de aterosclerose da sociedade brasileira de cardiologia. *Arquivos Brasileiros de Cardiologia* 2001; 77:1-48. <https://doi.org/10.1590/S0066-782X2001001500001>.

Shetty SS, Shetty PK ω -6/ ω -3 fatty acid ratio as an essential predictive biomarker in the management of type 2 diabetes mellitus. *Nutrition* 2020; 79:110968. <https://doi.org/10.1016/j.nut.2020.110968>.

Shinn SE, Proctor A, Baum JI. Egg Yolk as Means for Providing Essential and Beneficial Fatty Acids. *Journal of the American Oil Chemists' Society* 2018; 95: 5–11. <https://doi.org/10.1002/aocs.12008>.

Silva LAL, Miranda VMMC, Roza LF, et al. Relationship of Linoleic and Alpha-Linolenic Acids on the Productive Performance and Serum Biochemical Profile of Japanese Quail Breeders. *Brazilian Journal of Poultry Science* 2023; 25(2): 001-010. <https://doi.org/10.1590/1806-9061-2022-1711>.

Sugasini D, Lokesh BR. Curcumin and linseed oil co-delivered in phospholipid nanoemulsions enhances the levels of docosahexaenoic acid in serum and tissue lipids of rats. *Prostaglandins, Leukot. Essent. Fatty Acids* 2017; 119: 45–52. <https://doi.org/10.1016/j.plefa.2017.03.007>.

Tadesse D, Retta N, Girma, M, et al. Yolk Fatty Acid Content, Lipid Health Indices, and Oxidative Stability in Eggs of Slow-Growing Sasso Chickens Fed on Flaxseed Supplemented with Plant Polyphenol Extracts. *Foods* 2023; 12(9): 1819; <https://doi.org/10.3390/foods12091819>.

Untea AE, Varzaru I, Panaite TD, et al. The effects of dietary inclusion of bilberry and walnut leaves in laying hens' diets on the antioxidant properties of eggs. *Animals* 2020; 10: 191-204. <https://doi.org/10.3390/ani10020191>.

Vlaicu PA, Panaite TD, Turcu RP, et al. Enriching laying hens eggs by feeding diets with different fatty acid composition and antioxidants. *Scientific Reports* 2021;11: 20707. <https://doi.org/10.1038/s41598-021-00343-1>.

Wen C, Gu Y, Tao Z, et al. Effects of Ginger Extract on Laying Performance, Egg Quality, and Antioxidant Status of Laying Hens. *Animals* 2019; 9: 857-866. <https://doi.org/10.3390/ani9110857>.

Wu A, Noble EE, Tyagi E, et al. Curcumin boosts DHA in the brain: Implications for the prevention of anxiety disorders. *Biochimica et Biophysica Acta* 2015; 1852:951–961.

Tabela 1. Composição das dietas experimentais para codornas em postura.

Ingrediente	Relações LA:LNA	
	9,29	13,75
Milho Grão	57,45	57,45
Farelo de Soja (45%)	30,81	30,81
Calcário Calcítico	6,73	6,73
Fosfato Bicálcico	1,17	1,17
Óleo de Soja	1,49	1,60
Óleo de Linhaça	0,11	0,00
Sal Comum	0,30	0,30
L-Lisina (78%)	0,26	0,26
DL- Metionina (98%)	0,44	0,44
Suplemento Vit. e Mineral ¹	0,40	0,40
Composição Calculada		
Energia Metabolizável (Mcal/kg)	2.810	2.810
Proteína (%)	19,00	19,00
Cálcio (%)	2,99	2,99
Fósforo Disponível (%)	0,31	0,31
Extrato Etéreo (%)	4,21	4,21
Lisina Digestível	1,149	1,149
Metionina + Cistina digestível	0,942	0,942
Treonina digestível	0,701	0,701
Triptofano digestível	0,242	0,242
Isoleucina digestível	0,747	0,747
Cloro (%)	0,24	0,24
Sódio (%)	0,147	0,147
BED (mEq/kg)	150,05	150,05

¹Quantidade por kg de ração – Vitamina A 10.000 UI; Vitamina D3: 2.000 UI; Vitamina E: 25 mg; Vitamina K3: 3 mg; Vitamina B1: 2,5 mg; Vitamina B2: 6 mg; Vitamina B6: 5 mg; Vitamina B12: 20 mg; Pantotenato de cálcio: 12 mg; Niacina: 24 mg; Ácido Fólico: 1 mg; Biotina: 0,2 mg; Colina: 300 mg; Zinco: 52mg; Ferro: 52mg; Manganês: 60 mg; Cobre: 24 mg; Iodo: 1 mg; Cobalto: 0,2 mg; Se: 0,252 mg; Etoxim: 0,1 mg.

Tabela 2. Composição do perfil de ácido graxo analisado do óleo de soja e de linhaça e nas rações experimentais.

Ácido Graxo	Óleo de Soja	Óleo de Linhaça	LA:LNA	
			9,29:1	13,75:1
Ácido linoleico (C18:2 n-6)	52,6	17,41	12,54	13,58
Ácido alfa linolênico (C18:3 n3)	6,94	46,15	1,10	0,90
Ácido araquidônico (C20:4)	0,150	0,074	1,25	1,01
Ácido eicosapentaenoico (C20:5 n3)	0,003	0,05	0,06	0,05
Ácido docosa-hexaenoico (C22:6n3)	0,005	0,04	0,30	0,10
LA:LNA	7,59	2,61	9,44	13,89

Tabela 3. Teores de vitamina E nos produtos utilizados nas dietas experimentais

Ingrediente	Vitamina E mg/kg		
	25	200	250
Premix vitamínico (acetato de tocoferol)	0,025	0,025	0,025
Acetato de tocoferol (BASF)	-	0,011	0,020
Inerte (Caulim)	0,853	0,842	0,833

Tabela 4 - Desempenho produtivo de matrizes de codornas alimentadas com duas reações LA:LNA e diferentes níveis de vitamina E

	Postura (%)	CRD (g/ave)	MO (g)	CA (g/g)	CA (g/dúzia)
Relações LA:LNA					
9,29	93,52	24,56	10,51	2,34	315,89
13,75	93,63	24,89	10,42	2,39	319,34
Vit E					
25	93,40	25,05	10,57 ^a	2,37	322,21
200	94,33	24,69	10,60 ^a	2,33	314,37
250	93,00	24,42	10,23 ^b	2,39	315,51
Média	93,58	24,72	10,47	2,36	317,37
CV %	2,19	3,52	3,89	5,20	3,89
SEM	2,09	0,89	0,43	0,12	12,60
ANOVA			Valor de P		
Relação	0,843	0,142	0,402	0,120	0,220
Vit E	0,118	0,076	0,009	0,297	0,106
Interação	0,232	0,864	0,713	0,897	0,567

^{A,B} Letras diferentes entre si diferem estatisticamente pelo teste de Tukey (P<0,05); CRD- consumo de ração diário, MO – massa de ovo, CA- conversão alimentar

Tabela 5. Qualidade interna e externa do ovo de matrizes codornas japonesas alimentadas com duas relações LA:LNA e diferentes níveis de vitamina E com 14 a 23 semanas (n=10)

	Peso Ovo (g)	Gema (%)	Albúmen (%)	Casca (%)	EC (µm)	GE (g/L)	UH	IG	L*	Coloração da Gema a*	b*
Relações LA:LNA											
9,29	11,24	30,27 ^b	61,68 ^a	8,05	0,221	1070,58	92,53	0,47	54,36	-1,77	33,27
13,75	11,13	30,98 ^a	60,96 ^b	8,06	0,231	1070,25	92,23	0,47	53,84	-1,72	33,31
Vit E											
25	11,32	30,56	61,39	8,06	0,211	1070,74	92,17	0,47	54,21	-1,75	33,03
200	11,14	30,45	61,41	8,14	0,240	1070,23	92,11	0,47	54,09	-1,77	33,59
250	11,10	30,88	61,16	7,95	0,220	1070,28	92,85	0,46	53,99	-1,72	33,24
Média	11,21	30,62	61,38	8,06	0,220	1070,42	92,38	0,47	54,07	-1,74	33,29
CV %	2,39	3,07	1,52	3,03	4,09	0,16	1,37	3,49	1,73	-10,21	2,24
SEM	0,30	0,99	0,97	0,25	0,01	1,64	1,27	0,02	0,94	0,18	0,77
ANOVA				Valor de P							
Relação	0,212	0,005	0,004	0,897	0,414	0,453	0,372	0,948	0,095	0,306	0,823
Vit E	0,088	0,353	0,647	0,062	0,366	0,573	0,131	0,418	0,795	0,689	0,071
Interação	0,111	0,876	0,980	0,551	0,439	0,636	0,856	0,617	0,721	0,394	0,206

^{A,B} Letras diferentes entre si diferem estatisticamente pelo teste de Tukey (P<0,05); EC- espessura de casca, GE- gravidade específica, UH – unidade Haug, IG- índice de gema, L* - luminosidade, a* amarelo, b* azul.

Tabela 6. Variáveis bioquímicas séricas de matrizes de codornas japonesas alimentadas com diferentes relações LA:LNA associados com níveis de vitamina E

Fêmea							
Triglicerídeos (mg/dL)							
LA:LNA	Vitamina E			Média	ANOVA		
	25	200	250		LA:LNA	Vit E	Interação
9,29	233,60	292,40	257,40	261,13 ^B	<0,0001	0,0913	0,6902
13,75	550,60	626,00	625,80	600,80 ^A			
Média	392,1	459,2	441,6				
Colesterol (mg/dL)							
LA:LNA	Vitamina E			Média	ANOVA		
	25	200	250		LA:LNA	Vit E	Interação
9,29	183,40	177,20	179,20	179,93 ^B	<0,0001	0,131	0,8564
13,75	207,60	199,20	199,20	202,00 ^A			
	195,5	188,2	189,2				
HDL (mg/dL)							
LA:LNA	Vitamina E			Média	ANOVA		
	25	200	250		LA:LNA	Vit E	Interação
9,29	98,60 ^{bB}	123,00 ^{aA}	96,60 ^{bB}	106,07	<0,0001	<0,0001	0,0196
13,75	84,00 ^{cC}	93,20 ^{bB}	85,80 ^{cC}	87,67			
Média	91,30	108,10	91,20				
LDL (mg/dL)							
LA:LNA	Vitamina E			Média	ANOVA		
	25	200	250		LA:LNA	Vit E	Interação
9,29	84,80 ^{cC}	54,22 ^{dC}	82,60 ^{dD}	73,87	<0,0001	<0,0001	0,0325
13,75	123,60 ^{aA}	106,00 ^{bB}	113,40 ^{aAB}	114,33			
Média	104,2	80,11	98,00				

^{a,b} Letras diferentes entre si diferem estatisticamente pelo teste de Tukey (P<0,05); Letras maiúsculas na coluna difere entre as relações, letras minúsculas na linha difere entre os níveis de vit E.

Tabela 7. Variáveis bioquímicas séricas de reprodutores de codornas japonesas alimentadas com diferentes relações LA:LNA associados com níveis de vitamina E

Macho							
Triglicerídeos (mg/dL)							
	Vitamina E				ANOVA		
LA:LNA	25	200	250	Média	LA:LNA	Vit E	Interação
9,29	88,60	84,80	97,40	90,26 ^B	<0,0001	0,0002	0,1399
13,75	123,60	106,00	132,80	120,80 ^A			
Média	106,10 ^{ab}	95,40 ^b	115,10 ^a				
Colesterol (mg/dL)							
	Vitamina E				ANOVA		
LA:LNA	25	200	250	Média	LA:LNA	Vit E	Interação
9,29	153,20	147,00	157,40	152,53 ^B	<0,0001	0,4917	0,1027
13,75	250,60	250,40	227,40	242,87 ^A			
	201,90	198,70	192,50				
HDL (mg/dL)							
	Vitamina E				ANOVA		
LA:LNA	25	200	250	Média	LA:LNA	Vit E	Interação
9,29	95,60	86,00	101,60	94,40	0,8514	0,3840	0,2556
13,75	101,00	94,20	90,80	95,33			
Média	98,30	90,10	96,20				
LDL (mg/dL)							
	Vitamina E				ANOVA		
LA:LNA	25	200	250	Média	LA:LNA	Vit E	Interação
9,29	57,60	61,00	55,80	58,13 ^B	<0,0001	0,0108	0,1583
13,75	149,60	153,20	136,80	147,53 ^A			
Média	103,60 ^{ab}	108,60 ^a	96,30 ^b				

^{a,b} Letras diferentes entre si diferem estatisticamente pelo teste de Tukey (P<0,05); Letras maiúsculas na coluna difere entre as relações, letras minúsculas na linha difere entre os níveis de vitE.

Tabela 8 . Descrição qualitativa do perfil de ácido graxo das gemas de ovos de codornas japonesas alimentadas com diferentes relações LA:LNA associados com níveis de vitamina E (n=2/pools)

Ácido Graxo	LA:LNA	
	9,29:1	13,75:1
Ácido linoleico (C18:2 n-6)	16,93	18,25
Ácido alfa linolênico (C18:3 n3)	0,89	0,79
Ácido araquidônico (C20:4)	0,37	0,24
Ácido eicosapentaenoico (C20:5 n3)	0,07	0,02
Ácido docosa-hexaenoico (C22:6n3)	0,83	0,54
POLI	19,09	19,84
N6	17,30	18,49
N3	1,79	1,35
N6/N3	9,66	13,70

Tabela 9. Composição bromatológica da gema de ovos de codornas japonesas alimentadas com diferentes relações LA:LNA associados com níveis de vitamina E

	MS %	MM %	EE%	PB%
Relações LA:LNA				
9,29	52,14	3,15	56,22 ^a	25,03
13,75	51,60	3,02	54,43 ^b	26,38
Vit E				
25	52,65	3,00	55,83	24,54 b
200	51,08	3,05	55,19	24,72 b
250	51,88	3,22	54,95	27,84 a
Média	51,87	3,09	55,33	25,70
CV %	5,17	8,87	3,37	8,86
SEM	0,52	0,05	0,46	0,57
Anova	Valor de P			
Relação	0,6270	0,2533	0,0307	0,1654
Vit E	0,5184	0,2721	0,6261	0,0153
Interação	0,4610	0,2640	0,288	0,1277

^{A,B} Letras diferentes entre si diferem estatisticamente pelo teste de Tukey (P<0,05); MS- Matéria seca, MM- Matéria mineral, EE- Extrato etéreo, PB – proteína bruta

VII. DIFERENTES RELAÇÕES DO ÁCIDO LINOLEICO E ALFA LINOLÊNICO SUPLEMENTADOS COM NÍVEIS DE VITAMINA E NO DESEMPENHO DE INCUBAÇÃO, QUALIDADE DA PROGÊNIE E CAPACIDADE ANTIOXIDANTE DE CODORNAS JAPONESAS

Artigo Redigido nas Normas da Brazilian Journal of Poultry Science

RESUMO

A qualidade da incubação e da progênie está relacionada com a nutrição das matrizes e a adequada relação de ácido linoleico (LA) e alfa linolênico (LNA). Objetivou-se avaliar os efeitos de diferentes relações de LA:LNA associados a níveis de vitamina E sobre o desempenho de incubação, qualidade da progênie e capacidade antioxidante em dietas fornecidas para os reprodutores machos e fêmeas de codornas japonesas. O delineamento utilizado foi inteiramente ao acaso, em esquema fatorial 2×3 com duas relações de LA:LNA (9,29:1 e 13,75:1) e três níveis de vitamina E (25, 200 e 250 mg). com 10 repetições de 6 fêmeas+2 machos. Os dados foram submetidos à análise de variância em esquema fatorial pelo teste de Tukey. Não houve efeito das relações e dos níveis de vitamina E, com média para fertilidade estimada de 97,50%. Foi observada uma interação para a fertilidade e a eclosão total entre as relações e os níveis de vitamina E, tendo uma diminuição quando as aves foram alimentadas com a relação 13,75 e 25mg de VitE. Na avaliação da qualidade do pintinho, foi observada uma interação entre a vitamina E as relações para o comprimento com pintinhos maiores na relação 13,75 com 25mg e 9,29 com 250mg de Vit E e escore de Pasgar® , sendo o pintinho com menor escore proveniente da matriz que recebeu 13,75 e 25 mg de VitE. A maior percentagem de inibição de DPPH foi na relação 9,29 com a suplementação de 250 mg de vitamina E. A relação 13,75 com 250 mg de vitamina E apresentaram os menores valores de

peroxidação lipídica na gema, vitelo e fígado dos pintinhos. Conclui-se que a associação da relação 9,29:1 e a suplementação de 250mg de VitE pode ser utilizada para matrizes de codornas japonesas para obter melhores índices reprodutivos, qualidade do pintinho e melhorar a oxidação.

Palavras chaves: ácidos graxos polinsaturados, *Coturnix japonica*, α -tocoferol, incubação.

ABSTRACT

The quality of incubation and offspring is related to the nutrition of the breeders and the appropriate ratio of linoleic acid (LA) to alpha linolenic acid (LNA). This study aimed to evaluate the effects of different LA:LNA ratios associated with vitamin E levels on incubation performance, progeny quality, and antioxidant capacity in diets fed to male and female Japanese quail breeders. The design used was entirely randomized, in a 2×3 factorial scheme with two LA:LNA ratios (9.29:1 and 13.23:1) and three levels of vitamin E (25, 200 and 250 mg). with 10 replicates of 6 females + 2 males. The data were submitted for analysis of variance in a factorial scheme using the Tukey test. There was no effect of the ratios and vitamin E levels, with an average estimated fertility of 97.50%. An interaction was observed for fertility and total hatchability between the ratios and levels of vitamin E, with a decrease when the birds were fed a ratio of 13.75 and 25mg of VitE. In the assessment of chick quality, an interaction was observed between vitamin E and ratios for length, with larger chicks in the ratio 13.75 with 25 mg and 9.29 with 250 mg of Vit E, and Pasgar® score, with the chick with the lowest score coming from the breeder that received 13.75 and 25 mg of VitE. The highest percentage of DPPH inhibition was in the 9.29 ratio with 250 mg of vitamin E supplementation. The 13.75

ratio with 250 mg of vitamin E showed the lowest values of lipid peroxidation in the yolk, calf, and liver of the chicks. It can be concluded that the combination of the 9.29:1 ratio and the supplementation of 250 mg of VitE can be used for Japanese quail breeders to obtain better reproductive rates, chick quality, and oxidation.

Key words: α -tocopherol, *Coturnix japonica*, incubation, polyunsaturated fatty acids

1. INTRODUÇÃO

Na produção avícola, os índices mais importantes para avaliar o desempenho produtivo de matrizes são o desempenho de postura, a eclodibilidade, a fertilidade e a qualidade do pintinho. O desempenho reprodutivo é influenciado por vários fatores, como idade, manejo no incubatório, temperatura e dieta (Surai, 2019). A modificação da dieta das matrizes tem sido uma prática bastante empregada, uma vez que a melhoria na dieta resulta em melhor qualidade nutricional do ovo, conseqüentemente, melhorando a eclodibilidade e a qualidade do pintinho (Cherian et al., 2015).

Na nutrição, um dos pontos que vem sendo estudado é a modificação da relação entre ácido linoleico (LA) e ácido alfa linolênico (LNA), que são ácidos graxos polinsaturados essenciais, pois as aves não conseguem sintetizá-los no organismo (Koppenol et al., 2015). A alteração da relação LA:LNA na dieta das matrizes demonstra melhorias no desempenho reprodutivo, devido ao aumento da deposição desses ácidos na gema, modificando os mecanismos do metabolismo lipídico e de transferência para o embrião durante a incubação, trazendo benefícios para o metabolismo, permitindo alta eclodibilidade e pintinhos de melhor qualidade, além de melhorar a qualidade do espermatozoide (Khatibjoo et al., 2018). Em estudos anteriores, avaliando diferentes

relações de LA:LNA para matrizes de codornas japonesas de 1,48:1 a 13,75:1, observou-se que a melhor relação para os parâmetros de reprodução foi a de 9,29:1, que melhorou a taxa de fertilidade e eclosão (Silva, 2021).

A diminuição dessa relação nas dietas das matrizes pode causar estresse oxidativo, devido à presença de maiores teores de ácidos graxos. O estresse oxidativo pode afetar negativamente vários aspectos, como a espermatogênese, a produção de óvulos, a qualidade dos ovos armazenados e a viabilidade dos filhotes (Surai, 2019). Uma das formas de minimizar esse efeito é com a utilização de antioxidantes naturais ou sintéticos, sendo os mais utilizados a vitamina E, C e selênio (Surai et al., 2016).

A vitamina E (VitE) precisa ser suplementada na dieta, pois os animais não conseguem sintetizá-la no organismo. A inclusão acima da exigência nutricional tem mostrado resultados benéficos sobre o status antioxidante, anti-inflamatório e na eclodibilidade e fertilidade (Idamokoro et al., 2022). Com isso, a suplementação de vitamina E em dietas ricas em ácidos graxos poli-insaturados auxilia na diminuição da atividade oxidativa, além de melhorar o desempenho reprodutivo (Shakerie et al., 2020).

Os antioxidantes lipossolúveis, como a vitamina E (Vit E), na dieta das matrizes, podem ser utilizados como estratégia para reduzir processos de peroxidação em matrizes, ovos e pintos (Surai et al., 2016). A VitE neutraliza os radicais peroxil dos ácidos graxos, protegendo assim as membranas e as lipoproteínas (Azzi, 2022). Nos primeiros dias de vida, os pintos têm dificuldade em assimilar a VitE alimentar (Kouvedaki et al., 2024), portanto, as reservas de VitE transferidas da dieta materna tornam-se uma importante fonte de proteção antioxidante para os pintinhos.

A associação de uma boa relação de LA:LNA com antioxidantes naturais pode trazer benefícios para a reprodução e a qualidade do pintinho. Assim, são necessários

estudos para determinar a melhor relação LA:LNA e o nível de antioxidantes na dieta de codornas matrizes para melhorar esses parâmetros. A utilização da relação LA:LNA de 9,29:1 para matrizes de codornas japonesas foi determinada em outro estudo (Silva et al., 2024), porém, com o aumento dos PUFA's, principalmente LNA, pode ocorrer um aumento na peroxidação lipídica, afetando a incubação e a qualidade do pintinho, sendo necessária a utilização de antioxidantes para melhorar a peroxidação lipídica. Com isso, o objetivo foi avaliar os efeitos da vitamina E em dietas contendo diferentes relações de LA:LNA sobre o desempenho de incubação, qualidade de pintinhos, atividade antioxidante de matrizes e reprodutores de codornas japonesas

2. MATERIAL E MÉTODOS

O projeto possui parecer para execução na Comissão de Ética no Uso de Animais em experimentação da Universidade Estadual de Maringá/Maringá/PR sob protocolo de n 3124060821.

2.1 ANIMAIS E MANEJO

Foram utilizadas 480 codornas japonesas (360 fêmeas + 120 machos) com 14 semanas, selecionadas por peso e postura. As aves foram alojadas em galpão de postura equipado com gaiolas metálicas de ferro galvanizado (25 × 39 cm), com bebedouro tipo nipple e comedouro tipo calha. O controle de iluminação foi de 17 horas de luz (natural + artificial) para manter a estimulação da oviposição das aves. Ração e água foram fornecidas *ad libitum* durante todo o experimento.

2.2 DELINEAMENTO E DIETAS EXPERIMENTAIS

O delineamento experimental utilizado foi inteiramente ao acaso, em esquema fatorial 2 × 3, com duas relações de LA:LNA (9,29:1 e 13,23:1) e três níveis de vitamina E (25, 200 e 250 mg), com 10 repetições com 8 aves (6 fêmeas + 2 machos). A fonte de vitamina E utilizada foi o acetato de tocoferol (500 g/kg de produto, Basf®). Foi utilizado óleo de soja refinado como fonte de LA, e óleo de linhaça dourada (Cisbra extraído a frio) para LNA. As dietas foram formuladas baseadas em milho e farelo de soja (Tabela 1), conforme a composição dos ingredientes e exigências nutricionais para codornas em fase de postura das tabelas brasileiras de aves e suínos (Rostagno et al. 2017), nas duas relações estudadas, bem como das fontes de óleo foram analisados para ácido graxo e os dados estão descritos na na tabela 2. A exigência de vitamina E na dieta basal seguiu a recomendação do NRC (1994) de 25 mg/kg de ração, e a quantidade fornecida de vitamina E na dieta para cada nível testado está descrito na tabela 3.

2.3 DESEMPENHO DE INCUBAÇÃO

Após 4 semanas de consumo das dietas, os ovos foram coletados por 4 dias, identificados, armazenados em sala refrigerada (20 °C) e incubados em incubadora vertical (Petersime® modelo Labo 13) com 60% de umidade e 37,4 °C, com rotação automática. Após 348 horas de incubação (14,5 dias), os ovos foram transferidos para uma câmara de incubação (37,0 °C e 70% de umidade) por 3 dias (Petersime®, modelo Labo 9). Os ovos eclodidos e não eclodidos foram contados e as variáveis de incubação foram calculadas. Os ovos não eclodidos foram abertos para determinação das taxas de fertilidade e mortalidade, classificadas em mortalidade 1 foi considerado inicial + média (0-11 dias) e mortalidade 2 final (12-18d + ovos bicados). Para todos os cálculos

consideram a gaiola como unidade experimental. A fertilidade, infertilidade e eclosão total foi baseada no total de ovos incubados em cada repetição e tratamento. Já a eclosão dos férteis e mortalidade total foi estimada pelo número de ovos férteis. Para as categorias de mortalidade 1 e 2 foram baseadas no número de ovos não eclodidos e classificados em cada fase.

2.4 QUALIDADE DE PINTINHO

Ao final do 18º dia de incubação, todos os pintos eclodidos foram cuidadosamente retirados dos sacos e os pintos (n = 50 por tratamento) foram avaliados quanto ao peso corporal (g) numa balança de precisão. O comprimento dos pintos (cm) foi determinado medindo a distância entre a extremidade do bico e o terceiro dedo do pé (meio) com uma fita métrica. A qualidade dos pintos foi avaliada utilizando a pontuação de Pasgar® (Boerjan, 2002), em que os pintos perdem uma pontuação de um máximo de 10 quando são observadas anomalias em cinco características: alerta como medida de atividade e aparência das pernas, bico, abdômen e fecho do umbigo. Para cada característica, uma pontuação de 10 é representada por (1) Prontidão (o reflexo ou vitalidade observa a rapidez com que o pinto se vira); (2) Pernas (fortes e uniformemente coloridas); (3) Bico (limpo, narinas normalmente coloridas); (4) Abdômen (a barriga deve ser macia, lisa e flexível); e (5) Umbigo (limpo, fechado e seco, a penugem pode cobrir o umbigo). Por cada falha, subtraímos 1 ponto a 10. A pontuação da qualidade de um pinto foi definida como a média das pontuações citadas para todas as características, e os pintos com pontuação 10 estavam livres de qualquer anormalidade.

2.5 COLETA, ARMAZENAMENTO DE AMOSTRAS E LIOFILIZAÇÃO

Para realização das análises antioxidantes e ácido graxos foram utilizados 600 ovos, que foram incubados em incubadora automática a 60% de umidade e 37,4° C, com viragem automática. Decorridas 348 horas de incubação, os ovos foram transferidos para a câmara de eclosão com temperatura de 37,0°C, umidade de 70% por mais 56 horas.

Os ovos foram analisados antes da incubação (gema dia 0), no 15° de incubação e na eclosão (1° dia). Em cada dia, 50 ovos/tratamento foram utilizados para a obtenção de 10 pools/tratamento de gema ou vitelo e fígado. Em cada pool foram utilizados o conteúdo da gema ou do saco vitelínico de cinco ovos. Estes foram homogeneizados e congelados em nitrogênio líquido e armazenados em freezer – 80 ° C até a liofilização. O mesmo procedimento foi utilizado para as amostras de fígado aos 15d de incubação e na eclosão.

2.5.1 CAPACIDADE ANTIOXIDANTE

A capacidade antioxidante foi realizada em 10 pool/tratamento através da análise de inibição dos DPPH (2,2–difetil–1–picril–hidrazil) (%). A partir de 100 mg de tecido (1:19; m/v em metanol) extratos foram preparados e em seguida homogeneizados (Phoenix luferco, AP22, Araraquara, BR) e centrifugados a 3000 rpm por 20 min (MPW Med. Instruments, MPW-351R, Varsóvia, PL) e realizada a coleta de sobrenadante para análise. O DPPH foi determinado nos extratos do conteúdo vitelínico e de tecido hepático, foi utilizado a solução de DPPH (0,06mM/L) pipetado e 2850 µl a 150 µl de extrato da amostra. Com o uso de espectrofotômetro (Biospectro, modelo SP-22, China, Ninbo Province) com leitura em de 515 nm. Os resultados da decomposição do DPPH foram expressos em percentagem de capacidade redutora de radicais livres (% DPPH), que foi calculada pela seguinte equação:

$$\% \text{ DPPH} = (1 - (\text{abs amostra} / \text{abs DPPH})) \times 100$$

Em que:

Abs amostra: Absorbância da amostra;

Abs DPPH: Absorbância do radical DPPH.

2.5.2 PEROXIDAÇÃO LIPÍDICA

A peroxidação lipídica foi determinada em 10 pools/tratamento pela análise de substâncias reativas ao ácido tiobarbitúrico (TBARS) que mensuram a produção de malonaldeído (MDA), de acordo com metodologia adaptada de Vital et al. (2016). O tecido hepático e vitelo foram misturado em solução de TCA- Ácido Tricloroacético (15% TCA, 0,1 ácido etilenodiamino tetra-acético e 0,1 % ácido gálico) (1:19 m/v) e centrifugado a 4° por 15 minutos a 3.000 rpm sendo o extrato coletado. Uma alíquota de 500 µL do extrato do conteúdo vitelínico e tecido hepático foram homogeneizadas com 2,0 mL da solução de ácido tiobarbitúrico (TBA) (TBA 1%, TCA 10% e HCL 0,06%) e realizada a leitura foi realizada em 532 nm em espectrofotômetro. TBARS foi expresso em µg de MDA/g de tecido calculado usando curva padrão de 1,1,3,3-tetrametoxipropano (TMP) 1mM 214 como padrão.

2.6 DETERMINAÇÃO DE ÁCIDO GRAXOS

A extração de ácidos graxos foi realizada na ração, 2 amostra do óleo de soja e linhaça, gema, vitelo residual e no fígado do pintinho de um dia. Foram utilizados 4 pool de vitelo e fígado por tratamento, as amostras foram submetidas à extração lipídica baseada nos métodos de Bligh e Dyer (1959) na presença de quantidades conhecidas de

Padrão Interno para análises de ácidos graxos.

Foi utilizado 3g de amostra de gema, ração e óleos e adicionado água destilada (12ml), metanol (30ml), clorofórmio (30ml) e mais 15 ml de água destilada e foi agitado por 12 minutos em seguida filtrado a vácuo em funil de buchner e o conteúdo foi transferido para um funil de separação de fases e após isso foi drenado a fase inferior contendo o clorofórmio que foi evaporado. Em seguida as amostras transesterificadas, os ésteres metílicos de ácidos graxos foram obtidos através da transesterificação dos triacilgliceróis, conforme método 5509 da ISSO (1978), em solução de n-heptano e KOH/metanol. Os ésteres de ácido graxos foram separados no cromatógrafo gasoso, equipado com detector de ionização de chama e coluna capital de sílica fundida. A identificação dos ácidos graxos foi feita através da comparação dos tempos de retenção com padrões Sigma, e as concentrações determinadas através do cálculo de área de picos com integrados – processador

2.7 ANÁLISE ESTATÍSTICA

Os dados foram submetidos à análise de variância utilizando o programa Statistical Analysis System (SAS®). As médias foram analisadas em esquema fatorial 2 ×3, com duas relações (9,29:1 e 13,75:1) e com 3 níveis de vitamina E na dieta (0, 200 e 250 mg/kg) e sua interação. As médias de cada relação e níveis de vitamina E foram comparadas entre si pelo teste de Tukey, para as variáveis de qualidade do pintinho, capacidade antioxidante, peroxidação lipídica e análise de ácido graxo.

Para as variáveis de incubação, a probabilidade de eclosão total, eclosão de férteis, fertilidade, infertilidade, mortalidade total, mortalidade 1 e 2 foram analisadas em

procedimentos GENMOD do SAS, com distribuição binomial e função de ligação, sendo $LOGIT = \text{Exp}(\beta) / 1 + \text{Exp}(\beta)$.

3 RESULTADOS

3.6 DESEMPENHO DE INCUBAÇÃO

O desempenho da incubação foi avaliado pelas taxas de eclodibilidade, fertilidade e mortalidade embrionária (Tabela 4), obtidos a partir de ovos de gaiolas com seis fêmeas e dois machos. As variáveis foram analisadas por distribuição binomial para a probabilidade de fertilidade, infertilidade e eclosão. Não houve efeito das relações, com média de fertilidade estimada de 97,55%. A relação 9,29 apresentou as maiores taxas para a eclosão total (94,90) e a eclosão dos férteis (96,92). A mortalidade total e inicial (0-14d) foi maior na relação 13,75 (6,00 e 39,71) e a mortalidade tardia (15d e bicado) foi à relação 9,29 (100). Para os níveis de vitamina E a probabilidade de fertilidade e infertilidade não apresentaram diferença significativa com taxa média de 95,00%. Para a mortalidade inicial e final também não houve diferença significativa. A taxa de eclosão total, férteis e mortalidade total foi influenciada pelos níveis de vitamina E na dieta. A inclusão de 25 mg de vitamina E apresentou as menores taxas de eclosão férteis e a maior taxa de mortalidade total (93,17% e 6,83%). As taxas de eclosão total foram maiores nos ovos de fêmeas com dietas com 200 e 250 mg de vitamina. O desdobramento da interação entre as relações e VitE para a fertilidade demonstrou que os ovos das matrizes de codornas que receberam a ração com a relação 13,75 e 25mg de VitE tiveram as menores taxas de fertilidade e eclosão total. O efeito contrário foi observado para a taxa de infertilidade.

3.7 QUALIDADE DO PINTINHO

Na avaliação da qualidade do pintinho, as relações afetaram o peso dos pintinhos, onde a relação 9,29 apresentou os pintinhos mais pesados 7,59 g e a relação 13,75 foi de 7,44 g. Porém, não afetou o comprimento e o escore de Pasgar®. A suplementação de vitamina E afetou o peso dos pintinhos, onde a adição de 25 e 250 mg apresentaram os maiores pesos, 7,59 g e 7,60 g respectivamente. Os pintinhos mais compridos foram observados no tratamento com 25 mg de vit. E (Tabela 5). Foi observada uma interação entre a vitamina E e as relações para o comprimento e escore de Pasgar®. No desdobramento da interação do comprimento, a dieta com 13,75 com 25 mg apresentaram o maior comprimento e o menor comprimento foi a relação 13,75 com 250 mg. No escore de Pasgar® o tratamento que apresentou o menor escore foi a relação 13,75 com 25 mg de vitamina E, os outros tratamentos apresentaram médias iguais (Tabela 5).

2.6 ATIVIDADE ANTIOXIDANTE

A capacidade antioxidante na gema, vitelo e fígado de pintinho foi mensurada pela análise captura dos radicais DPPH e peroxidação lipídica (Tabela 6 e 7). Nos dados gema, saco vitelínico do embrião 15 dias e no fígado do pintinho houve um aumento na percentagem de inibição do DPPH na relação 9,29 (21,67, 77,35, 70,13 % respectivamente). No saco vitelínico do embrião de 15 dias a relação 13,75 apresentou a maior percentagem de inibição do DPPH. Para o fígado do embrião de 15 dias, não foi observado diferença significativa. Nas análises de inibição do radical DPPH, houve aumento linear na percentagem de inibição do DPPH na gema, no fígado e no vitelo de embriões com 11 e 15 d quando doses de vitamina E foram fornecidas as matrizes, indicando melhora no estado oxidativo.

Na análise de desdobramento da interação nos tecidos do saco vitelínico do

embrião e fígado do embrião de 15 dias, foi observada diferença entre os tratamentos. A relação 9,29 com a suplementação de vitamina E em qualquer dosagem apresentou um aumento linear na percentagem de inibição do radical DPPH e a relação 13,75 apresentou os menores valores, tendo a maior concentração com a suplementação de 250 mg. No saco vitelínico dos pintinhos de um dia a maior percentagem de inibição do radical DPPH foi na relação 9,29 com a suplementação de 250 mg de vitamina E (87,24 %), seguida do tratamento 13,75 com 200 mg de vitamina E (86,50%), a menor concentração foi observado no tratamento 9,29 com 25 mg de vitamina E (42,30%), indicando que esse tratamento apresentou uma maior oxidação.

A peroxidação lipídica do saco vitelínico do pintinho de 1 dia e do fígado do embrião e do pintinho não apresentou diferença significativa entre as relações. Na gema e no saco vitelínico de 15 dias, a menor concentração foi observada na relação 13,75. A peroxidação lipídica avaliada na gema, no vitelo e no fígado de embriões e pintinhos reduziu linearmente com o fornecimento de doses crescentes de vitamina E. No entanto, a peroxidação apresentou um máximo de redução na gema fresca, na dosagem de 250 mg Vit. E/kg de ração.

Para a peroxidação lipídica da gema e do saco vitelínico (embrião e pintinho), houve efeito da interação entre os tipos de relação e os níveis de vitamina E (Tabela 7). O desdobramento da interação demonstrou que nas matrizes que receberam a relação 13,75 e a adição de 200 e 250 mg de vitamina E houve uma diminuição na peroxidação lipídica, em função do nível de vitamina E. Para o fígado do pintinho de 1 dia a relação 9,29 com 250 mg de vitamina E apresentaram os menores valores de peroxidação lipídica.

3.8 PERFIL DE ÁCIDO GRAXO

Para os teores de LA, LNA, AA, DHA e POLI, no saco vitelínico de 15 dias de incubação foi observada diferença significativa para as relações, onde o conteúdo de cada ácido foi modificado em relação a cada tratamento. A relação 9,29 apresentaram maiores teores de LNA, EPA e DHA e a relação 13,75 maiores teores de LA e AA. A relação LA:LNA também foi modificada, estando correlacionada com a relação fornecida na dieta materna. Para os níveis de vitamina E também foi observado diferença nos ácidos polinsaturados sendo a suplementação de 250 mg a que apresentou os maiores teores. Foi observada interação para o EPA, com aumento na relação 9,29, já que ela possui maior quantidade de EPA em conjunto a 250 mg de vitamina E que auxiliou para evitar uma maior oxidação desse ácido. O AA também foi observado uma interação onde a relação 13,75 que possui maior concentração de AA e a suplementação de 250 mg de Vit E ajudou a manter a integridade desse ácido (Tabela 8).

Para o saco vitelínico residual de 1 dia, as relações afetaram os teores de EPA, DHA, AA e a relação. Os valores de EPA e DHA são maiores na relação 9,29 e AA na relação 13,75. A relação LA:LNA encontrada foi próxima a dieta, a relação 9,29 obteve a relação 11,29 já a relação 13,75 teve a relação 14,92. Ocorre uma diferença na relação fornecida a encontrada, devido às modificações que ocorreram durante a incubação. Para a vitamina E o EPA, DHA, AA foi observado diferença estatística, a inclusão de 250mg melhorou todos os teores de ácidos graxos, devido a maior proteção contra oxidação. Os níveis de 200 e 250mg de vitamina E diminuí a relação, para 12,76 e 12,51 respectivamente, devido aos maiores teores de EPA e DHA no vitelo residual (Tabela 9).

Para a composição do fígado de 1 dia (Tabela 10), a relação 9,29 e o nível de 250 mg de vitamina E aumentou os teores de LNA. A interação entre as relações e os níveis de vit E, teve efeito na concentração de LA, DHA, AA, desdobrando a interação a relação 13,75 com 200 ou 250 mg aumentou os níveis de LA e AA no fígado, para o DHA a

relação 9,29 com 250mg obteve os maiores níveis.

4. DISCUSSÃO

De modo geral, avaliamos a associação da vitamina E com diferentes relações de LA:LNA na dieta de matrizes e reprodutores de codornas sobre variáveis reprodutivas, onde foram verificados efeitos sobre a eclodibilidade, fertilidade, mortalidade embrionária, qualidade do pintinho e no status antioxidante da gema, saco vitelínico e tecido hepático.

4.1 DESEMPENHO DE INCUBAÇÃO

A eclodibilidade dos ovos férteis aumentou com a inclusão de vitamina E na dieta, o mesmo foi observado por Urso et al. (2015) que, ao utilizar 80 mg de vitamina E para reprodutores de galinhas, observou o aumento na eclosão. Esses resultados podem ser explicados pelo aumento da capacidade do sistema antioxidante, sustentado pelo maior nível de vitamina E na dieta. Isso pode ter permitido uma melhor utilização dos nutrientes, resultando em uma eclosão aprimorada (Urso et al., 2015). Resultados que corroboram com Slary et al. (2014), os quais, ao injetar 30 mg de vitamina E no ovo, melhoraram a taxa de eclosão e a resposta imune dos pintinhos.

O aumento da fertilidade com a interação entre a relação 9,29 e 250mg de vitamina E, ocorreu devido a melhoras no sêmen dos reprodutores, visto que ele é rico em ácidos graxos poliinsaturados, principalmente da família do ômega -3, que são importantes para manter as propriedades da membrana espermática, a alta de PUFA nos espermatozoides

deixam eles mais suscetíveis à peroxidação (Cherian, 2020). A suplementação de vitamina E favorece o aumento de tocoferol no sêmen, que pode reduzir a oxidação, melhorar a qualidade do sêmen e assim, aumentar a fertilidade (Urso et al.,2015). A diminuição dos danos no processo oxidativo no sêmen causa mudanças na sua qualidade, como as alterações na fluidez da membrana, fragmentação do DNA e danos morfológicos que afetam a motilidade e a capacidade de fertilização (Sanocka e Kurpisz, 2004). A suplementação de 200mg de vitamina E, aumentou a qualidade espermática e a capacidade antioxidante do soro e testículos de galos reprodutores, melhorando assim a qualidade so sêmen (Min et al., 2018).

Na alimentação de frangos de corte machos, ao avaliarem os efeitos de dietas ricas em AGPI n-3 com 60 semanas, a alimentação com óleo de peixe rico em DHA (18,5%) aumentou significativamente o conteúdo de DHA no fosfolípídeo espermático (4,3% vs. 1,6%) e reduziu a proporção de ácido araquidônico, que foi de 8,7% em comparação com 11,2% na alimentação com óleo de milho, reduzindo assim a relação n-6:n-3 de 5,0 vc. 18,1 (Surai et al., 2000). A alimentação com óleo de peixe com 40 mg/kg de vitamina E reduziu significativamente os níveis de vitamina E no sêmen inteiro e aumentou a suscetibilidade *in vitro* à peroxidação em comparação com o óleo de milho (Surai et al., 2000). Por outro lado, o aumento do nível de inclusão de vitamina E para 200 mg/kg aumentou o conteúdo de vitamina E do sêmen e reduziu a suscetibilidade *in vitro* à peroxidação em galos alimentados com óleo de peixe (Surai et al., 2000). Em matrizes de codornas a relação de 9,29:1 para os dados de eclodibilidade dos férteis e mortalidade, foi recomendado pois melhorou os parâmetros de incubação e qualidade de pintinho (Silva et al., 2024).

Para a mortalidade total ocorreu uma diminuição com o aumento dos níveis de vitamina E, em concordância com nossa observação, Abedi et al. (2017) sugerem que a

suplementação de vitamina E na dieta de reprodutores de codornas reduz a mortalidade com a inclusão de até 120mg. A sobrevivência pode ser atribuída às reservas de antioxidantes adquiridas na dieta materna e acumuladas durante a embriogênese, que ajudaram a aumentar a sobrevivência pós-eclosão, aumentando assim a chance de sobrevivência das aves (Abedi et al., 2017). Pesquisa com diferentes espécies mostra que a inclusão de vitamina E aumenta a eclosão e a fertilidade (Abedi et al., 2017, Fitri et al., 2012). A fertilidade não foi afetada no presente estudo, em galos, suplementação dietética de vitamina E em 20 a 160 mg kg⁻¹ não influenciou a fertilidade (Lin et al., 2005). Além disso, a alimentação com maiores níveis de vitamina E não afetou a eclodibilidade de codornas japonesas machos e fêmeas (Roza, 2021).

4.2 QUALIDADE DO PINTINHO

Os níveis de vitamina E afetaram o peso ao nascimento e o comprimento dos pintinhos, isso ocorre devido a vitamina E da dieta ser transferida para a gema e, por conseguinte, para o embrião em desenvolvimento, auxiliando assim no desenvolvimento embrionário. Com o aumento do peso e comprimento, o embrião conseguiu absorver melhor os nutrientes sem sofrer com altas taxas de oxidação, tendo assim uma redução no estresse da eclosão (Kouvedaki et al., 2024). A deficiência de vitamina E para os pintinhos pode causar redução no comprimento devido ao déficit desse nutriente para melhorar a formação óssea (Kouvedaki et al., 2024).

A associação de vitamina E com os ácidos graxos poliinsaturados ajuda no desenvolvimento embrionário, como no comprimento dos animais e na qualidade de pintinho, já que a deficiência desses nutrientes pode afetar no seu desenvolvimento, gerando animais com baixa qualidade. A associação de selênio e óleo de peixe aliviou o

efeito negativo sobre a eclosão e o peso dos pintinhos de um dia, reafirmando a importância de combinar antioxidante com suplementação de PUFA (Pappas et al., 2006).

4.3 ATIVIDADE ANTIOXIDANTE

O aumento da atividade antioxidante na gema, saco vitelínico e fígado, indicam que o suprimento materno de antioxidantes lipossolúveis é uma boa alternativa para melhorar as respostas de defesa dos embriões. Como relatado em estudo anterior por Roza et al. (2023), que ao suplementar matrizes de codornas com vitamina E, observou uma melhora da atividade antioxidante nos tecidos embrionários.

O aumento dos níveis de vit. E melhorou o estado oxidativo (DPPH^{*} e TBARS) do saco vitelino e fígado de pintos e embriões, reduzindo a peroxidação lipídica. Este achado indica que a suplementação com 250 mg/kg de vitamina E ou mais pode aumentar as reservas antioxidantes no saco vitelino e proteger os embriões de processos oxidativos durante o desenvolvimento embrionário e pós-eclosão. O conteúdo de vitamina E é crucial durante esse período, uma vez que os pintos recém-eclodidos têm dificuldade em assimilar a vitamina E dietética, dependendo das reservas vitelínicas (Surai, 2002).

A suplementação de vitamina E e de LNA na dieta de matrizes é importante, pois esses nutrientes são transferidos para o ovo, e irão auxiliar durante o processo de incubação. O vitelo e os tecidos embrionários dos animais oriundos das fêmeas que consumiram a ração com a relação 9,29, deste estudo tiveram uma maior quantidade de ácidos graxos poliinsaturados do tipo LNA, DHA e EPA que sofrem mais com os processos oxidativos causados pelas espécies reativas ao oxigênio (EROS). Estes efeitos foram comprovados pelas análises de TBARS e DPPH. Isso ocorre porque antioxidantes

lipossolúveis podem ser acumulados na gema do ovo e, quando suplementados na dieta materna, concentram-se nos tecidos embrionários. Portanto, o equilíbrio do sistema antioxidante durante o desenvolvimento embrionário é fundamental para atenuar os efeitos maléficos de radicais livres no embrião (Yigit et al., 2014).

O aumento do teor de AGPI n-3 na dieta aumenta a necessidade de vitamina E do animal como resultado do aumento da suscetibilidade à peroxidação (Surai, 2019). Isso porque, a vitamina E pode prevenir a peroxidação de lipídios causada pelo aumento dos níveis de AGPI. Se as gorduras são oxidadas antes da absorção, elas não são absorvidas de forma tão eficaz e, portanto, a vitamina E pode melhorar a digestibilidade, prevenindo a oxidação antes da absorção. Quando a VitE foi adicionada na dieta suplementada com óleo de peixe, a vitamina E aumentou o conteúdo de DHA na gema de ovo e no músculo do peito da galinha (Cherian, 2020) e reduziu a deterioração oxidativa do ovo, fígado e no músculo da perna.

Ao utilizar óleo de linhaça para galinhas poedeiras e avaliar o conteúdo de MDA, observou-se que os maiores níveis de linhaça aumentaram a peroxidação lipídica. Assim, medidas nutricionais preventivas, incluindo antioxidantes dietéticos, são necessárias para inibir a peroxidação lipídica quando óleo de linhaça é adicionado às dietas de poedeiras em níveis de 0,8% ou mais (Rostami et al., 2016; Lee et al., 2021).

4.4 PERFIL DE ÁCIDO GRAXO

O perfil de ácidos graxos do fígado do pintinho foi influenciado diretamente pela relação dos ácidos graxos presente na dieta materna, que foi transferida para a gema do ovo e o pintinho absorveu durante a incubação. Para o perfil do fígado de pintinhos

provenientes de mães que receberam diferentes relações, foi observado a modificação do teor de ácidos graxos em relação à dieta. Na última semana de incubação e no primeiro dia de vida ocorre um aumento proporcional de LA, LNA, AA, DHA e o total de ácidos graxos polinsaturados para que o embrião termine o seu desenvolvimento (Khatibjoo et al.,2018), no presente estudo foi observado um aumento nos teores de ácidos graxos no vitelo durante a incubação e no momento da eclosão esses teores ainda estavam presentes no vitelo residual para o animal utilizar durante o seu desenvolvimento fora do ovo.

A suplementação materna de n- 3 FA, EPA e DHA foi incorporada na gema e utilizada durante a incubação através do vitelo para se tornar disponível para o embrião em desenvolvimento e resultou em concentrações elevadas de EPA e DHA no fígado. Assim como nos nossos resultados, ao utilizar óleo de peixe na dieta de matrizes para obter diferentes razões de EPA / DHA de 1/1 (EPA = DHA), 1/2 (DHA) ou 2/1 (EPA) levou a uma diminuição n- 6: n - 3 no vitelo residual e fígado de um dia, quando comparados com os filhos proveniente de aves que tinham a maior relação de n-6:n-3 (Koppenol, et al., 2014)

A modificação no perfil lipídico do vitelo e do fígado ocorre devido às alterações na dieta, sendo de suma importância, uma vez que os ácidos graxos absorvidos durante a incubação serão direcionados para a beta oxidação nos tecidos embrionários específicos, como fígado, coração e cérebro. Além disso, outras frações lipídicas desempenharam diversas funções, como a biogênese da membrana, sinalização de transdução e síntese de hormônios esteroides, implicando uma complexa rede de composição, mecanismos de transporte, captação específica de tecido e metabolismo (Neuringer et al., 1998). A necessidade de lipídios para essas funções, modifica a composição lipídica ao longo dos estágios de incubação. Esse comportamento foi observado neste estudo em codornas.

No início da incubação, nem todos os ácidos graxos são detectados, especialmente o DHA, que é pouco detectável no triacilglicerol da gema original. No entanto, ao analisar o triacilglicerol em frangos de corte no 12º dia de incubação, os ácidos graxos constituíram 20% do peso total (Neuringer et al., 1998). A composição de ácidos graxos presente no tecido do embrião e do pintinho subsequente refletiu a composição de ácidos graxos da gema do ovo. Koppenol et al. (2014), ao utilizarem DHA e EPA na dieta na proporção de 1:1, 1:2 e 2:1, com uma proporção de LA:LNA de 11 para 5,4 observaram que a gema, o embrião e a progênie tiveram relação próximas a da dieta. Isso ocorre porque os suplementos lipídicos maternos são adicionados à gema em quantidades iguais, principalmente ácidos graxos. Quando incubados, esses ovos enriquecidos transferem ácidos graxos para o embrião através da gema, proporção próxima daquela fornecida na dieta materna. O resultado é uma alta concentração de EPA e DHA no fígado dos pintinhos após a eclosão (Cherian, 2015). No presente estudo, observou-se que este comportamento também foi observado nas codornas analisadas, pintinhos provenientes de ovos de matrizes com dietas com LA:LNA de 9,29 tiveram muito mais EPA e DHA no fígado do que aqueles da relação 13,75.

O LNA presente na gema tem um papel importante na modulação do metabolismo lipídico e eicosanoide da prole, são preferencialmente removidos dos lipídios do saco vitelino e são incorporados aos fosfolipídios da membrana celular do embrião em desenvolvimento durante a embriogênese e crescimento pós-eclosão (Koppenol et al., 2015).

5. CONCLUSÃO

Com base no conjunto de resultados obtidos, tanto para a relação 9,29:1 quanto 13,75:1 (LA:LNA), é recomendado a suplementação de 250 mg de vitamina E na dieta

de codornas japonesas.

Baseado nos resultados de eclodibilidade, qualidade de pintinho e DPPH o uso de 250 mg de vitamina E na dieta de reprodutores é indicada em relações de LA:LNA de 9,29:1 para produção de ovos férteis em codornas japonesas.

6. REFERÊNCIAS

Abedi P, Vakili ST, Mamouei M, et al. Effect of different levels of dietary vitamin E on reproductive and productive performances in Japanese quails (*Coturnix coturnix japonica*). Veterinary Research Forum. 2017; 8 (4): 353-59.

Azzi. A. Oxidative Stress: What Is It? Can It Be Measured? Where Is It Located? Can It Be Good or Bad? Can It Be Prevented? Can It Be Cured? *Antioxidants* 2022; 11(8), 1431. <https://doi.org/10.3390/antiox11081431>.

Cherian G. Nutrition and metabolism in poultry: role of lipids in early diet. Journal Animal Science Biotechnology 2015; 24;6(1):28. <https://doi.org/10.1186/s40104-015-0029-9>.

Fitri NL, Wiranda GP, Tuty LY. Effect of supplementation of organic selenium and vitamin E in commercial diets on quail reproduction. Proceedings; 2nd International seminar on animal industry 2012; 290:308-318.

Idamokoro EM, Hosu YS. Out-Look on worldwide trends of related studies on citrus waste as feed for livestock production: a scientometric analysis. *Frontiers in Research Metrics and Analytics* 2022; 7:869974. <https://doi.org/10.3389/frma.2022.869974>.

Khatibjoo A, Kermanshahi H, Golian A et al. The effect of n-6/n-3 fatty acid ratios on broiler breeder performance, hatchability, fatty acid profile and reproduction. *Journal of Animal Physiology and Animal Nutrition* 2018; 102(4):986-998. <https://doi.org/10.1111/jpn.12904>.

Koppenol A, Buyse J, Everaert N, et al. Transition of maternal dietary n-3 fatty acids

from the yolk to the liver of broiler breeder progeny via the residual yolk sac. Poultry Science, 2014; 94(1):43-52. <https://doi.org/10.3382/ps/peu006>.

Koppenol A, Delezie E, Wang Y, et al. Effects of maternal dietary EPA and DHA supplementation and breeder age on embryonic and post-hatch performance of broiler offspring. Journal of Animal Physiology and Animal Nutrition 2015; 99:36-47. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0273025>.

Kouvedaki I, Pappas AC, Suari PF, et al. Nutrigenomics of Natural Antioxidants. Antioxidants 2024; 1 : 1-24.

Lee SH, Kim YB, Kim DH, et al. Dietary soluble flaxseed oils as a source of omega-3 polyunsaturated fatty acids for laying hens. Poultry Science, 2021; 100(8): 101276. <https://doi.org/10.1016/j.psj.2021.101276>.

Lim YF, Chang SJ, Yang JR, et al. Effects of supplemental vitamin E during the mature period on the reproduction performance of Taiwan Native Chicken cockerels. British Poultry Science 2005;46(3):366–373. <https://doi.org/10.1080/00071660500098186>.

Neuringer M, Anderson GJ, Connor WE. The essentiality of n-3 fatty acids for the development and function of the retina and brain. Annual Review of Nutrition 1988; 8(1) :517-541. <https://doi.org/10.1146/annurev.nu.08.070188.002505>.

Noble RC, Cocchi M. 1990. Lipid metabolism and the neonatal chicken. Progress in Lipid Research, 1990; 29 (2):107-140. [https://doi.org/10.1016/0163-7827\(90\)90014-c](https://doi.org/10.1016/0163-7827(90)90014-c).

Pappas AC, Acamovic T, Sparks NHC, et al. Effects of supplementing broiler breeder diets with organoselenium compounds and polyunsaturated fatty acids on hatchability. Poultry Science 2006; 85:1584–1593. <https://doi.org/10.1093/ps/85.9.1584>.

Rosa LF, Oliveira EM, Staub L, et al. Supplementation of Japanese quail (*Coturnix coturnix japonica*) breeders with *Tagetes erecta* Flower Extract and Vitamin E improves the oxidative status of embryos and chicks. Poultry 2023; 2:449-462. <https://doi.org/10.3390/poultry2040034>.

Rostami A, Zamani Moghaddam AK, Hassanpour H, et al. Pulmonary hypertension and right ventricular failure in broiler chickens reared at high altitude is affected by dietary

548 source of n-6 and n-3 fatty acids. *J. Anim. Journal of Animal Physiology and Animal*
549 *Nutrition* 2016;100:701–706. <https://doi.org/10.1111/jpn.12432>.

550 Roza, LF. Extrato floral de *Tajetes erecta* e vitamina e em dietas para matrizes de
551 codornas: perfil oxidativo, produção, reprodução, incubação e progênie. [TESE].
552 Maringá (PR): Universidade Estadual de Maringá; 2021.

553 Salary J, Sahebi-Ala F, Kalantar M, et al. Effect in ovo injection of vitamin E on post-
554 hatch immunological parameters and broiler chicken performance. *Asian Pacific Journal*
555 *of Tropical Biomedicine* 2014; 4: 616–619.
556 <https://doi.org/10.12980/APJTB.4.2014APJTB-2014-0088>.

557 Sanocka D, Kurpisz M. Reactive oxygen species and sperm cells. *Reproductive Biology*
558 *and Endocrinology*. 2004;2:12 <https://doi.org/10.1186/1477-7827-2-12>.

559 Shakeri M, Oskoueian E, Le HH, et al. Strategies to combat heat stress in broiler
560 chickens: Unveiling the roles of selenium, vitamin E and vitamin C. *Veterinary Science*.,
561 2020; 7 : 71. <https://doi.org/10.3390/vetsci7020071>.

562 Silva LAL, Miranda VMMC, Roza LF, et al. Relationship of Linoleic and Alpha-
563 Linolenic Acids on the Productive Performance and Serum Biochemical Profile of
564 Japanese Quail Breeders. *Brazilian Journal of Poultry Science* 2023; 25(2): 001-010.
565 <https://doi.org/10.1590/1806-9061-2022-1711>.

566 Silva LAL. Relação do ácido linoleico e alfa linolênico em reprodutores (as) de codornas
567 japonesas e sua progênie. [dissertação]. Maringá (PR): Universidade Estadual de
568 Maringá; 2021.

569 Surai PF, Fisinin VI, Karadas F. Antioxidant systems in chick embryo development. Part
570 1. Vitamin E, carotenoids and selenium. *Animal Nutrition*, 2016; 2(1): 1–11.
571 <https://doi.org/10.1016/j.aninu.2016.01.001>.

572 Surai PF, Kochish II, Fisinin VI, et al. Antioxidant defense systems and oxidative stress
573 in poultry biology: An Update. *Antioxidants* 2019; 8(7): 235.
574 <https://doi.org/10.3390/antiox8070235>.

575 Surai PF, Blesbois E, Grasseau I, et al. Fatty acid composition, glutathione peroxidase

and superoxide dismutase activity and total antioxidant activity of avian semen.
Comparative Biochemistry and Physiology 1998; 120 : 527-533. [https://doi.org/10.1016/s0305-0491\(98\)10039-1](https://doi.org/10.1016/s0305-0491(98)10039-1).

Surai PF. Natural Antioxidants in Avian Nutrition and Reproduction. Nottingham University Press, 2002 .Nottingham.

Surai PF. Effect of selenium and vitamin E content of the maternal diet on the antioxidant system of the yolk and the developing chick. British Poultry Science 2000; 41(2): 235-243. <https://doi.org/10.1080/713654909>.

Urso URA, Dahlke F, Maiorka A, et al. Vitamin E and selenium in broiler breeder diets: Effect on live performance, hatching process, and chick quality Author links open overlay panel. Poultry Science 2015; 94(5): 976-983. <https://doi.org/10.3382/ps/pev042>.

Yigit AA, Panda AK, Cherian G, 2014. The avian embryo and its antioxidant defence system. Worlds Poult. Science Journal 2014; 70(3): 563–574. <https://doi.org/10.1017/S0043933914000610>.

Tabela 1. Composição das dietas experimentais para codornas em postura.

Ingrediente	Relações LA:LNA	
	9,29	13,75
Milho Grão	57,45	57,45
Farelo de Soja (45%)	30,81	30,81
Calcário Calcítico	6,73	6,73
Fosfato Bicálcico	1,17	1,17
Óleo de Soja	1,49	1,60
Óleo de Linhaça	0,11	0,00
Sal Comum	0,30	0,30
L-Lisina (78%)	0,26	0,26
DL- Metionina (98%)	0,44	0,44
Suplemento Vit. e Mineral ¹	0,40	0,40
Composição Calculada		
Energia Metabolizável (Mcal/kg)	2.810	2.810
Proteína (%)	19,00	19,00
Cálcio (%)	2,99	2,99
Fósforo Disponível (%)	0,31	0,31
Extrato Etéreo (%)	4,21	4,21
Lisina Digestível	1,149	1,149
Metionina + Cistina digestível	0,942	0,942
Treonina digestível	0,701	0,701
Triptofano digestível	0,242	0,242
Isoleucina digestível	0,747	0,747
Cloro (%)	0,24	0,24
Sódio (%)	0,147	0,147
BED (mEq/kg)	150,05	150,05

¹Quantidade por kg de ração – Vitamina A 10.000 UI; Vitamina D3: 2.000 UI; Vitamina E: 25 mg; Vitamina K3: 3 mg; Vitamina B1: 2,5 mg; Vitamina B2: 6 mg; Vitamina B6: 5 mg; Vitamina B12: 20 mg; Pantotenato de cálcio: 12 mg; Niacina: 24 mg; Ácido Fólico: 1 mg; Biotina: 0,2 mg; Colina: 300 mg; Zinco: 52mg; Ferro: 52mg; Manganês: 60 mg; Cobre: 24 mg; Iodo: 1 mg; Cobalto: 0,2 mg; Se: 0,252 mg; Etoxim: 0,1 mg.

621 **Tabela 2.** Composição do perfil de ácido graxo analisado nas fontes do óleo de soja e de
622 linhaça e nas rações
623

Ácido Graxo	Óleo de Soja	Óleo de Linhaça	9,29:1	13,75:1
Ácido linoleico (C18:2 n-6)	52,6	17,41	12,54	13,58
Ácido alfa linolênico (C18:3 n3)	6,94	46,15	1,10	0,90
Ácido araquidônico (C20:4)	0,150	0,074	1,25	1,01
Ácido eicosapentaenoico (C20:5 n3)	0,003	0,05	0,06	0,05
Ácido docosa-hexaenoico (C22:6n3)	0,005	0,09	0,30	0,10
LA:LNA	7,59	0,38	9,44	13,89

624
625 **Tabela 3.** Teores de vitamina E nos produtos utilizados nas dietas experimentais

Ingrediente	Vitamina E mg/kg		
	25	200	250
Premix vitamínico (acetato de tocoferol)	0,025	0,025	0,025
Acetato de tocoferol (BASF)	-	0,011	0,020
Inerte (Caulim)	0,853	0,842	0,833

626

Tabela 4. Dados estimados e observados (entre parênteses) das variáveis de desempenho de incubação (n=10) de ovos oriundos de matrizes de codornas alimentadas com diferentes relações LA: LNA e níveis de vitamina E da 14 a 23 semana.

LA:LN A	VitE	Nº ovos	Fertilidade	Infertilidade	Eclod total	Eclod férteis	Mort total	Mort 1	Mort 2
9,29		770	98,28 (98,10)	01,72 (09,91)	94,90 (94,97)	96,82 ^a (96,85)	03,18 ^b (03,14)	00,00 ^b (00,00)	100,00 ^a (100,00)
13,75		771	97,34 (96,91)	02,66 (03,09)	91,43 (90,42)	94,00 ^b (93,19)	06,00 ^a (06,81)	39,71 ^a (39,70)	60,29 ^b (60,30)
	25	477	97,84 (96,81)	02,16 (03,18)	91,03 (89,40)	93,17 ^b (92,17)	06,83 ^a (07,82)	43,05 (42,98)	56,95 (57,02)
	200	494	97,78 (97,79)	02,22 (02,21)	94,16 (94,29)	96,30 ^a (96,45)	03,70 ^b (03,55)	27,43 (27,43)	72,57 (72,57)
	250	483	97,96 (97,90)	02,04 (02,10)	94,48 (94,39)	96,70 ^a (96,45)	03,30 ^b (03,54)	00,00 (00,00)	100,00 (100,00)
9,29	25	234	99,15 ^a (99,06)	00,85 ^a (00,93)	95,30 ^a (95,39)	96,12(96,33)	03,88 (03,67)	22,22 (22,22)	77,78 (77,78)
9,29	200	232	97,87 ^a (97,87)	02,15 ^a (02,13)	94,42 ^a (94,74)	96,49 (96,83)	03,51 (03,16)	25,00 (28,57)	75,00 (75,00)
9,29	250	218	97,25 ^a (97,34)	02,75 ^a (02,66)	94,95 ^a (94,77)	97,64 (97,77)	02,36 (02,58)	00,00 (00,00)	100,00 (100,00)
13,75	25	243	94,65 ^b (94,56)	05,35 ^b (05,44)	83,54 ^b (83,40)	88,26 (88,02)	11,74 (11,98)	66,67 (66,67)	33,33 (33,33)
13,75	200	262	97,71 ^a (97,71)	02,29 ^a (02,29)	93,89 ^a (93,85)	96,09 (96,07)	03,91 (3,93)	30,00 (30,00)	70,00 (70,00)
13,75	250	265	98,49 ^a (98,47)	01,51 ^a (01,53)	93,96 ^a (94,00)	95,40 (95,50)	04,60(4,51)	25,00 (25,00)	75,00 (75,00)
	Média		97,50	02,50	92,69	95,02	04,98	25,37	74,63
	SEM		0,38	0,38	0,80	0,68	0,68	0,89	0,90
P-valor									
	Relação		0,248	0,248	0,010	0,013	0,013	0,028	0,028
	VitE		0,982	0,982	0,103	0,038	0,038	0,088	0,088
	Interação		0,019	0,019	0,018	0,222	0,222	0,333	0,333

Eclod: eclodibilidade; Mort: mortalidade total; Mort 1: mortalidade inicial+ média; Mort 2: mortalidade final + ovos bicado; Letras diferentes entre si diferem estatisticamente pelo least squares mean test no proc GENMOD do SAS (P<0,05). As médias foram estimadas pela fórmula: $\beta \text{ estimated} = 100 \times (\exp^{(\beta)} / 1 + \exp^{(\beta)})$.

Tabela 5. Dados médios da análise de qualidade de pintinhos de 1 dia (n=50) oriundos de matrizes de codornas japonesas alimentadas com diferentes relações LA:LNA e níveis de vitamina E entre 14 e 23 semana.

Qualidade do Pintinho				
LA:LNA	Vit E	Peso (g)	Comprimento (cm)	Escore de Pasgar®
9,29		7,59 ^a	11,50	9,97
13,75		7,44 ^b	11,57	9,96
	25	7,59 ^a	11,64 ^a	9,95
	200	7,36 ^b	11,44 ^b	9,97
	250	7,60 ^a	11,51 ^{ab}	9,97
Interação				
9,29	25	7,62	11,34 ^b	9,98 ^a
9,29	200	7,42	11,39 ^b	9,97 ^a
9,29	250	7,73	11,75 ^a	9,96 ^{ab}
13,75	25	7,55	11,94 ^a	9,92 ^b
13,75	200	7,31	11,49 ^b	9,97 ^a
13,75	250	7,46	11,27 ^c	9,98 ^a
Média		7,51	11,53	9,96
CV %		0,90	3,52	0,82
SEM		0,04	0,03	0,004
Valor de P				
LA:LNA		0,033	0,129	0,258
Vit E		0,013	0,002	0,048
Interação		0,478	<0,001	0,009

^{a,b} Letras diferentes entre si diferem estatisticamente pelo teste de Tukey (P<0,05).

Tabela 6. Análises das médias de estado oxidativo mensurada pela inibição do radical DPPH (%) na gema, no vitelo e no fígado de embrião de pintinhos (n= 10) de matrizes de codornas japonesas alimentadas com diferentes relações e níveis de vitamina E (Vit E).

LA:LNA	Vit E	DPPH (%)				
		Gema (dia 0)	Saco Vitelínico (15 d)	Saco Vitelínico residual (eclosão)	Fígado (15 d)	Fígado (eclosão)
9,29		21,67 ^a	68,04	77,35	47,20	70,13
13,75		18,23 ^b	78,59	68,04	48,16	64,64
	25	09,57 ^c	56,93	56,17	31,98	67,74
	200	21,44 ^b	80,54	79,47	46,92	48,65
	250	28,84 ^a	82,47	82,48	64,15	85,75
9,29	25	08,58	67,71 ^d	70,04 ^c	29,87 ^c	42,22 ^d
9,29	200	18,91	87,80 ^b	84,31 ^a	49,54 ^b	67,84 ^b
9,29	250	27,19	88,15 ^a	77,72 ^{bc}	62,19 ^a	83,85 ^a
13,75	25	10,56	45,77 ^f	42,30 ^d	34,08 ^c	55,09 ^c
13,75	200	23,97	64,57 ^e	74,58 ^c	44,30 ^b	67,64 ^b
13,75	250	30,49	76,71 ^c	87,24 ^a	66,11 ^a	87,65 ^a
Média		19,95	71,28	72,69	47,68	67,66
CV %		15,00	02,83	05,01	12,24	04,84
SEM		01,12	01,86	01,97	01,87	02,07
P-valor						
Relação		<0,001	<0,001	<0,001	0,526	<0,001
Vit E		<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001
Interação		0,272	<0,001	<0,001	0,019	<0,001

^{a,b} Letras diferentes entre si diferem estatisticamente pelo teste de Tukey (P<0,05). D- dia

Tabela 7. Análises das médias da peroxidação lipídica medida pela dosagem de MDA ($\mu\text{g/g}$) na gema, no vitelo de ovos e no fígado de embrião e de pintinhos (n= 5) de matrizes de codornas japonesas alimentadas com diferentes relações e níveis de vitamina E (Vit E).

LA:LNA	Vit E	MDA ($\mu\text{g/g}$)				
		Gema	Saco Vitelínico (15 d)	Saco Vitelínico residual (1 d)	Fígado (15d)	Fígado (1 d)
9,29		1,35	3,97	3,90	4,50	2,93
13,75		1,33	3,84	3,83	4,46	2,86
	25	1,88	4,62	4,73	5,09 ^a	3,54
	200	0,98	3,89	3,70	4,54 ^b	3,09
	250	0,85	3,21	3,16	3,81 ^c	2,06
9,29	25	2,02 ^a	4,55 ^a	4,46 ^b	5,08	3,55 ^a
9,29	200	1,02 ^c	3,98 ^b	3,89 ^c	4,55	3,22 ^b
9,29	250	1,01 ^c	3,39 ^c	3,35 ^d	3,87	2,02 ^d
13,75	25	1,75 ^b	4,68 ^a	5,00 ^a	5,09	3,53 ^a
13,75	200	0,95 ^c	3,80 ^b	3,52 ^d	4,54	2,96 ^c
13,75	250	0,69 ^d	3,02 ^d	2,97 ^e	3,75	2,10 ^d
Média		1,24	3,90	3,87	4,48	2,90
CV %		5,62	2,98	3,37	2,79	3,77
SEM		0,09	0,11	0,12	0,10	0,11
P- Valor						
Relação		<0,001	0,005	0,166	0,421	0,107
Vit E		<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001
Interação		0,001	0,004	<0,001	0,453	0,006

^{a,b} Letras diferentes entre si diferem estatisticamente pelo teste de Tukey (P<0,05); D- dias

Tabela 8. Composição de ácido graxos (%) do saco vitelínico de embriões com 15 dias de incubação oriundos de ovos de codornas japonesas alimentadas com diferentes relações LA:LNA associados com níveis de vitamina E.

Saco Vitelínico 15 dias de incubação								
LA:LNA	Vit E	LA	LNA	EPA	DHA	AA	POLI	LA:LNA
9,29		32,83 ^b	2,13 ^a	0,71	0,20 ^a	1,03	36,90 ^b	11,14 ^b
13,75		39,79 ^a	2,04 ^b	0,51	0,11 ^b	1,14	43,90 ^a	15,42 ^a
	25	35,22 ^c	1,98	0,59	0,14 ^b	1,00	38,92 ^c	13,60
	200	36,23 ^b	2,10	0,61	0,15 ^b	1,08	40,18 ^b	13,14
	250	37,47 ^a	2,17	0,64	0,17 ^a	1,17	41,63 ^a	13,10
9,29	25	32,00	2,04	0,68 ^c	0,18	0,98 ^e	35,86	11,37
9,29	200	32,85	2,13	0,70 ^b	0,20	1,02 ^d	36,90	11,18
9,29	250	33,64	2,22	0,75 ^a	0,22	1,10 ^c	37,93	10,89
13,75	25	38,45	1,92	0,49 ^e	0,10	1,03 ^d	41,97	15,83
13,75	200	39,62	2,08	0,52 ^d	0,11	1,15 ^b	43,47	15,11
13,75	250	41,31	2,13	0,53 ^d	0,13	1,25 ^a	45,33	15,31
Média		36,31	2,08	0,61	0,15	1,08	40,24	13,27
CV%		1,23	4,29	2,54	4,95	0,80	1,27	3,58
SEM		1,09	0,03	0,03	0,01	0,03	1,07	0,65
P-valor								
Relação		<0,001	0,006	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001
Vit E		0,001	0,055	<0,001	0,001	<0,001	0,009	0,326
Interação		0,221	0,860	<0,001	0,592	0,005	0,262	0,685

^{a,b} Letras diferentes entre si diferem estatisticamente pelo teste de Tukey (P<0,05); Ácido linoleico (LA); Ácido alfa linolênico (LNA); Ácido araquidônico (AA); Ácido eicosapentaenoico (EPA); Ácido docosa-hexaenoico (DHA) ; Ácidos graxos Polinsaturados (POLI).

Tabela 9. Composição de ácido graxos (%) do saco Vitelínico residual de 1 dia de ovos de codornas japonesas alimentadas com diferentes relações LA:LNA associados com níveis de vitamina E

Saco Vitelínico residual - eclosão								
LA: LNA	Vit E	LA	LNA	EPA	DHA	AA	POLI	LA: LNA
9,29		29,32	2,06 ^a	0,51 ^a	0,12 ^a	0,95 ^b	32,96	11,29 ^b
13,75		29,88	1,84 ^b	0,18 ^b	0,07 ^b	1,06 ^a	33,02	14,92 ^a
	25	29,28	1,83 ^b	0,31 ^c	0,08 ^c	0,93 ^b	32,42	14,03 ^a
	200	29,40	1,97 ^a	0,36 ^b	0,10 ^b	1,04 ^a	32,85	12,76 ^b
	250	30,12	2,04 ^a	0,37 ^a	0,11 ^a	1,06 ^a	33,70	12,51 ^b
9,29	25	29,01	1,98	0,48	0,10	0,87	32,42	11,69 ^c
9,29	200	28,34	2,05	0,52	0,12	0,99	32,01	10,95 ^c
9,29	250	30,62	2,15	0,54	0,14	1,01	34,45	11,22 ^c
13,75	25	29,56	1,68	0,14	0,05	0,99	32,41	16,38 ^a
13,75	200	30,45	1,90	0,20	0,08	1,09	33,70	14,57 ^b
13,75	250	29,62	1,94	0,21	0,09	1,11	32,95	13,81 ^b
Média		29,60	1,95	0,35	0,10	1,01	32,99	13,11
CV		1,49	1,65	5,18	4,87	0,50	1,30	2,69
SEM		0,08	0,24	0,37	0,42	0,47	0,51	0,42
ANOVA				Valor de P				
Relação		0,2071	<0,0001	<0,0001	<0,0001	<0,0001	0,8786	<0,0001
Vit E		0,2449	0,0003	<0,0001	0,0014	<0,0001	0,0863	0,0015
Interação		0,4931	0,0512	0,3170	0,4219	0,6699	0,4162	0,0140

^{a,b} Letras diferentes entre si diferem estatisticamente pelo teste de Tukey (P<0,05); Ácido linoleico (LA); Ácido alfa linolênico (LNA); Ácido araquidônico (AA); Ácido eicosapentaenoico (EPA); Ácido docosa-hexaenoico (DHA) ; Ácidos graxos Polinsaturados (POLI).

Tabela 10. Composição de ácido graxos (%) do fígado com 1 dia de vida de ovos de codornas japonesas alimentadas com diferentes relações LA:LNA associados com níveis de vitamina E

Fígado – eclosão								
LA:LNA	Vit E	C18:2n-6	C18:3n-3	C20:5n3	C22:6n3	C20:4	POLI	LA:LNA
9,29		23,76	1,90 ^a	0,88 ^a	0,21	0,96	27,71 ^b	8,27 ^b
13,75		29,74	1,38 ^b	0,59 ^b	0,09	1,62	33,42 ^a	15,25 ^a
	25	24,66	1,55 ^c	0,69	0,12	1,22	28,23 ^c	11,53
	200	27,21	1,65 ^b	0,74	0,14	1,29	31,03 ^b	11,99
	250	28,38	1,73 ^a	0,77	0,18	1,36	32,43 ^a	11,76
9,29	25	22,57 ^c	1,80	0,85	0,15 ^c	0,90 ^f	26,26	8,41
9,29	200	23,43 ^c	1,91	0,88	0,21 ^b	0,98 ^e	27,40	8,15
9,29	250	25,27 ^b	2,01	0,93	0,26 ^a	1,01 ^d	29,47	8,24
13,75	25	26,74 ^b	1,31	0,54	0,09 ^c	1,54 ^c	30,21	14,65
13,75	200	31,00 ^a	1,39	0,60	0,07 ^c	1,60 ^b	32,66	15,83
13,75	250	31,50 ^a	1,46	0,62	0,10 ^c	1,71 ^a	32,38	15,28
Média		26,75	1,64	0,73	0,15	1,29	30,57	11,76
CV		1,29	4,73	5,98	9,17	8,16	1,23	6,48
SEM		0,79	0,22	0,02	0,01	0,19	0,76	3,97
P-valor								
Relação		<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001
Vit E		<0,001	0,002	0,064	<0,001	<0,001	<0,001	0,208
Interação		0,002	0,303	0,869	0,002	0,003	0,351	0,433

^{a,b} Letras diferentes entre si diferem estatisticamente pelo teste de Tukey (P<0,05); Ácido linoleico (C18:2 n-6); Ácido alfa linolênico (C18:3 n3); Ácido araquidônico (C20:4); Ácido eicosapentaenoico (C20:5 n3); Ácido docosa-hexaenoico (C22:6n3) ; Ácidos graxos Polinsaturados (POLI).

VIII. Considerações Finais

Os resultados do presente estudo permitiram concluir que a suplementação de 0,060% DHA para matrizes de codornas japonesas em postura, melhora o desempenho produtivo, qualidade de ovo e o perfil sérico do sangue. Além disso, o DHA pode melhorar os parâmetros de incubação, como o aumento da eclodibilidade total e de férteis, além de diminuir a mortalidade, melhorando a qualidade do pintinho e da oxidação lipídica.

Para as interações entre as relações de LA:LNA e vitamina E na dieta de matrizes de codornas japonesas, os resultados do presente estudo permitiram concluir que a associação deles não prejudica o desempenho zootécnico nem tampouco as características físicas de qualidade interna e externa dos ovos. Além disso, a interação melhorou os parâmetros de fertilidade e eclosão total dos ovos. Entretanto, é importante salientar que a utilização das relações separadas e dos níveis de vitamina E também podem afetar de forma positiva os parâmetros de incubação, por isso a importância do equilíbrio entre esses ácidos e o nível de vitamina E garantindo a potencialização da produção, onde a relação 9,29:1 com a inclusão de 250mg de vitamina E pode ser utilizada com esse intuito. Tendo em vista que as relações e a vitamina E, bem como a suplementação de DHA melhoraram diferentes parâmetros, podem ser utilizados como estratégias para melhorar a produção e a reprodução de codornas.