



NICOLE BATELLI DE SOUZA NARDELLI

**AVALIAÇÃO NUTRICIONAL DA CHIA (*Salvia hispanica*)
PARA FRANGOS DE CORTE: DESEMPENHO, QUALIDADE
DA CARNE, METABOLIZABILIDADE DE NUTRIENTES E
VALOR ENERGÉTICO**

**LAVRAS - MG
2018**

NICOLE BATELLI DE SOUZA NARDELLI

AVALIAÇÃO NUTRICIONAL DA CHIA (*Salvia hispanica*) PARA FRANGOS DE CORTE: DESEMPENHO, QUALIDADE DA CARNE, METABOLIZABILIDADE DE NUTRIENTES E VALOR ENERGÉTICO

Tese apresentada à Universidade Federal de Lavras, como parte das exigências do Programas de Pós-Graduação em Zootecnia, área de concentração em Produção e Nutrição de Não-Ruminantes, para a obtenção do título de Doutor.

Prof. Dr. Paulo Borges Rodrigues
Orientador

**LAVRAS-MG
2018**

**Ficha catalográfica elaborada pelo Sistema de Geração de Ficha Catalográfica da Biblioteca Universitária da UFLA,
com dados informados pelo(a) próprio(a) autor(a).**

Nardelli, Nicole Batelli de Souza.

Avaliação nutricional da chia (*Salvia hispanica*) para frangos de corte: desempenho, qualidade da carne, metabolizabilidade de nutrientes e valor energético / Nicole Batelli de Souza Nardelli. - 2018.

128 p. : il.

Orientador: Paulo Borges Rodrigues.

Tese (Doutorado) - Universidade Federal de Lavras, 2018.

Bibliografia.

1. Metabolismo. 2. Nutrição avícola. 3. Ômega-3. I. Rodrigues, Paulo Borges. II. Título.

NICOLE BATELLI DE SOUZA NARDELLI

AVALIAÇÃO NUTRICIONAL DA CHIA (*Salvia hispanica*) PARA FRANGOS DE CORTE: DESEMPENHO, QUALIDADE DA CARNE, METABOLIZABILIDADE DE NUTRIENTES E VALOR ENERGÉTICO

NUTRITION EVALUATION OF CHIA (*Salvia hispanica*) FOR BROILER CHICKEN: PERFORMANCE, MEAT QUALITY, NUTRIENT METABOLIZABILITY, AND ENERGY VALUE

Tese apresentada à Universidade Federal de Lavras, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Zootecnia, área de concentração em Produção e Nutrição de Não-Ruminantes, para a obtenção do título de Doutor.

APROVADA em 16 de julho de 2018.

Profa. Dra. Luciana de Paula Naves	UNIFENAS
Prof. Dr. Márvio Lobão Teixeira de Abreu	UFLA
Prof. Dr. Peter Bitencourt Faria	UFLA
Profa. Dra. Renata Ribeiro Alvarenga	UFLA

Prof. Dr. Paulo Borges Rodrigues
Orientador

**LAVRAS-MG
2018**

A Deus, o Mestre dos Mestres, meu guia, sustentáculo e minha luz.

À minha mãe, Liliane, ao meu Pai, Théo, e ao meu irmão, Enrico, por tornarem meus dias mais leves, por serem meus principais incentivadores e por todo amor dedicado a mim e aos meus sonhos.

Ao meu noivo, Hugo, por toda compreensão, amizade, cumplicidade e amor... Por ser minha calma nos momentos de tempestade e por todos os momentos que acreditou mais em mim do que eu mesma.

DEDICO

AGRADECIMENTOS

A Deus e ao Sagrado Coração de Jesus, pelo dom da vida e pela proteção constante.

À Universidade Federal de Lavras e ao Departamento de Zootecnia (DZO), pela oportunidade de cursar o doutorado.

À Fundação de Amparo à Pesquisa de Minas Gerais (FAPEMIG) e a Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES) pelo apoio financeiro e concessão da bolsa de estudos.

Ao meu orientador, Prof. Dr. Paulo Borges Rodrigues pela paciência, sabedoria, confiança e valiosos ensinamentos.

A todos os professores que participaram da minha formação e que de alguma forma colaboraram com a elaboração e execução deste trabalho.

Aos professores, Dr. Peter Bitencourt Faria e Dra. Priscila Viera e Rosa pelas sugestões, ensinamentos e por prontamente cederem seus laboratórios de pesquisa para a realização das análises.

Aos funcionários do Departamento de Zootecnia e do Laboratório de Nutrição Animal, em especial, Eliana, Márcio, Flávio, Luís Carlos (Borginho) e Fabiano (Binho) pela atenção, ajuda, prontidão e disposição em todas as horas.

Às funcionárias, Lidiany e Franciane, do Departamento de Química - DQI, pela disposição e auxílio nas análises cromatográficas.

Às pós-doutorandas, Natália, Cristina e Vânia pelo auxílio nas análises laboratoriais.

A todos os amigos de pós-graduação e graduação em especial, Ana Lauren, Ariane Nogueira, Breno Alves, David Oliveira, Eduardo Lima, Evelyn Oliveira, Fábio Loures, Felipe Alves, Fernanda Paul, Flávio Aguiar, Joana Marçal, Kimberly Cristina, Laryssa Bernardes, Lorena Pontes, Marcelo Espósito, Maria Eduarda, Renan Herculano, Sarah Guimarães, Sérgio Sobrane, Taciany Messias, Thatijanne Carvalho, Talyta Moura, Yasmin Ribeiro e ao meu irmão Enrico Nardelli e ao meu noivo, Hugo Mendonça, que contribuíram para a realização dos experimentos a campo, análises laboratoriais e proporcionaram alegria e incentivo nas horas de trabalho.

Ao meu pai, Théó, minha mãe, Liliane, ao meu irmão, Enrico, e meu noivo, Hugo, pelo apoio, incentivo e amor incondicional. Sem vocês nada disso seria possível.

A todos vocês minha eterna **GRATIDÃO!**

“Quanto mais me aprofundo na ciência mais me aproximo de Deus.”

(Albert Einstein)

RESUMO

Dois experimentos foram conduzidos com o objetivo de avaliar o uso da chia (*Salvia hispanica*) em substituição à soja nas rações para frangos de corte. Objetivou-se com o experimento I determinar os valores energéticos dos óleos e grãos/sementes da soja e da chia realizando-se um ensaio de metabolismo com 120 frangos, dos 29 aos 42 dias de idade, os quais foram distribuídos a cinco dietas experimentais, sendo uma ração referência e 4 rações com os alimentos teste, fornecidos a oito repetições de três aves cada. Para avaliar o alimentos teste, utilizou-se um delineamento inteiramente casualizado (DIC), os tratamentos foram constituídos por rações contendo soja ou chia em duas formas de suplementação, grão/semente e óleo, em que os óleos e os grãos substituíram a ração referência, formulada para atender as exigências nutricionais das aves, em 10% e 25%, respectivamente. No experimento II avaliou-se o efeito da inclusão da chia em substituição à soja (óleos ou grão/semente) no desempenho, características da carcaça, parâmetros sanguíneos, qualidade de carne e atividade de enzimas envolvidas nas vias metabólicas de lipídeos em frango de corte, além da metabolizabilidade e aproveitamento energético das rações experimentais. Assim, o experimento II foi subdividido em dois ensaios, sendo um de desempenho e outro de metabolismo. No ensaio de desempenho foram utilizados 120 frangos, dos 29 aos 42 dias de idade, distribuídos em quatro tratamentos, com 5 repetições cada, sendo seis aves por repetição. No ensaio de metabolismo foram utilizadas 72 aves, distribuídas em 4 tratamentos, com seis repetições de três aves cada. Para ambos os ensaios foi utilizado o DIC, sendo os tratamentos constituídos por rações contendo soja e chia em duas formas de suplementação (grão/semente ou óleo). Foram determinados os valores de energia metabolizável aparente corrigida para o balanço de nitrogênio (EMAn) e os coeficientes de metabolizabilidade aparente (CMA) da energia bruta (CMAEB) e do extrato etéreo (CMAEE) no experimento I. Já no experimento II, no ensaio de desempenho, foi avaliado o consumo de ração (CR), o ganho de peso (GP) e a conversão alimentar das aves (CA) e, ao final do ensaio, um total de três aves por repetição foram abatidas para avaliação das características da carcaça, parâmetros sanguíneos, qualidade de carne e atividade das enzimas málica e glicose-6-fosfato desidrogenase. E no ensaio de metabolismo foram determinadas a EMAn e os CMA da matéria seca (CMAMS), proteína bruta (CMA PB), CMAEB e CMAEE. No experimento I, maiores valores de CMAEB e CMAEE foram obtidos com o uso dos óleos de soja e chia, enquanto menores valores foram encontrados com o uso da semente de chia. Já no experimento II, menores valores de CMAEE, CMAEB e EMAn foram observados com o uso da semente de chia na ração. Os valores energéticos (EMAn) determinados para os óleos de chia e de soja e para a soja integral tostada e a semente de chia foram 8955; 8920; 3786 e 2013 kcal/kg de matéria seca, respectivamente. As aves alimentadas com soja integral tostada e óleo de chia apresentaram melhor CA, enquanto aquelas que foram suplementadas com a semente de chia apresentaram pior CA. Para os parâmetros sanguíneos, características da carcaça e qualidade de carne, o óleo de chia mostrou-se melhor ou igualmente eficiente em substituição à soja (grão/óleo). O uso da chia, óleo ou semente, proporcionou o enriquecimento da carne dos frangos com ácidos graxos ômega-3, além de reduzir a relação ω -6: ω -3 da carne, e o óleo de chia quando comparado à soja (óleo ou grão) resulta em desempenho semelhante das aves.

Palavras-chave: Metabolismo. Nutrição avícola. Ômega-3. Perfil lipídico.

ABSTRACT

We conducted two experiments with the objective of evaluating the use of chia (*Salvia hispanica*) in substitution to soybean in the feed for broiler chicken. With experiment I, we aimed at determining the energy values of the soybean and chia oils and grains/seeds through a metabolism essay using 120 chickens, from 29 to 42 days of age, which were distributed into receiving five experimental diets, one used as a reference, and another four as test feeds. The feeds were provided in eight replicates of three chickens each. We used a completely randomized design, with the treatments consisting of feeds containing soybean or chia in two forms of supplementation, grain/seed and oil, in substitution to the reference feed, formulated to meet the nutritional requirements of the birds, in 10% and 25%, respectively. In experiment II, we evaluated the effect of the inclusion of chia in substitution to soybean (oils and grains/seeds) on performance, carcass characteristics, blood parameters, meat quality, and the activity of the enzymes involved in the lipid metabolic pathways in broiler chicken. We also evaluated the metabolizability and energy use of the experimental feeds. To do this, experiment II was subdivided into two essays, one of performance and another of metabolism. In the performance essay, we used 120 chickens, with 29 to 42 days of age, distributed into four treatments with five replicates each and six birds per replicate. In the metabolism essay, we used 72 birds, distributed into four treatments with six replicates and three birds per replicate. We used a completely randomized design for both essays. The treatments consisted of feeds containing soybean and chia two forms of supplementation (grain/seed and oil). In experiment I, we determined the apparent metabolizable energy, corrected to the nitrogen balance (AMEn) and the coefficients of apparent metabolizability (CAM) of gross energy (CAMGE) and ethereal extract (CAMEE). In the performance essay of experiment II, we evaluated feed consumption (FC), weight gain (WG), and food conversion (FC) of the birds and, at the end of the essay, three birds were slaughtered per replicate to evaluate carcass characteristics, blood parameters, meat quality, and the activity of enzymes malic and glucose-6-phosphate dehydrogenase. In the metabolism essay, we determined the AMEn and the CAM of dry material (CAMDM), crude protein (CAMCP), CAMGE and CAMEE. In experiment I, we obtained higher values of CAMCE and CAMEE when using soybean and chia oil, while lower values were found when using chia seeds. In experiment II, lower values of CAMEE, CAMGE, and AMEn when using chia seeds. The energy values (AMEn) determined for chia and soybean oils and whole toasted soybean and chia seeds were of 8955, 8920, 3786, and 2013 kcal/kg of dry matter, respectively. The birds fed with whole toasted soybean and chia oil presented better FC, while those supplemented with chia seeds presented low FC. Regarding the blood parameters, carcass characteristics, and meat quality, the chia oil was better or equally efficient when substituting soybean (grain/oil). The use of chia, oil or seed, provided the enrichment of the chicken meat with omega-3 fatty acids, in addition to reducing the ω -6: ω -3 relation. When compared to soybean (oil or grain), the use of chia oil results in a similar performance.

Keywords: Metabolism. Poultry nutrition. Omega-3. Lipid profile.

LISTA DE FIGURAS

PRIMEIRA PARTE

- Figura 1 - Estrutura e designação ω e Δ dos ácidos graxos α -linolênico, linoleico e oleico..... 19
- Figura 2 - Fase oxidativa da via das pentoses. Ação da enzima glicose 6-fosfato desidrogenase na formação de NADPH 22
- Figura 3 - Ciclo do piruvato/ malato. Ação da enzima málica na formação de NADPH. 23
- Figura 4 - Síntese de ácidos graxos poliinsaturados das séries ω -3 e ω -6. 24
- Figura 5 - Plantação de Chia (*Salvia hispanica*). 36
- Figura 6 - Morfologia do fruto da chia: A clusas (cl) inseridas no cálice (K). B: diferentes tonalidades de clusas - a,b: clusas escuras; c,d: clusas claras. C: clusas hidratadas com formação de mucilagem. D: semente de chia..... 37
- Figura 7 - Semente de chia escura (lado esquerdo) e semente de chia clara (lado direito)..... 37

LISTA DE QUADROS

PRIMEIRA PARTE

Quadro 1 - Nomenclatura de ácidos graxos.....	20
---	----

LISTA DE TABELAS

PRIMEIRA PARTE

Tabela 1 - Vitaminas e minerais na semente de chia (<i>Salvia hispanica</i>).....	38
Tabela 2 - Quantidade de óleo e perfil de ácidos graxos da semente de chia de cinco diferentes localidades da Argentina.....	39
Tabela 3 - Proteína bruta e aminoácidos na semente de chia (<i>Salvia hispanica</i>) e linhaça (<i>Linum usitatissimum</i>) marrom e dourada.	40
Tabela 4 - Ácido linoleico, ácido linolênico e relação ω -6: ω -3 nas sementes de chia (<i>Salvia hispanica</i>) e linhaça (<i>Linum usitatissimum</i>) marrom e dourada.....	40
Tabela 5 - Concentração de antioxidantes em extrato de semente de chia.....	41

SEGUNDA PARTE - ARTIGOS

ARTIGO 1

Tabela 1 - Composição centesimal e valores calculados da ração referência utilizada no ensaio metabolismo com frangos de corte Cobb [®] 500, dos 29 aos 42 dias de idade.....	83
Tabela 2 - Composição química e energia bruta dos alimentos.....	83
Tabela 3 - Composição centesimal e valores calculados das dietas experimentais para frangos de corte, Cobb [®] 500, de 29 a 42 dias de idade	84
Tabela 4 - Valores de energia metabolizável aparente corrigida pelo balanço de nitrogênio (EMAn) e dos coeficiente de metabolizabilidade aparente da energia bruta (CMAEB) e extrato etéreo (CMAEE), e seus respectivos desvio padrão (DP), para óleo de soja, óleo de chia, soja integral tostada e semente de chia, para frangos de corte (29 aos 42 dias de idade)	85
Tabela 5 - Desempenho de frangos de corte alimentados com dietas contendo soja (grão e óleo) e chia (semente e óleo) dos 29 aos 42 dias de idade.....	85
Tabela 6 - Rendimento de carcaça, de cortes e % de gordura abdominal de frangos de corte (aos 42 dias de idade) alimentados com dietas contendo soja (grão e óleo) e chia (semente e óleo) dos 29 aos 42 dias de idade	86
Tabela 7 - Teores séricos de TAG, colesterol total e suas frações em frangos de corte alimentados com dietas contendo soja (grão e óleo) e chia (semente e óleo) dos 29 a 42 dias de idade	87

Tabela 8 - Atividade das enzimas hepáticas glicose-6-Pdesidrogenase e enzima málica em frangos de corte, alimentados com dietas contendo soja (grão e óleo) e chia (semente e óleo) dos 29 aos 42 dias de idade 87

Tabela 9 - Valores de coeficiente de metabolizabilidade aparente da matéria seca (CMAMS), proteína bruta (CMAPB), extrato etéreo (CMAEE), energia bruta (CMAEB) e energia metabolizável aparente corrigida para o balanço de nitrogênio (EMAn), em dietas para frangos de corte no período de 29 aos 42 dias de idade. 87

ARTIGO 2

Tabela 1 - Composição centesimal e valores calculados das dietas experimentais para frangos de corte, Cobb 500[®], dos 29 aos 42 dias de idade 122

Tabela 2 - Composição de ácidos graxos das dietas experimentais..... 123

Tabela 3 - Perfil de ácidos graxos do óleo de soja, óleo de chia, soja integral tostada e semente de chia..... 124

Tabela 4 - Composição físico-química e valores de oxidação lipídica ao ácido tiobarbitúrico (dez dias após o abate) do peito e coxa de frangos de corte (aos 42 dias de idade) alimentados com dietas contendo soja (grão e óleo) e chia (semente e óleo) dos 29 aos 42 dias de idade 125

Tabela 5 - Composição centesimal e colágeno estimados dos cortes de peito e coxa de frangos de corte (42 dias de idade) alimentados com dietas contendo soja (grão e óleo) e chia (semente e óleo) dos 29 aos 42 dias de idade 126

Tabela 6 - Perfil de ácidos graxos no peito de frangos de corte (aos 42 dias de idade) alimentados com dietas contendo soja (grão e óleo) e chia (semente e óleo) dos 29 aos 42 dias de idade..... 127

Tabela 7 - Perfil de ácidos graxos na coxa de frangos de corte (aos 42 dias de idade) alimentados com dietas contendo soja (grão e óleo) e chia (semente e óleo) dos 29 aos 42 dias de idade..... 128

SUMÁRIO

PRIMEIRA PARTE	14
1 INTRODUÇÃO	14
2 REFERENCIAL TEÓRICO	17
2.1 Lipídeos	17
2.1.1 Ácidos graxos	17
2.1.2 Oxidação lipídica na carne de frangos de corte	32
2.2 Chia	35
2.2.1 Chia (óleo e grão) como fonte de ω-3 em dietas para frangos de corte	41
2.3 Determinação dos valores energéticos e coeficientes de metabolizabilidade em alimentos para frangos de corte	42
3 CONSIDERAÇÕES FINAIS	46
REFERÊNCIAS	47
SEGUNDA PARTE - ARTIGOS	55
ARTIGO 1 - AVALIAÇÃO NUTRICIONAL DA CHIA (<i>Salvia hispanica</i>), SEMENTE E ÓLEO, NA RAÇÃO DE FRANGOS DE CORTE	55
ARTIGO 2 - CHIA (<i>Salvia hispanica</i>) MELHORA O PERFIL LIPÍDICO E QUALIDADE DE CARNE DE FRANGOS DE CORTE	88

PRIMEIRA PARTE

1 INTRODUÇÃO

A principal causa de óbito no mundo está relacionada a doenças cardiovasculares e grande parte dessas doenças são decorrentes da alimentação, uma vez que dietas não saudáveis, principalmente no que se refere ao consumo desbalanceado de ácidos graxos poli-insaturados ômega-6 (ω -6) e ômega-3 (ω -3), contribuem para a aterosclerose, principal causa de ataques cardíacos e acidentes vasculares cerebrais. Segundo as recomendações de órgãos de saúde de diversos países, a relação ω -6: ω -3 na dieta deveria ser de no máximo 5 (MARTIN et al., 2006). Entretanto, as dietas dos países industrializados, principalmente os ocidentais, devido ao grande consumo de óleos vegetais, são muito mais ricas em ácido graxo ω -6 do que em ácido graxo ω -3, chegando essa relação a valores superiores a 20.

Os ácidos graxos ω -3 são reconhecidos por proporcionarem diversos benefícios à saúde humana, dentre eles a diminuição dos níveis de triacilgliceróis (TAG), diminuição dos níveis de colesterol sanguíneo, redução da pressão arterial, redução da agregação plaquetária, atividade e desenvolvimento normal do sistema nervoso fetal e em neonatos e desenvolvimento normal da retina em recém nascidos. Portanto, acrescentar na dieta ácidos graxos da série ω -3 e diminuir os níveis de certos óleos vegetais com alto conteúdo de linoleico (ω -6), pode promover uma melhora na relação desses ácidos graxos, favorecendo a redução da incidência das doenças cardiovasculares.

Os consumidores estão cada vez mais conscientes, buscando hábitos de vida cada vez mais saudáveis, e dispostos a pagar mais caro por produtos que, de alguma forma, contribuam para sua saúde e bem estar. As indústrias, atentas a demanda do mercado consumidor, começaram a desenvolver produtos enriquecidos com ácido graxo ω -3, já se encontra no mercado sucos, leites, pães e até mesmo balas que contem esse ácido graxo. E a indústria avícola, seguindo as tendências do mercado, também produz ovos enriquecidos com esse ácido graxo, o que proporciona aos produtores maior valor agregado ao produto final. Por outro lado, a carne de frango apresenta ótima aceitabilidade no mercado consumidor, sendo a segunda carne mais consumida no mundo. Possui excelente composição nutricional, é rica em proteínas de alto valor biológico, vitaminas do complexo B e minerais, como ferro, magnésio, zinco e selênio, é de custo acessível, em comparação às demais carnes do mercado e possui baixo teor de gordura. Além disso, também pode ser enriquecida com ácidos graxos ω -3, apenas modificando a composição lipídica das dietas fornecidas aos frangos de corte, o que

contribuiu para os avanços nutricionais da avicultura e qualidade do produto final destinado a alimentação humana.

Entretanto as fontes de ω -3, comumente utilizadas com a finalidade do enriquecimento da carne de frango, como, por exemplo, o óleo de peixe, a semente e óleo de linhaça e a canola, são reconhecidas por provocarem alterações indesejáveis no odor/sabor da carne, visto que, o aumento do teor de ácidos graxos poli-insaturados ω -3 na carne pode proporcionar um acréscimo da susceptibilidade à oxidação lipídica (rancidez), o que pode causar uma queda do valor nutricional e sensorial da carne e interferir diretamente na qualidade e vida de prateleira do produto (RYMER; GIVENS, 2005; SALEH et al. 2010; MIR et al., 2018). Deste modo, é muito comum, ao utilizar essas fontes de ω -3, fazer o uso concomitante de algum antioxidante, como o hidroxitolueno butilado (BHT), antioxidante sintético, ou a vitamina E, antioxidante natural, com o intuito de diminuir/retardar a rancidez oxidativa e prolongar a vida de prateleira da carne.

A chia (*Salvia hispanica*) é uma semente oleaginosa que apresenta em sua composição aproximadamente 60% de ácido α -linolênico (AYERZA, 1995), sendo, portanto, uma importante fonte vegetal de ômega-3. Além disso, ela apresenta cerca de 20% de proteína, é rica em minerais, como o cálcio, ferro e potássio, possui alto teor de fibra solúvel, não tem nenhum fator antinutricional conhecido para aves e é considerada uma excelente fonte natural de antioxidantes, os quais podem reduzir esses efeitos indesejáveis, advindos da suplementação de ácidos graxos poli-insaturados, na carne do frango.

Entretanto, para se formular rações balanceadas, capazes de atender as exigências nutricionais das aves e assim garantir o máximo desempenho zootécnico, é necessário avaliar a composição química dos alimentos e o aproveitamento desses ingredientes pelos animais, principalmente em relação a energia metabolizável e os coeficientes de metabolizabilidade aparente (CMA) dos nutrientes da ração. Porém, ainda nenhum trabalho foi realizado com o objetivo de avaliar os valores de energia metabolizável aparente corrigida pelo balanço de nitrogênio (EMAN) e os CMA da chia (semente ou óleo) para frangos de corte e existem poucos trabalhos com a chia com o intuito de avaliar o efeito da sua suplementação sobre os parâmetros de desempenho e qualidade de carne das aves.

Portanto, objetivou-se com este trabalho avaliar o uso da chia (semente e óleo), em substituição à soja nas rações para frangos de corte, sobre os parâmetros de desempenho, características da carcaça, parâmetros sanguíneos, qualidade de carne, atividade de enzimas envolvidas nas vias metabólicas de lipídeos em frango de corte, além da metabolizabilidade,

aproveitamento energético das rações e determinação dos valores energéticos dos óleos e grãos da soja e da chia.

2 REFERENCIAL TEÓRICO

2.1 Lipídeos

Os lipídeos constituem um grupo heterogêneo de moléculas orgânicas que inclui gorduras, óleos, esteroides, ceras, fosfolipídeos e outros compostos, que se relacionam principalmente por sua propriedade em comum de insolubilidade em água (são hidrofóbicos) e solubilidade em solventes apolares (CHAMPE; HARVEY, 2008; BOTHAM; MAYES, 2012).

O organismo animal utiliza preferencialmente os lipídeos e carboidratos como fonte energética. Os lipídios apresentam elevados valores energéticos, possuindo, em média, 2,25 vezes mais energia que os carboidratos e proteínas. Além da eminente função energética, os lipídeos também exercem funções metabólicas e fisiológicas importantes no organismo animal, atuando como cofatores enzimáticos, hormônios e mensageiros intracelulares. Também exercem função estrutural, desempenhada pelos fosfolipídios, e funções relacionadas com o isolamento térmico e proteção mecânica (CHAMPE; HARVEY, 2008; LEHNINGER; COX, 2014).

Além disso, de acordo com Braga e Baião (2001), a grande parte dos benefícios da inclusão de lipídios em dietas para frangos de corte também se deve aos efeitos extra calóricos advindos da redução do incremento calórico, da redução da taxa de passagem dos alimentos pelo trato gastrintestinal, o que melhora a digestão e absorção dos nutrientes, da melhora na absorção das vitaminas lipossolúveis e da redução da pulverulência das rações.

Os principais lipídeos presentes nos alimentos são as gorduras e os óleos, os quais são constituídos, predominantemente, por TAG. Os TAG são formados por três ácidos graxos unidos por ligação éster a uma molécula de glicerol e representam, assim, cerca de 90% da fração lipídica de uma dieta ou ração animal. Os lipídeos da dieta fornecem os ácidos graxos que o organismo é incapaz de sintetizar e que são indispensáveis para o seu bom funcionamento.

2.1.1 Ácidos graxos

Os ácidos graxos são ácidos carboxílicos com cadeias hidrocarbonadas e hidrofóbicas, saturadas ou insaturadas, de comprimento entre 4 a 36 átomos de carbono. Eles são encontrados no organismo na forma livre, isto é, não esterificados, e também podem ocorrer

conjugados, por exemplo, a uma molécula de glicerol, na forma de TAG. Os ácidos graxos livres podem ser oxidados por tecidos, especialmente fígado e músculo, para produzir energia, já os esterificados (TAG), podem ser armazenados nas células adiposas, e são considerados uma das principais reservas energéticas do organismo (CHAMPE; HARVEY, 2008; LEHNINGER; COX, 2014).

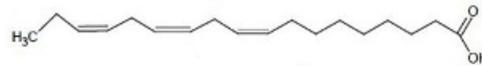
De acordo com o grau de saturação da cadeia de carbono os ácidos graxos podem ser classificados em saturados e insaturados. Os ácidos graxos saturados não possuem ligações duplas em suas cadeias, deste modo, os carbonos da cadeia são “saturados” com hidrogênio. Já os ácidos graxos insaturados são aqueles que podem apresentar uma ou mais duplas ligações, sendo conhecidos como monoinsaturados ou MUFA (*monounsaturated fatty acids*), quando possuem apenas uma insaturação, ou como ácidos graxos poli-insaturados ou PUFA (*polyunsaturated fatty acids*), quando possuem duas ou mais insaturações.

Dependendo da posição espacial dos átomos de hidrogênio na dupla ligação, os ácidos graxos insaturados podem apresentar um tipo de isomeria espacial denominada isomeria geometria *cis-trans*. Nos ácidos graxos com dupla ligação *cis* os dois átomos de hidrogênio estão no mesmo plano, e na dupla ligação *trans* os átomos de hidrogênio estão em planos opostos. A maioria dos ácidos graxos produzidos pelos sistemas biológicos possui as duplas ligações na configuração *cis*. Os isômeros *trans* raramente são produzidos na natureza, havendo poucos exemplos de ocorrência natural. A maior fonte de gordura *trans* são os alimentos industrializados, sintetizados a partir da hidrogenação dos óleos vegetais para obtenção das gorduras vegetais hidrogenadas (PINHO; SUAREZ, 2013; LEHNINGER; COX, 2014).

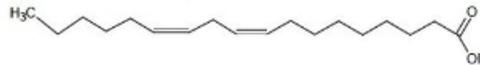
A nomenclatura simplificada mais comumente utilizada nomeia os ácidos graxos a partir do número de átomos de carbono na cadeia e o número de duplas ligações, separados por dois pontos. O ácido palmítico, por exemplo, que é saturado e com 16 carbonos, é abreviado em 16:0 e o ácido araquidônico, com 20 carbonos e quatro duplas ligações, em 20:4. As posições das duplas ligações são especificadas por números, contados a partir do grupo carboxílico, designação delta (Δ), ou a partir do grupo metila terminal, designação ômega (ω) (Figura 1). De acordo com a designação Δ , sabemos, por exemplo, que o ácido graxo 20:2 ($\Delta^{9,12}$) é um ácido graxo com 20 carbonos e uma dupla ligação entre os carbonos 9 e 10 e uma outra entre os carbonos 12 e 13. Já a designação ω está relacionada com a posição da primeira dupla ligação, contada a partir do grupamento metílico terminal da molécula de ácido graxo. Assim, os ácidos graxos ω -3 apresentam a primeira dupla ligação entre o terceiro e o quarto átomo de carbono, os ácidos graxos ω -6 têm a primeira dupla ligação entre o sexto

e o sétimo átomo de carbono e os ácidos graxos ω -9 a primeira dupla ligação ocorre entre os carbonos 9 e 10. A designação ω é mais utilizada ao estudar os aspectos nutricionais envolvendo os ácidos graxos, devido, à simplicidade desta designação e, principalmente, à importância fisiológica das famílias ω -6 e ω -3 (MARTIN et al, 2006; LEHNINGER; COX, 2014).

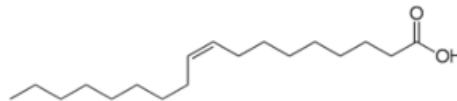
Figura 1 - Estrutura e designação ω e Δ dos ácidos graxos α -linolênico, linoleico e oleico.



Ácido α -linolênico (C18:3 ω -3, $\Delta^{9,12,15}$)



Ácido linoleico (C18:2 ω -6, $\Delta^{9,12}$)



Ácido Oleico (C18:1 ω -9, Δ^9)

Fonte: Google imagens

Os ácidos graxos também apresentam uma nomenclatura sistemática e alguns apresentam uma nomenclatura comum, que é geralmente associada a sua origem ou alguma característica do composto. No quadro 1 estão listados os nomes comuns, os nomes sistemáticos e a estrutura de alguns ácidos graxos.

Quadro 1 - Nomenclatura de ácidos graxos.

Estrutura	Nome comum	Nome sistemático
<i>Ácidos graxos saturados</i>		
4:0	Ácido butírico	Ácido butanoico
6:0	Ácido caproico	Ácido hexanoico
8:0	Ácido caprílico	Ácido octanoico
10:0	Ácido cáprico	Ácido decanoico
11:0	-	Ácido hendecanoico
12:0	Ácido láurico	Ácido dodecanoico
14:0	Ácido mirístico	Ácido tetradecanoico
15:0	Ácido pentadecílico	Ácido pentadecanoico
16:0	Ácido palmítico	Ácido hexadecanoico
17:0	Ácido margárico	Ácido heptadecanoico
18:0	Ácido esteárico	Ácido octadecanoico
20:0	Ácido araquídico	Ácido eicosanoico
22:0	Ácido beênico	Ácido docosanoico
23:0	-	Ácido tricosanoico
24:0	Ácido lignocérico	Ácido tetracosanoico
<i>Ácidos graxos monoinsaturados - MUFA</i>		
14:1 ω -5	Ácido miristoleico	Ácido cis-9-tetradecenoico
16:1 ω -7	Ácido palmitoleico	Ácido cis-9-hexadecenoico
17:1	-	Ácido cis-10-heptadecenoico
18:1 ω -9T	Ácido eláidico	Ácido trans-9-octadecenoico
18:1 ω -9C	Ácido oleico	Ácido cis-9-octadecenoico
20:1 ω -9	Ácido gondoico	Ácido cis-11-eicosenoico
22:1 ω -9	Ácido erúcico	Ácido cis-13-docosaenoico
24:1 ω -9	Ácido nervônico	Ácido cis-15-tetracosenoico
<i>Ácidos graxos poli-insaturados - PUFA</i>		
18:2 ω -9T	Ácido linolelaídico	Ácido trans-9,trans-12-octadecadienoico
18:2 ω -6C	Ácido linoleico	Ácido cis-9,12-octadecadienoico
18:3 ω -6	Ácido d-linolênico	Ácido cis-6,9,12-octadecatrienoico
18:3 ω -3	Ácido α -linolênico	Ácido cis-9,12,15-octadecatrienoico
20:2	-	Ácido cis-11,14-eicosadienoico
20:3 ω -6	Ácido di-homo- δ -linolenico	Ácido cis-8,11,14-eicosatrienoico
20:3 ω -3	Ácido di-homo- α -linolênico	Ácido cis-11,14,17-eicosatrienoico
20:4 ω -6	Ácido araquidônico	Ácido cis-5,8,11,14-eicosatetraenoico
22:2	-	Ácido cis-13,16-docosadienoico
20:5 ω -3	Ácido eicosapentaenoico (EPA)	Ácido cis 5,8, 11, 14,17-eicosapentaenoico
22:6 ω -3	Ácido docosahexaenoico (DHA)	Ácido cis-4,7,10,13,16,19-docosaexaenoico

Fonte: Adaptação de Araújo (2012).

Apesar da importância fisiológica das famílias ω -6 e ω -3 no organismo animal, as aves, assim como os outros animais monogástricos, não são capazes de sintetizar *de novo* esses ácidos graxos, devido à ausência de enzimas que são responsáveis por inserir ligação dupla entre os carbonos 3-4 e 6-7, em relação à extremidade metílica. Assim, ácido linoleico,

pertencente aos ácidos graxos da família ω -6 e o ácido α -linolênico, pertencente aos ω -3, são considerados ácidos graxos essenciais e precisam ser fornecidos na dieta, através de ingredientes de origem vegetal. No organismo animal, tanto o ácido linoleico, quanto o ácido linolênico são alongados e dessaturados pelo o sistema enzimático, para formar ácidos graxos polinsaturados mais bioativos. O ácido linoleico leva a formação do ácido araquidônico, já a via metabólica do ácido α -linolênico, produz ácido eicosapentaenoico (EPA) e ácido docosaenoico (DHA).

2.1.1.1 Síntese de ácidos graxos

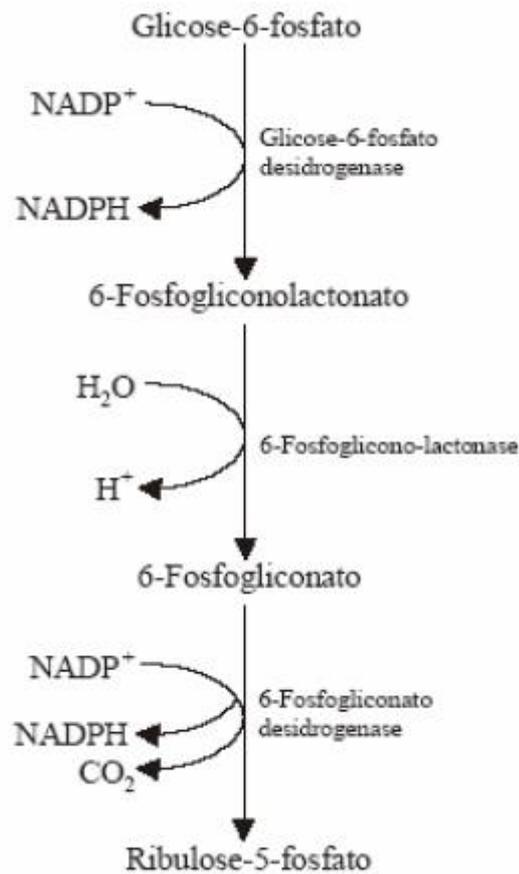
Grande parte dos ácidos graxos utilizados pelo organismo animal é fornecido pela dieta, quando esses ácidos graxos encontram-se em excesso, eles são armazenados na forma de TAG, no tecido adiposo. Também outros nutrientes, como os carboidratos e proteínas, quando em excesso na dieta, em relação à exigência nutricional do animal, podem ser convertidos em ácidos graxos e armazenados em forma de triglicerídeos. De maneira geral, a síntese de ácidos graxos compreende a incorporação de carbonos a partir do Acetil-CoA na cadeia de ácido graxo em crescimento, usando ATP e nicotinamida-adenina-dinucleotídeo-fosfato (NADPH) (CHAMPE; HARVEY, 2008).

A Acetil-CoA mitocondrial é produzida pela oxidação do piruvato e pelo catabolismo de ácidos graxos, corpos cetônicos e certos aminoácidos. A primeira etapa da síntese *de novo* de ácidos graxos envolve a translocação do citrato mitocondrial para o citosol. Entretanto, a coenzima A, componente da acetil-CoA, não pode atravessar a membrana mitocondrial. Assim, a acetil-CoA é clivada, formando o citrato, o qual é translocado. Porém, essa translocação ocorre apenas quando a concentração mitocondrial de citrato é alta, em função de uma inibição da atividade da isocitrato-desidrogenase, pelo acúmulo de energia, em forma de ATP, no ciclo de Krebs. Como uma grande quantidade de ATP é necessária para a síntese de ácidos graxos, o aumento de ATP e citrato intensificam essa rota (CHAMPE; HARVEY, 2008).

Em seguida há formação da malonil-CoA, através da carboxilação da Acetil-CoA pela enzima Acetil-CoA carboxilase. Essa enzima é inativada na presença de hormônios como adrenalina e glucagon e ativada na presença de insulina. A partir da molécula de malonil-CoA formam-se os diferentes ácidos graxos, pela ação de um complexo conhecido como ácido graxo sintetase, que produz ácidos graxos de até 16 carbonos. Para a síntese de ácidos graxos é fundamental a presença de NADPH, como doador de agentes redutores. Na maioria das

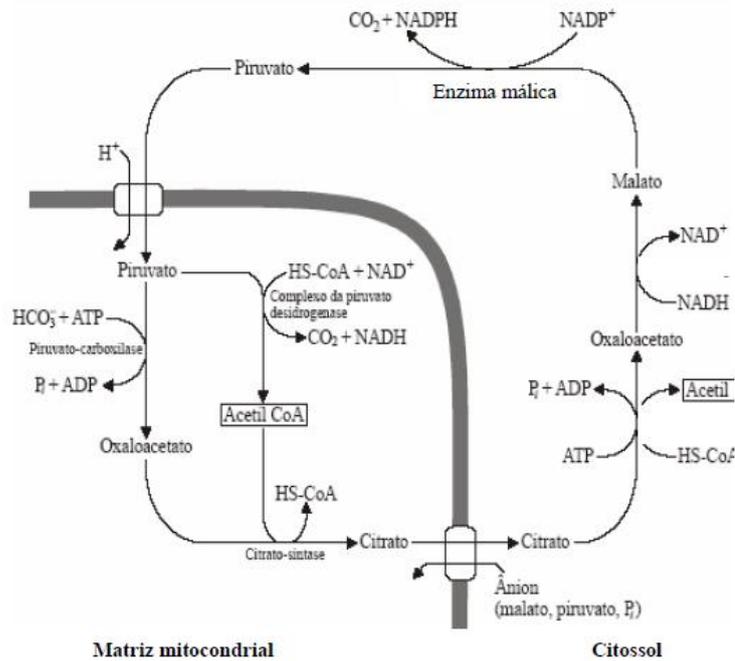
espécies animais a principal fonte metabólica de NADPH é a via das pentoses fosfatadas, havendo formação de dois NADPHs, através da ação da enzima glicose-6-fosfato desidrogenase, para cada molécula de glicose que segue essa via. Outra fonte alternativa de provimento de NADPH é através da conversão citosólica do malato a piruvato, onde o malato é oxidado e descarboxilado pela enzima málica citosólica (Figuras 2 e 3) (SALWAYS,1994, citado por RIBEIRO, 2007; CHAMPE; HARVEY, 2008).

Figura 2 - Fase oxidativa da via das pentoses. Ação da enzima glicose 6-fosfato desidrogenase na formação de NADPH



Fonte: Motta (2003), adaptado por Ribeiro (2007).

Figura 3 - Ciclo do piruvato/ malato. Ação da enzima málica na formação de NADPH.



Fonte: Motta (2003), adaptado por Ribeiro (2007).

O ácido palmítico (16:0) é o produto final da atividade da enzima ácido graxo sintase, porém, ele pode ser alongado e dessaturado por outros processos enzimáticos, formando os ácidos graxos monoinsaturados. Por ação de dessaturases específicas, os ácidos graxos monoinsaturados podem dar origem aos ácidos graxos poli-insaturados. (CHAMPE; HARVEY, 2008).

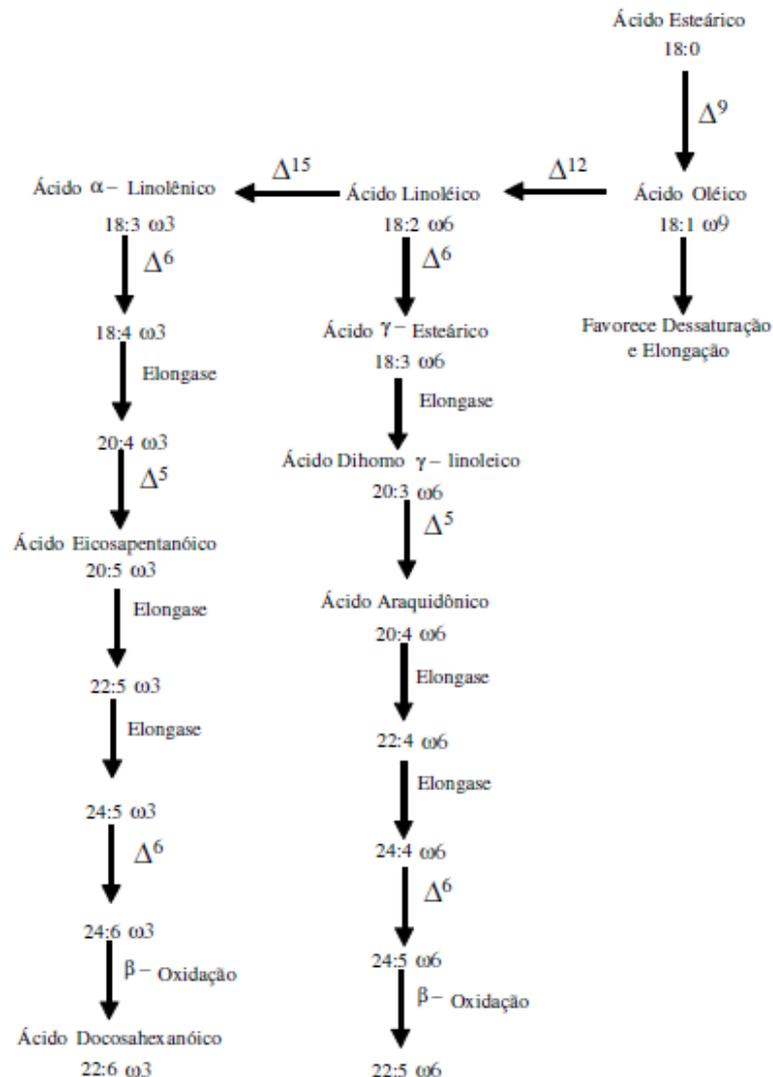
O ácido palmítico (16:0) pode ser alongado para ácido esteárico (18:0). O ácido esteárico, através da ação da enzima $\Delta-9$ dessaturase (que insere uma dupla ligação entre os átomos de carbonos 9 e 10) origina o ácido oleico (C18:1 ω -9). Entretanto, os monogástricos, incluindo humanos e as aves, não possuem enzimas dessaturases (Δ -15 e Δ -12) capazes de inserir duplas ligações além dos carbonos 9 e 10. Portanto, são incapazes de produzir endogenamente os ácidos α -linolênico (18:3 ω -3) e linoleico (18:2 ω -6) que são precursores dos demais ácidos da série ω -3 e ω -6, respectivamente, e, por isso, são denominados ácidos graxos nutricionalmente essenciais (ROSA, 2003; CHAMPE; HARVEY, 2008; CALDER, 2012; MOGHADAM; CHERIAN, 2017).

Assim, os animais adquirem esses ácidos graxos essenciais através dos ingredientes de origem vegetal presentes na ração. No organismo animal e humano, esses ácidos graxos são alongados e dessaturados dando origem aos demais ácidos graxos das séries ω -3 e ω -6. O ácido linoleico (18:2 ω -6) dá origem ao ácido araquidônico (20:4 ω -6) e o ácido α -linolênico

(18:3 ω -3) é alongado e dessaturado pelo sistema enzimático, sendo convertido em EPA (20:5 ω -3) e DHA (22:6 ω -3) (Figura 4).

Porém, os ácidos linoleico e α -linolênico, competem pelo mesmo sistema enzimático, mais especificamente pelas enzimas Δ -6 e Δ -5 dessaturase, as quais, apesar de possuírem afinidade por ambos ácidos graxos, atuam preferencialmente nos ácidos graxos ω -3. Embora essas enzimas tenham maior afinidade pelos ácidos da família ω -3, a conversão do ácido α -linolênico em ácidos graxos poliinsaturados é fortemente influenciada pelos níveis de ácido linoleico na dieta (EMKEN, ADLOF, GULLEY, 1994), de modo que, uma dieta rica em ω -6 é capaz de diminuir a conversão do α -linolênico em EPA e DHA. Assim, em nutrição, mais importante que o fornecimento de cada precursor da série ω -6, ω -3, separadamente, é garantir a adequada relação entre esses ácidos graxos (PAULINO, 2016).

Figura 4 - Síntese de ácidos graxos poliinsaturados das séries ω -3 e ω -6.



Fonte: Adaptado de Ribeiro (2007).

Altas relações de ácidos graxos na dieta estão relacionadas com diversas doenças e com o maior risco de obesidade (SIMOPOULOS, 2016). Assim, devido a importância da relação ω -6: ω -3 na nutrição humana, vários órgãos de saúde, em diferentes países, tem estabelecido a melhor razão entre a ingestão diária desses ácidos graxos. Estas recomendações convergem para o intervalo de 4:1 a 5:1 (MARTIN et al., 2006). Entretanto, as dietas dos países industrializados, principalmente os ocidentais, essa relação chega a valores maiores que 20. Isso se deve, principalmente a recomendação indiscriminada de substituir a gordura saturada proveniente de animais por óleos vegetais, que geralmente são muito ricos ω -6, com o intuito de diminuir as concentrações séricas de colesterol (ROSA, 2003). Estima-se que a razão ω -6: ω -3 na dieta das pessoas que viveram no período que antecedeu a industrialização, estava em torno de 1:1 a 2:1, devido ao consumo abundante de vegetais e de alimentos de origem marinha, contendo ácidos graxos ω -3 (MARTIN et al., 2006).

Além do aumento no consumo de ácidos graxos ω -6, também houve um decréscimo no consumo de ácidos graxos ω -3, principalmente, em decorrência da produção industrial de rações dos animais não ruminantes (aves, suínos e peixes), que são ricas em ingredientes como o milho e farelo de soja, bem como os seus óleos, os quais também apresentam altos teores de ω -6 e baixos teores de ω -3, o que reflete no perfil lipídico dos produtos desses animais.

Deste modo, acrescentar na dieta ácidos graxos da série ω -3 e diminuir os níveis de certos óleos vegetais com alto conteúdo de ω -6, pode obter uma melhora na relação desses ácidos graxos e refletir positivamente tanto no perfil lipídico dos animais, quanto no perfil lipídico das pessoas que consumirem seus produtos.

2.1.1.2 Ácido graxo ômega-3

Os ácidos graxos ω -3, assim denominados por possuírem sua primeira dupla ligação no carbono três, a partir do radical metil do ácido graxo, são considerados nutricionalmente essenciais devido a incapacidade do organismo em sintetizá-los na quantidade necessária para realização dos processos fisiológicos, sendo assim, exigidos na dieta. O ácido α -linolênico, precursor dos demais ácidos graxos da série ω -3 no organismo animal e é encontrado em quantidades consideráveis nas sementes de oleaginosas, como a linhaça e canola, também está presente nas nozes, no fitoplâncton, algas e em algumas hortaliças, principalmente as de coloração verde escura, por ser um importante componente da fração lipídica contida no cloroplasto. (SIMOPOULOS, 2002; ANDRADE; CARMO, 2006). Segundo Ayerza e Coates

(2007), a semente de chia também é fonte de ácidos graxos ω -3, sendo a fonte vegetal conhecida mais rica de ácido α -linolênico.

Os peixes são considerados o ingrediente de origem animal mais ricos em ω -3. Isso porque algumas espécies apresentam capacidade inata de alongar e dessaturar o ácido α -linolênico em EPA e DHA. Entretanto, os peixes marinhos não possuem a capacidade de realizar tal processo de forma tão eficiente, como a maioria das espécies de água doce. Mesmo não sendo tão eficientes nessa conversão, eles também possuem altas quantidades desses ácidos graxos, isso porque a cadeia alimentar marinha é formada por organismos ricos em ω -3, principalmente em EPA e DHA (MARTINO, 2003). Para os peixes marinhos os ácidos araquidônico, EPA e DHA devem ser considerados nutrientes essenciais (PARRISH, 2009). Tanto para os peixes de água doce, quanto para os marinhos a quantidade de ω -3 é dependente da dieta em que esses animais são submetidos.

Apesar dos peixes serem excelente fonte de ω -3, com EPA e DHA prontamente disponíveis, grande parte da população mundial prefere carne suína, bovina e de aves do que peixe. Mesmo com a mudança dos hábitos alimentares da população com o passar dos anos, aumentando o consumo de pescado, nos dias atuais o consumo de carne vermelha, suína e de frango é muito maior do que o consumo de peixes.

A aterosclerose coronária e outras doenças cardiovasculares são quase inexistentes entre os esquimós (DYERBERG; BANG; HJORNE, 1975). Esse fato está relacionado, principalmente com seus hábitos alimentares, com alto consumo de focas e peixes de águas frias. Dyerberg, Bang e Hjerne (1975) ao realizarem um estudo epidemiológico comparando perfil lipídico plasmático de pessoas residentes na Dinamarca, com esquimós da Groenlândia, observaram diferenças consideráveis principalmente no perfil de ácido linoleico, cuja proporção nos esquimós era de apenas um terço a metade dos outros grupos, e nos níveis plasmáticos de EPA, que foi encontrado em grande quantidade (16% do total dos lipídeos plasmáticos).

No organismo animal e humano o ácido α -linolênico é alongado e dessaturado pelo sistema enzimático, sendo convertido em EPA e DHA. Esses dois compostos são mais bioativos e desempenham uma ampla gama de papéis fisiológicos no organismo. O EPA está relacionado, principalmente, com a proteção cardiovascular, já o DHA é considerado importante para as primeiras etapas de desenvolvimento intra e extra uterino, sendo fundamental para manutenção e formação do sistema nervoso e visual. Segundo Freitas e Kietzer (2002), os tecidos neurais são ricos em ácidos graxos poli-insaturados, sendo o

araquidônico e DHA os mais relevantes, perfazendo cerca de 50% do total de ácidos graxos da massa cinzenta do cérebro.

Nos seres humanos o consumo de ácidos graxos poliinsaturados ω -3 é reconhecido por influenciar positivamente a resposta imune, pressão arterial, níveis de colesterol e TAG, e função cardiovascular (MOZAFFARIAN, WU, 2012), além de atuar na prevenção e tratamento de doenças como asma e câncer (WEAVER; HOLOB, 1988; SIMOPOULOS, 1991, CARMO; CORREIA, 2009). Os ácidos graxos poli-insaturados ω -3 de cadeia longa também são potentes agentes anti-inflamatórios, podendo ser empregados com sucesso no tratamento de doenças inflamatórias auto-imunes, como a psoríase e artrite reumatoide (SHAPIRO; KOEPSSELL; VOIGT, 1996; SPITE, 2013).

Os ácidos graxos são importantes fontes de energia para o organismo. Entretanto, os ácidos graxos poliinsaturados não são utilizados prioritariamente com função energética. Isso porque eles assumem funções muito importantes nos parâmetros fisiológicos, como fluidez da membrana celular e produção de eicosanoides (TOCHER, 2015).

Os eicosanoides são metabólitos oxigenados dos ácidos graxos essenciais. A família dos eicosanoides é composta das prostaglandinas, leucotrienos, prostaciclina e tromboxanos. Os substratos para a formação dos eicosanoides são o ácido araquidônico, da série ω -6 e o EPA, da série ω -3 (ANDRADE; CARMO, 2006). Eles possuem várias atividades biológicas: modulam a resposta inflamatória e a resposta imunológica e têm papel importante na agregação plaquetária, no crescimento e na diferenciação celular (CARMO; CORREIA, 2009; CALDER, 2012).

A síntese dos eicosanoides inicia-se com a hidrólise dos ácidos graxos dos fosfolípidos, através da ação da enzima fosfolipase A₂ ou da fosfolipase C. O ácido graxo resultante da ação da fosfolipase é então metabolizado, podendo seguir por duas vias: via da ciclooxigenase ou via da lipooxigenase. Quando a via de metabolização é a da ciclooxigenase, há a formação de prostanoídes: prostaglandinas (PGs), tromboxanos (TXs) e prostaciclina (PCI). Já quando a via de formação é da lipooxigenase, leva a síntese de leucotrienos (LTs). Os eicosanoides possuem ação parácrina e uma meia vida extremamente curta. Todos eicosanoides formados a partir do ácido araquidônico recebem o sufixo “2” (PGE₂, TXA₂, PCI₂), e os oriundos do EPA recebem o sufixo “3” (PGE₃, TXA₃, PCI₃). Já Os LTs derivados do ácido araquidônico recebem um sufixo “4” e aqueles sintetizados a partir do EPA recebem o sufixo “5”. As prostaglandinas compreendem muitos subtipos, os quais possuem diferentes funções. A PGE₂ e o LT₄ são potentes eicosanoídes pró-inflamatórios oriundos da metabolização do ácido araquidônico. Já os eicosanoides sintetizados a partir do EPA

possuem ação anti-inflamatória no organismo (ANDRADE; CARMO, 2006; MARZZOCO; TORRES, 2007).

As TXA_2 são potentes agentes agregadores plaquetários e vasoconstrictores. No entanto, as TXA_3 são compostos que apresentam pequena atividade tanto na agregação plaquetária quanto na vasoconstrição. Já a PCI_3 apresenta elevada atividade vasodilatadora e inibidora da agregação plaquetária (MOREIRA; CURI; MANCINI FILHO, 2002).

O aumento da incorporação do EPA nos fosfolipídios de membrana nas células imunes resulta no aumento da produção dos eicosanoides que possuem características anti-inflamatórias, uma vez que o ácido araquidônico e o EPA competem pelo mesmo receptor na via da ciclo oxigenase (COX) (CALDER, 2006). O EPA é preferencialmente degradado pela via da lipooxigenase, comparado com o ácido araquidônico, levando a maior formação de LTs com ação anti-inflamatória no organismo. Desse modo, a adição de ácidos graxos ω -3 na dieta pode diminuir as concentrações de proteína C-reativa, eicosanoides pró-inflamatórios, citocinas, quimiocinas e outros biomarcadores inflamatórios (SCHWAB; SERHAN, 2006).

Devido ao aumento do consumo de ω -6 nas dietas ocidentais, os eicosanoides produzidos a partir do ácido araquidônico, prostaglandinas, tromboxanos e leucotrienos, são sintetizados em maiores quantidades do que aqueles formados a partir de ácidos graxos ω -3, especificamente do EPA. Os eicosanoides do ácido araquidônico são biologicamente ativos em pequenas quantidades e, se forem formados em maiores quantidades, contribuem para a formação de trombos e ateromas, desenvolvimento de distúrbios alérgicos e inflamatórios (particularmente em pessoas susceptíveis) e proliferação celular (SIMOPOULOS, 2002).

As propriedades anti-inflamatórias dos ácidos graxos ω -3 surgem de processos tais como a substituição parcial de ácido araquidônico em membranas celulares, e assim, redução na produção de derivados considerados pró-inflamatórios, tais como a PGE_2 (CASTILHO, CAMPOS E MELLO, 2015).

2.1.1.3 Ácidos graxos ω -3 na nutrição de frangos de corte

O consumo humano de ácidos graxos ω -3 é proveniente basicamente de plantas e de fontes marinhas (MOGHADAM; CHERIAN, 2017). No entanto, de acordo com Moghadam, Shehab e Cherian (2017), devido à cultura, custo, questões alérgicas, preocupações com sustentabilidade, contaminação ambiental e disponibilidade sazonal, as dietas ocidentais contêm quantidades limitadas de alimentos marinhos. A carne de frango de corte é a segunda

fonte de proteína animal mais consumida no mundo, apresenta ótima aceitabilidade no mercado consumidor principalmente por possuir excelente composição nutricional e por ser de custo acessível, em comparação às demais carnes do mercado. Além disso, a composição de ácidos graxos na carne de frangos de corte pode ser manipulada mediante mudança na composição de ácidos graxos da dieta (MARION; WOODROOF, 1963; CHANMUGAM et al., 1992; SCAIFE et al., 1994; KARTIKASARI et al., 2012). Deste modo, além de todos os benefícios advindos do consumo da carne de frango, ela ainda apresenta grande potencial para ser enriquecida com ácidos graxos essenciais, como os da família ω -3.

A incorporação de ácidos graxos ω -3 na carne de frango pode ser uma estratégia alternativa para aumentar o consumo humano de ω -3, sem alterar os hábitos alimentares já existentes, entretanto o sucesso dessa estratégia depende do desenvolvimento de maneiras de aumentar o teor de ω -3 da carne sem afetar o desempenho da produção e os aspectos de qualidade da carne de frango (MOGHADAM; SHEHAB; CHERIAN, 2017).

Uma das razões para enriquecer a carne de frangos com ácidos graxos ω -3 é a necessidade de atender a recomendação dos nutricionistas e órgãos de saúde de diversos países que sugerem, nas dietas dos países ocidentais industrializados, reduzir o consumo do ácido graxo ω -6 e aumentar a ingestão de ω -3, uma vez que, uma relação desbalanceada desses ácidos graxos está associada com o aparecimento de doenças cardiovasculares em humanos.

Ao longo dos anos, diversos pesquisadores da área avícola, atentos as necessidades nutricionais da população mundial, vem desenvolvendo trabalhos com o objetivo de enriquecer a carne de frango com esse ácido graxo. Olomu e Baracos (1991), trabalhando com níveis crescentes de inclusão de óleo de linhaça (1,5; 3,0; e 4,5%) na ração para frangos de corte, observaram que quanto maior o nível de inclusão do óleo, maior a quantidade de ácidos graxos ω -3 na carne dos frangos. Os mesmo autores ainda relataram um aumento de produtos da dessaturação e alongamento do ácido linolênico (EPA, ácido docosapentaenoico e DHA) na coxa das aves quando elas foram suplementadas com o óleo de linhaça. Segundo Coelho et al. (2016), o fornecimento de ω -3 nas rações, proporciona um aumento de EPA e DHA nos produtos de origem animal e, conseqüentemente, o fornecimento desses alimentos enriquecidos nas dietas humanas também aumenta os níveis EPA e DHA de quem os consomem.

Em estudo com frangos de corte, Kanakri et al. (2018) trabalharam com seis dietas experimentais as quais foram produzidas com 4% de diferentes fontes lipídicas (sebo bovino, óleo de linhaça, óleo de milho, óleo de canola, óleo de macadâmia e óleo de coco),

substituídas peso a peso. Os autores observaram que os níveis de ácidos graxos específicos nos tecidos, exceto o cérebro, foram positivamente correlacionados com os níveis dos mesmos ácidos graxos na dieta.

Ibrahim et al. (2016), ao utilizarem óleo de girassol, óleo de linhaça e óleo de peixe em diferentes níveis, formando diferentes relações ω -6: ω -3 (40:1, 1.5:1, 4:1, 8:1, 1:1, 2.5:1 e 5:1) em rações para frangos de corte, concluíram que o estreitamento da relação ω -6: ω -3 através da adição de óleo de peixe ou óleo de linhaça melhora o desempenho e a resposta imunológica dos frangos, além de resultar em carne mais saudável, enriquecida com ácidos graxos ω -3.

Konieczka; Czauderna; Smulikowska (2017) avaliando a suplementação de forma combinada de sementes de oleaginosas (linhaça ou canola) com óleo de peixe para frangos de corte, observaram que o desempenho das aves suplementadas com esses ácidos graxos não diferiram do grupo controle e os níveis de EPA e DHA no peito e na coxa foram maiores nos grupos alimentados com as dietas experimentais do que no grupo que recebeu a dieta controle (sem suplementação de ω -3). Além disso, os autores concluíram que o fornecimento de dietas ricas em ω -3 duas semanas antes do abate são suficientes para enriquecer a carne de frangos com esses ácidos graxos.

Mir et al. (2018) ao utilizar 100 g kg⁻¹ de farinha de linhaça em substituição à soja e 4 níveis de lisina (1,0; 1,05; 1,15 e 1,25) em dietas para frangos de corte, observaram que a suplementação da farinha de linhaça melhorou significativamente o perfil de ácidos graxos na carne de frangos de corte. Além disso, a inclusão de farinha de linhaça também influenciou as propriedades físico químicas da carne, reduzindo os níveis de colesterol, gordura, capacidade de retenção de água (CRA) e perda por exsudato, entretanto, aumentou o pH da carne fresca, a perda por gotejamento (PPG) e a peroxidação lipídica na carne dos frangos.

Poureslami et al. (2010) trabalhando com diferentes fontes lipídicas (óleo de palma, óleo de soja, óleo de linhaça e óleo de peixe) em dietas de frango de corte, observaram que o fornecimento de óleo de peixe suprimiu aparentemente a atividade das enzimas elongases e dessaturases, mas foi responsável pela deposição significativamente maior dos ácidos graxos poli-insaturados de cadeia longa ω -3. Entretanto, através de uma análise de regressão, os autores verificaram uma resposta linear na atividade das enzimas Δ -6 e Δ -5 dessaturases na via responsável pela formação de ácidos graxos poli-insaturados ω -3 de cadeia longa, através do fornecimento dietético crescente de ácido linolênico, presente no óleo de linhaça.

Para maximizar a expressão do seu potencial genético, o frango de corte moderno necessita de uma ração com alta densidade energética. Entretanto, o aumento de consumo de

energia por esses animais pode trazer como consequência uma deposição elevada de gordura na carcaça. Summers e Leeson, ainda em 1979, relataram que um grande problema que preocupava a indústria avícola era a quantidade de gordura depositada em relação à proteína da carcaça, principalmente, subjacente à pele das aves, na cavidade abdominal e ao redor das vísceras. Nos dias atuais, a indústria avícola ainda encontra esse desafio, que pode gerar redução da lucratividade do setor, uma vez que, quanto maior a quantidade de gordura depositada, menor será o rendimento da carcaça dos animais.

Entretanto, a inclusão de dietas ricas em ácidos graxos poli-insaturados para frangos de corte pode minimizar esse desafio encontrado pela indústria, pois demonstram reduzir a deposição de gorduras em frangos de corte quando comparados a dietas suplementadas com a mesma quantidade de lipídios ricos em ácidos graxos saturados e monoinsaturados (SANZ et al., 2000; CRESPO; GARCIA, 2001; CRESPO; GARCIA, 2002a; FERRINI et al., 2008).

González-Ortiz et al. (2013) observaram menor deposição de gordura abdominal e menor tamanho dos adipócitos de frangos de corte alimentados com dietas ricas em ácidos graxos poli-insaturados ω -3, quando comparados com aqueles alimentados com dieta rica em ácidos graxos saturados.

Navidshad, Deldar e Pourrahim (2010) ao fornecerem diferentes níveis de inclusão de óleo de soja e óleo de peixe em dietas para frangos de corte, observaram que a porcentagem de gordura abdominal nas aves que receberam os tratamentos com os ácidos graxos poli-insaturados ω -3 foi menor que no grupo controle. Os autores também observaram que a concentração de lipoproteínas de alta densidade (HDL) nas aves que receberam o óleo de peixe foi maior que os outros tratamentos, já os valores de lipoproteína de baixa densidade (LDL) foram menores nas aves alimentadas com óleo de peixe.

De acordo com Ponnampalam et al. (2001), o aumento da deposição de gordura nas aves alimentadas com dietas ricas em ácidos graxos saturados deve-se ao fato de que estes quando consumidos em excesso são depositados como TAG nos tecidos gordurosos. Já os ácidos graxos poliinsaturados, especialmente o ω -3, são preferencialmente depositados em fosfolipídios das membranas. Já Crespo e Esteve-Garcia (2002b) relacionaram a menor deposição de gordura em frangos de corte alimentados com dietas ricas em ácidos graxos poli-insaturados, principalmente da série ω -3, com uma maior oxidação dos ácidos graxos.

López-Ferrer et al. (1999) realizaram dois experimentos com o objetivo de avaliar a substituição do óleo de peixe por óleos vegetais (linhaça e canola) em dietas para frango de corte e observaram menor deposição de EPA e DHA no peito e coxa quando o óleo de peixe foi substituído pelos óleos vegetais. Ao substituírem totalmente o óleo de peixe por óleo de

linhaça os autores verificaram um aumento na quantidade total de ácidos graxos ω -3, devido a maior deposição de ácido linolênico. Diferentemente do óleo de linhaça, menor quantidade total de ω -3 foi observada com o óleo de canola, porém a substituição do óleo de peixe pelos óleos vegetais proporcionou uma melhora considerável na avaliação da qualidade sensorial da carne.

Ao utilizarem óleo de milho, óleo de linhaça e óleo de peixe em rações para frangos de corte, Chanmugan et al. (1992) verificaram que as aves que receberam óleo de linhaça apresentaram significativamente níveis mais altos de ácidos graxos ω -3 e maiores relação ω -3: ω -6 quando comparadas com as suplementadas com os mesmos níveis de óleo de peixe. Em comparação com os mesmos níveis de óleo de milho, maiores quantidades de EPA foram observadas quando os dois maiores níveis de óleo de linhaça (2,5 e 5,0%) foram utilizados. Porém, o óleo de peixe apresentou maiores quantidades de EPA quando comparado com os óleos vegetais. Entretanto, os autores concluíram que sementes e óleos contendo elevado teor de ácido linolênico pode ser usado para aumentar a relação de ácidos graxos ω -3: ω -6 em frangos de corte.

Azcona et al. (2008), ao suplementarem frangos de corte com semente de linhaça, semente de canola, semente de chia e farinha de chia, observaram que a linhaça proporcionou, significativamente, menores pesos corporais, menores ganhos de peso, maiores consumo de ração e pior conversão alimentar quando comparada com os outros alimentos e concluíram, no mesmo estudo, que a chia é mais eficiente do que a linhaça e demais fontes de ω -3 utilizadas, para enriquecer produtos com ácidos graxos ω -3, já que é a fonte vegetal conhecida mais rica em ácido linolênico.

2.1.2 Oxidação lipídica na carne de frangos de corte

Um aumento da insaturação da gordura da carcaça, através da suplementação dos ácidos graxos poliinsaturados na alimentação dos frangos de corte, pode causar redução da estabilidade oxidativa da carne das aves (LIN et al., 1989; RYMER; GIVENS, 2005; SALEH et al. 2010; MIR et al., 2018). Essa redução da estabilidade oxidativa pode levar a oxidação lipídica que é um dos mecanismos primários de deterioração da qualidade em alimentos, especialmente em produtos cárneos, sendo as mudanças na qualidade da carne manifestadas por alterações no sabor, cor, textura e perda do valor nutritivo, além da produção de compostos tóxicos (MACDONALD, 1982; GRAY;GOMAAA; BUCKLEY, 1996), prejudiciais à saúde, como o malonaldeído e outros peróxidos.

O malonaldeído é um dos principais produtos da decomposição dos hidroperóxidos de ácidos graxos poliinsaturados, formado durante o processo oxidativo (OSAWA; FELÍCIO; GONÇALVES, 2005), sendo altamente citotóxico. Segundo Oliveira et al. (2012), essa substância é muito reativa, podendo interagir através de ligações cruzadas com o DNA e proteínas, promovendo aberrações cromossômicas, o que pode favorecer o aparecimento de mutações genéticas e câncer. O malonaldeído é considerado um indicador de rancidez oxidativa (MIR et al. 2018), e dentre todos os métodos propostos para o quantificar, o ácido 2-tiobarbitúrico (TBA) tem sido amplamente adotado como método de ensaio sensível para a oxidação lipídica em tecidos animais (CORTINAS et al., 2005), sendo sua análise fundamental quando se trabalha com enriquecimento de carne com ácidos graxos poli-insaturados.

Considerando-se os aspectos tecnológicos, normalmente, quanto maior o grau de insaturação da gordura da carne, mais rápido ocorre a oxidação dos compostos lipídicos e, conseqüentemente, menor é a vida de prateleira do produto (JARDIM et al., 2003). Muitos autores que utilizaram a linhaça, a canola e o óleo de peixe em frangos de corte comprovam essa afirmação, e também associaram a utilização desses ingredientes com aumento da instabilidade oxidativa.

González-Ortiz et al. (2013), ao suplementarem dois tipos de dietas, uma rica em ácido graxo saturado e outra rica em ácido graxo poli-insaturado ω -3 para frangos de corte, observaram redução na instabilidade oxidativa e um aumento na quantidade de malonaldeído na carne dos animais alimentados com ácido graxo poli-insaturado, quando comparados com aqueles suplementados com ácido graxo saturado.

Kalakuntla et al. (2017), ao substituírem óleo de girassol (2% na fase inicial e 3% na fase final) por óleo de soja, óleo de mostarda, óleo de linhaça e óleo de peixe em dietas para frangos de corte, observaram aumento na concentração de substâncias reativas ao ácido tiobarbitúrico através da suplementação de óleo de linhaça e óleo de peixe, quando comparados com óleo de girassol. Entretanto, os autores concluíram que a suplementação dietética de óleo de mostarda, óleo de linhaça e óleo de peixe nos níveis de 2% e 3% durante a fase inicial e final, respectivamente, pode enriquecer a carne de frango de corte com ácidos graxos poli-insaturados ω -3 sem afetar o desempenho das aves e as características sensoriais da carne.

Taşdelen e Ceylan (2017), investigando o efeito da suplementação de vitamina E e a substituição de óleo de girassol por óleo de canola no desempenho e qualidade de carne em frangos de corte, observaram que a inclusão de óleo de canola melhorou o ganho de peso,

aumentou a quantidade de ω -3 e diminuiu a relação ω -6: ω -3 na coxa e peito das aves. Porém, a substituição do óleo de girassol por óleo de canola sem vitamina E tendeu a aumentar a produção de malonaldeído. Porém, a suplementação dietética de vitamina E notavelmente diminuiu a susceptibilidade da carne à peroxidação. Os autores concluíram que a substituição por óleo de canola aumentou significativamente a deposição de ácidos graxos poli-insaturados ω -3 sem alterar o desempenho e as propriedades sensoriais da carne de frango e, a vitamina E tem grande potencial para prevenir a oxidação dos lipídios da carne.

Segundo Cortinas et al. (2005), as consequências negativas da oxidação lipídica podem ser contornadas com o uso de antioxidantes na dieta. Desde modo, é muito comum ao se utilizar ácidos graxos insaturados em rações para frangos de corte fazer uso concomitante de algum antioxidante na ração, como a vitamina E ou BHT, com o objetivo de prevenir/retardar a rancidez oxidativa tanto da ração, quanto da carne do animal que a consumir. Entretanto, os antioxidantes são ingredientes caros que podem onerar ainda mais o custo da ração de um sistema de produção onde a alimentação já representa cerca de 70% do custo total.

Segundo López-Ferrer et al. (1999) o uso de óleo de peixe em dietas para frangos de corte claramente provoca redução na qualidade sensorial da carne. Ainda de acordo com esses autores, substituir óleo de peixe por outra fonte lipídica de origem vegetal por uma ou duas semanas antes do abate proporciona melhora significativa na qualidade sensorial da carne.

Chamungan et al. (1992), suplementando rações para frangos de corte com 1,0; 2,5 ou 5,0% de milho, óleo de linhaça e óleo de peixe observaram que a suplementação de óleo de linhaça resultou em uma maior relação ω -3: ω -6 do que aquela obtida com a suplementação de óleo de peixe em níveis similares. Segundo os autores, ao contrário do óleo de peixe, o óleo de linhaça não é um substrato preferido para as lipoxigenases, sendo, assim, menos suscetível a oxidação. Os autores concluíram que aves suplementadas com óleo de linhaça possuem bem menos sabores/ aromas desagradáveis do que as suplementadas com óleo de peixe.

Atualmente a linhaça é a fonte vegetal de ω -3 mais utilizada na nutrição de frangos de corte. Vários estudos demonstram que ela apresenta menos efeitos deletérios na qualidade sensorial da carne de frango quando comparada com o uso de óleo de peixe. Entretanto, de acordo com Moghadam e Cherian (2017), a linhaça na alimentação de frangos corte é apontada como tendo vários efeitos negativos no desempenho dos animais. Segundo os autores, ela contém fatores antinutricionais que interferem na utilização dos nutrientes da

dieta e, conseqüentemente, nos parâmetros de desempenho das aves, como, por exemplo, ganho médio diário, peso corporal final e peso e rendimento de cortes e carcaça.

Azcona et al. (2008) confirmaram esse afirmação ao compararem o uso de três diferentes fontes vegetais de ω -3, canola, linhaça e chia, em dietas para frangos de corte, ao observarem que as aves que receberam a semente de linhaça produziu significativamente menores pesos corporais, menores ganhos de peso e pior conversão alimentar do que as que receberam os outros alimentos. Além disso, os autores também observaram que a adição de ácido linolênico através das fontes vegetais aumentou não só o teor de ácido linolênico, mas também o teor de ácidos graxos ω -3 de cadeia longa e a quantidade total de ácidos graxos poli-insaturados ω -3 na carne das aves. A semente de chia foi responsável pelo maior aumento no teor total de ácidos graxos poli-insaturados da série ω -3, proporcionando aumentos de 157 e 200% para a carne da coxa e peito, respectivamente, em comparação ao controle. Através desse estudo observou-se que nem todas as fontes vegetais ricas em ácido linolênico são boas fontes para produzir carne de frango enriquecida com ω -3. Os autores concluíram que a chia mostrou-se superior a linhaça e a canola no enriquecimento da carne de frango com o ácido graxo ω -3 no ensaio realizado.

Assim, o uso da chia com a finalidade de enriquecer a carne de frangos com ácido graxo ω -3 seria uma ótima alternativa, visto que, essa semente oleaginosa é a fonte vegetal conhecida mais rica em ω -3, diferentemente da linhaça não apresenta nenhum fator antinutricional conhecido para aves (Azcona et al., 2008), e é considerada uma excelente fonte natural de antioxidantes, os quais podem reduzir esses efeitos indesejáveis advindos da suplementação de ácidos graxos poli-insaturados na carne de frangos de corte, sem onerar ainda mais o custo final da ração.

2.2 Chia

A Chia (*Salvia hispanica L.*) é uma planta herbácea anual pertencente à família Lamiaceae, nativa do sul do México e norte da Guatemala (AYERZA, 1995; MARINELI et al., 2014; BODOIRA et al., 2017). Ela pode crescer até um metro de altura, possui folhas largas com ramificações oposta e flores pequenas (3-4 mm), geralmente roxas (Figura 5) (NITRAYOVÁ et al., 2014).

Figura 5 - Plantação de Chia (*Salvia hispanica*).

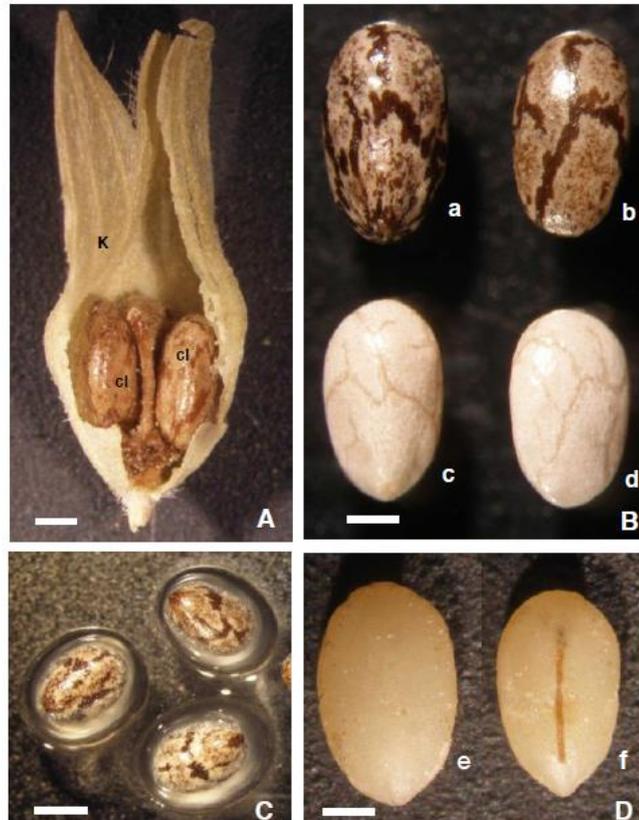


Fonte: Blog Consciência Viva.

Segundo Di Sapio et al. (2012), o fruto proveniente de cada flor, quando maduro produz de um a quatro pequenos mericarpos, denominados núculas ou clusas (tipo de um fruto seco), localizados no cálice da flor (Figura 6A), que possuem de 1,5 a 2,0 mm de comprimento.

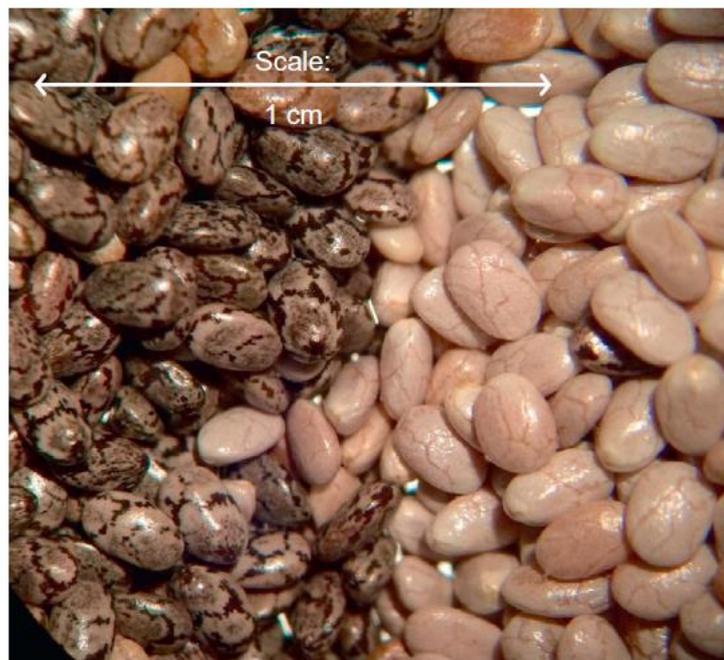
Ainda de acordo com Di Sapio et al. (2012), os frutos ou clusas são brilhantes, glabros de superfície lisa, de coloração geralmente parda acinzentada com manchas castanha-escuras, e em menor proporção pode-se observar frutos esbranquiçados com manchas castanha-claras podendo ser esbranquiçadas em menor proporção (Figura 6B, Figura 7). O fruto, altamente fibroso, quando entra em contato com a água forma uma espessa camada de mucilagem (Figura 6C). Cada fruto possui uma semente que ocupa todo volume da clusa (Figura 6D). O cultivo desta planta ocorre, principalmente, em regiões tropicais e subtropicais.

Figura 6 - Morfologia do fruto da chia: A clusas (cl) inseridas no cálice (K). B: diferentes tonalidades de clusas - a,b: clusas escuras; c,d: clusas claras. C: clusas hidratadas com formação de mucilagem. D: semente de chia.



Fonte: Di Sapio et al. (2012).

Figura 7 - Semente de chia escura (lado esquerdo) e semente de chia clara (lado direito).



Fonte: Valdivia-López e Tecante (2016).

O uso da chia como alimento para seres humanos e animais tem uma longa história, principalmente, na América Central e do Sul, sendo amplamente utilizada nas civilizações Maias e Astecas. Nessas civilizações essa semente era um dos principais alimentos (NITRAYOVÁ et al., 2014). Segundo Ayerza (1995) a chia era usada por essas civilizações há séculos, não apenas como alimento, mas também para fins medicinais e produção de tintas. Sua importância era tamanha que Tenochtitlan, a capital do antigo Império Asteca, recebia de 5000 a 15.000 toneladas de chia anualmente como tributo cobrado das nações conquistadas (CODEX MENDOZA, 1542, citado por AYERZA; COATES, 2009).

O desenvolvimento do cultivo da chia foi interrompido no século XVI quando os conquistadores vieram para a América depois do descobrimento. A chia foi perseguida até quase sua extinção, por ser considerada sacrílega, pois era o principal elemento das cerimônias pagãs, dedicadas aos deuses astecas (SAHAGUN, 1579). Atualmente os países maiores produtores da chia são: México, Espanha, Colômbia, Bolívia, Argentina e Austrália (ZANATTA et al., 2016).

A semente de chia contém de 25 a 40% de óleo (ALI et al., 2012), o qual é rico em ácido linolênico (AYERZA, 1995; NITRAYOVÁ et al., 2014), é uma boa fonte de proteína (19-27%) (WEBER et al., 1991), possuindo excelente perfil aminoacídico (NITRAYOVÁ et al., 2014). Também é fonte de vitaminas (principalmente as do complexo B e a vitamina A) e minerais, como o cálcio, o fósforo, o potássio, o zinco e o cobre (Tabela 1) (BUSHWAY et al., 1981). Além disso possui uma alta atividade antioxidante (TAGA et al.; 1984) e uma quantidade considerável de fibras (MARINELI et al., 2014).

Tabela 1 - Vitaminas e minerais na semente de chia (*Salvia hispanica*).

Semente de Chia (média de cinco amostras)	
Vitaminas	
Niacina (μ g/g semente)	82,50 \pm 2,50
Riboflavina (μ g/g semente)	2,13 \pm 0,21
Tiamina (μ g/g semente)	14,42 \pm 1,16
Vitamina A (μ g/g semente)	43,0 \pm 0
Minerais	
Cálcio mg/100 gr.	870,0
Potássio mg/100 gr.	980,0
Magnésio mg/100 gr.	466,0
Fósforo mg/100 gr.	922,0
Boro mg/100 gr.	0,9
Cobre mg/100 gr.	2,45
Manganês mg/100 gr	5,85
Molibidênio mg/100 gr.	0,19
Zinco mg/100 gr.	7,0

Fonte: Adaptado de Bushway; Belyea; Bushway (1981).

Ayerza (1995) determinou o perfil lipídico da chia de cinco diferentes locais no noroeste da Argentina (Tabela 2). Os ácidos graxos linolênico, linoleico, oleico, esteárico e palmítico foram identificados nas sementes de todas localidades através de análise cromatográfica. O teor de óleo e ácidos graxos variou de acordo com cada região analisada, o que demonstra que a localização geográfica e os fatores climáticos também exercem influência na composição das sementes de chia. As sementes apresentaram em média 35,96% de óleo e a análise da composição de dos ácidos graxos demonstraram que o ácido graxo predominante na chia é o linolênico, o qual também variou dentre as diferentes localidades, de 52,0 a 63,4% do conteúdo total de óleo.

Tabela 2 - Quantidade de óleo e perfil de ácidos graxos da semente de chia de cinco diferentes localidades da Argentina.

Local	Óleo de Chia (%)	Ácidos graxos (% do total de lipídeos)				
		Ácido Linolênico	Ácido Linoleico	Ácido Oleico	Ácido Esteárico	Ácido Palmítico
1	35,6	63,4	19,8	7,3	3,3	6,2
2	38,6	62,7	20,2	7,8	3,1	6,3
3	35,9	62,4	20,8	7,3	3,1	6,4
4	37,4	52,0	20,3	7,6	3,1	7,1
5	32,3	60,7	20,3	8,2	3,7	6,9

Fonte: Adaptado de Ayerza (1995).

Nitrayová et al. (2014), ao analisarem o perfil de aminoácidos (Tabela 3) e ácidos graxos em sementes de chia e linhaça, observaram que chia possui maior quantidade percentual de aminoácidos essenciais e maior conteúdo de ácido linolênico do que a linhaça e, ambas as sementes possuem baixas relações ω -6: ω -3 (Tabela 4). Ainda de acordo com os autores, diferentemente da linhaça, a chia não precisa ser moída para liberar seus nutrientes, e, além disso ela é a fonte vegetal conhecida mais rica em ácido graxo poliinsaturado ω -3 (ácido linolênico) conhecida da natureza.

Tabela 3 - Proteína bruta e aminoácidos na semente de chia (*Salvia hispanica*) e linhaça (*Linum usitatissimum*) marrom e dourada.

	Chia (g/kg)	Linhaça Marrom (g/kg)	Linhaça Dourada (g/kg)
Proteína Bruta	252,5	234,7	211,8
Arginina	20,0	24,0	20,7
Fenilalanina	11,6	10,2	9,2
Histidina	6,1	5,1	4,8
Isoleucina	7,4	8,6	7,7
Leucina	14,2	12,9	12,9
Lisina	9,3	9,1	8,8
Metionina	6,7	4,9	5,1
Treonina	5,4	7,1	7,5
Valina	7,9	10,3	9,2
Alanina	9,4	9,9	9,1
Aspartato	12,8	14,1	11,3
Cistina	4,2	3,2	2,8
Glutamato	28,7	45,1	39,6
Glicina	9,1	13,3	12,0
Prolina	12,8	9,1	8,3
Serina	9,4	10,2	9,4
Tirosina	6,1	4,9	4,7
Total Aminoácido	182,1	202,0	181,9
Total Aminoácidos Essenciais	68,6	68,2	64,0

Fonte: Adaptado de Nitrayová et al., (2014).

Tabela 4 - Ácido linoleico, ácido linolênico e relação ω -6: ω -3 nas sementes de chia (*Salvia hispanica*) e linhaça (*Linum usitatissimum*) marrom e dourada.

	Chia (%)	Linhaça Marrom (%)	Linhaça Dourada (%)
Ácido linoleico	18,89	14,47	16,13
Ácido α -linolênico	63,79	52,38	56,37
Relação ω -6: ω -3	0,30	0,28	0,29

Fonte: Adaptado de Nitrayová et al. (2014).

A semente e o óleo da chia contém uma quantidade considerável de compostos que possuem potente atividade antioxidante. Ainda em 1984, Taga et al. observaram a presença de substâncias antioxidantes na semente de chia, tais como o ácido cinâmico, ácido clorogênico e ácido cafeico, juntamente com os flavonoides, miricetina, quercetina e kaempferol (Tabela 5). Segundo Von Gadow et al. (1997) o ácido cafeico e a quercitina, ambos presentes na chia, apresenta uma atividade antioxidante maior que o a-tocoferol e o BHT. Deste modo, de acordo com Reyes-Caudillo et al. (2008), essa semente pode ser utilizada como uma importante fonte natural de antioxidantes, inclusive com aplicações comerciais.

Marineli et al. (2014) ao realizarem a caracterização química e o potencial antioxidante da semente e óleo da chia, observaram que as amostras exibiram alta atividade

antioxidante independentemente do método *in vitro* avaliado. Os autores atribuíram a atividade antioxidante à presença de compostos fenólicos na semente ou no óleo, os quais eram, principalmente, a miricetina, a quercetina, o kaempferol, o ácido clorogênico e o dialdeído do ácido 3,4-di-hidroxifeniletanol-elenólico (3,4-DHPEA-EDA).

Tabela 5 - Concentração de antioxidantes em extrato de semente de chia.

Compostos	Concentração
	(mol/kg de semente de chia)
Não hidrolisado	
Flavonoides	----
Ácido Cafeico	$6,6 \times 10^{-3}$
Ácido Clorogênico	$7,1 \times 10^{-3}$
Hidrolisado	
Ácido Cafeico	$13,5 \times 10^{-3}$
Flavonoides:	
Miricetina	$3,1 \times 10^{-3}$
Quercetina	$0,2 \times 10^{-3}$
Kaempferol	$1,1 \times 10^{-3}$

Adaptado de Taga et al. (1984).

Marineli et al.(2015) ao avaliarem o potencial antioxidante da chia (semente e óleo) em ratos obesos, observaram que a semente e óleo de chia na dieta aumentaram o status antioxidante do plasma e do fígado, reduziram a peroxidação lipídica plasmática e promoveram um efeito protetor contra o estresse oxidativo oriundo da obesidade.

2.2.1 Chia (óleo e grão) como fonte de ω -3 em dietas para frangos de corte

Estudos com coelhos, galinhas poedeiras, suínos e frangos de corte apontam que a chia e seus coprodutos podem ser utilizados na alimentação animal, como forma de obter produtos animais enriquecidos com ácidos graxos poliinsaturados ω -3 e com melhores valores nutricionais (AYERZA; COATES,2000; PEIRETTI; MEINERI, 2008; COATES; AYERZA, 2009; KOMPRDA et al., 2013).

Komprda et al. (2013), ao utilizarem a semente de chia na alimentação de diferentes espécies animais, incluindo frangos de corte, observaram que houve um aumento no teor de ácidos graxos poli-insaturados de cadeia longa, incluindo EPA e DHA, tanto no peito quanto na coxa dos frangos. Os autores também observaram um decréscimo na relação ω -6: ω -3 nesses cortes.

Ayerza, Coates e Lauria (2002), ao suplementarem dietas de frangos de corte com 0, 10 e 20% de semente de chia observaram que o teor de ácido linolênico na carne do peito e coxa dos frangos foi maior nas aves que receberam a chia. A carne das aves que se alimentaram com dietas suplementadas com a chia apresentou significativamente menor teor de ácidos graxos saturados, bem como menor relação ω -6: ω -3 quando comparada com as aves do grupo controle. Além disso, nenhuma diferença significativa no sabor ou nas classificações de preferência dos avaliadores foi encontrada entre as dietas. Entretanto, peso corporal e a conversão alimentar foram significativamente menores nas aves que receberam a semente de chia na dieta.

Segundo Ali et al. (2012), a incorporação da semente de chia na nutrição animal resulta no aumento de ácido linolênico e diminuição do teor de colesterol de carne e ovos, sendo um substituto promissor do óleo de peixe e das outras sementes oleaginosas.

Azcona et al. (2008), ao compararem o uso de três diferentes fontes vegetais de ω -3, canola, linhaça e chia em dietas para frangos de corte, observaram que as aves que receberam a semente de linhaça produziu significativamente menores pesos corporais, menores ganhos de peso e pior conversão alimentar do que as que receberam os outros alimentos. A linhaça apresenta fatores antinutricionais, os quais não são observados na chia. Segundo os autores a semente de chia foi responsável pelo aumento no teor total de ácidos graxos poli-insaturados da série ω -3, na ordem de 157 e 200% para a carne da coxa e peito, respectivamente, em comparação ao controle. Através desse estudo, os autores concluíram que a chia mostrou-se superior a linhaça e a canola no enriquecimento da carne de frango com o ácido graxo ω -3.

Existem poucos trabalhos na literatura que utilizaram a chia na alimentação de frangos de corte e, dos poucos trabalhos que existem, a maioria dos pesquisadores utilizou somente a semente de chia como fonte de ω -3, não havendo nenhum trabalho que tenha utilizado o óleo de chia na nutrição de frangos de corte. Além disso, não foram encontrados relatos na literatura de estudos que determinaram os valores energéticos e dos coeficientes de metabolizabilidade da chia (óleo e semente) para esses animais.

2.3 Determinação dos valores energéticos e coeficientes de metabolizabilidade em alimentos para frangos de corte

A energia é vital para o funcionamento do organismo animal. Os animais obtém energia através da oxidação dos nutrientes, principalmente carboidratos, gorduras e proteínas, presentes nos alimentos. Segundo Sakomura e Rostagno (2007), a energia em animais

monogástricos é biologicamente dividida em: energia bruta (EB), energia digestível (ED), energia metabolizável aparente (EMA), energia metabolizável verdadeira (EMV) e energia líquida (EL). A EB é a produzida pela oxidação total da matéria orgânica dos alimento e medida em bomba calorimétrica. Já a ED representa a energia do alimento que é absorvida após o processo de digestão nos animais e é determinada pela diferença entre a EB do alimento consumido e a EB das fezes.

Porém, para aves, essa forma de energia não é usualmente utilizada em virtude da dificuldade de separar as fezes da urina. Assim, a coleta de fezes e urina ou excreta total, é realizada conjuntamente, levando a uma estimativa direta da EMA (SAKOMURA et al., 2014). Essa estimativa é obtida pela diferença entre a EB do alimento e a EB das excretas (fezes e urina) e a energia dos gases oriundos da digestão, que em aves é muito baixa, (sendo desprezada no cálculo), porém, sem descontar a energia endógena. Quando se desconta e energia originada endogenamente tem-se a EMV, que é obtida pela diferença entre a EB do alimento consumido e a energia bruta da excreta (fezes e urina), corrigida pelas perdas de energia fecal metabólica e urinária endógena. Finalmente, a EL é obtida da EM menos a energia perdida como incremento calórico, ela é a energia que o animal utiliza para a manutenção e produção de ganho de peso, de ovo ou de leite (SAKOMURA; ROSTAGNO, 2007).

Ainda de acordo com esses autores, para aves, a EM pode ser determinada e expressa como: EMA, energia metabolizável aparente corrigida para balanço de nitrogênio (EMAn), EMV ou EMV corrigida para balanço de nitrogênio EMVn. Essa correção baseia-se no fato de que, em aves em crescimento, a proteína retida no organismo não contribui para a energia das fezes e da urina, sendo, o objetivo dessa correção padronizar e reduzir a variação nos valores de energia metabolizável dos alimentos medidos em diferentes condições (ANDRADE et al., 2016).

Um dos fatores mais importantes a serem considerados na nutrição animal é a energia, produto gerado pela transformação dos nutrientes durante o metabolismo (NRC, 1994). Na produção avícola, é essencial o conhecimento do conteúdo energético dos alimentos para se fornecer quantidades adequadas de energia às aves (JUNQUEIRA et al., 2005), e assim, maximizar o desempenho zootécnico, visto que, já está bem estabelecido que a energia da dieta influencia o desenvolvimento e desempenho dos frangos de corte (ALVARENGA et al., 2015).

Além disso, a alta exigência energética dos frangos de corte modernos torna quase que obrigatória a utilização de óleo e/ou semente de oleaginosas na ração, os quais colaboram não

só com a energia da dieta, mas também como fontes de ácidos graxos considerados essenciais ao bom funcionamento do organismo, como, por exemplo, os ácidos graxos ω -3 e ω -6.

Atualmente, a fonte de energia mais utilizada em rações para frangos de corte é o óleo de soja. Apesar da soja (grão e óleo) apresentar boa quantidade de ácidos graxos poli-insaturados, ela contém uma relação ω -6: ω -3 no seu óleo considerada inadequada, o que reflete no perfil lipídico e qualidade da gordura da carcaça (MARTIN et al., 2006). A chia também tem demonstrado ser uma eficiente fonte energética nas rações das aves, principalmente, quando o objetivo é proporcionar o enriquecimento da carne de frango de corte com ácido graxo ω -3 e reduzir a relação ω -6: ω -3 na carne. Porém, ainda não há na literatura trabalhos que determinaram o aproveitamento de nutrientes e energia desse alimento para frangos de corte.

Entretanto, ao utilizar qualquer alimento na nutrição animal é necessário realizar uma avaliação quanto a sua composição e seu aproveitamento pelos animais, principalmente em relação aos valores de energia metabolizável e valores de metabolizabilidade dos nutrientes da ração. Pois somente através do conhecimento da composição e do verdadeiro aproveitamento dos alimentos pelos animais, que é possível formular rações que atendam a exigência animal e, conseqüentemente, otimizem o desempenho e evitem gastos desnecessários, já que uma dieta desbalanceada implica aumento do custo de produção e compromete o desempenho dos animais (BRUM et al., 2000; SAKOMURA; ROSTAGNO, 2007).

Assim, é importante determinar a composição química e os coeficientes de metabolizabilidade e valores energéticos não apenas de ingredientes em que se desconhecem seus valores, mas também daqueles ingredientes que são comumente utilizados nas rações, como a soja (grão, farelo e óleo). Isso porque os animais de produção e os alimentos destinados a eles estão em constante melhoramento genético (inclusive com produção de novas variedades nas plantas), além de poderem ser influenciados por fatores externos, como os fatores climáticos, no caso dos animais e plantas, e fatores fisiológicos, no caso dos animais.

Segundo Brum et al. (2000) fatores como a fertilidade do solo, clima, cultivar da planta, armazenamento, amostragem, tipos de processamentos e compostos antinutricionais, determinam uma grande variabilidade na composição nutricional e na qualidade dos ingredientes utilizados nas rações. Ainda, os referidos autores enfatizaram a importância da contínua avaliação dos ingredientes para manter atualizado um banco de dados, possibilitando melhorar as estimativas das médias de energia metabolizável e nutrientes que são utilizados nas dietas de aves.

A chia é uma semente com alto teor de fibra em sua composição. De acordo com um trabalho realizado por Freitas et al. (2004), o alto teor de fibra do alimento reduz a digestibilidade dos nutrientes por aumentar a taxa de passagem e/ou por dificultar o acesso das enzimas digestivas aos nutrientes durante a digestão. Assim, conhecer os coeficientes de metabolizabilidade dos nutrientes, ao utilizar essa semente nas rações para os frangos de corte, é fundamental, principalmente para formular dietas que atendam às exigências das aves. Portanto, realizar a atualização e avaliação e contínua dos ingredientes para os frangos de corte permite melhorar as estimativas dos coeficientes de metabolizabilidade e valores energéticos, mantendo a precisão e a qualidade nutricional das formulações (NUNES et al.,2008).

Um dos métodos mais tradicionais e utilizados para se determinar a energia metabolizável e os coeficientes de digestibilidade dos nutrientes dos alimentos é o método de coleta total de excretas descrito por Sibbald e Slinger (1963). Esse método consiste na quantificação do total de alimento consumido e total de excretas produzidas durante um período. São utilizadas duas dietas, uma referência e outra teste, em que se inclui o alimento a ser estudado (SAKOMURA, et al. 2014). Para alimentos com alto teor de fibra, recomenda-se substituir aproximadamente 20% da dieta-referência para determinar a EMA pelo método de coleta total de excretas (SAKOMURA; ROSTAGNO, 2007).

3 CONSIDERAÇÕES FINAIS

O enriquecimento de carne de frangos de corte com ácidos graxos da série ω -3 pode trazer vários benefícios para a saúde humana. Contudo, há ainda grandes desafios na produção de carne de frango enriquecida, principalmente no que se refere à viabilidade econômica, manutenção das características sensoriais e qualidade da carne. A chia é a maior fonte vegetal de ácido α -linolênico conhecida, além disso, ela apresenta grande quantidade de proteína, é rica em minerais e vitaminas, não tem nenhum fator antinutricional conhecido para aves, além de ser considerada uma excelente fonte natural de antioxidantes, os quais podem reduzir esses efeitos indesejáveis. Entretanto, a utilização de qualquer alimento na nutrição animal requer o prévio conhecimento de sua composição química e aproveitamento desse alimento pelos animais, principalmente em relação a energia metabolizável e os CMA dos nutrientes da ração, o que viabiliza a formulação de rações que atendam a exigência nutricional do animal e maximizem seu desempenho zootécnico.

REFERÊNCIAS

- ALI, N. M. et al. The Promising Future of Chia, *Salvia hispanica* L. **Journal of Biomedicine and Biotechnology**, London, v. 2012, ID 171956, p. 1-9, 2012.
- ALVARENGA, R. R. et al. Validation of Prediction Equations of Energy Values of a Single Ingredient or Their Combinations in Male Broilers. **Asian Australasian Journal of Animal Science**, Seoul, v. 28, n. 9, p. 1335-1344, 2015.
- ANDRADE, R. C. et al. Evaluation of the energy correction for nitrogen balance in feed for broiler chickens. **Arquivo Brasileiro de Medicina Veterinária e Zootecnia**, Belo Horizonte, v. 68 n. 2, p. 497-505, 2016.
- ANDRADE, P.M.M.; CARMO, M.G.T.; Ácidos graxos n-3: um link entre eicosanóides, inflamação e imunidade. **Revista mn- metabólica**, Rio de Janeiro, v. 8, n. 3, p. 135-143, 2006.
- ARAÚJO, F. G. **Ácidos graxos dietéticos em parâmetros reprodutivos de fêmeas zebrafish (Danio rerio)**. 2007. 104 p. Tese (doutorado em zootecnia) - Universidade Federal de Lavras.
- AYERZA, R.; COATES, W.; M. LAURIA, M. Chia Seed (*Salvia hispanica* L.) as an ω -3 Fatty Acid Source for Broilers: Influence on Fatty Acid Composition, Cholesterol and Fat Content of White and Dark Meats, Growth Performance, and Sensory Characteristics. **Poultry Science**, Champaign, v. 81, n. 6, p. 826-837, 2002.
- AYERZA, R.; Oil Content and Fatty Acid Composition of Chia (*Salvia hispanica* L.) from Five Northwestern Locations in Argentina. **The Journal American Oil Chemists` Society**, v. 72, n. 9, p. 1079-1081, 1995.
- AYERZA, R.; COATES, W. Dietary levels of chia: influence on yolk cholesterol, lipid content and fatty acid composition, for two strains of hens. **Poultry Science**, Champaign, v. 79, n. 5, p. 724-739, 2000.
- AYERZA, JR. R.; COAT, W. Effect of Dietary α -Linolenic Fatty Acid Derived from Chia when Fed as Ground Seed, Whole Seed and Oil on Lipid Content and Fatty Acid Composition of Rat Plasma. **Annals of Nutrition and Metabolism**, Basel, v. 51, p. 27-34, 2007.
- AYERZA, R.; COATES, W. Influence of environment on growing period and yield, protein, oil and α -linolenic content of three chia (*Salvia hispanica* L.) selections. **Industrial Crops and Products**, St Martin D'Herès, v. 30, n. 2, p. 321-324, 2009.
- AZCONA, J. O. et al. Omega-3 enriched broiler meat: The influence of dietary α -linolenic-v-3 fatty acid sources on growth, performance and meat fatty acid composition. **Canadian Journal of Animal Science**, Ottawa, v. 88, n. 2, p. 257-269, 2008.
- BODOIRA, R. M. et al. Chia (*Salvia hispanica* L.) oil stability: Study of the effect of natural antioxidants. **Food Science and Technology**, Campinas, v. 75, p. 107-113, 2017.

- BOTHAM; KATHLEEN M.; MAYES; PETER, A. Lípidos de Importância Fisiológica. Em Murray, Robert K., Bender, David A., Botham, Kathleen M., Kennelly, Peter J., Rodwell, Victor W., Weil, P. Anthony (dir.), **Harper Bioquímica Ilustrada**, 29 ed McGraw-Hill Interamericana editores, S.A.; p. 140 -151, ISBN:978-0-07-176576-3, 2012.
- BRAGA, J.P.; BAIÃO, N.C.; Suplementação lipídica no desempenho de aves em altas temperaturas. **Cadernos Tecnicos de Veterinária e Zootecnia**, Belo Horizonte, n. 31, p. 23-28, 2001.
- BRUM, P. A. R. et al. Composição química e energia metabolizável de ingredientes para aves. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 35, n. 5, p. 995-1002, maio, 2000.
- BUSHWAY, A. A.; BELYEA, P. R.; BUSHWAY, R. J. Chia Seed as a Source of Oil, Polysaccharide, and Protein. **Journal of Food Science**, Chicago, v. 46, n. 1, p. 1349-1356, 1981.
- CALDER, P.C. Mechanisms of action of (n-3) fatty acids. **The Journal of Nutrition**, Oxfordshire, v. 142, n. 3, p. 592-599, 2012.
- CALDER P.C. n-3 Polyunsaturated fatty acids, inflammation, and inflammatory diseases. **The American Journal of Clinical Nutrition**, Oxford, v. 83, p. 1505-19, 2006.
- CARMO, M.C.N.S.; CORREIA, M.I.T.D. A Importância dos Ácidos Graxos Ômega-3 no Câncer. **Revista Brasileira de Cancerologia**, v. 55, n. 3, p. 279-287, 2009.
- CASTILHO, T.J.C.; CAMPOS, A.C.L.; MELLO, E.V.S.L. Efeito do ácido graxo ômega-3 na cicatrização de anastomose colônica em ratos. **Arquivo Brasileiro de Cirurgia Digestiva**, v. 28, n. 4, p. 258-261, 2015.
- COATES, W.; AYERZA, R. Chia (*Salvia hispanica L.*) seed as an n-3 fatty acid source for finishing pigs: effects on fatty acid composition and fat stability of the meat and internal fat, growth performance, and meat sensory characteristics. **Journal of Animal Science**, Sofia, v. 87, n. 11, p. 3798-3804, 2009.
- COELHO, C. R. V.; PERNOLLET, F.; VAN DER WERF, H. M. G.; Environmental Life Cycle Assessment of Diets with Improved Omega-3 Fatty Acid Profiles. **Plos One**, 0, p. 1-11, 2016.
- CHANMUGAM, P. et al. Incorporation of different types of fatty acids into tissue lipids of poultry. **Poultry Science**, Champaign, v. 71, n. 3, p. 516-521, 1992.
- CHAMPE, P.C.; HARVEY, R.A.; FERRIER, D.R.; **Bioquímica Ilustrada**, 4 ed, Porto Alegre, Artmed, 2008.
- CODEX MENDOZA, 1542. Edición de Francisco del Paso y Troncoso, Museo Nacional de Arqueología, Historia y Etnografía, Mexico D.F.; 1925.
- CORTINAS, L. et al. Influence of the Dietary Polyunsaturated Level on Chicken Meat Quality: Lipid Oxidation. **Poultry Science**, Champaign, v. 84, n. 1, p. 48-55, 2005.

CRESPO, N.; GARCIA, E.E. Dietary Fatty Acid Profile Modifies Abdominal Fat Deposition in Broiler Chickens. **Poultry Science**, Champaign, v. 80, n. 1, p. 71-78, 2001.

CRESPO, N.; GARCIA, E. E. Dietary polyunsaturated fatty acids decrease fat deposition in separable fat depots but not in the remainder carcass. **Poultry Science**, Champaign, v. 81, n. 4, p. 512-518, 2002a.

CRESPO, N.; ESTEVE-GARCIA, E. Nutrient and fatty acid deposition in broilers fed different dietary fatty acid profiles. **Poultry Science**, Champaign, v. 81, n. 10, p. 1533-1542, 2002b.

DI SAPIO, O. et al. Caracterización morfoanatómica de hoja, tallo, fruto y semilla de *Salvia hispanica* L. (*Lamiaceae*). **Boletín Latinoamericano y del Caribe de Plantas Medicinales y Aromáticas**, Santiago, v. 11, n. 3, p. 249- 268, 2012. ISSN 0717-7917.

DYERBERG, J.; BANG, H.O.; HJORNE, N. Fatty acid composition of the plasma lipids in Greenland Eskimos. **American Journal of Clinical Nutrition**, New York, v. 28, n.9, p. 958-966, Sep., 1975.

EMKEN, E.A.; ADLOF, R.O.; GULLEY, R.M. Dietary linoleic acid influences desaturation and acylation of deuterium-labeled linoleic and linolenic acids in young adult males. **Biochimica et Biophysica Acta**, v. 1213, n. 3, p. 277-88, 1994.

FERRINI, G.; BAUCCELLS, M.D.; ESTEVE-GARCÍA, E.; BARROETA, A.C.; Dietary polyunsaturated fat reduces skin fat as well as abdominal fat in broiler chickens. **Poultry Science**, Champaign, v. 87, n. 3, p. 528-535, 2008.

FREITAS, E. R. et al. Determinação da digestibilidade dos nutrientes e da energia metabolizável da semente e do farelo de girassol para frangos de corte. In: REUNIÃO ANUAL DA SOCIEDADE BRASILEIRA DE ZOOTECNIA, 41, 2004, Campo Grande. **Anais...** Campo Grande: Sociedade Brasileira de Zootecnia, 2004

FREITAS, J.J.S.; KIETZER, K.S. Ácidos graxos e sistema nervoso. In: CURI, R.; POMPEIA, C.; MIYASAKA, C. K.; PROCOPIO, J.; Entendendo a gordura: ácidos graxos. Barueri, Manole, p. 580, 2002.

GONZÁLEZ-ORTIZ, G. et al. Consumption of Dietary n-3 Fatty Acids Decreases Fat Deposition and Adipocyte Size, but Increases Oxidative Susceptibility in Broiler Chickens. **Lipids**, v. 48, n. 7, p. 705-711, 2013.

GRAY, J.I.; GOMAA, E.A.; BUCKEY, D.J. Oxidative quality and shelf life of meats. **Meat Science**, Illinois, v. 43, n. 1, p. 111-123, 1996.

IBRAHIM, D. et al. Changing dietary n 6:n-3 ratio using different oil sources affects performance, behavior, cytokines mRNA expression and meat fatty acid profile of broiler chickens. **Animal Nutrition**, v. 4, n. 1, p. 44- 51, 2016

JARDIM, N.S. et al. Teor lipídico e perfil de ácidos graxos da carne de capivara (*Hydrochaeris hydrochaeris*). **Ciência Agrotécnica**, Lavras, v. 27, n. 3, p. 651-657, 2003.

JUNQUEIRA, O. M. et al. Valor Energético de Algumas Fontes Lipídicas Determinado com Frangos de Corte. **Revista Brasileira de Zootecnia**, Viçosa, v. 34, n. 6, p. 2335-2339, 2005.

KALAKUNTALA, S. et al. Effect of dietary incorporation of n-3 polyunsaturated fatty acids rich oil sources on fatty acid profile, keeping quality and sensory attributes of broiler chicken meat. **Animal Nutrition**, v. 3, n. 4, p. 386-391, 2017.

KANAKRI, K. et al. The effect of different dietary fats on the fatty acid composition of several tissues in broiler chickens. **European Journal of Lipid Science and Technology**, Weinheim, v. 120, n. 1, p. 1-13, 2018.

KARTIKASARI, L. R. et al. Dietary alpha-linolenic acid enhances omega-3 long chain polyunsaturated fatty acid levels in chicken tissues. **Prostaglandins, Leukotrienes and Essential Fatty Acids**, v. 87, n. 4-5, p. 103-109, 2012.

KOMPRDA, T. et al. The effect of dietary *Salvia hispanica* seed on the content of n-3 long-chain polyunsaturated fatty acids in tissues of selected animal species, including edible insects. **Journal of Food Composition and Analysis**, v. 32, n. 1, p. 36-43, 2013.

KONIECZKA, P.; CZAUDERNA, M.; SMULIKOWSKA, S. 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. **Animal Feed Science and Technology**, Athens, v. 223, n. 1, p. 42-52, 2017

LIN, CF. et al. Effects of dietary oils and a-tocopherol supplementation on lipid composition and stability of broiler meat. **Journal of Food Science**, Illinois, v. 54, n. 6, p. 1457-1460, 1989.

LEHNINGER, D.L.; COX, M.M.; **Princípios de bioquímica de Lehninger**. 6 ed. Porto Alegre, Artmed, 2014.

LÓPEZ-FERRER, S. et al. n-3 Enrichment of Chicken Meat Using Fish Oil: Alternative Substitution with Rapeseed and Linseed Oils. **Poultry Science**, Champaign, v. 78, n. 3, p. 356-365, 1999.

MACDONALD, D. et al. A statistical evaluation of three methods for measuring lipid oxidation in model system. **Food Chemistry**, v. 8, p. 21-25, 1982.

MARINELI, R.S. et al. Chemical characterization and antioxidant potential of Chilean chia seeds and oil (*Salvia hispanica L.*). **Food Science and Technology**, Campinas, v. 59, n. 2, p. 1304-1310, 2014.

MARINELI, R.S. et al. Antioxidant potential of dietary chia seed and oil (*Salvia hispanica L.*) in diet-induced obese rats. **Food Research International**, v. 76, n. 3, p. 666-674, 2015.

MARION, J.E.; WOODROOF, J.G. The fatty acid composition of breast, thigh, and skin tissues of chicken broilers as influenced by dietary fats. **Poultry Science**, Champaign, v. 42, n. 5, p. 1202-1207, 1963.

MARTIN, C.A. et al. Ácidos graxos poliinsaturados ômega-3 e ômega-6: importância e ocorrência em alimentos. **Revista de Nutrição**, Campinas, v. 19, n. 6, p. 761-770, 2006.

MARTINO, R.C.; Exigências e cuidados da adição de lipídeos em rações para peixes e a sua importância para o homem - Parte 2. **Revista Panorama da Aquicultura**, v. 13, n. 75, p. 58-60. 2003.

MARZZOCO, A.; TORRES, B.B.; **Bioquímica básica**. 3 ed. Rio de Janeiro, Guanabara Koogan, 2007.

MIR, N.A. et al. Performance and meat quality of broiler chicken fed a ration containing flaxseed meal and higher dietary lysine levels. **The Journal of Agricultura Science**, Cambridge, v 156, n. 2, p. 1-9, 2018.

MOGHADAM, M.H.B.; SHEHAB, A.; CHERIAN, G. Methionine supplementation augments tissue n-3 fatty acid and tocopherol content in broiler birds fed flaxseed. **Animal Feed Science and Technology**, v. 228, p. 149-158, 2017.

MOGHADAM, M. H. B.; CHERIAN, G.; Use of flaxseed in poultry feeds to meet the human need for n-3 fatty acids. **World's Poultry Science Journal**, Cambridge, v. 73, n. 4, p. 1-10, 2017.

MOREIRA, N.X.; CURI, R.; MANCINI FILHO, J.; Fatty acids: a review. *Nutrire: revista da Sociedade Brasileira de Alimentação e Nutrição*. **Nutrire: Journal of Brazilian Society of Food and Nutrition**, São Paulo, v. 24, p. 105-123, Dezembro, 2002.

MOTTA, V. T. **Bioquímica básica**. Autolab Análises Clínicas, 2003. 310p.

MOZAFFARIAN, D.; WU, J. H.; (n-3) fatty acids and cardiovascular health: are effects of EPA and DHA shared or complementary? **The Journal of Nutrition**, Oxfordshire, v. 142, n. 3, p. 614-625, 2012.

NITRAYOVÁ, S. et al. Amino acids and fatty acids profile of chia (*Salvia hispanica L.*) and flax (*Linum usitatissimum L.*) seed. **Potravinárstvo**, Nitrianske Hrnčiarovce, v. 8, n. 1, p. 72-76, 2014.

NUNES, R.V. et al. Coeficientes de metabolizabilidade da energia bruta de diferentes ingredientes para frangos de corte. **Revista Brasileira de Zootecnia**, Viçosa, v. 37, n. 1, p. 89-94, 2008

NATIONAL RESEARCH COUNCIL. **Nutrient requirements of poultry**, 9 ed, Washington, National Academy, p. 155, 1994.

OLIVEIRA, R. R. et al. Antioxidantes naturais em produtos cárneos. Ed. 197, **Pubvet**, Londrina, v. 6, n. 10, a. 1324, p. 1-32, 2012.

OLOMU, J. M.; BARACOS, V.E. Influence of Dietary Flaxseed Oil on the Performance, Muscle Protein Deposition, and Fatty Acid Composition of Broiler Chicks. **Poultry Science**, Champaign, v. 70, n. 6, p. 1403-1411, 1991.

- OSAWA, C.C.; FELÍCIO, P.E.; GONÇALVES, L.A.G.; Teste de tba aplicado a carnes e derivados: métodos tradicionais, modificados e alternativos. **Química Nova**, São Paulo, v. 28, n.4, p. 655-663, 2005.
- PARRISH, C. C.; Essencial fatty acids in aquatic food webs. In: ARTS, M. T.; BRETT, M. T.; KAINZ, M. J.; Lipids in aquatic ecosystems, New York, **Springer**, p. 309-326, 2009.
- PAULINO, R. R. **Níveis de ácido linoleico e ácido linolênico em dietas para tambaqui (*Colossoma macropomum*)**. 2016. 88 p. Tese (doutorado em zootecnia) - Universidade Federal de Lavras.
- PEIRETTI, P.G.; MEINER, G.; Effects on growth performance, carcass characteristics, and the fat and meat fatty acid profile of rabbits fed diets with chia (*Salvia hispanica* L.) seed supplements. **Meat Science**, Illinois, v. 80, p. 1116-1121, 2008.
- PINHO, D.M.M.; SUAREZ, P.A.Z.; A Hidrogenação de Óleos e Gorduras e suas Aplicações Industriais. **Revista Virtual de Química**, Niterói, v. 5, n. 1, p. 47-62, 2013.
- PONNAMPALAM, E.N. et al. Effect of dietary modification of muscle long chain n-3 fatty acid on plasma insulin and lipid metabolites, carcass traits, and fat deposition in lambs. **Animal Science**, Sofia, v. 79, n. 4, p. 895- 903, 2001.
- POURESLAMI, R. et al. Effect of diet, sex and age on fatty acid metabolism in broiler chickens: n-3 and n-6 PUFA. **British Journal of Nutrition**, Cambridge, v. 104, n. 2, p. 189-197, 2010.
- REYES-CAUDILLO, R.; TECANTE, A.; VALDIVIA-LÓPEZ, M.A. Dietary fibre content and antioxidant activity of phenolic compounds present in Mexican chia (*Salvia hispanica* L.) seeds. **Food Chemistry**, v. 107, n. 2, p. 656-663, 2008.
- RIBEIRO, P.A.P. **Efeito de fontes de ácidos graxos na dieta e a da redução da temperatura sobre o metabolismo lipídico de tilápias nilóticas (*Oreochromis niloticus*) e trutas arco-íris (*Oncorhynchus mykiss*)**. Tese (doutorado em zootecnia) - Universidade Federal de Lavras, p. 162, 2007.
- RYMER, C.; GIVENS, D. n- 3 fatty acid enrichment of edible tissue of poultry: a review. **Lipids**, v. 40, n. 2, p. 121-130, 2005.
- ROSA, F.C.; **Composição química e métodos de cocção de carcaça de frangos de corte alimentados com rações suplementadas com Omega-3**. 134 f. Tese (Doutorado em Zootecnia) - Universidade Federal de Lavras, Lavras, 2003.
- SAHAGUN, B.; 1579. Historia general de las cosas de Nueva España. Reimpresso por School of American, 1982.
- SAKOMURA, N.K.; ROSTAGNO, H.S.; **Métodos de Pesquisa em nutrição de Monogástricos**. Funep, , p. 283, 2007
- SAKOMURA, N. K. et al. **Nutrição de não ruminantes**, Jaboticabal, Funep, p. 678, 2014.

SALEH, H. et al. Effect of dietary fish oil on oxidative stability and lipid composition of broiler chickens breast and thigh meat. **Journal of Animal and Veterinary Advances**, Dubai, v. 9, n. 22, p. 2877-2882, 2010.

SANZ, M. et al. Abdominal Fat Deposition and Fatty Acid Synthesis Are Lower and β -Oxidation Is Higher in Broiler Chickens Fed Diets Containing Unsaturated Rather than Saturated Fat. **The Journal of Nutrition**, Oxfordshire, v. 130, n. 12, p. 3034-3037, 2000.

SCAIFE, J.R. et al. Effect of different dietary supplemental fats and oils on the tissue fatty acid composition and growth of female broilers. **British Poultry Science**, Oxfordshire, v. 35, n. 1, p. 107-118, 1994.

SCHWAB, J.M.; SERHAN, C.N. Lipoxins and new lipid mediators in the resolution of inflammation. **Current Opinion in Pharmacology**, v. 6, n. 4, p. 414-420, 2006.

SHAPIRO, J.A.; KOEPESELL, T.D.; VOIGT, L.F. Diet and rheumatoid arthritis in women: a possible protective effect of fish consumption. **Epidemiology**, v. 7, n. 3, p. 256-63, 1996.

SIMOPOULOS, A.P.; Omega-3 fatty acids in health and disease and in growth and development. **The American Journal of Clinical Nutrition**, Oxford, v. 54, n. 3, p. 438-463, 1991.

SIMOPOULOS, A.P. Omega-3 fatty acids in wild plants, nuts and seeds. **Asia Pacific Journal of Clinical Nutrition**, v. 11, n. 6, p. 163-173, 2002.

SIMOPOULOS, A.P. An Increase in the Omega-6/Omega-3 Fatty Acid Ratio Increases the Risk for Obesity. **Nutrients**, Basel, v. 8, n. 128, p. 1-17, 2016.

SPITE, M. Deciphering the role of n-3 polyunsaturated fatty acid-derived lipid mediators in health and disease. **Proceedings of the Nutrition Society**, Cambridge, v. 72, n. 4, p. 441-450, 2013.

SUMMERS, J.D.; LEESON, S. Composition of poultry meat as affected by nutritional factors. **Poultry Science**, Champaign, v. 58, n. 3, p. 536-542, 1979.

TAGA, M.S.; MILLER, E.E.; PRATT, D.E. Chia seeds as a source of natural lipid antioxidants. **Journal of the American Oil Chemist's Society**, v. 61, n. 5, p. 928-931, 1984.

TAŞDELEN, E.Ö.; CEYLAN, N. Effects of Dietary Inclusion of Oil Sources With or Without Vitamin E on Body Composition and Meat Oxidation Level in Broilers. **Brazilian Journal of Poultry Science**, Campinas, v. 19, p. 103-115, 2017.

TOCHER, D. R. Omega-3 long-chain polyunsaturated fatty acids and aquaculture in perspective. **Aquaculture**, Amsterdam, v. 449, p. 94-107, 2015.

VALDIVIA-LÓPEZ, M.A.; TECANTE, A.; Chia (*Salvia hispanica*): A Review of Native Mexican Seed and its Nutritional and Functional Properties. **Advances in Food and Nutrition Research**, v. 75, p. 53-75, 2016.

Von GADOW, A.; JOUBERT, E.; HANSMANN, C.F. Comparison of the antioxidant activity of aspalathin with that of other plant phenols of rooibos tea (*Aspalathus linearis*), α -tocopherol, BHT and BHA. Washington, **Journal Agriculture and Food Chemistry**, Washington , v. 45, n. 3, p. 632-638, 1997.

WEAVER, B.J.; HOLOB, B.J. Health effects and metabolism of dietary eicosapentaenoic acid. **Progress in food & nutrition science**, v. 12, n. 2, p. 111-150, 1998.

ZANATTA, T.P. et al. Análise do crescimento da cultura da chia (*Salvia hispanica*). **Revista Cultivando o Saber**, Cascavel, v. 9, n. 3, p. 377-390, 2016.

SEGUNDA PARTE - ARTIGOS

**ARTIGO 1 - AVALIAÇÃO NUTRICIONAL DA CHIA (*Salvia hispanica*), SEMENTE
E ÓLEO, NA RAÇÃO DE FRANGOS DE CORTE**

Artigo redigido conforme normas da revista *Animal Feed Science and Technology*

Avaliação nutricional da chia (*Salvia hispanica*), semente e óleo, na ração de frangos de corte

Nicole Batelli de Souza Nardelli^a, Paulo Borges Rodrigues^a

^a Departamento de Zootecnia, Universidade Federal de Lavras, Lavras, Minas Gerais, Brasil

RESUMO

Dois experimentos foram conduzidos para avaliar o uso da chia (óleo ou semente) em substituição à soja na ração de frangos de corte no período de 29 a 42 dias de idade. O experimento I foi conduzido com o objetivo de determinar os valores energéticos dos óleos e grãos/semesentes da soja e da chia, realizando-se um ensaio de metabolismo com 120 frangos, dos 29 aos 42 dias de idade, os quais foram distribuídos em cinco dietas experimentais, sendo uma ração referência e 4 rações com os alimentos teste, fornecidos a oito repetições de três aves cada. Para avaliar o alimentos teste, utilizou-se um delineamento inteiramente casualizado (DIC), os tratamentos foram constituídos por rações contendo soja ou chia em duas formas de suplementação, grão/sememente ou óleo, em que os óleos e os grãos substituíram a ração referência, formulada para atender as exigências nutricionais das aves, em 10% e 25%, respectivamente. Objetivou-se com o experimento II avaliar o efeito da inclusão da chia em substituição à soja no desempenho, rendimento de carcaça e corte, parâmetros sanguíneos e atividade de enzimas envolvidas nas vias metabólicas de lipídeos em frango de corte, além da metabolizabilidade e aproveitamento energético das rações. O experimento II foi subdividido em dois ensaios, sendo um de desempenho e outro de metabolismo. Para o desempenho foram utilizados 120 frangos (Cobb500[®]), distribuídos em 4 tratamentos, com cinco repetições cada, sendo seis aves por repetição. No ensaio de metabolismo foram utilizadas 72 aves, distribuídas em 4 tratamentos, com seis repetições de três aves cada. Para ambos os ensaios foram utilizados um DIC, sendo os tratamentos constituídos por rações contendo soja e chia em duas formas de suplementação (grão/sememente ou óleo). Os valores energéticos (EMAn) determinados para os óleos de chia e de soja e para a soja integral tostada e a semente de chia foram 8955; 8920; 3786 e 2013 kcal/kg de matéria seca, respectivamente. As aves que receberam as rações suplementadas com óleo de soja e semente de chia apresentaram os maiores ($P < 0,05$) consumos de ração. A inclusão dos óleos (soja e chia) proporcionaram maiores ($P < 0,05$) ganhos de peso das aves e as melhores ($P < 0,05$) conversão alimentar foram observadas nas aves suplementadas com o óleo de chia e soja integral tostada. Entretanto, as aves que receberam a semente de chia em suas dietas apresentaram uma pior ($P < 0,05$) conversão alimentar, bem como os piores valores para os coeficientes de metabolizabilidade do extrato etéreo, energia e valor energético da ração (EMAn), além de maior atividade da enzima málica e maiores níveis de colesterol total sérico. As aves suplementadas com soja integral tostada e semente de chia apresentaram os maiores valores de LDL colesterol. Não foram observadas diferenças ($P > 0,05$) entre os tratamentos para a atividade da glicose-6-fosfato desidrogenase e HDL colesterol. As aves que receberam a soja integral tostada apresentaram os menores valores de triacilglicerol e VLDL. De maneira geral, o óleo de chia mostrou-se superior ou igualmente eficiente ao substituir a soja (óleo ou grão) nos parâmetros avaliados.

Palavras chave: Desempenho; Energia metabolizável; Enzimas lipogênicas; Metabolizabilidade, Parâmetros sanguíneos.

1. Introdução

A semente de chia é a fonte vegetal conhecida mais rica em ácidos graxos ômega-3 (ω -3) (Coates; Ayerza, 2009; Nitrayová et al., 2014). Ela também é uma boa fonte de proteína (19-27 g/100 g) (Weber et al., 1991), possuindo excelente perfil aminoacídico (Nitrayová et al., 2014) e, diferentemente de outras fonte vegetais de ω -3, como a linhaça, a chia não apresenta fator antinutricional conhecido para aves (Azcona et al., 2008) e ainda possui atividade antioxidante (Taga et al.; 1984). Porém, possui uma quantidade considerável de fibras (37,5 g/100 g) (Marineli et al., 2014), que pode influenciar a digestibilidade dos nutrientes da ração para as aves.

Na produção avícola, é essencial não só o conhecimento do conteúdo energético dos alimentos para se fornecer quantidades adequadas de energia às aves (Junqueira et al., 2005), mas também a digestibilidade e aproveitamento dos nutrientes para esses animais, para assim, maximizar o desempenho zootécnico. De acordo com Alvarenga et al. (2015), já está bem estabelecido que a energia e a metabolizabilidade dos nutrientes da dieta influenciam o desenvolvimento e desempenho dos frangos de corte.

Assim, para se formular rações que atendam às exigências das aves é importante determinar a composição química, os coeficientes de metabolizabilidade e valores energéticos tanto dos ingredientes em que se desconhecem seus valores, no caso da chia, quanto daqueles que são comumente utilizados nas rações, como, por exemplo a soja (grão, farelo e óleo). Isso porque os animais de produção e os alimentos destinados a eles, além de poderem sofrer influência de fatores externos, como os fatores climáticos, estão em constante melhoramento genético, o que pode alterar os valores energéticos e coeficientes de metabolizabilidade para esses animais. Também é importante conhecer melhor os alimentos que possam substituir a

soja, haja visto que, seu preço aumenta a cada ano e o fornecimento mundial de soja não geneticamente modificada é limitado (Kierończyk et al., 2018).

Entretanto, até o presente momento, nos trabalhos realizados com a chia na nutrição de frangos de corte (Ayerza; Coates; Lauria, 2002; Azcona et al., 2008; Komprda et al., 2013) não foram determinados os valores energéticos e os coeficientes de metabolizabilidade da chia (óleo e semente), nem avaliado a influência de seu uso, em substituição à soja, nos parâmetros fisiológicos e metabólicos desses animais.

Deste modo, foram realizados dois experimentos, simultaneamente, com o objetivo de avaliar a inclusão da chia (semente e óleo) em substituição à soja, para avaliar o desempenho, parâmetros sanguíneos, atividades de enzimas lipogênicas (málica e glicose-6-fosfato desidrogenase) e metabolizabilidade do nutrientes e aproveitamento energético da ração (Experimento I) e determinar os valores energéticos da semente de chia, soja integral tostada e de seus óleos, além dos coeficientes de metabolizabilidade da energia bruta e extrato etéreo desses ingredientes (Experimento II), em rações para frangos de corte no período de 29 aos 42 dias de idade.

2. Material e Métodos

Os experimentos foram conduzidos, simultaneamente, no Setor de Avicultura do Departamento de Zootecnia da Universidade Federal de Lavras, Brasil. Todos os procedimentos experimentais foram aprovados pela Comissão de Ética no Uso de Animais da Universidade Federal de Lavras, sob o protocolo nº 074/16.

2.1 Experimento I (metabolismo)

No Experimento I foram determinados os valores de energia metabolizável corrigida para o balanço de nitrogênio (EMAn) e os coeficientes de metabolizabilidade do extrato

etéreo (CMAEE) e coeficientes de metabolizabilidade da energia bruta (CMEB) do óleo de soja, óleo de chia, soja integral tostada e semente de chia para frangos de corte.

2.1.1 Animais e condições experimentais

Foram utilizados 120 frangos de corte machos, da linhagem comercial Cobb-500[®], dos 29 aos 42 dias de idade, os quais foram criados em galpão tradicional para frangos de corte até os 29 dias. Aos 29 dias as aves foram transferidas para uma sala de metabolismo que possuía gaiolas metabólicas (50 x 50 x 50 cm) compostas por um comedouro e um bebedouro do tipo calha e bandejas de alumínio revestidas com plástico para a coleta de excretas, sob as gaiolas.

O programa de luz adotado foi o de luz contínua, com 24 horas de iluminação durante todo período experimental. As temperaturas máxima e mínima foram registradas, diariamente, às 16 horas, por meio de um termômetro localizado aproximadamente na altura das aves. A média mínima e máxima das temperaturas na sala de metabolismo durante a fase experimental foi de 22,5 °C ($\pm 0,79$) e 31,8 °C ($\pm 1,03$), respectivamente.

Durante o período de criação e o período experimental, a água e a ração foram fornecidas à vontade aos animais. As rações foram a base de milho e farelo de soja, formuladas para atender as exigências nutricionais das aves, segundo as recomendações de Rostagno et al. (2011).

2.1.2 Delineamento experimental e dietas

As aves foram distribuídas em um delineamento inteiramente casualizado (DIC), sendo os tratamentos constituídos por dois alimentos teste, soja e chia, em duas formas de suplementação, grão/semente e óleo. No total foram utilizadas cinco rações experimentais, sendo uma ração referência (Tabela 1) formulada de acordo com as exigências das aves,

segundo as recomendações de Rostagno et al. (2011) e quatro rações com os alimentos a serem avaliados (alimentos teste). Nas rações teste, os óleos e os grãos/sementes substituíram a ração referência em 10 e 25 %, respectivamente. Foram utilizados por tratamento um total de 24 aves, divididas em oito repetições de três aves cada.

2.1.3 Procedimentos experimentais

As aves foram adquiridas em incubatório comercial, com um dia de idade e criadas em galpão convencional para frangos de corte até os 28 dias, compondo um lote único. No 29º dia as aves foram pesadas, homogeneizadas por faixa de peso ($1,534 \pm 0,017$) e distribuídas em 40 gaiolas metabólica, localizadas em uma sala de metabolismo.

Após um período de adaptação das aves às gaiolas e às dietas experimentais (sete dias), iniciou-se o ensaio de metabolismo. Foi adotado o método de coleta total de excretas por um período de três dias (36º, 37º e 38º dias de idade das aves) conforme descrito por Rodrigues et al. (2005). As rações e as sobras foram pesadas e registradas, respectivamente, no início e final do período experimental para posterior determinação do consumo de cada parcela durante a fase experimental.

As coletas foram realizadas uma vez por dia, as 08:00 horas da manhã. O material coletado foi acondicionado em sacos plásticos identificados e armazenados em freezer (-5°C) até o final do período de coleta, para evitar a fermentação. Ao final do período experimental, as excretas foram descongeladas, pesadas e homogeneizadas, para obtenção de amostras representativas de 300 g, as quais foram submetidas à pré-secagem em estufa de ventilação forçada a 55°C, durante um período de 72 horas. Após a pré-secagem, as amostras foram pesadas, moídas em moinho tipo faca (com peneira de 1,0 mm) e armazenadas até a realização das análises laboratoriais.

2.1.4 Parâmetros avaliados e análises laboratoriais

Os alimentos testados, as rações (referências e testes) e as amostras obtidas através da coleta total de excretas foram encaminhadas para análises dos teores de matéria seca (MS), nitrogênio (N) e extrato etéreo (EE) respectivamente pelos métodos 943.01, 954.01 e 920.30 da AOAC (2005). Também foram determinados os valores de energia bruta (EB) em bomba calorimétrica (modelo C200, IKA®, Stauten, Alemanha). Nas sementes de chia e soja integral tostada também foi avaliado o teor de fibra bruta (FB) (Tabela 2).

Com base nos resultados laboratoriais obtidos foram calculados os valores da EMA utilizando-se das equações propostas por Matterson, Potter e Stutz (1965), posteriormente os valores obtidos foram ajustados para a retenção de N (EMAn):

$$EMA \text{ da RR ou RT} = \frac{EB_{\text{ingerida}} - (EB_{\text{excretada}})}{MS_{\text{ingerida}}}$$

$$EMA \text{ do alimento} = EMA \text{ da RR} + \frac{EMA \text{ da RT} - EMA \text{ da RR}}{g \text{ alimento} / g \text{ ração}}$$

$$EMAn = \frac{EB_{\text{ingerida}} - (EB_{\text{excretada}} \pm 8,22 \times BN)}{MS_{\text{ingerida}}}$$

$$EMAn \text{ do alimento} = EMAn \text{ da RR} + \frac{EMAn \text{ da RT} - EMAn \text{ da RR}}{g \text{ alimento} / g \text{ ração}}$$

Em que:

RR= ração referência

RT= ração teste

EB= energia bruta

BN= balanço de nitrogênio (N ingerido - N excretado)

MS= matéria seca

Para os cálculos dos coeficientes de metabolizabilidade do extrato etéreo (CMAEE) e energia bruta (CMAEB) dos alimentos foram utilizadas as seguintes equações:

$$CMAEE (\%) = \frac{EE_{ingerida} - EE_{excretada}}{EE_{ingerida}} \times 100$$

$$CMAEB (\%) = \frac{EB_{ingerida} - EB_{excretada}}{EB_{ingerida}} \times 100$$

2.2 Experimento II (desempenho e metabolismo das rações experimentais)

O experimento II foi subdividido em dois ensaios, onde foram avaliados o desempenho, rendimento, parâmetros sanguíneos e atividades de enzimas lipogênicas das aves (ensaio I) e determinação dos valores de metabolizabilidade dos nutrientes e aproveitamento energético das rações fornecidas às aves no ensaio de desempenho (ensaio II).

2.2.1 Animais e condições experimentais

Foram utilizados um total de 192 frangos de corte machos, da linhagem comercial Cobb-500[®], dos 29 aos 42 dias de idade. Desses animais, 120 foram utilizados para a realização do ensaio I (desempenho, rendimento, parâmetros sanguíneos e atividade enzimática), enquanto 72 foram utilizados no ensaio de metabolismo, (ensaio II).

Os boxes do galpão de desempenho, com a dimensão de 2,0 x 1,5 metros e compostos por um bebedouro e um comedouro do tipo pendular, teve o piso coberto com maravalha. As instalações e equipamentos da sala de metabolismo foram as mesmas adotadas no experimento I.

O programa de luz utilizado em ambos ensaios também foi o de luz contínua, com 24 horas de iluminação durante todo período experimental. As temperaturas máxima e mínima foram registradas diariamente, às 16 horas, por meio de um termômetro localizado aproximadamente na altura das aves, tanto no galpão de desempenho, quanto na sala de metabolismo. A média mínima e máxima das temperaturas no galpão de desempenho durante a fase experimental foi de 20,08 ° C ($\pm 1,01$) e 31,38 ° C ($\pm 1,18$), respectivamente. Já a média mínima e máxima das temperaturas na sala de metabolismo foi respectivamente 22,5 ° C ($\pm 0,79$) e 31,8 ° C ($\pm 1,03$).

Durante o período de criação (de 1 a 28 dias) e período experimental (de 29 a 42 dias) água e ração foram fornecidas a vontade aos animais. As rações foram a base de milho e farelo de soja, formuladas para atender às exigências nutricionais das aves, segundo as recomendações de Rostagno et al. (2011).

2.2.2 Delineamento experimental e dietas

As 120 aves do desempenho (ensaio I) foram distribuídas em quatro tratamentos, com cinco repetições cada, sendo seis aves por repetição. No ensaio de metabolismo (ensaio II) foram utilizadas as 72 aves, as quais foram distribuídas em quatro tratamentos, com seis repetições de três aves cada. Para ambos os ensaios foi utilizado o delineamento inteiramente casualizado, sendo os tratamentos constituídos por rações contendo soja ou chia em duas formas de suplementação, grão/semente e óleo. O grão/semente e óleo da soja foi substituído peso a peso na formulação com a semente/óleo de chia, compondo os tratamentos experimentais, semelhantes nos ensaios I e II. Assim, as mesmas dietas experimentais (Tabela 3) foram fornecidas para as aves do ensaio de desempenho e de metabolismo. As rações experimentais e água foram fornecidas a vontade.

2.2.3 Procedimentos experimentais

As aves de ambos os ensaios foram adquiridas de incubatório comercial, com um dia de idade e criadas em galpão convencional para frangos de corte até os 28 dias, compondo um lote único. No 29º dia as aves foram pesadas, homogeneizadas por faixa de peso ($1,684 \pm 0,034$) e distribuídas, no ensaio I, em 24 boxes em galpão de desempenho. Já no ensaio II as aves (com peso médio de $1,514 \pm 0,015$) foram distribuídas em 24 gaiolas metabólica, localizadas em uma sala de metabolismo.

2.2.3.1 Ensaio I

No ensaio I, pesagens das aves e rações foram realizadas no 29º e 42º dia, para posteriores cálculos dos parâmetros de desempenho. A mortalidade também foi monitorada diariamente, pela manhã e à tarde, para possível correção do consumo e conversão alimentar (CA), conforme as recomendações de Sakomura e Rostagno (2016).

Ao final do ensaio de desempenho, no 42º dia de vida, as aves foram submetidas a um jejum alimentar de 12 horas e foram pesadas, para posteriores cálculos de rendimento. Após o jejum, três aves por repetição foram escolhidas de maneira aleatória e abatidas por deslocamento cervical seguido de sangria e colheita de sangue (seis mililitros em tubo sem anticoagulante). Após o abate os frangos foram submetidos aos processos de escaldagem, deplumagem e evisceração, obedecendo à distribuição dos tratamentos experimentais e repetições, e foram pesados e embalados individualmente em sacos plásticos e resfriados à temperatura de 5°C por um período de 24 horas para posterior realização de cálculos de rendimentos de carcaça e cortes e porcentagem de gordura abdominal.

No momento da evisceração das aves, foram retiradas amostras do fígado, as quais foram armazenadas em microtubos de 2 ml e rapidamente congeladas em nitrogênio líquido (-80°C) e encaminhados a freezer (-80°C) para posteriores análises da atividade das enzimas

málica e glicose-6-fosfato desidrogenase. O sangue coletado foi submetido à centrifugação (6500 rpm durante seis minutos) e o soro também foi armazenado em microtubos a -80°C para posteriores análises bioquímicas.

2.2.3.2 Ensaio II

Os procedimentos experimentais foram os mesmos adotados no experimento I.

2.2.4 Parâmetros avaliados e análises laboratoriais

2.2.4.1 Ensaio I

No ensaio I, o consumo de ração (CR), ganho de peso (GP) e a CA das aves durante o período experimental foram avaliados. Para os cálculos do GP, pesagens das aves foram realizadas no 29º e 42º dia de idade. O controle do CR foi realizado com a pesagem da ração e das sobras nos comedouros no 29º e 42º dia da fase experimental. Já a CA foi calculada dividindo-se o CR pelo GP, não havendo nenhuma mortalidade durante o período experimental.

O rendimento de carcaça foi realizado 24 horas *post mortem*. Para os cálculos de rendimento foi considerado o peso da carcaça limpa (sem cabeça e pés) sem passar pelo *chiller* e sua relação com peso vivo do animal em jejum. Após registro do peso das carcaças, estas foram divididas em cortes (peito, coxa, sobrecoxa, dorso, asas e pescoço) para determinação do rendimento de cortes, que foi realizado em relação ao peso da carcaça eviscerada. Já para determinação da gordura abdominal, considerou-se a deposição lipídica na região entre a Bursa de Fabricius e a cloaca, sendo posteriormente pesada e calculada sua relação com o peso da carcaça eviscerada.

No sangue coletado, foram realizadas análises de colesterol total, triacilgliceróis (TAG), colesterol HDL (HDL-C) e colesterol LDL (LDL-C) por meio do leitor de microplaca

(modelo NUNC F, Thermo Fischer Scientific InC., Kamstrup, Dinamarca), utilizando kits sorológicos (Labtest®, Lagoa Santa, Brasil). Por meio da diferença entre o colesterol total e o HDL e LDL foi obtido o valor do VLDL.

Os homogenatos de tecido hepático foram preparados em tampão Tris-HCl 50 mM pH 7,4 na proporção de 5 mL de tampão para cada 1g de tecido. Os tecidos foram homogeneizados em macerador de tecidos Ultra-Turrax e as amostras obtidas foram centrifugadas a 14000 rpm, a 4 °C, por 30 minutos. O sobrenadante foi coletado e centrifugado novamente para obtenção de um extrato límpido. As amostras foram aliqüotadas e armazenadas em ultrafreezer -80°C para, posteriormente, realizar as análises enzimáticas.

A glicose-6-fosfato desidrogenase (E.C. 1.1.1.49) e a enzima málica (E.C. 1.1.1.40) foram determinadas seguindo a metodologia proposta por Bautista et al. (1988) e Spina et al. (1970), respectivamente. A cinética enzimática foi monitorada por leitor de microplacas modelo Multiskan Go (Thermo Fisher Scientific, Vantaa, Finlândia). O conteúdo de proteína solúvel total no extrato hepático foi determinado pelo método descrito por Bradford et al. (1976), utilizando albumina sérica bovina (BSA) como padrão. A atividade enzimática (UI), definida como µmol de substrato convertido em seu respectivo produto, por minuto, foi expressa por mg de proteína solúvel hepática.

2.2.4.2 Ensaio II

As variáveis analisadas e as análises laboratoriais das rações experimentais e das excretas, foram as mesmas realizadas no experimento I.

Para os cálculos dos coeficientes de metabolizabilidade aparente da matéria (CMAMS), proteína bruta (CMAPB), foram utilizadas as seguintes fórmulas:

$$\text{CMAMS (\%)} = \frac{MS \text{ ingerida} - MS \text{ excretada}}{MS \text{ ingerida}} \times 100$$

$$\text{CMA PB (\%)} = \frac{\text{PB ingerida} - \text{PB excretada}}{\text{PB ingerida}} \times 100$$

Já para os cálculos dos CMAEE e CMAEB foram utilizadas as fórmulas descritas na metodologia do experimento I.

Para milho, farelo de soja, soja integral tostada e semente de chia foram realizadas análises de MS, PB, EE, EB e N para cálculo da PB. Nas sementes de chia e soja integral tostada também foi avaliado o teor de FB (Tabela 2).

2.2.5 Análises estatísticas

Os dados foram submetidos ao teste de Bartlett's e Shapiro-Wilk, em $p < 0,05$ nível estatístico, para verificar os pressupostos da análise de variância (homogeneidade de variâncias e normalidade dos erros). Não atingindo um dos pressupostos foi aplicada, aos dados, a transformação logarítmica para posterior análise estatística. Atendendo ambos os pressupostos, os dados foram submetidos à análise da variância (ANOVA) e as médias foram comparadas pelo teste de Scott Knott a 5% de probabilidade, utilizando-se o programa estatístico R, versão 3.2.5 (R Core Team, 2017).

3 Resultados

A composição química e os valores de energia bruta dos óleos de soja e óleo de chia, soja integral tostada e semente de chia encontram-se na tabela 2. Para as amostras de soja integral tostada foram realizadas análises da proteína solúvel em KOH e da atividade ureática, os valores obtidos para esses parâmetros foram 80,75% e 0,03 Δ pH respectivamente, estando de acordo com o valor preconizado para utilização da soja integral nas rações para frangos de corte.

3.1 Valores energéticos e coeficientes de metabolizabilidade do extrato etéreo e energia bruta dos óleos e sementes/grãos da chia e soja para frangos de corte.

Os valores de EMAn determinados para os alimentos testados foram de 8955, 8920,3786 e 2013 kcal/kg de MS, respectivamente para o óleo de chia, óleo de soja, soja integral tostada e semente de chia (Tabela 4). Em relação aos coeficientes de metabolizabilidade aparente da EB e do EE desses alimentos para frangos de corte, observou-se que os óleos de soja e de chia proporcionaram os maiores ($P<0,05$) valores, enquanto as aves que receberam a semente de chia na ração apresentaram os menores (Tabela 4).

3.2 Desempenho - consumo de ração, ganho de peso e conversão alimentar

Durante o período experimental, dos 29 aos 42 dias de idade das aves, não ocorreu nenhuma mortalidade, independentemente dos tratamentos experimentais. As aves que receberam as rações que continham em sua composição o óleo de soja e a semente de chia apresentaram o maior ($P<0,05$) consumo de ração (Tabela 5). Tanto a inclusão do óleo de soja, quanto a inclusão do óleo de chia proporcionaram os maiores ($P<0,05$) ganhos de peso das aves. Melhores conversão alimentar ($P<0,05$) foram observadas nas aves suplementadas com o óleo de chia e soja integral tostada, e as aves que receberam a semente de chia em suas dietas apresentaram a pior ($P<0,05$) conversão alimentar.

3.3 Rendimento de carcaça, rendimento de cortes e porcentagem de gordura abdominal

Os resultados referentes ao rendimento de carcaça, rendimento de corte e porcentagem de gordura abdominal dos frangos de corte encontram-se na Tabela 6. Não foi observada nenhuma diferença ($P>0,05$) entre os rendimentos de carcaça e cortes (peito, coxa, sobrecoxa,

asa e dorso) nem entre o porcentual de gordura abdominal das aves que receberam as diferentes dietas experimentais.

3.4 Parâmetros sanguíneos - colesterol total, lipoproteínas plasmáticas e TAG

Os valores de colesterol total, HDL colesterol, VLDL colesterol, LDL colesterol e TAG encontram-se na tabela 7. As aves suplementadas com a soja integral tostada apresentaram menores ($P < 0,05$) valores de TAG e VLDL. Nenhuma diferença ($P > 0,05$) no valor de HDL colesterol das aves foi observada. Maior valor de colesterol total ($P < 0,05$) foi identificado nas aves que receberam a semente de chia em suas rações. As aves que receberam a semente de chia e a soja integral tostada apresentaram maiores ($P > 0,05$) valores de LDL colesterol. Em contrapartida, o óleo de chia e óleo de soja proporcionaram menores ($P < 0,05$) valor de LDL colesterol nas aves.

3.5 Enzimas lipogênicas - Enzima málica e glicose-6-fosfato desidrogenase

Nenhuma diferença ($P > 0,05$) foi observada na atividade da glicose-6-fosfato desidrogenase hepática entre as aves que foram alimentadas com as diferentes dietas, durante a fase experimental avaliada. Entretanto, observou-se que as aves que receberam a ração com a semente de chia apresentaram maior ($P < 0,05$) atividade da enzima málica (Tabela 8).

3.6 Coeficientes de metabolizabilidade e EMAn das rações do desempenho

Não foi observada diferença ($P > 0,05$) nos valores de CMAMS e CMAPB entre as diferentes rações fornecidas (Tabela 9). Entretanto, as aves alimentadas com a ração que continha a semente chia, apresentaram menores valores de CMAEE e CMAEB ($P < 0,05$), quando comparadas às aves que receberam as demais dietas experimentais. Além disso, o

menor ($P < 0,05$) valor de EMAn foi observado para as aves que receberam as rações que continham a semente de chia

4 Discussão

No Experimento II, foi realizada a substituição peso à peso da soja integral tostada pela semente de chia (16,4%) em virtude de ainda não se conhecer os valores de EMAn e os coeficientes de digestibilidade dos nutrientes da chia para frangos de corte. Assim, com esses valores e os valores da composição química da chia, que foram determinados no Experimento I, foi possível observar que os níveis nutricionais da dieta com a semente de chia, ficaram bem abaixo das exigências nutricionais recomendadas por Rostagno et al. (2017), onde a energia metabolizável recomendada pelos referidos autores para fase avaliada é de aproximadamente 3175 kcal/kg. Entretanto, a energia metabolizável final da ração que continha a semente de chia foi de 3037 kcal/kg. O mesmo foi observado com os valores PB da ração, onde o valor recomendado é de aproximadamente 19,5 % da ração e, entretanto, na ração onde foi realizada a substituição peso a peso da soja integral tostada por chia, o valor de PB determinado foi de 15,52 % (Tabela 3). Deste modo, os menores valores de energia metabolizável e PB das rações com a semente de chia, podem justificar o maior consumo das aves que receberam esse tratamento, as quais podem ter utilizado desse mecanismo como forma de tentar atender às suas exigências.

Kamran et al. (2008) observaram um aumento linear no CR com o uso de dietas com níveis reduzidos de proteína bruta e energia metabolizável para frangos de corte durante todas as fases de criação. De acordo com Leeson, Summers e Caston (1993), as aves consomem alimentos para suprir primeiramente suas necessidades energéticas.

Maior consumo também foi observado para as aves que foram alimentadas com óleo de soja durante a fase experimental. Isso pode ser justificado pelo fato de, possivelmente e

diferentemente das demais dietas experimentais, elas não tiveram que passar pelo período de adaptação à ração, visto que a dieta fornecida na fase pré-experimental, até os 28 dias de idade das aves, também foi formulada com óleo de soja.

Apesar das aves que receberam a semente de chia em suas rações apresentarem maior consumo, este não resultou em melhor GP das mesmas. Possivelmente isso ocorreu porque a semente de chia não foi triturada antes de ser fornecida aos animais, o que refletiu nos valores dos coeficientes de metabolizabilidade dos nutrientes e da EMAn das rações fornecidas às aves (Tabela 9), e possivelmente afetou o GP das aves. De acordo com Nitrayová et al. (2014), diferentemente da linhaça, a chia não precisa ser moída para liberar seus nutrientes, entretanto, no atual trabalho, o aproveitamento dos nutrientes poderia ter sido maximizado caso a semente de chia fosse previamente moída antes de ser fornecidas aos animais. A ração que continha em sua composição a semente de chia proporcionou concomitantemente os menores valores de CMAEE, CMAEB e EMAn. Segundo Alvarenga et. al. (2015) já está bem estabelecido que a energia da dieta influencia o desenvolvimento e desempenho dos frangos de corte.

A semente de chia também apresenta alto teor de fibra. Marinelli et al. (2014), avaliando a composição química de chia, observaram que ela apresentou 37,5 % de fibra dietética, com fibra insolúvel predominante (35,07%). A chia utilizada no presente trabalho apresentou 30,8% de FB (Tabela 2) e, segundo Jansen e Carré (1989), o aumento do teor de fibra na ração prejudica a utilização dos nutrientes, uma vez que a fibra atua como barreira física, impedindo que as enzimas endógenas tenham acesso ao conteúdo interno das células vegetais, reduzindo os processos de digestão e absorção dos nutrientes, o que influencia diretamente os valores de coeficiente de metabolizabilidade dos nutrientes da ração e na EMAn, semelhante ao observado para as aves que receberam a ração com a semente de chia.

A semente de chia em contato com a água sofre um processo de gelatinização, formando uma espessa camada de mucilagem, o que cria uma barreira física contra a ação das enzimas digestivas. A mucilagem além de influenciar a velocidade da taxa de passagem da digesta pelo trato gastrointestinal, aumenta a viscosidade do conteúdo intestinal (Alzueta et al., 2003). Ainda, de acordo com Bedford (2000), o aumento da viscosidade, reduz a interação enzima/substrato pela diminuição da taxa de difusão dos nutrientes na luz intestinal e pela complexação com as enzimas digestivas.

O resultado de GP e CA das aves que receberam a semente de chia, obtido no presente trabalho, está de acordo com os resultados encontrados por Ayerza, Coates e Lauria (2002) que também, ao trabalharem com a chia nas rações para frangos de corte, observaram menor GP e CA das aves. Entretanto, segundo os referidos autores, o efeito negativo nos parâmetros de desempenho das aves, com a inclusão da chia na ração ainda é menor que quando se utiliza a linhaça e outras fontes vegetais de ácidos graxos ω -3 na dieta. Esse fato foi comprovado por Azcona et al. (2008), que ao suplementarem frangos de corte com semente de linhaça, semente de canola, semente de chia e farinha de chia, observaram que a linhaça proporcionou, significativamente, menores pesos corporais, menores ganhos de peso, maiores consumo de ração e pior conversão alimentar quando comparada com os outros alimentos e concluíram, no mesmo estudo, que a chia é mais eficiente do que a linhaça e demais fontes de ω -3 utilizadas, para enriquecer produtos com ácidos graxos ω -3, já que é a fonte vegetal conhecida mais rica em ácido linolênico.

De maneira geral, em relação ao ganho de peso, pode-se afirmar que a inclusão dos óleos (soja e chia) foi mais eficiente em relação à inclusão dos grãos/sementes (soja integral tostada e de chia). Os óleos possuem maiores valores de EMAn e CMAEE e CMAEB para os frangos de corte, quando comparados com os grãos/sementes (Tabela 10). Em contrapartida,

as linhagens atuais de frangos de corte apresentam alta exigência energética e, assim sendo, o uso de óleo torna-se praticamente obrigatório nas rações dessas aves.

Corroborando com os resultados observados no presente estudo, onde as aves suplementadas com as diferentes dietas não apresentaram diferença no rendimento de carcaça, Azcona et al. (2008), ao trabalharem com cinco diferentes ingredientes na formulação de dietas para frangos de corte (linhaça, canola, semente de chia, farinha de chia e uma dieta controle, a base de milho e farelo de soja) também não observaram nenhuma diferença em relação ao rendimento de carcaça das aves. Entretanto, em um estudo realizado por Ibrahim et al. (2018), foi observado que aves suplementadas com diferentes fontes (animal e vegetal) e níveis de ácido graxo ω -3 apresentaram maior rendimento quando comparadas à dieta controle.

Além disso, Azcona et al. (2008) também observaram que as aves que receberam em suas dietas a linhaça e a semente de chia tiveram menor porcentagem de gordura abdominal quando comparadas àquelas que receberam a dieta controle, e atribuíram a diferença observada a um aumento na taxa de β -oxidação das gorduras insaturadas. Entretanto, no presente estudo, nenhuma diferença na porcentagem de gordura abdominal foi encontrada. Porém, diferentemente das dietas fornecidas por Azcona et al. (2008), no presente trabalho o teor de gordura insaturada nas diferentes dietas avaliadas foram similares.

Tanto o valor de EMAn para o óleo de soja, quanto para a soja integral tostada, determinados neste trabalho (Tabela 10), 8920 kcal/kg MS e 3786 kcal/kg MS, respectivamente, foram superiores aos valores de EMAn desses ingredientes estipulados por Rostagno et al. (2017) (8803 kcal/kg MS para óleo de soja e 3484 kcal/kg MS para soja integral tostada), o que ressalta a importância de se atualizar constantemente esses valores em tabelas (visto que os mesmos podem ser modificados por diversos fatores), com a finalidade de melhorar suas estimativas e acurácia nas formulações de ração.

Embora a EB do óleo de chia tenha sido 62 kcal/kg de MS inferior ao óleo de soja (Tabela 5), o valor de EMAn determinado para o óleo de chia, 8955 kcal/kg de MS, foi 35 kcal/kg superior ao do óleo de soja, o que demonstra seu alto aproveitamento pelas aves. Porém, a EMAn determinada para a soja integral tostada apresentou maior valor para os frangos (Tabela 10), quando comparada com o semente de chia (2013 kcal/kg). Entretanto, diferentemente da semente de chia, a soja integral tostada foi previamente moída antes de ser fornecida aos animais.

De acordo com Kris-Etherton et al. (1988), o aumento no teor de ácidos graxos poli-insaturados na dieta favorece a redução dos níveis de colesterol plasmático. Tanto a soja quanto a chia possuem quantidades consideráveis desses ácidos graxos, a primeira com predominância dos ácidos graxos poli-insaturados da série ω -6, e a segunda com predominância dos ácidos graxos da série ω -3. Ainda, conforme relatado por Mozaffarian e Wu (2012), de maneira geral, o consumo de ácidos graxos poliinsaturados ω -3 é reconhecido por influenciar positivamente a resposta imune, pressão arterial, níveis de colesterol e TAG, melhorar a função cardiovascular.

As aves que foram suplementadas com óleo de soja, óleo de chia e soja integral tostada apresentaram níveis semelhantes de colesterol total sérico. Entretanto, maior nível de colesterol foi observado nas aves que receberam a semente de chia em suas dietas. Ayerza e Coats (1999), ao realizarem 30% de inclusão de semente de chia em dietas para galinhas poedeiras observaram que o teor de colesterol da gema foi significativamente maior nos ovos produzidos pelas galinhas alimentadas com chia do que naquelas alimentadas com a dieta controle. Os autores associaram o resultado encontrado com maiores níveis de energia nas dietas com a chia. Entretanto, no presente trabalho, como mencionado anteriormente, a semente de chia não foi totalmente digerida, por ter sido fornecida de maneira integral e sem

prévia moagem, diferentemente da maneira que a soja integral tostada foi disponibilizada as aves.

A semente de chia, além de ser rica em ácidos graxos poli-insaturados, também possui valores consideráveis de proteína e outros nutrientes. Porém, digestão incompleta dos nutrientes da semente de chia observada neste trabalho proporcionou, indiretamente, um aumento na quantidade de carboidratos dessas dietas, visto que os demais nutrientes presentes na semente de chia não foram completamente digeridos. Um aumento da ingestão de carboidratos leva a um aumento de insulina, que por sua vez estimula a síntese de colesterol nos hepatócitos (Stout, 1969; Geelen; Geelen; Gibson, 1976). Ainda, segundo Miles (1989) a maior parte do colesterol do organismo, aproximadamente 75%, origina-se da biossíntese do próprio organismo, colesterol endógeno.

Crespo e Esteve-Garcia (2003), ao estudarem o efeito da inclusão de diferentes tipos de ácidos graxos da dieta nos níveis plasmáticos de insulina, lipoproteínas de densidade muito baixa (VLDL) e colesterol, observaram que frangos de corte alimentados com dietas contendo ácidos graxos poli-insaturados em sua composição (óleo de girassol ou sementes de linhaça) apresentaram níveis mais baixos de insulina e colesterol em relação àqueles alimentados com dietas que continham sebo ou azeite. Isso, de certa forma, justifica os resultados obtidos no presente estudo, onde as aves alimentadas com óleo de soja, óleo de chia e soja integral tostada (ricas em ácidos graxos poli-insaturados) apresentaram menores valores de colesterol total do que as aves que receberam e tiveram menor aproveitamento da semente de chia em suas rações.

Apesar de maiores valores de colesterol total serem observados nas aves suplementadas com a semente de chia, nenhuma diferença foi encontrada entre as aves que receberam as diferentes dietas em relação aos valores séricos de HDL e menores valores de TAG foi observado apenas nas aves suplementadas com a soja integral tostada, o que

contrasta com o que foi observado por Ayerza e Coates (2005, 2007), que ao realizarem a inclusão de chia (semente e óleo) em dietas de ratos observaram menores valores de TAG e maiores níveis plasmáticos de HDL nesses animais, porém o metabolismo de lipoproteínas em ratos é diferente do observado em aves.

Segundo Coniglio (1992) e Shearer; Savinova e Harris (2012), o tipo e quantidade de gordura na dieta pode afetar a concentração de TAG, parecendo o ácido graxo ω -3 ser mais eficiente em baixar a concentração de TAG no plasma do que os óleos vegetais ricos em ácidos graxos ω -6, fato que não foi observado neste trabalho.

Os ácidos graxos poli-insaturados prontamente disponíveis na forma de óleo de chia e de soja proporcionaram os menores valores de LDL colesterol nas aves. Weintraub et al. (1988), ao realizarem um estudo avaliando a inclusão de diferentes fontes lipídicas em dietas para humanos, ácido graxo saturado, ácido graxo poli-insaturado da série ω -6 e ácido graxo poli-insaturado da série ω -3, observaram que ambos os tipos de gordura poli-insaturada diminuíram os níveis de colesterol total, triglicerídeos, VLDL e LDL colesterol. Segundo os referidos autores, os ácidos graxos poli-insaturado ω -6 e ω -3 presentes nos quilomicrons são mais susceptíveis a ação da lipase lipoproteica do que os ácidos graxos saturados presentes nessas estruturas, o que contribuiu para a redução do colesterol total e lipoproteínas plasmáticas.

De acordo com Shimomura et al. (1990) o consumo de dietas ricas em ácidos graxos poliinsaturados realmente mostrou aumentar a ação da lipase lipoproteica em ratos. Além disso, de acordo com Beynen e Katan (1985), o fígado converte preferencialmente os ácidos graxos poliinsaturados em corpos cetônicos ao invés de VLDL. No plasma, a VLDL rapidamente é convertida em LDL, que é o principal portador de colesterol. Assim, com a menor formação de VLDL, haverá menor LDL circulante no plasma. Ainda, foi relatado por esses autores que é observado um aumento da excreção de esteróis em indivíduos que

consomem maior quantidade de gorduras poli-insaturadas, o que pôde ter contribuído para os menores níveis plasmáticos de LDL observados nas aves que receberam os óleos (soja ou chia).

Nas aves, a lipogênese ocorre principalmente no fígado, diferentemente dos suínos, que tem a maior síntese lipídica no tecido adiposo (Leveille et al., 1975; O'Hea e Leveille, 1969). A glicose-6-fosfato desidrogenase e a enzima málica fornecem os equivalentes redutores na forma de NADPH para a lipogênese *de novo* no fígado e, portanto, essas enzimas podem ser usadas como principais indicadores da biossíntese lipídica (Alvarez et al., 2000). No presente estudo, as atividades das enzimas hepáticas málica e glicose-6-fosfato desidrogenase foram determinadas e apenas a atividade da enzima málica foi influenciada pela dieta, sendo que a maior atividade foi encontrada para as aves que receberam a ração com a semente de chia. Segundo O'hea e Leveille (1968), nas aves, a enzima málica apresenta maior atividade do que a glicose-6-fosfato desidrogenase, sendo a fonte primária de equivalentes redutores (NADPH) para a síntese lipídica no fígado desses animais, o que também foi observado nesse experimento. Entretanto, Ferrini et al. (2010) trabalhando com três diferentes dietas para frangos de corte, uma basal (formulada com baixa gordura e energia), uma rica em ácidos graxos poli-insaturados da série ω -3 (10% de óleo de linhaça) e outra rica em ácido graxo saturado (10% sebo), não observaram nenhuma diferença entre os tratamentos em relação a atividade dessas enzimas.

De acordo com Hillgartner e Charron (1998), a transcrição da enzima málica no fígado das aves é alta durante o fornecimento de uma dieta rica em carboidratos e pobre em gorduras. Esses autores, ao avaliarem os efeitos da glicose dietética na expressão da enzima málica e ácido graxo sintase, observaram que a transcrição é o processo primário pelo qual a glicose aumenta a expressão da enzima málica em hepatócitos de embriões de frangos, o que fundamenta a hipótese de que a ingestão de carboidratos (glicose) desempenha um papel

fundamental na mediação dos efeitos da manipulação nutricional na transcrição da ácido graxo sintase e enzima málica no fígado das aves. Além disso, Adams e Davis (2001) e Rosebrough et al. (2002) verificaram que a redução do teor de proteína bruta na dieta também aumentou a expressão de mRNA da enzima málica, o que levou a um aumento da atividade da enzima málica no fígado de frangos de corte. O contrário também foi observado, já que um aumento do teor de proteína bruta na dieta reduziu a atividade da enzima málica no fígado de frangos de corte, em comparação com a atividade desta enzima no grupo controle.

Estas observações podem ajudar a explicar os resultados obtidos neste trabalho visto que, como foi mencionado anteriormente, a semente de chia não foi totalmente digerida pelas aves e, assim, parte dos nutrientes dessa semente, como a proteína, por exemplo, não foi totalmente digerida, levando a uma maior concentração e, conseqüentemente, maior digestão e absorção de carboidratos em relação aos outros nutrientes da dieta. Além disso, segundo Stabile et al. (1998), os ácidos graxos poli-insaturados da dieta inibem a expressão das enzimas lipogênicas em ratos. O que é condizente com os menores valores encontrados na atividade da enzima málica dos frangos alimentados com as dietas ricas em ácidos graxos poli-insaturados, no presente trabalho. Já que, as rações que tinham em suas composições o óleo de soja, óleo de chia e soja integral tostada, diferentemente da que continha a semente de chia, tiveram maior aproveitamento pelas aves (Tabela 9).

Conclusão

Os valores energéticos determinados para o óleo de soja, óleo de chia, soja integral tostada e semente de chia foram, respectivamente, 8920 kcal/kg, 8955 kcal/kg, 3786 kcal/kg e 2013 kcal/kg de matéria seca. Já os coeficientes de metabolizabilidade da energia bruta e do extrato etéreo variaram de 31,9 a 95,6 e de 53,7 a 93,2%, respectivamente, onde os óleos apresentaram os maiores coeficientes. De maneira geral, o óleo de chia quando comparado à

soja (óleo ou grão) resulta em desempenho, rendimento de carcaça, parâmetros sanguíneos e atividade de enzimas lipogênicas semelhantes ou superior das aves, entretanto, sugerem-se mais estudos com a semente de chia fornecida de maneira triturada e em diferentes níveis.

Referências

- Adams, K. A., Davis, A. J., 2001. Dietary protein concentration regulates the mRNA expression of chicken hepatic malic enzyme. *J. Nutr.* 13, 2269-2274.
- Alvarenga, R.R., Rodrigues, P. B., Zangeronimo, M. G., Oliveira, E. C.O., Mariano, F. C. M. Q., Lima, E. M. C., Garcia Jr, A. A. P., Naves, L.P., Nardelli, N. B. S., 2015. Validation of Prediction Equations of Energy Values of a Single Ingredient or Their Combinations in Male Broilers. *Asian Australas. J. Anim. Sci.* 28, 1335-1344.
- Alvarez, M. J., Diez, A., Lopez, Bote. C., Gallego, M.,Bautista, J.M., 2000. Short-term modulation of lipogenesis by macronutrients in rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*) hepatocytes. *Br. J. Nutr.* 84, 619-628.
- Alzueta, C., Rodríguez, M. L., Cutuli, M. T., RebolÉ, A., Ortiz, L. T., Centeno, C. TeviÑo, J., 2003. Effect of whole and demucilaged linseed in broiler chicken diets on digesta viscosity, nutrient utilisation and intestinal microflora. *Brit. Poultry Sci.* 44, 67-74.
- Ayerza, R.; Coates, W., 1999. An omega-3 fatty acid enriched chia diet: Its influence on egg fatty acid composition, cholesterol and oil content. *Can. J. Anim. Sci.* 79, 53-58.
- Ayerza,R.; Coates, W.; M. Lauria, M., 2002. Chia Seed (*Salvia hispanica* L.) as an ω -3 Fatty Acid Source for Broilers: Influence on Fatty Acid Composition, Cholesterol and Fat Content of White and Dark Meats, Growth Performance, and Sensory Characteristics. *Poult. Sci.*81, 826-837.
- Ayerza, R., Coat, W., 2007. Effect of Dietary α -Linolenic Fatty Acid Derived from Chia when Fed as Ground Seed, Whole Seed and Oil on Lipid Content and Fatty Acid Composition of Rat Plasma. *Ann. Nutr. Metab.* 51, 27-34.
- Ayerza, R., Coates, W., 2005. Ground Chia seed and Chia Oil Effects on Plasma Lipids and Fatty Acids in the Rat. *Nutr. Res.* 25, 995-1003.
- Azcona, J. O., Schang, M. J., Garcia, P. T., Gallinger, C.,Ayerza Jr, R., Wayne Coates, W., 2008. Omega-3 enriched broiler meat: The influence of dietary α -linolenic- ν -3 fatty acid sources on growth, performance and meat fatty acid composition. *Can. J. Anim. Sci.* 88, 257-269.
- Bautista J., Garrido-Pertierra A., Soler, G., 1988. Glucose-6-phosphate dehydrogenase from *Dicentrarchus labrax* liver: kinetic mechanism and kinetics of NADPH inhibition. *BBA - General Subjects* 967, 354-363.

- Bradford, M.M., 1976. A rapid and sensitive method for the quantitation of microgram quantities of protein utilizing the principle of protein-dye binding. *Anal. Biochem.* 72, 248-254.
- Bedford, M.R., 2000. Exogenous enzymes in monogastric nutrition: their current value and future benefits. *Anim. Feed Sci. Technol.* 86, 1-13.
- Beynen, A.C., Katan, M.B., 1985. Why do polyunsaturated fatty acids lower serum cholesterol? *Am. J. Clin. Nutr.* 42, 560-563.
- Chanmugam, P., Bourdreau, M., Boutte, T., Park, R.S., Herbert, J., Berrio, L., Hwang, D.H., 1992. Incorporation of different types of fatty acids into tissue lipids of poultry. *Poult. Sci.* 71, 516-521.
- Coates, W., Ayerza, R., 2009. Chia (*Salvia hispanica L.*) seed as an n-3 fatty acid source for finishing pigs: effects on fatty acid composition and fat stability of the meat and internal fat, growth performance, and meat sensory characteristics. *J. Anim. Sci.* 87, 3798-3804.
- Coniglio J.G., 1992. How does fish oil lower plasma triglycerides? *Nutr Rev.* 50, 195-197.
- Crespo, N., Esteve-Garcia, E., 2003. Polyunsaturated Fatty Acids Reduce Insulin and Very Low Density Lipoprotein Levels in Broiler Chickens. *Poult. Sci.* 82, 1134-1139.
- Ferrini, G., Manzanilla, E. G., Menoyo, D., Esteve-Garcia, E.; Baucells, M. D., Barroeta, A. C., 2010. Effects of dietary n-3 fatty acids in fat metabolism and thyroid hormone levels when compared to dietary saturated fatty acids in chickens. *Livest. Sci.* 131, 287-291.
- Geelen, M. J. H., Gibson, D. M., 1975. *FEBS Lett.* 58, 334- 339.
- Geelen, M. J. H., Gibson, D. M., 1976. Use of Isolated Liver Cells and Kidney Tubules in Metabolic Studies, p. 219-230, North Holland Publishing Co., Amsterdam.
- Hillgartner, F. B., Charron, T., 1998. Glucose stimulates transcription of fatty acid synthase and malic enzyme in avian hepatocytes. *Am. J. Physiol.* 274, E493-E501.
- Horwitz, W., Latimer, G.W., 2005: Official methods of analysis of AOAC international (18th ed.). Association of Official Analytical Chemistry International-AOAC, Maryland.
- Ibrahim, D., El-Sayed, R., Khater, S. I., Said, E.N., El-Mandrawy, S.A.M., 2018. Changing dietary n 6:n-3 ratio using different oil sources affects performance, behavior, cytokines mRNA expression and meat fatty acid profile of broiler chickens. *Arch. Anim. Nutr.* 4, 44-51.
- Janssen, W.M.M.A., Carré, B., 1989. Influence of fiber on digestibility of poultry feeds In: COLE, D.J.A.; HARESIGN, W. (Eds.) Recent developments in poultry nutrition. London: Butterworths, p.78-93.
- Junqueira, O. M., Andreotti, M. O., Araújo, L.F., Duarte, K.F., L.C., Rodrigues, E. A., 2005. Valor Energético de Algumas Fontes Lipídicas Determinado com Frangos de Corte. *R. Bras. Zootec.* 34, 2335-2339.

- Kamran,Z., Sarwar,M., Nisa, M., Nadeem, M.A., Mahmood,S., Babar, M. E., Ahmed, S., 2008. Effect of Low-Protein Diets Having Constant Energy-to-Protein Ratio on Performance and Carcass Characteristics of Broiler Chickens from One to Thirty-Five Days of Age. *Poult. Sci.* 87, 468-474.
- Kierończyk, B., Rawski, M., Józefiak, A., Mazurkiewicz, J., Świątkiewicz, S., Siwek, M., Bednarczyk, M., Szumacher-Strabel, M., Cieślak, A., Benzertiha, A., Józefiak, D., 2018. Effects of replacing soybean oil with selected insect fats on broilers. *Anim. Feed Sci. Technol.* 240, 170-183.
- Kris-Etherton, P.M., Krummel, D., Russell, M.E., Dreon, D., Mackey, S., Borchers J, Wood PD. The effect of diet on plasma lipids, lipoproteins and coronary heart disease. *J. Am. Diet. Assoc.* 88, 1373-1400-1988.
- Komprda, T., Zornikova, G., Rožíkova, V., Borkovcova, M., Przywarova, A., 2013. The effect of dietary *Salvia hispanica* seed on the content of n-3 long-chain polyunsaturated fatty acids in tissues of selected animal species, including edible insects. *J. Food Compost. Anal.* 32, 36-43.
- Leeson, S., Summers, J. D., Caston, L., 1993. Growth response of immature brown-egg strain pullet to varying nutrient density and lysine. *Poult. Sci.* 72,1349-1358.
- Leveille, G.A., Romsos, D.R., Yeh, Y.Y., O'Hea, E. K., 1975. Lipid biosynthesis in the chick. A consideration of site of synthesis, influence of diet and possible regulatory mechanisms. *Poult. Sci.* 54, 1075-1093.
- Marineli, R. S., Moraes, E. A., Lenquiste, S. A., Godoy, A. T., Nogueira Eberlin, M. N., Maróstica Jr, M. R., 2014. Chemical characterization and antioxidant potential of Chilean chia seeds and oil (*Salvia hispanica L.*). *Food Sci. Technol.* 59,1304-1310.
- Matterson, L.D., Potter, L.M., Stutz, M.W., 1965. Agricultural Experimental Station Research Report, 7, 3-11.
- Miles, R.D., 1989. Eggs important in diet, unfairly criticized as heart disease risk. *Feedstuffs*, September, p. 26-51.
- Mozaffarian, D., Wu, J. H., 2012. (n-3) fatty acids and cardiovascular health: are effects of EPA and DHA shared or complementary? *J. Nutr.* 142, 614S-625S.
- Nitrayová, S., Brestenský, M., Heger, J., Patráš, P., Rafay,J., Sirotkin, A. 2014. Aminoacids and fatty acids profile of chia (*Salvia hispanica L.*) and flax (*Linum usitatissimum L.*) seed. *Potravinárstvo.* 8, 72-76.
- O'Hea, E. K., Leveille, G. A., 1968. Lipogenesis in isolated adipose tissue of the domestic chick (*Gallus Domesticus*). *Comp. Biochem. Physiol. A Physiol.* 26, 111-120.
- R Core Team., 2017: R: A language and environment for statistical computing. R foundation for statistical computin, Vienna, Austira. URL: [https:// www.R-project.org/](https://www.R-project.org/).

- Rodrigues, P.B., Martinez, R.S., Freitas, R. T. F.F., Bertechini, A. G., Fialho, E. T., 2005. Influência do tempo de coleta e metodologias sobre a digestibilidade e o Valor Energético de Rações para Aves. *R. Bras. Zootec.* 34, 882-889.
- Rosebrough, R. W., B. A. Russell, and M. P. Richards. 2008. Short term changes in expression of lipogenic genes in broilers (*Gallus gallus*). *Comp. Biochem. Physiol. Part A Mol. Integr. Physiol.* 149, 389-395.
- Rostagno, H. S., Albino, L. F. T., Donzele, J. L., Gomes, P. C., Oliveira, R. F., Lopes, D. C., Ferreira, A. S., Barreto, S. L. T., Euclides, R. F., 2011. Tabelas brasileiras para aves e suínos: composição de alimentos e exigências nutricionais de aves e suínos. 3ª edição, Viçosa, MG: UFV, 252p.
- Rostagno, H. S., Albino, L. F. T., Hannas, M.I., Donzele, J.L., Sakomura, N.K., Perazzo, F.G., Saraiva, A., Teixeira, M.V., Rodrigues, P.B., Oliveira, R.F., Barreto, S.L.T., Brito, C.O., 2017. Tabelas brasileiras para aves e suínos: composição de alimentos e exigências nutricionais. 4a edição. Viçosa, MG: Departamento de Zootecnia, Universidade Federal de Viçosa, 488p.
- Sakomura, N. K., Rostagno, H. S., 2016: Métodos de pesquisa em nutrição de monogástrico (2nd ed.). Jaboticabal, FUNEP-ed.
- Shimomura, Y., Tamura, T., Suzuki, M., 1990. Less body fat accumulation in rats fed a safflower oil diet than in rats fed a beef tallow diet. *J. Nutr.* 120, 1291-1296.
- Shearer, G. C., Savinova, O. V., Harris, W. S., 2012. Fish oil - how does it reduce plasma triglycerides? *Biochim. Biophys. Acta.* 1821, 843-851.
- Spina, J., Bright, H.J., Rosenbloom, J., 1970. Purification and properties of L-malic enzyme from *Escherichia coli*. *Biochemistry.* 9, 3794-3801.
- Stabile, L.P., Klautky, S.A., Minor, S.M., Salati, L.M., 1998. Polyunsaturated fatty acids inhibit the expression of the glucose-6-phosphate dehydrogenase gene in primary rat hepatocytes by a nuclear posttranscriptional mechanism. *J. Lipid Res.* 39, 1951-1963.
- Stout, R. W., 1960. Insulin stimulation of cholesterol synthesis by arterial tissue. *The lancet.* 294, 467-468.
- Taga, M. S., Miller, E. E., Pratt, D. E., 1984. Chia seeds as a source of natural lipid antioxidants. *J. Am. Oil Chem. Soc.*, 61, 928-931.
- Weber, C. W.; Gentry, H. S.; Kohlhepp, E. A.; Mccrohan, P. R, 1991. The Nutricional and Chemical Evaluation of Chia Seeds. *Ecol. Food Nutr.* 26, 119-125.
- Weintraub, M.S., Zechner, R., Brown, A., Eisenberg, S., Breslow, J.L., 1988. Dietary polyunsaturated fats of the W- and W-3 series reduce postprandial lipoprotein levels. Chronic and acute effects of fat saturation on postprandial lipoprotein metabolism. *J. Clin. Invest.* 82, 1884-1893.

Tabela 1 - Composição centesimal e valores calculados da ração referência utilizada no ensaio metabolismo com frangos de corte Cobb[®] 500, dos 29 aos 42 dias de idade

Ingredientes (%)	Ração Referência
Milho	65,10
Farelo de soja (45%)	29,25
Óleo de soja	2,5
Fosfato bicálcico	1,20
Calcário	0,80
Sal comum	0,45
DL-Metionina 99%	0,25
L-Lisina HCL 99%	0,21
L-Treonina	0,04
L-Valina	0,02
Suplemento mineral ^b	0,05
Suplemento vitamínico ^c	0,04
Cloreto de colina 60%	0,04
Anticoccidiano	0,05
Total	100,00
Composição Calculada	
Energia Metabolizável ^d (kcal/kg)	3103
Proteína Bruta (%)	18,75
Metionina + cistina digestível (%)	0,77
Lisina digestível (%)	1,04
Treonina digestível (%)	0,68
Valina digestível (%)	0,82
Fósforo disponível (%)	0,33
Cálcio (%)	0,69
Sódio (%)	0,20
Fibra Bruta (%)	2,68

^aRação Referência. ^bSuplementado por kg de ração: 55 mg de Zn; 0,18 mg de Se; 0,70 mg de I; 10 mg de Cu; 78 mg de Mn; 48 mg de Fe. ^cSuplementado por kg de ração: 0,48 mg de ácido fólico; 8,70 mg de ácido pantotênico; 0,018 mg de biotina; 1,5 mg de butilhidroxi-tolueno (BHT); 11,1 mg de niacina; 6000 UI de vitamina A; 0,8 mg de vitamina B1; 12,15 UI de vitamina E; 8,10 µg de vitamina B12; 3,6 mg de vitamina B2; 1,80 mg de vitamina B6; 1500 UI de vitamina D3; 1,44 mg de vitamina K3. ^dEnergia Metabolizável.

Tabela 2 - Composição química e energia bruta dos alimentos

Composição	Alimentos			
	Óleo de soja	Óleo de chia	Soja integral tostada	Semente de chia
Matéria seca (%)	99,85	100,00	92,96	92,78
Energia bruta (kcal/kg)	9433	9371	5326	5860
Proteína bruta (%)	-	-	34,77	19,22
Extrato etéreo (%)	-	-	19,93	29,14
Fibra bruta (%)	-	-	8,81	30,80

Tabela 3 - Composição centesimal e valores calculados das dietas experimentais para frangos de corte, Cobb[®] 500, de 29 a 42 dias de idade

Ingredientes (%)	Dietas Experimentais			
	Óleo de Soja	Óleo de Chia	Soja Integral Tostada	Semente de Chia
Milho	65,10	65,10	64,46	64,46
Farelo de soja (45%)	29,25	29,25	16,40	16,40
Fosfato bicálcico	1,20	1,20	1,16	1,16
Calcário	0,80	0,80	0,77	0,77
Sal comum	0,45	0,45	0,45	0,45
DL-Metionina 99%	0,25	0,25	0,25	0,25
L-Lisina HCL 99%	0,21	0,21	0,24	0,24
L-Treonina	0,04	0,04	0,05	0,05
L-Valina	0,02	0,02	0,04	0,04
Suplemento mineral ^a	0,05	0,05	0,05	0,05
Suplemento vitamínico ^b	0,04	0,04	0,05	0,05
Cloreto de colina 60%	0,04	0,04	0,04	0,04
Anticoccidiano	0,05	0,05	0,05	0,05
Óleo de soja	2,50	-	-	-
Óleo de chia	-	2,50	-	-
Soja integral tostada	-	-	16,40	-
Semente de chia	-	-	-	16,40
Total	100	100	100	100
Composição Calculada ^(c) e determinada ^(d)				
Energia metabolizável ^c (kcal/kg)	3103	-	3101	-
Energia metabolizável ^d (kcal/kg)	3105	3131	3183	3037
Proteína bruta (%)	18,75	18,75	18,73	-
Proteína bruta ^d (%)	17,99	17,99	18,07	15,52
Metionina + cistina digestível (%)	0,77	0,77	0,76	-
Lisina digestível (%)	1,04	1,04	1,04	-
Treonina digestível (%)	0,68	0,68	0,68	-
Valina digestível (%)	0,82	0,82	0,81	-
Fósforo disponível (%)	0,33	0,33	0,32	-
Cálcio (%)	0,69	0,69	0,68	-
Sódio (%)	0,20	0,20	0,20	-
Fibra Bruta (%)	2,68	2,68	3,42	5,05

^aSuplementado por kg de ração: 55 mg de Zn; 0,18 mg de Se; 0,70 mg de I; 10 mg de Cu; 78 mg de Mn; 48 mg de Fe. ^bSuplementado por kg de ração: 0,48 mg de ácido fólico; 8,70 mg de ácido pantotênico; 0,018 mg de biotina; 1,5 mg de butilhidroxi-tolueno (BHT); 11,1 mg de niacina; 6000 UI de vitamina A; 0,8 mg de vitamina B1; 12,15 UI de vitamina E; 8,10 µg de vitamina B12; 3,6 mg de vitamina B2; 1,80 mg de vitamina B6; 1500 UI de vitamina D3; 1,44 mg de vitamina K3. ^cEnergia Metabolizável Calculada. ^dEnergia metabolizável determinada *in vivo*. ^e Proteína bruta determinada.

Tabela 4 - Valores de energia metabolizável aparente corrigida pelo balanço de nitrogênio (EMAn) e dos coeficiente de metabolizabilidade aparente da energia bruta (CMAEB) e extrato etéreo (CMAEE), e seus respectivos desvio padrão (DP), para óleo de soja, óleo de chia, soja integral tostada e semente de chia, para frangos de corte (29 aos 42 dias de idade)

Alimentos	EMAn (kcal/kg)	CMAEB (%)	CMAEE (%)
Óleo de soja	8920 (334)	94,42 a (4,17)	92,53 a (1,00)
Óleo de chia	8955 (442)	95,57 a (4,72)	93,17a (1,74)
Soja integral tostada	3786 (223)	66,08 b (3,89)	86,80 b (1,06)
Semente de chia	2013 (250)	31,87 c (3,96)	53,69c (4,53)
Coeficiente de variação (%)	-	5,83	3,11

Médias seguidas por letras minúsculas distintas na coluna, diferem entre si ($P < 0,05$) pelo teste Scott -knott

Tabela 5 - Desempenho de frangos de corte alimentados com dietas contendo soja (grão e óleo) e chia (semente e óleo) dos 29 aos 42 dias de idade

Tratamentos	Consumo de ração (kg/ave)	Ganho de peso (kg/ave)	Conversão Alimentar (kg/kg)
Óleo de soja	2,905 a	1,518 a	1,91 b
Óleo de chia	2,636 b	1,477 a	1,78 a
Soja integral tostada	2,548 b	1,399 b	1,82 a
Semente de chia	2,984 a	1,383 b	2,14 c
Coeficiente de variação (%)	3,24	3,25	3,34

Médias seguidas por letras minúsculas distintas na coluna, diferem entre si ($P < 0,05$) pelo teste Scott -knott.

Tabela 6 - Rendimento de carcaça, de cortes e % de gordura abdominal de frangos de corte (aos 42 dias de idade) alimentados com dietas contendo soja (grão e óleo) e chia (semente e óleo) dos 29 aos 42 dias de idade

Parâmetros	Tratamentos				Coeficiente de Variação (%)
	Óleo de Soja	Óleo de Chia	Soja Integral Tostada	Semente de Chia	
Peso vivo (g)	3139 a	3119 a	3019 b	3010 b	2,30
Rendimento carcaça (%)	76,89	78,03	77,83	77,41	0,81
Peso carcaça (g)	2420 a	2434 a	2350 b	2336 b	2,40
Peso peito (g)	991 a	1001 a	948 b	934 b	3,78
Rendimento peito (%)	40,94	41,04	40,31	40,00	2,69
Peso coxa (g)	297 a	290 a	280 b	281 b	3,06
Rendimento de coxa (%)	12,24	11,89	11,92	12,00	2,52
Peso sobrecoxa (g)	325	332	325	322	2,51
Rendimento sobrecoxa (%)	13,54	13,66	13,83	13,81	2,81
Peso asa (g)	233	235	233	229	3,34
Rendimento asa (%)	9,62	9,65	9,92	9,82	3,05
Peso dorso (g)	462 a	469 a	446 b	430 b	3,90
Rendimento dorso (%)	19,22	19,29	18,97	18,53	2,52
Peso gordura (g)	31,8	31,3	33,1	33,3	19,20
Gordura abdominal (%)	1,03	1,00	1,07	1,11	16,144

Médias seguidas por letras minúsculas distintas na linha, diferem entre si ($P < 0,05$) pelo teste Scott-knott

Tabela 7 - Teores séricos de TAG, colesterol total e suas frações em frangos de corte alimentados com dietas contendo soja (grão e óleo) e chia (semente e óleo) dos 29 a 42 dias de idade

Tratamentos	TAG (mg/dL)	Colesterol Total (mg/dL)	VLDL (mg/dL)	HDL (mg/dL)	LDL (mg/dL)
Óleo de soja	47,5a	120,2 b	9,5a	40,4	71,9b
Óleo de chia	47,3a	119,0 b	9,5a	44,3	65,2 b
Soja integral tostada	42,3b	125,2 b	8,4b	38,1	78,6 a
Semente de chia	47,3a	137,0 a	9,5 a	43,9	83,7 a
Coefficiente de variação (%)	6,20	5,90	5,94	10,89	9,45

Médias seguidas por letras minúsculas distintas na coluna, diferem entre si ($P < 0,05$) pelo teste Scott -knott.

Tabela 8 - Atividade das enzimas hepáticas glicose-6-Pdesidrogenase e enzima málica em frangos de corte, alimentados com dietas contendo soja (grão e óleo) e chia (semente e óleo) dos 29 aos 42 dias de idade

Tratamentos	Glicose-6-Pdesidrogenase (U/mg proteína solúvel)	Enzima Málica (U/mg proteína solúvel)
Óleo de soja	30,93	270,34 b
Óleo de chia	32,18	251,82 b
Soja Integral tostada	33,00	300,31b
Semente de chia	32,62	367,54 a
Coefficiente de variação (%)	15,74	13,52

Médias seguidas por letras minúsculas distintas na coluna, diferem entre si ($P < 0,05$) pelo teste Scott -knott

Tabela 9 - Valores de coeficiente de metabolizabilidade aparente da matéria seca (CMAMS), proteína bruta (CMAPB), extrato etéreo (CMAEE), energia bruta (CMAEB) e energia metabolizável aparente corrigida para o balanço de nitrogênio (EMAn), em dietas para frangos de corte no período de 29 aos 42 dias de idade.

Tratamentos	CMAMS	CMAPB	CMAEE	CMAEB	EMAn
Óleo soja	79,70 (1,68)	71,72 (4,73)	86,52 a (0,73)	76,41 a (0,87)	3494 a (33)
Óleo chia	80,68 (1,55)	75,79 (2,34)	84,84 a (0,58)	76,19 a (3,23)	3524 a (27)
Soja integral tostada	77,15 (2,30)	71,55 (4,76)	83,17 a (1,17)	75,43 a (2,08)	3547 a (55)
Semente de chia	78,13 (3,27)	71,77 (4,52)	66,49 b (1,87)	70,69 b (6,02)	3287 b (87)
Coefficiente de variação (%)	2,92	4,96	3,57	1,60	1,61

Médias seguidas por letras minúsculas distintas na coluna, diferem entre si ($P < 0,05$) pelo teste Scott -knott

**ARTIGO 2 - CHIA (*Salvia hispanica*) MELHORA O PERFIL LIPÍDICO E
QUALIDADE DE CARNE DE FRANGOS DE CORTE**

Artigo redigido conforme normas da revista *Archives of Animal Nutrition*

Chia (*Salvia hispanica*) melhora o perfil lipídico e qualidade de carne de frangos de corte

Nicole Batelli de Souza Nardelli*, Paulo Borges Rodrigues

Department of Animal Science, University Federal of Lavras, Lavras, Minas Gerais, Brazil

Corresponding author. Email: nicole.nardelli@gmail.com

Chia (*Salvia hispanica*) melhora o perfil lipídico e qualidade de carne de frangos de corte

A chia é a fonte vegetal mais rica em ácidos graxos ω -3 conhecida na natureza, apresentando grande potencial para enriquecer a carne de frango com esse ácido graxo. Além disso, é conhecida por apresentar alta atividade antioxidante, o que pode minimizar os efeitos indesejáveis advindos da suplementação de ácidos graxos poli-insaturados na carne. Sendo assim, objetivou-se com esse trabalho avaliar o uso da chia em substituição à soja (grão e óleo) no perfil de ácidos graxos e qualidade da carne de frangos de corte. Foram utilizados 120 frangos de corte, dos 29 aos 42 dias de idade, distribuídos em delineamento inteiramente casualizado, sendo os tratamentos constituídos por rações contendo soja integral tostada ou chia em duas formas de suplementação (grão/semente e óleo). Cinco repetições de seis aves cada foi utilizada para cada tratamento avaliado. Para os parâmetros físico químicos e composição da carne a inclusão da chia mostrou-se igual ou superior à soja, exceto na avaliação da oxidação lipídica da coxa das aves, onde o óleo de chia ocasionou a maior ($P < 0,05$) oxidação. O uso do óleo de chia aumentou ($P < 0,05$) a quantidade de ácido α -linolênico em 335,74% e 295,35%, no peito e coxa, respectivamente, enquanto a semente de chia produziu ($P < 0,05$) um acréscimo desse ácido graxo de 273,84% no peito e 243,82% na coxa. A suplementação da chia também viabilizou maiores ($P < 0,05$) valores de EPA e DHA na carne dos frangos, além de reduzir ($P < 0,05$) o teor de ácido linoleico, as relações ω -6: ω -3 e os índices de aterogenicidade e trombogenicidade na carne, mostrando-se ser uma fonte eficaz no enriquecimento da carne de frangos de corte com ácidos graxos ω -3.

Palavras-chave: ácidos graxos; aves; cortes; ω -3; oxidação lipídica

1. Introdução

Altas relações ω -6 : ω -3 (ω -6 : ω -3) na dieta humana estão relacionadas com o maior risco de obesidade e diversas doenças, inclusive as cardiovasculares (SIMOPOULOS, 2016), as quais são as principais causas de óbito no mundo. O consumo desbalanceado de ácidos graxos contribui para a aterosclerose, principal causa dos ataques cardíacos e os acidentes vasculares cerebrais, que são responsáveis por aproximadamente 80% das mortes

por doenças cardiovasculares (Shanthi; Puska; Norrving, 2011).

Deste modo, devido a importância da relação ω -6: ω -3 na nutrição humana, vários órgãos de saúde, em diferentes países, tem tentado estabelecer a melhor razão da ingestão diária desses ácidos graxos. Essas recomendações convergem para o intervalo de 4:1 a 5:1 (Martin et al., 2006). Entretanto, nas dietas dos países industrializados, principalmente os ocidentais, essas relações atualmente podem chegar a valores maiores que 20.

A carne de frango apresenta ótima aceitabilidade no mercado consumidor e tem custo acessível quando comparada às demais carnes do mercado, sendo a segunda fonte de proteína animal mais consumida no mundo. Além disso, ela apresenta grande potencial para ser enriquecida com ácidos graxos ω -3, apenas modificando a composição lipídica das dietas fornecidas aos frangos de corte (Chanmugam et al., 1992; Scaife et al., 1994; Azcona et al., 2008; Kartikasari et al., 2012; Konieczka; Czauderna; Smulikowska, 2017). Segundo Konieczka, Czauderna e Smulikowska (2017), a carne de frangos de corte alimentados com óleo de peixe ou óleos vegetais ricos em ω -3 durante apenas duas semanas antes do abate pode ser considerada como “enriquecida com ácidos graxos ω -3”.

Porém, um aumento da insaturação da gordura da carcaça, através da suplementação dos ácidos graxos poli-insaturados (PUFA) na alimentação dos frangos de corte, pode causar redução da estabilidade oxidativa da carne das aves (Lin et al., 1989; Rymer; Givens, 2005; Saleh et al. 2010; Mir et al., 2018). Essa redução da estabilidade oxidativa pode levar à oxidação lipídica, que é um dos mecanismos primários de deterioração da qualidade em alimentos, especialmente em produtos cárneos, sendo as mudanças na qualidade da carne manifestadas por alterações no sabor, cor, textura e perda do valor nutritivo, além da produção de compostos tóxicos (Macdonald, 1982; Gray; Gomaa; Buckley, 1996), que são prejudiciais à saúde de quem os consomem. Segundo Cortinas et al. (2005), as consequências negativas da oxidação lipídica podem ser contornadas com o uso de antioxidantes na dieta. Entretanto, os

antioxidantes são ingredientes caros que podem onerar ainda mais o custo da ração de um sistema de produção onde a alimentação já representa cerca de 70% do custo total.

A chia é a fonte vegetal conhecida mais rica em ácidos graxos ω -3 (Coates; Ayerza, 2009; Nitrayová et al., 2014) e, além disso, ela ainda possui alta atividade antioxidante (Taga et al.; 1984, Marineli et al., 2014). Dessa forma ela apresenta, portanto, potencialidade para enriquecer carnes de frango com esse ácido graxo, sem comprometer a qualidade de carne desses animais. Entretanto, existem poucos trabalhos na literatura que utilizaram a chia na alimentação de frangos de corte (Ayerza; Coates; Lauria, 2002; Azcona et al. 2008; Komprda et al., 2013;), e a maioria deles avaliou o efeito da semente de chia, sendo que nenhum avaliou a inclusão do óleo para o enriquecimento e melhoria na qualidade da carne desses animais.

Além de todos os possíveis benefícios, de acordo com Coelho et al. (2016), a carne de frango enriquecida com ω -3 gera menor impacto ambiental, inclusive no aquecimento global e eutrofização da água, quando comparada com a carne de frango não enriquecida, sendo esses feitos atribuídos principalmente à substituição parcial do uso da soja nas rações.

Diante do exposto, objetivou-se com o presente trabalho avaliar o uso da chia (*Salvia hispanica*) em substituição à soja (grão e óleo) no perfil lipídico e qualidade da carne de frangos de corte dos 29 aos 42 dias.

2. Material e métodos

2.2. Animais e condições experimentais

O experimento foi conduzido no Setor de Avicultura do Departamento de Zootecnia da Universidade Federal de Lavras. Todos os procedimentos experimentais foram aprovados pela Comissão de Ética no Uso de Animais da Universidade Federal de Lavras, sob o protocolo nº 074/16.

Foram utilizados 120 frangos de corte machos, da linhagem comercial Cobb-500[®], dos 29 aos 42 dias de idade. As aves foram adquiridas em incubatório comercial, com um dia de idade e criadas em galpão convencional para frangos de corte até os 28 dias, compondo um lote único. Durante este período, água e ração foram fornecidas a vontade. As rações eram a base de milho e farelo de soja e formuladas para atender as necessidades nutricionais específicas das aves segundo as recomendações de Rostagno et al. (2011).

No início do período experimental as aves foram transferidas para boxes em galpão de desempenho com dimensão de 2,0 x 1,5 metros. Esses boxes tinham o piso coberto com maravalha e eram compostos por um bebedouro e um comedouro do tipo pendular.

O programa de luz adotado foi o de luz contínua, com 24 horas de iluminação durante todo período experimental. Durante o experimento, as temperaturas máxima e mínima foram registradas, diariamente, às 16 horas, por meio de um termômetro localizado aproximadamente na altura das aves. A média mínima e máxima das temperaturas no galpão de desempenho durante a fase experimental foi de 19,73 (\pm 0,52) ° C e 31,83 (\pm 1,29) ° C, respectivamente.

2.3. Delineamento experimental e dietas

As 120 aves foram distribuídas em quatro tratamentos, com cinco repetições cada, sendo seis aves por repetição. O delineamento experimental adotado foi inteiramente casualizado, sendo os tratamentos constituídos por rações contendo soja integral tostada ou chia em duas formas de suplementação (grão/semente e óleo). O grão/óleo da soja foi substituído peso a peso na formulação com a semente/óleo de chia, compondo os tratamentos experimentais. A semente da chia foi fornecida inteira aos animais e os grãos/sementes foram incluídos nas dietas em 16,40% e os óleos em 2,5%.

As rações experimentais (Tabela 1), à base de milho e farelo de soja foram formuladas segundo as recomendações de Rostagno et al. (2011). O perfil lipídico das rações experimentais e dos alimentos encontram-se na tabela 2 e 3, respectivamente. A água, juntamente com a ração, foram fornecidas à vontade durante todo experimento.

2.4. Procedimentos experimentais

As aves foram criadas em galpão convencional para frangos de corte até o 28º dia, compondo um lote único. No 29º dia as aves foram pesadas, homogeneizadas por faixa de peso e distribuídas nas parcelas experimentais, onde foram criadas até o final do experimento, aos 42 dias de vida. Ao final do ensaio, as aves foram submetidas a um jejum alimentar de 12 horas, após o jejum, 3 aves por repetição foram escolhidas de maneira aleatória, totalizando 15 aves escolhidas por tratamento, e foram abatidas por deslocamento cervical seguido de sangria.

Após o abate os frangos foram submetidos aos processos de escaldagem, depenação e evisceração, obedecendo à distribuição dos tratamentos experimentais e repetições, e foram pesados e embalados individualmente em sacos plásticos e resfriados à temperatura de 5°C por um período de 24 horas para posterior realização de análises de qualidade da carne e perfil lipídico.

2.5. Parâmetros avaliados e análises laboratoriais

Amostras do músculo do peito (*Pectoralis major*) e de um conjunto de músculos presentes na coxa (*fibular longo, tibial cranial, flexor digital longo, extensor digital longo e gastrocnêmio*), foram coletados, para realização das análises de cor e suas variantes, pH da carne, oxidação lipídica ao ácido tiobarbitúrico (TBA), perda por cozimento (PPC), força de

cisalhamento (FC), composição centesimal da carne (incluindo umidade, proteína bruta (PB), lipídeos, matéria seca (MS) e matéria mineral (MM) e colágeno) e perfil de ácidos graxos.

As análises de pH final, cor (CIE L*, a* e b*) e PPC foram realizadas após o período de refrigeração em temperatura de 5 ± 2 °C por 24 horas. A leitura do pH foi realizada com peagâmetro digital da marca Hanna Instruments e Modelo HI 99163, sendo obtida a leitura de cada corte na porção central da musculatura às 24 horas após o abate.

A leitura da cor foi realizada na superfície superior do músculo do peito e dos músculos da coxa, expostos por 30 minutos ao ar ambiente. As leituras dos parâmetros (L*-luminosidade, a*-teor de vermelho, b*-teor de amarelo) foram feitas com colorímetro Chroma Meter-200b (Konica Minolta Sensing Inc., Osaka, Japão) de iluminante D65, calibrado em padrão branco ladrilho. Para a cor, foram determinados também os índices de saturação (C*) e o ângulo de tonalidade (h*), os quais foram calculados pelas seguintes fórmulas (Ramos e Gomide, 2007): $C^* = (a^{*2} + b^{*2})^{1/2}$ e $h^* = \tan^{-1}(b^*/a^*)$.

Para determinação de PPC, após as análises de cor, as amostras foram pesadas, envolvidas em papel metálico e submetida ao cozimento em chapa elétrica previamente aquecida à temperatura de 150 ± 5 °C. Após atingirem a temperatura de 35° C, as amostras foram viradas para que o aquecimento fosse feito de forma homogênea e mantidas em cozimento até a temperatura interna atingir 72 ± 2 °C.

Após o cozimento, as amostras foram resfriadas em geladeira a 5°C e, em seguida, o papel alumínio foi retirado, as amostras novamente pesadas e o valor de PPC determinado através da diferença entre os pesos antes e após o cozimento, convertidos em percentagem.

Para avaliar a FC, as amostras cozidas para determinação da PPC foram cortadas em amostras menores com dimensões de 2,0 x 1,0 x 1,0 cm, com maior comprimento no sentido longitudinal das fibras musculares, conforme metodologia descrita por Froning e Uijttenboogarte (1988). Posteriormente, as amostras foram seccionadas no sentido

perpendicular das fibras musculares, utilizando-se texturômetro da marca Extralab e modelo TA.XT Plus. O valor médio da FC foram expressos em kgf e determinados pela média de três leituras.

As amostras utilizadas para determinação do índice de TBARS foram armazenadas congeladas a -18°C durante 10 dias, e, posteriormente descongeladas em refrigerador a 5°C por 24 horas para as análises. O índice de TBARS foi determinado segundo a metodologia proposta por Raharjo, Sofos e Schmidt (1992), com algumas adaptações. A concentração de malonaldeído (MAD) foi determinada a partir de curva padrão de calibração com 1,1,3,3-tetraetoxipropano (TEP) e os resultados expressos em mg de MAD/kg de amostra.

As determinações de composição centesimal (umidade, PB, lipídeos e MM) e colágeno foram realizadas nos músculos do peito e da coxa, isentos de pele. Para realização dessas análises, alíquotas de 80 gramas do músculo do peito e coxa, (após serem desossados, triturados e homogeneizados) foram submetidas a análise rápida através do FoodScanTMMeatAnalyser (FOSS, Hillerod, Dinamarca).

Para o perfil de ácidos graxos da carne e dos alimentos testados, foi utilizada metodologia adaptada de Folch, Lees e Stanley (1957) de extração lipídica. A esterificação para determinação da composição em ácidos graxos foi feita pela saponificação com solução de hidróxido de sódio em metanol 0,5 M, seguida de metilação com cloreto de amônia, metanol e ácido sulfúrico, segundo metodologia de Hartman e Lago (1973). Após a metilação, as amostras foram submetidas à leitura por cromatografia gasosa em cromatógrafo Shimadzu CG 2010 (Agilent Technologies Inc., Palo Alto, CA, EUA), equipado com detector de ionização de chama, injetor bipartido à razão de 1:50 e coluna capilar de Supelco SPTM-2560, 100 m x 0,25 mm x 0,20 m (Supelco Inc., Bellefonte, PA, EUA).

As condições cromatográficas foram temperatura inicial da coluna de 140°C / 5 minutos; aumento de 4°C / minuto até 240°C e permanecendo a essa temperatura por 30

minutos, totalizando 60 minutos. A temperatura do injetor foi de 260°C e a do detector 260°C. O gás transportador utilizado foi o hélio. Os ácidos graxos foram identificados por comparação com os tempos de retenção apresentados pelo padrão cromatográfico SupelcoTM37 padrão FAME Mix (Supelco Inc., Bellefonte, PA, EUA) e expressos em porcentagem (%) do total de ácidos graxos identificados e posteriormente agrupados em: total de ácidos graxos saturados (SFA), total de ácidos graxos moninsaturados (MUFA) e total de PUFA.

Os índices de aterogenicidade e trombogenicidade, considerados como indicadores de saúde relacionados ao risco de doença cardiovascular, foram calculados segundo Ulbricht e Southgate (1991).

2.6. Análises estatísticas

Os dados foram submetidos ao teste de Bartlett's e Shapiro-Wilk, em $p < 0,05$ nível estatístico, para verificar os pressupostos da análise de variância (homogeneidade de variâncias e normalidade dos erros). Não atingindo um dos pressupostos foi aplicada, aos dados, a transformação logarítmica para posterior análise estatística. Atendendo ambos os pressupostos, os dados foram submetidos à análise da variância (ANOVA) e as médias foram comparadas pelo teste Scott Knott a 5% de probabilidade, utilizando-se o programa estatístico R, versão 3.2.5 (R Core Team, 2017).

3. Resultados

3.1 Parâmetros físico-químicos

Os valores de pH, cor (L^* , a^* , b^* , C^* e h^*), PPC e FC do peito e coxa das aves alimentadas com a chia (semente e óleo) e soja (grão e óleo) na ração encontram-se na Tabela 4. O pH do peito das aves que receberam a semente de chia em suas dietas apresentou menor

($P < 0,05$) valor, enquanto as aves que receberam o óleo de soja na dieta, apresentaram peito com maior ($P < 0,05$) valor de pH. Por outro lado, ao se observar os valores de pH na coxa das aves, os frangos que receberam a dieta com o óleo de soja apresentaram o menor ($P < 0,05$) valor de pH, o qual não diferiu ($P > 0,05$) entre as aves que receberam as demais dietas experimentais.

Avaliando a cor do peito e da coxa das aves, pode-se observar, de maneira geral, que as diferentes dietas experimentais exerceram influência nessa característica avaliada. Entretanto, para L^* (luminosidade) e não foi identificada diferença ($P > 0,05$) nem no peito e nem na coxa das aves. Porém, observa-se maior ($P < 0,05$) valor de a^* (intensidade de vermelho) no peito das aves que receberam a soja integral tostada e semente de chia. Ao avaliar a coxa, as diferentes dietas não influenciaram ($P > 0,05$) a intensidade de vermelho.

Em relação à intensidade de amarelo (b^*) no peito, maior ($P < 0,05$) intensidade foi verificada nas aves que receberam a soja integral tostada, semente de chia e óleo de chia em suas dietas, semelhante ao verificado na coxa. No peito foi verificado que as aves suplementadas com o óleo de soja apresentaram os menores ($P < 0,05$) índices de saturação da cor (C^*). Entretanto, para a coxa, o valor de C^* não diferiu ($P > 0,05$) entre as aves suplementadas com o diferentes tratamentos. Em relação ao ângulo de tonalidade da cor (h^*), apenas foi observada diferença na coxa, onde as aves que foram suplementadas com a semente de chia apresentaram o maior ($P < 0,05$) valor.

As diferentes dietas experimentais não influenciaram ($P > 0,05$) a PPC no peito das aves. Na coxa, a maior PPC ($P < 0,05$) foi observada nas aves alimentadas com a semente de chia. Não se observou influência das diferentes dietas sobre a FC no peito e na coxa das aves ($P > 0,05$).

3.2 Oxidação lipídica

Os valores de oxidação lipídica no peito dos frangos de corte não foram influenciados ($P>0,05$) pelas diferentes dietas fornecidas às aves. Entretanto, para a coxa, as aves alimentadas com o óleo de chia na ração apresentaram maior ($P<0,05$) valor de oxidação, quando comparado aos valores de oxidação obtidos nas aves que receberam as demais dietas (Tabela 4).

3.3 Composição centesimal e colágeno

Ao se analisar os resultados de composição centesimal e colágeno obtidos no peito, observa-se que as diferentes dietas apresentaram influência ($P<0,05$) sobre esses parâmetros, com exceção da umidade e teor de lipídeo (Tabela 5). As aves suplementadas com a soja integral tostada e a semente de chia apresentaram os maiores valores ($P<0,05$) de proteína no peito. As aves suplementadas com óleo de soja apresentaram maior ($P<0,05$) quantidade de matéria mineral no peito quando comparada com as aves que receberam as demais dietas. E em relação ao colágeno no peito das aves, os maiores ($P<0,05$) valores foram obtidos para as aves que receberam o óleo de soja e óleo de chia em suas rações.

Diferentemente do peito, ao se avaliar a composição centesimal e o colágeno na coxa dos frangos de corte, observou-se que apenas o teor de minerais apresentou diferença significativa ($P<0,05$), onde as aves suplementadas com a semente de chia apresentou o maior ($P<0,05$) valor de minerais.

3.4 Perfil Lipídico

O perfil dos ácidos graxos do peito dos frangos de corte encontram-se na Tabela 6. A menor ($P<0,05$) quantidade de ácido linoleico (C18:2 n6) foi observada no peito das aves que receberam a semente de chia em suas rações, seguida das que receberam o óleo de chia. Já a

maior ($P < 0,05$) quantidade desse ácido graxo foi observada ($P < 0,05$) no peito das aves alimentadas com a ração que continha a soja integral tostada.

Os peitos dos frangos suplementadas com o óleo de chia apresentaram a maior ($P < 0,05$) quantidade de ácido linolênico (C18:3 n3), seguido das aves que receberam a semente de chia. As menores ($P < 0,05$) concentrações desse ácido graxo foram observadas nas aves que receberam a soja, óleo ou grão, em suas rações. Com relação ao ácido araquidônico (C20:4 n6), uma maior concentração foi observada no peito das aves que receberam o óleo de soja e a soja integral tostada em suas dietas, enquanto as menores ($P < 0,05$) quantidades desse ácido graxo foram obtidas nas aves que se alimentaram com as rações que continham a chia fornecida como óleo ou semente.

Para o ácido eicosapentaenoico (EPA) (C20:5 n3) observou-se maior ($P < 0,05$) concentração no peito das aves suplementadas com a semente de chia. Por outro lado, as aves alimentadas com o óleo de soja e a soja integral tostada, apresentaram as menores ($P < 0,05$) concentrações desse ácido graxo, no peito. Em relação ao ácido docosahexaenóico (DHA) (C22:6 n3), as aves suplementadas com a chia, na forma de óleo ou semente, apresentaram as maiores ($P < 0,05$) quantidades, enquanto àquelas alimentadas com a soja (óleo ou grão), apresentaram as menores ($P < 0,05$) quantidades.

Os frangos que receberam em suas rações o óleo de soja obtiveram as maiores ($P < 0,05$) quantidades de gordura saturada no peito. Os ácidos graxos saturados observados em maiores proporções nessas aves foram o ácido palmítico (C16:0) e o ácido esteárico (C18:0). Os ácidos graxos monoinsaturados (MUFA) compuseram a maior ($P < 0,05$) porcentagem de ácidos graxos no peito, com o ácido oleico (C18:1 n-9c) presente em maior quantidade, entretanto, nenhuma diferença foi observada no teor total desses ácidos graxos no peito das aves que receberam as diferentes dietas.

O maior ($P>0,05$) teor de PUFA foi observado nos frangos de corte que receberam o óleo de chia em suas dietas. Já as menores ($P<0,05$) quantidades de PUFA foram observadas nas aves suplementadas com o óleo de soja, soja integral tostada e semente de chia na ração. O ácido graxo entre os PUFA presente em maior quantidade no peito das aves foi o linoleico (C18:2 n-6).

As quantidades de ácidos graxos ω -3 no peito das aves que receberam o óleo e semente de chia foram consideravelmente maiores ($P<0,05$) do que as encontradas no peito das aves que receberam o óleo de soja e a soja integral tostada. O ácido graxo ω -3 observado com predominância foi o ácido linolênico (C18:3 n-3). Além de aumentar o teor de ω -3, a inclusão do óleo e semente chia na dieta também proporcionou uma redução ($P<0,05$) na quantidade de ácidos graxo ω -6 obtidos no peito das aves, o que resultou em uma menor ($P<0,05$) relação ω 6: ω 3 no peito dos animais.

Menor índice de aterogenicidade ($P<0,05$) foi observado no peito das aves que receberam o óleo de chia e soja integral tostada em suas rações. A chia, na forma de semente ou óleo proporcionou menor ($P<0,05$) índice de trombogenicidade, enquanto, o maior ($P<0,05$) índice foi obtido através da suplementação do óleo de soja.

O perfil dos ácidos graxos da coxa dos frangos de corte encontram-se na Tabela 7, onde se observa que, dos 29 ácidos graxos identificados na coxa, apenas os ácidos margárico (C17:0), oleico (C18:1 n9C), linoleico (C18:2 n6), miristoleico (C20:0), d -linolênico (C18:3 n6), α -linolênico (C18:3 n3), di-homo- α - linolênico (C20:3 n3), cis-13,16-docosadienóico (C22:2), eicosapentaenóico (C20:5 n3) e docosahexaenóico (C22:6 n3) foram influenciados ($P<0,05$) pelas diferentes dietas fornecidas às aves.

A menor ($P<0,05$) quantidade de ácido linoleico (C18:2 n6) foi observada na coxa das aves que receberam a semente de chia em suas rações, e as maiores ($P<0,05$) quantidades desse ácido graxo foram observadas na coxa das aves alimentadas com as rações que

continham a soja (óleo ou grão) em sua composição. As coxas das aves suplementadas com a chia, na forma de óleo ou semente, apresentaram a maior ($P>0,05$) quantidade de ácido linolênico (C18:3 n-3) Já as menores concentrações desse ácido graxo foram observadas na coxa das aves que receberam a soja (óleo ou grão), em suas rações. Nenhuma diferença foi observada ($P>0,05$) na a concentração do ácido araquidônico (C20:4 n6) na coxa das aves.

Maior concentração de EPA (C20:5 n3) foi observada ($P<0,05$) na coxa das aves suplementadas com a chia, na forma de óleo ou semente, enquanto as aves que receberam as rações com o óleo de soja ou a soja integral tostada, apresentaram as menores ($P<0,05$) concentrações desse ácido graxo. As aves suplementadas com o óleo de chia apresentaram maiores ($P<0,05$) quantidades de DHA (C22:6 n3) na coxa, enquanto as aves que receberam as dietas com óleo ou soja integral tostada apresentaram as menores ($P<0,05$) quantidades desse ácido graxo na composição das coxas.

O uso do óleo de soja, óleo de chia, soja integral tostada e semente de chia não influenciaram ($P>0,05$) a quantidade de ácidos graxos saturados na coxa dos frangos de corte. O ácido palmítico (C16:0) foi o ácido graxo saturado observado na coxa das aves em maior quantidade, seguido do esteárico (C18:0).

Os MUFA compuseram a maior ($P<0,05$) porcentagem de ácidos graxos na coxa, sendo o ácido oleico (C18:1 n-9c) observado em maior quantidade. Os maiores teores de MUFA foram observados na coxa das aves que receberam o óleo de soja e a soja integral tostada, já os menores teores de MUFA foram obtidos através da suplementação da chia, semente ou óleo. A maior quantidade ($P<0,05$) de PUFA foi observada na coxa dos frangos de corte que receberam o óleo de chia em suas dietas. O ácido o linoleico (C18:2 n-6) foi o PUFA presente em maior quantidade na coxa das aves.

Assim como observado no peito, as quantidades de ácidos graxos ω -3 na coxa dos frangos que receberam o óleo e semente de chia foram consideravelmente maiores ($P<0,05$)

do que o teor desses ácidos graxos observados na coxa das aves que receberam o óleo de soja e a soja integral tostada. O ácido linolênico (C18:3 n-3) foi o ácido ω -3 observado em maior quantidade na coxa. Concomitantemente com o aumento no teor de ácidos graxos ω -3 houve uma redução ($P < 0,05$) no teor dos ácidos graxos ω -6 nas dietas ao utilizar a chia (óleo ou semente) nas rações, o que proporcionou a obtenção de menor ($P < 0,05$) relação ω 6: ω 3 na coxa dos frangos, ao suplementá-los com a chia.

Menor índice de aterogenicidade ($P < 0,05$) foi observado na coxa das aves que receberam o óleo de chia em suas rações. E assim como no peito, a chia, na forma de semente ou óleo, proporcionou menor ($P < 0,05$) índice de trombogenicidade, quando comparada com o esse valor obtido através do uso da soja.

4. Discussão

As diferentes dietas influenciaram o pH 24 horas *post mortem* (pH_{24h}), tanto no peito quanto na coxa das aves. Os valores de pH_{24h} do peito observado no presente trabalho variaram de 5,73 a 5,93 e corroboram com os valores de pH_{24h} do peito obtidos por Betti et al. (2009). Esses autores também trabalharam com enriquecimento de ω -3 na carne de frangos de corte, porém utilizando a linhaça como fonte desse ácido graxo e os valores de pH_{24h} obtidos por eles variaram de 5,64 a 5,93. Entretanto, observa-se que os valores de pH_{24h} obtidos na coxa das aves foram superiores aos do peito. Este comportamento de acordo com o corte, segundo Gomide, Ramos e Fontes (2013), está relacionado ao tipo das fibras musculares encontradas nos diferentes músculos. De acordo com os referidos autores, de modo geral, músculos em que predominam fibras brancas (peito) apresentam maior taxa de declínio do pH e valores de pH_{24h} mais baixos, enquanto em músculos com predominância de fibras vermelhas (coxa), a taxa de declínio é menor, devido à menor capacidade de armazenar glicogênio, sendo os valores de pH_{24h} maiores. Os valores de pH_{24h} para coxa encontrados no

presente estudo variaram de 6,34 a 6,46 e são similares aos valores de $\text{pH}_{24\text{h}}$ da coxa de frangos de corte encontrados na literatura (Xiong et al., 1993; Kannan et al., 1997; Souza; Faria; Bressan, 2011).

Cada dieta fornecida as aves proporcionou um valor de $\text{pH}_{24\text{h}}$ distinto no peito, sendo que as aves que receberam a semente de chia em suas dietas obtiveram o menor valor de pH, seguida da soja integral tostada, enquanto o óleo de soja dietético proporcionou o maior valor de $\text{pH}_{24\text{h}}$, seguido do óleo de chia. Possivelmente essa variação no $\text{pH}_{24\text{h}}$ no peito das aves foram devidas a diferentes concentrações de glicogênio nesse músculo, a qual possivelmente foi influenciada pelas diferentes dietas.

As aves que receberam o óleo de soja apresentaram o menor valor de $\text{pH}_{24\text{h}}$ na coxa, porém, diferentemente do peito, as aves alimentadas com as demais dietas apresentaram valores de $\text{pH}_{24\text{h}}$ similares. A coxa é composta predominantemente por fibras vermelhas (Tipo I) e, de acordo com Aberle et al. (2001), esse tipo de fibra possui uma concentração de glicogênio baixa. Assim, independentemente da dieta oferecida, com exceção da ração que continha em sua composição o óleo de soja, a quantidade de glicogênio disponível na coxa das aves possivelmente era similar, o que justifica tanto os valores similares de pH encontrados entre as dietas com óleo de chia, soja integral tostada e semente de chia, quanto os valores de pH mais altos observados, de maneira geral, nas coxas das aves em comparação com o peito. Haja visto que havia menos glicogênio disponível na coxa, em comparação com o peito, para se transformar em ácido lático e assim, reduzir o pH da carne.

O pH da carne pode influenciar outros parâmetros de qualidade, como a PPC. Segundo Wismer-Perdersen (1986), a produção de ácido lático e o conseqüente declínio no pH *post mortem* resultam em desnaturação da proteína e em redução global dos grupos reativos disponíveis para a ligação da água às proteínas musculares. Ou seja, quanto menor o valor final do pH da carne, maior será a desnaturação das proteínas miofibrilares, que são as

principais responsáveis pela retenção da água no tecido muscular (Gomide *et al.*, 2013) e, conseqüentemente, maior será a perda de peso por cozimento e menor o rendimento após preparo para consumo.

No presente trabalho, analisando os valores de pH do peito e da coxa e suas respectivas PPC, pode-se afirmar que os menores valores de pH obtidos no peito proporcionaram as maiores PPC, quando comparado com esses valores obtidos na coxa, com exceção para as aves que receberam ração com semente de chia.

Essa tendência dos menores valores de pH proporcionarem as maiores PPC não foi observada no peito nem na coxa das aves. A maior PPC na coxa foi observada nos frangos que receberam a semente de chia em suas dietas. Meineri *et al.* (2010), ao trabalharem com a suplementação de semente de chia para coelhos, os quais apresentam composição das fibras musculares semelhantes a da coxa do frango, também observaram uma maior PPC na carne dos coelhos alimentados com essa semente.

A PPC do peito obtida neste trabalho variou de 27,16 a 29,50% e foi similar à observada por Betti *et al.* (2009), que também trabalharam com enriquecimento de ω -3 na carne de frangos de corte. Já a PPC na coxa variou de 24,57 a 28,94%, sendo inferiores aos valores relatados por Wan *et al.* (2017) que obtiveram média de 30,6% de PPC na coxa. Esse comportamento pode ter ocorrido devido aos menores valores de pH (média de 6,08) encontrado pelos referidos autores.

Além de influenciar a PPC da carne, os valores de pH também exercem influência sobre o índice de luminosidade (L^*) da carne, havendo uma correlação negativa entre esses fatores (Le Bihan-duval *et al.*, 2001; Musa *et al.*, 2006; Gaya; Ferraz, 2006). De maneira geral, os valores de L^* estão relacionados ao brilho na superfície do corte. Uma maior taxa de queda de pH pode provocar uma maior desnaturação dos pigmentos de mioglobina e uma maior exsudação de líquido, promovendo uma maior dispersão da luz na superfície da carne.

Dessa forma, a maior taxa de queda de pH e, conseqüentemente, o menor valor de pH final pode estar correlacionado ao maior valor de L^* da carne (Gomide *et al.*, 2013). Entretanto, no presente trabalho, não foi verificado este comportamento. Apesar dos diferentes valores de pH obtidos no peito e coxa das aves submetidas aos diferentes tratamentos, nenhuma diferença significativa foi observada nos valores de L^* para esses cortes.

As diferenças observadas em relação a intensidade de vermelho (a^*) se devem, principalmente, ao conteúdo de mioglobina do músculo (Gomide *et al.*, 2013). Isso pode ser claramente evidenciado ao observar os valores de a^* obtidos no peito e na coxa. A coxa, que possui predominantemente fibras vermelhas e é rica em mioglobina, apresentou em média, 6,5 vezes maior intensidade de vermelho (a^*) quando comparada com o peito. Normalmente, menores valores de pH podem levar à uma maior desnaturação dos pigmentos de mioglobina, diminuindo a sua concentração no músculo, o que ocasionaria uma redução dos valores de a^* da carne. Porém, as aves que receberam em suas rações a soja integral tostada e a semente de chia e obtiveram os menores valores de pH no peito, diferentemente do esperado, obtiveram os maiores valores de a^* . Já para a coxa não foi observada nenhuma diferença entre a intensidade de vermelho dos diferentes tratamentos.

Tanto no peito, quanto na coxa das aves, os valores de intensidade de amarelo (b^*) seguiram o mesmo padrão entre as diferentes dietas fornecidas as aves. Maior valor de b^* foi observado no peito e na coxa das aves que receberam a semente de chia, a soja integral tostada e o óleo de chia. As diferenças de coloração na b^* observadas entre os cortes podem ser atribuídas as maiores concentrações de pigmentos carotenoides encontrados na semente de chia, soja integral tostada e óleo de chia, quando comparada as concentrações desses pigmentos no óleo de soja, o que refletiu nos valores de C^* obtidos no peito. Apesar de não ter sido encontrada diferença nos valores de C^* da coxa, de maneira geral, as aves que foram suplementadas com o óleo de chia, soja integral tostada e semente de chia apresentaram os

maiores valores desse índice, inferindo-se que o tom de amarelo observado nesses ingredientes era mais intenso do que o tom de amarelo observado no óleo de soja.

Os valores de h^* indicam a cor predominante da carne. Os peitos e as coxas dos diferentes tratamentos apresentaram a mesma cor predominante, que foi a amarela, de acordo com escala de cor no Sistema $CieL^*a^*b^*$ (amarelo - 70 a 100°). Entretanto, apesar de no Sistema $CieL^*a^*b^*$ os valores de h^* para o peito e coxa estarem no mesmo quadrante, a média de h^* para o peito foi de 87,31°, enquanto a média de h^* para a coxa foi de 73,8°, aproximando-se mais do quadrante laranja (25-70°), enquanto o primeiro aproximou-se mais de um amarelo mais claro. A diferença de tonalidade entre os cortes também podem ser justificadas pelos valores de C^* , onde o peito, que apresentou uma tonalidade de amarelo mais clara, obteve um valor médio de C^* (12,47) inferior ao da coxa (13,63).

As diferentes dietas fornecidas as aves influenciaram os valores de oxidação lipídica na coxa dos frangos de corte, sendo que as aves suplementadas com o óleo de chia apresentaram maior quantidade de malondialdeído na coxa, quando comparadas àquelas suplementadas com as demais rações. Segundo Rymer e Givens (2005), a estabilidade oxidativa de lipídeos insaturados diminui à medida que o grau de insaturação aumenta, e a carne de frango com maior conteúdo de ácido linolênico é mais suscetível à oxidação do que a carne de frango com uma concentração similar de ácido linoleico.

Diferentemente da soja, que possui o ácido linoleico predominantemente em sua composição, tanto o óleo quanto a semente de chia possuem grandes quantidades de ácido linolênico (Ayerza, 1995; Nitrayová et al., 2014). Entretanto, a maior concentração de malondialdeído na coxa foi observada apenas para as aves que receberam o óleo de chia, sendo que a presença da semente de chia na ração resultou em valores dessa substância similares a aos das rações a soja. Provavelmente isso ocorreu porque a semente de chia apresenta maiores quantidades de compostos antioxidantes em relação ao óleo de chia, os

quais impediram que a oxidação ocorresse na coxa das aves que receberam essa semente. Entretanto, ao contrário dos resultados obtidos com a semente de chia no presente estudo, Meineri et al. (2010), ao suplementarem coelhos com diferentes níveis de semente de chia em suas rações, observaram que o uso de 15% de semente de chia foi ineficaz na prevenção da oxidação lipídica na carne.

Marineli et al. (2014), ao realizarem o potencial antioxidante da semente e óleo da chia observaram que ambas as amostras exibiram alta atividade antioxidante. Os referidos autores atribuíram esta atividade antioxidante à presença de compostos fenólicos na semente ou no óleo, os quais eram, principalmente, a miricetina, a quercetina, o kaempferol, o ácido clorogênico e o dialdeído do ácido 3,4-di-hidroxifeniletanol-elenólico (3,4-DHPEA-EDA).

Entretanto, os referidos autores também observaram que o óleo de chia apresentava uma maior taxa de autooxidação quando comparado com a semente de chia, o que pode reduzir e justificar sua menor capacidade antioxidante. Marineli et al. (2014) observaram um índice de peróxido de 2,56 mEq de peróxido/kg para o óleo, enquanto não foi identificada nenhuma formação de peróxido na semente de chia, além disso, a quantidade obtida de malonaldeído no óleo de chia avaliado, foi praticamente o dobro da observada na semente, 17,46 mg MDA/kg e 9,58 mg MDA/kg, respectivamente, o que pode justificar os resultados obtidos no presente estudo. Ainda, o processamento para a obtenção do óleo e/ou o tempo de armazenamento do óleo utilizado no presente trabalho podem ter contribuído para uma redução no seu potencial antioxidante.

Entretanto, para o peito, não foi observada nenhuma diferença nos valores de oxidação da carne ao ácido tiobarbitúrico. Mas como pode-se observar na Tabela 5, a coxa possui mais que o dobro do teor de lipídeos que o peito, o que favorece a sua oxidação em relação ao peito. Segundo Gomide, Ramos e Fontes (2013), a fibra muscular metaboliza preferencialmente as gorduras na produção de energia, o que justifica o elevado teor de

gordura encontrado nas fibras vermelhas. A fibra branca, em função de sua deficiência de oxigênio, não é capaz de oxidar substratos e estoca preferencialmente a glicose na forma de glicogênio, único substrato capaz de ser metabolizado na via glicolítica. Assim, no peito, o teor de lipídeos é baixo e o teor de glicogênio, elevado.

De acordo com Prandal et al. (1994), com o aumento da gordura da carcaça, há a tendência de diminuição dos valores de umidade, e isso pode ser observado ao se comparar os valores de umidade e lipídeos obtidos no peito e coxa no presente trabalho. O peito que possui menor valor de lipídeo em sua composição, apresentou maior teor de umidade, quando comparado com a coxa, que possui maior teor de lipídeo em sua composição.

O uso dos grãos/sementes na ração proporcionou maior deposição proteica no peito dos frangos, quando comparado com o uso dos óleos nas rações. Isso pode estar relacionado com a composição de aminoácidos das rações experimentais (Tabela 1). Como pode-se observar, a quantidade de valina nas rações que continham a soja integral tostada e a semente de chia era o dobro da observada nas rações com o óleo de soja e óleo de chia. Esse aminoácido de cadeia ramificada, juntamente com a leucina e isoleucina desempenham papel fundamental na síntese proteica. Segundo Wu (2009), a valina está diretamente relacionada com a síntese de glutamina e o balanço dos aminoácidos de cadeia ramificada (BCAA). De acordo Watford e Wu (2005), existe uma relação positiva entre as concentrações intramusculares de glutamina e síntese de proteína muscular em frangos de corte. Além disso, para que a leucina exerça todo seu potencial no crescimento muscular é necessário a suplementação simultânea de todos os BCAAs, incluindo a valina (Wu 2009). Desta forma, a presença da valina em maior quantidade prontamente disponível nas rações com as sementes/grãos, possivelmente contribuiu com a maior síntese de glutamina e proporcionou melhor balanço entre os BCAAs, favorecendo assim uma maior síntese proteica no peito das aves.

O efeito de inclusão da chia na mudança do perfil de ácidos graxos na carne de frangos de corte já foi relatado por alguns autores (Azcona et al., 2008; Komprda et al., 2013; Ayerza; Coates; Lauria, 2002). No presente estudo, essas mudanças no perfil foram consideráveis em ambos os cortes avaliados e as diferenças mais notáveis foram observadas nas quantidades de ácido graxo linoleico (C18:2 n-6) e α -linolênico (18:3 n-3), os quais são considerados essenciais para os frangos de corte.

O uso de chia, semente ou óleo, nas dietas das aves diminuiu as quantidades de ácido linoleico no peito e coxa dos frangos de corte. A inclusão de óleo de chia quando comparada com o óleo de soja, proporcionou uma redução de ácido linoleico de 13,1% no peito e coxa dos frangos de corte. Já o uso da semente de chia, comparado com o fornecimento de soja integral tostada nas rações, reduziu a quantidade de ácido linoleico em 23,1% no peito, e 19,0% na coxa das aves.

Resultados expressivos também foram observados em relação às quantidades de ácido α -linolênico encontrados no peito e coxa das aves, através do fornecimento das diferentes dietas para as aves. O uso do óleo de chia na ração proporcionou aumento na quantidade de ácido α -linolênico de aproximadamente 336% e de 295%, no peito e coxa, respectivamente, quando comparado com o uso de óleo de soja na ração. Já a semente de chia, comparada com a soja integral tostada na dieta das aves, viabilizou um acréscimo aproximado de ácido α -linolênico de 274% no peito e 244% na coxa dos frangos de corte.

Vários autores demonstraram ao longo do tempo que a composição de ácidos graxos na carne de frangos de corte pode ser manipulada mediante mudança na composição de ácidos graxos da dieta (Marion; Woodroof, 1963; Chanmugam et al., 1992; Scaife et al., 1994; Kartikasari et al., 2012, Konieczkaa; Czauderna; Smulikowska, 2017). Deste modo, além de todos os benefícios advindos do consumo da carne de frango, ela ainda apresenta grande potencial para ser enriquecida com ácidos graxos ω -3, como observado no presente estudo

através do uso do o óleo e semente de chia nas rações dos frangos de corte. A chia é a fonte vegetal conhecida mais rica em ácidos graxos ω -3, sendo o ácido α -linolênico seu principal constituinte lipídico (Coates; Ayerza, 2009; Nitrayová et al., 2014), e o seu perfil lipídico refletiu no perfil dos ácidos graxos dos cortes avaliados. Azcona et al., (2008) ao trabalharem com diferentes fontes de n-3, incluindo a linhaça, canola e chia, em dietas pra frangos de corte observaram que a semente de chia proporcionou maior quantidade de ácido α -linolênico no peito e coxa das aves quando comparada com as demais fontes de n-3 utilizadas.

O organismo animal consegue converter os ácidos linoleico e α -linolênico em seus componentes mais boativos, que são o ácido araquidônico (C20:4 n-6), derivado do ácido linoleico, e os ácidos eicosapentaenoico (EPA) e ácido docosaexaenoico (DHA), os quais são sintetizados a partir do ácido α -linolênico. Entretanto, os ácidos linoleico e α -linolênico competem pelo mesmo sistema enzimático, mais especificamente pelas enzimas Δ -6 e Δ -5 dessaturase, as quais, apesar de possuírem afinidade por ambos ácidos graxos, atuam preferencialmente nos ácidos graxos ω -3.

A inclusão dietética da chia, na forma de óleo ou de semente, confirma a teoria da competição enzimática e preferência dessas enzimas pelos ácidos graxos n-3, ao proporcionar uma diminuição do ácido araquidônico no peito das aves, concomitantemente com um aumento de EPA e DHA nos cortes avaliados. Segundo Leaf e Weber (1988), a redução nas concentrações de ácido araquidônico, bem como de seus metabólitos, particularmente o tromboxano A₂, o qual possui um potente efeito na agregação das plaquetas, é uma das razões pelas quais os ácidos graxos n-3 reduzem o risco de doenças coronarianas.

Os frangos de corte que receberam em suas dietas o óleo de chia aumentaram a quantidade de EPA em aproximadamente 226% no peito e 474% na coxa, quando comparados às aves que receberam a dieta com o óleo de soja. Já as aves que receberam a semente de chia na ração apresentaram um aumento aproximado de EPA de 342% e 379%, no

peito e coxa, respectivamente, quando comparadas àquelas que foram suplementadas com a soja integral tostada.

Em relação ao DHA, o óleo de chia na ração proporcionou um acréscimo de 28,8% no peito e 89,4% na coxa, quando comparado com a ração contendo o óleo de soja. Já os frangos que receberam a semente de chia mostraram aumento de DHA, comparados aos que receberam a soja integral tostada, de 55,0% e 50,8%, no peito e na coxa, respectivamente.

Os resultados encontrados no presente estudo corroboram com os obtidos por Azcona et al. (2008), os quais também observaram aumento no teor de EPA e DHA ao trabalharem com uma inclusão de 15% de semente de chia em dietas para frangos de corte. Komprda et al. (2013), ao utilizarem a semente de chia na alimentação de diferentes espécies animais, incluindo frangos de corte, também observaram aumento no teor de PUFA de cadeia longa, incluindo EPA e DHA, tanto no peito quanto na coxa dos frangos. De acordo com Coelho et al. (2016), o fornecimento de ω -3 nas rações proporciona aumento de EPA e DHA em produtos alimentícios de origem animal e, conseqüentemente, o fornecimento desses alimentos enriquecidos nas dietas humanas também aumenta os níveis EPA e DHA de quem os consomem.

Segundo Kris-Etherton, Grieger e Etherton (2009), a maioria das recomendações de consumo de EPA e DHA são emitidas com base na quantidade de EPA+DHA de maneira conjunta, sem uma orientação específica do consumo de cada ácido graxo separadamente. A Sociedade Internacional de Estudo de Ácidos Graxos e Lipídios (ISSFAL, 2004) recomenda em média uma ingestão de 500 mg / dia de EPA + DHA para adultos para promover a saúde cardiovascular.

A concentração de ácido graxo saturado no tecido das aves está relacionado com o seu teor na ração, sua taxa de oxidação e sua síntese no fígado (Nir et al. 1988). No presente estudo a maior quantidade de ácido graxo saturado no peito dos frangos foram observado nas

aves que receberam o óleo de soja em suas rações. Possivelmente esse ingrediente afetou de alguma maneira a taxa de oxidação e/ou a síntese no fígado dos ácidos graxos saturados no fígado, já que a taxa de ácidos graxos saturados entre as rações foi próxima (Tabela 2).

Já está bem estabelecido que consumo de ácidos graxos saturados aumenta o teor de LDL colesterol plasmático, que é um forte fator de risco para as doenças cardiovasculares (Mensink, 2016), assim, acrescentar a chia nas dietas dos frangos, pode trazer benefícios a saúde de quem os consumirem tanto aumentando a quantidade dos ácidos graxos omega-3 na carne, quanto reduzindo o nível de gordura saturada da mesma. Os resultados encontrados no presente trabalho, com exceção para o total de gordura saturada na coxa, que não diferiu entre os tratamentos, estão de acordo com os obtidos por Azcona et al. (2008), os quais observaram que o fornecimento de semente de chia para frangos de corte resultou em menor gordura saturada total na carne do peito e coxa. Ayerza et al. (2002) também observaram redução no total de gordura saturada no peito e coxa de frangos de corte alimentados com 10 e 20% de semente de chia em suas dietas.

Segundo Raes et al. (2004), o aumento da gordura intramuscular é geralmente associado a elevadas concentrações de ácidos graxos saturados e MUFA, acompanhado de uma redução dos PUFA. Essa diminuição concomitante no total de MUFA, com o aumento no total de ácidos graxos PUFA ω -3, foi relatado por Ayerza e Coates (1999, 2000) em gemas de ovos de galinhas alimentadas com chias e por Ayerza, Coates e Lauria (2002) e Azcona et al. (2008) em carne de frangos de corte alimentados com chia. Esses resultados são similares aos resultados obtidos no presente estudo, onde observou-se redução no teor de MUFA na coxa dos frangos, juntamente com o acréscimo de ácidos graxos ω -3 ao realizar inclusão chia nas rações.

Como sugerido por Ayerza e Coates (1999, 2000), a diminuição do total de MUFA nos frangos de corte pode estar relacionada ao efeito inibitório dos ácidos graxos PUFA na

atividade da $\Delta 9$ -dessaturase, a enzima responsável por dessaturar e alongar o ácido palmítico a palmitoleico e esteárico em oleico (Brenner, 1989).

Como se esperava, a chia, semente ou óleo, aumentou de modo considerável o total de ácidos graxos ω -3 e reduziu os valores de ω -6, possivelmente devido a modulação dos ácidos graxos PUFA ω -3 na ação das enzimas $\Delta 5$ - e $\Delta 6$ -desaturase e elongase no fígado (Schmitz; Ecker, 2008). No presente estudo, o óleo de chia, quando comparado com o óleo de soja proporcionou um aumento de 287 e 280 % no teor total de ω -3 no peito e coxa, respectivamente. Enquanto a semente de chia, quando comparada com a soja integral tostada produziu um acréscimo no total de ω -3 de 254% no peito e 230 % na coxa. Azcona et al. (2008) ao suplementarem frangos de corte com diferentes fontes de ω -3 observaram que a inclusão de 15% de semente de chia na ração proporcionou o maior acréscimo no teor total de ácidos graxos ω -3 quando comparado aos demais tratamentos, gerando aumentos de 200 e 157% e no peito e na coxa, respectivamente.

Nos seres humanos o consumo de ácidos graxos PUFA ω -3 é reconhecido por influenciar positivamente a resposta imune, pressão arterial, níveis de colesterol e triglicerídeos, e função cardiovascular (Mozaffarian, Wu, 2012), além de atuar na prevenção e tratamento de doenças como asma e câncer (Weaver; Holob, 1988; Simopoulos, 1991, Carmo; Correia, 2009). Os ácidos graxos PUFA ω -3 de cadeia longa também são potentes agentes anti-inflamatórios, podendo ser empregados com sucesso no tratamento de doenças inflamatórias autoimunes, como a psoríase e artrite reumatoide (Shapiro; Koepsell; Voigt, 1996; Spite, 2013).

Em contrapartida, altas relações ω -6: ω -3 na dieta humana estão relacionadas com o maior risco de obesidade e diversas doenças, inclusive as cardiovasculares (Simopoulos, 2016), as quais são as principais causas de óbito no mundo. Segundo a Organização Mundial de Saúde a ingestão de dieta com relação de $\omega 6:\omega 3$ em torno de 4:1 auxilia na prevenção do

desenvolvimento de doenças inflamatórias, alérgicas e cardiovasculares. Entretanto, as dietas dos países industrializados, principalmente os ocidentais, essa relação chega a valores maiores que 20.

Dessa forma, sob o ponto de vista de saúde do consumidor, os cortes de peito e coxa através da suplementação da chia na dieta proporcionaram as melhores relações $\omega 6:\omega 3$ da carne, visto que ao suplementar o óleo de chia a relação $\omega 6:\omega 3$ obtida foi de 2,49 no peito e 3,30 na coxa, enquanto esses valores obtidos através da suplementação do óleo de soja foram de 11,6 no peito e 14,11 na coxa, sendo bem acima do recomendado. Já as aves suplementadas com a semente de chia obtiveram relação $\omega 6:\omega 3$ de 2,7 no peito e 3,28 na coxa, enquanto as que receberam a soja integral tostada nas rações apresentaram relação $\omega 6:\omega 3$ de 11,88 e 12,83 no peito e coxa respectivamente.

O menor índice de aterogenicidade foi observado no peito das aves que receberam o óleo de chia e a soja integral tostada em suas dietas e na coxa das aves que receberam o óleo de chia. Em relação ao índice de trombogenicidade, ambas as formas de inclusão da chia nas rações proporcionaram os menores índices. Esses são indicadores de saúde associado ao risco de doença cardiovascular de acordo com a composição lipídica do alimento (Turan et al., 2007). A aterogenicidade é considerada um indicador de saúde, relacionado com o risco de ocorrência da arteriosclerose (Ulbricht e Southgate, 1991), principal causa dos ataques cardíacos e dos acidentes vasculares cerebrais, os quais são responsáveis por aproximadamente 80% das mortes pelas doenças cardiovasculares (Shanthi; Puska; Norrving, 2011). Quanto mais baixos são os índices de aterogenicidade e trombogenicidade de um determinado produto, melhor será seu consumo para a saúde (Faria et al, 2015), portanto desse ponto de vista, as carnes de frango de corte que recebem a chia são consideradas mais saudáveis do que aquelas que recebem a soja em suas dietas.

5. Conclusão

Além disso, a inclusão do óleo ou semente de chia em 2,5 e 16,4%, respectivamente, na ração de frangos de corte no período de 29 a 42 dias de idade é eficaz em aumentar o teor total de ácidos graxos omega-3 no peito e coxa desses animais, incluindo acréscimo no teor do ácido α -linolênico, e dos seus componentes mais bioativos: EPA e DHA. Também observou-se uma redução na relação $\omega 6:\omega 3$, e nos índices de aterogenicidade e trombogogenicidade da carne, proporcionando um aumento na qualidade nutricional da mesma, com consequentes benefícios na saúde dos seus consumidores.

Referências

- Aberle ED, Forrest JC, Gerrard DE, Mills EW. 2001. Principles of meat Science. 4 ed. New York: Kendall/Hunt Publishing Company. 354 p.
- Ayerza R. 1995. Oil Content and Fatty Acid Composition of Chia (*Salvia hispanica L.*) from Five Northwestern Locations in Argentina. J Am Oil Chem Soc. 72:1079-1081.
- Ayerza R, Coates W. 1999. An omega-3 fatty acid enriched chia diet: Its influence on egg fatty acid composition, cholesterol and oil. Can J Anim Sci. 79:53-58.
- Ayerza R, Coates W. 2000. Dietary levels of chia: Influence on yolk cholesterol, lipid content and fatty acid composition, for two strains of hens. Poult Sci. 79:724-739.
- Ayerza R, Coates W, Lauria M. 2002. Chia Seed (*Salvia hispanica L.*) as an ω -3 Fatty Acid Source for Broilers: Influence on Fatty Acid Composition, Cholesterol and Fat Content of White and Dark Meats, Growth Performance, and Sensory Characteristics. Poult Sci. 81:826-837.
- Azcona JO, Schang MJ, Garcia PT, Gallinger C, Ayerza Jr R, Coates W. 2008. Omega-3 enriched broiler meat: The influence of dietary α -linolenic- ν -3 fatty acid sources on growth, performance and meat fatty acid composition. Can J Anim Sci. 88:257-269.
- Betti M, Schneider BL, Wismer WV, Carney VL, Zuidhof MJ, Renema RA. 2009. Omega-3-enriched broiler meat: 2. Functional properties, oxidative stability, and consumer acceptance. Poult Sci. 88:1085-1095.
- Bihan-Duval E, Berri C, Baeza E, Millet N, Beaumont C. 2001. Estimation of the genetic parameters of meat characteristics and of their genetic correlations with growth and body composition in an experimental broiler line. Poult Sci. 80:839-843.

Brenner RR. 1989. Factors influencing fatty acid chain elongation and desaturation. Pages 45-79 in *The Role of Fats in Human Nutrition*. A. J. Ergoesen and M. Crawford, ed. Academic Press, New York.

Carmo MCNS, Correia MITD. 2009. A Importância dos Ácidos Graxos Ômega-3 no Câncer. *Rev Bras de Canc*. 55(3):279-287.

Chanmugam P, Bourdreau M, Boutte T, Park RS, Herbert J, Berrio L, Hwang DH. 1992. Incorporation of different types of fatty acids into tissue lipids of poultry. *Poult Sci*. 71:516-521.

Coelho CRV, Pernollet F, Van der Werf HMG. 2016. Environmental Life Cycle Assessment of Diets with Improved Omega-3 Fatty Acid Profiles. *PLoS One*, 11 (8).

Coates W, Ayerza R. 2009. Chia (*Salvia hispanica* L.) seed as an n-3 fatty acid source for finishing pigs: effects on fatty acid composition and fat stability of the meat and internal fat, growth performance, and meat sensory characteristics. *J Anim Sci*. 87:3798-3804.

Cortinas L, Barroeta AC, Villaverde C, Galobart J, Guardiola F, Baucells MD. 2005. Influence of the Dietary Polyunsaturated Level on Chicken Meat Quality: Lipid Oxidation. *Poult Sci*. 84:48-55.

Faria PB, Cantarelli VS, Fialho ET, Pinto AMBG, Faria JH, Rocha MFM, Guerreiro MC, Bressan MC. 2015. Lipid profile and cholesterol of pork with the use of glycerin in feeding. *Arq Bras Med Vet Zootec*. 67:535-546.

Folch J, Lees M, Stanley GHS. 1957. Simple method for the isolation and purification of total lipides from animal tissues. *J Biol Chem*. 226:497-509.

Froning GW, Uijttenboogart TG. 1988. Effect of postmortem electrical stimulation on color, texture, pH, and cooking losses of hot and cold deboned chicken broiler breast meat. *Poult Sci*. 67:1536-1540.

Gaya LG, Ferraz JB. 2006. Aspectos genético-quantitativos da qualidade da carne em frangos. *Cienc Rural*. 36:349-356.

Gomide LAM, Ramos EM, Fontes PR. 2013. *Ciência e Qualidade da Carne: Fundamentos*. UFV. p.197.

Gray JI, Goma AEA, Buckley DJ. 1996. Oxidative quality and shelf life of meats. *Meat Sci*. 43:S111-S123.

Hartman L, Lago RCA. 1973. Rapid preparation to fatty acids methyl esters. *Laboratory & Practice*. 22:475-476.

Ibrahim D, El-Sayed R, Khater SI, Said EN, El-Mandrawy SAM. 2018. Changing dietary n 6:n-3 ratio using different oil sources affects performance, behavior, cytokines mRNA expression and meat fatty acid profile of broiler chickens. *Anim Nutr*. 4:44-51.

ISSFAL. 2004. Recommendations for Intake of Polyunsaturated Fatty Acids in Healthy Adults. International Society for the Study of Fatty Acids and Lipids.

Kannan G, Heath JL, Wabeck CJ, Souza MCP, Howe JC, Mench JA. 1997. Effects of Crating and Transport on Stress and Meat Quality Characteristics in Broilers. *Poult Sci.* 76:523-529.

Kartikasari LR, Hughes RJ, Geier MS, Makrides M, Gibson RA. 2012. Dietary alpha-linolenic acid enhances omega-3 long chain polyunsaturated fatty acid levels in chicken tissues. *Prostaglandins Leukot Essent Fatty Acids.* 87:103-109.

Komprda T, Zornikova G, Rozikova V, Borkovcova M, Przywarova A. 2013. The effect of dietary *Salvia hispanica* seed on the content of n-3 long-chain polyunsaturated fatty acids in tissues of selected animal species, including edible insects. *J Food Comp Anal.* 32:36-43.

Kris-Etherton PM, Grieger JA, Etherton TD. 2009. Dietary reference intakes for DHA and EPA. *Prostaglandins Leukot Essent Fatty Acids.* 81:99-104.

Konieczka P, Czauderna M, 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. *Anim Feed Sci Technol.* 223:42-52.

Lin CF, Gray JI, Asghar A, Buckleg DJ, Booren AM, Flegal CJ. 1989. Effects of dietary oils and a-tocopherol supplementation on lipid composition and stability of broiler meat. *J Food Sci.* 54:1457-1460.

Leaf A, Weber PC. 1988. Cardiovascular effects of N-3 fatty acids. *N Engl J Med.* 318: 549-557.

Macdonald D, Gray JI, Uebersax MA, Morton ID. 1982. A statistical evaluation of three methods for measuring lipid oxidation in model system. *Food Chem.* 8:21-25.

Marineli RS, Moraes EA, Lenquiste AS, Godoy AT, Nogueira EMN, Maróstica Jr MR. 2014. Chemical characterization and antioxidant potential of Chilean chia seeds and oil (*Salvia hispanica* L.). *Food Sci Technol.* 59:1304-1310.

Marion JE, Woodroof JG. 1963. The fatty acid composition of breast, thigh, and skin tissues of chicken broilers as influenced by dietary fats. *Poult Sci* 48:1202-1207

Martin CA, Almeida VV, Ruiz MR, Visentainer JEL, Matshushita M, Souza NE, Visentainer JV. 2006. Ácidos graxos poliinsaturados ômega-3 e ômega-6: importância e ocorrência em alimentos. *Rev Nutr.* 19:761-770.

Meineri G, Cornale P, Tassone S, Peiretti PG. 2010. Effect of Chia (*Salvia hispanica* L.) seed supplementation on rabbit meat quality, oxidative stability and sensory traits. *Ital J Anim Sci.* 9:45-49.

Mensink R. 2016. Effects of Saturated Fatty Acids on Serum Lipids and Lipoproteins: A Systematic Review and Regression Analysis. World Health Organization.

Mir NA, Tyagi PK, Biswas AK, Tyagi PK, Mandal AB, Wani MA, Deo C, Avishek BA, Verma AK. 2018. Performance and meat quality of broiler chicken fed a ration containing flaxseed meal and higher dietary lysine levels. *J Agric Sci.* 1-9.

Mozaffarian D, Wu JH. 2012. (n-3) fatty acids and cardiovascular health: are effects of EPA and DHA shared or complementary? *J Nutr.* 142:614S-625S.

Musa HH, Chen GH, Cheng JH, Shuiep ES, Bao WB. 2006. Breed and sex effect on meat quality of chicken. *Inter J Poult Sci.* 5:566-568.

Nitrayová S, Brestenský M, Heger J, Patráš P, Rafay J, Sirotkin A. 2014. Amino acids and fatty acids profile of chia (*salvia hispanica* L.) and flax (*linum usitatissimum* L.) Seed. *Potravinarstvo.* 8:72-76.

Prandal O, Bekhit AD, Bickerstaffe R. et al. 1994. *Tecnología e higiene de la carne.* Espanha: ACRIBIA. p.854.

R Core Team. 2017. R: A language and environment for statistical computing. R foundation for statistical computing, Vienna, Austria. URL: [https:// www.R-project.org/](https://www.R-project.org/).

Raes K, DeSmet S, Demeyer D. 2004. Effect of dietary fatty acids on incorporation of long-chain polyunsaturated fatty acids and conjugated linoleic acid in lamb, beef and pork meat: A review. *Anim Feed Sci Technol.* 13:199-221.

Raharjo S, Sofos JN, Schimidt GR. 1992. Improved speed, specificity and limit of determination of a aqueous acid extraction thiobarbituric acid C-18 method for measuring lipid peroxidation in beef. *J Agricult Food Chem.* 40:2182-2185.

Ramos EM, Gomide LAM. 2007. *Avaliação de qualidade de carnes: Fundamentos e metodologias.* Editora UFV. p.599.

Rostagno HS, Albino LFT, Donzele JL, Gomes PC, Oliveira RF, Lopes DC, Ferreira AS, Barreto SLT, Euclides RF. 2011. *Tabelas brasileiras para aves e suínos: composição de alimentos e exigências nutricionais de aves e suínos.* 3ª edição. UFV. p.252.

Rymer C, Givens DI. 2005. N- 3 fatty acid enrichment of edible tissue of poultry: a review. *Lipids.* 40:121-130.

Scaife JR, Moyo J, Galbraith H. et al. 1994. Effect of different dietary supplemental fats and oils on the tissue fatty acid composition and growth of female broilers. *Br Poult Sci.* 35:107-118.

Saleh H, Rahimi S, Torshizi MK, Golian A. 2010. Effect of dietary fish oil on oxidative stability and lipid composition of broiler chickens breast and thigh meat. *J Anim Vet Adv.* 9:2877-2882.

Simopoulos AP. 1991. Omega-3 fatty acids in health and disease and in growth and development. *Am J Clin Nutri.* 54:438-463.

Simpoulous AP. 1999. New products from the agri-food industry: The return of the n-3 fatty acids into the food supply. *Lipids*. 34:S297-S301.

Simopoulos AP. 2016. An Increase in the Omega-6/Omega-3 Fatty Acid Ratio Increases the Risk for Obesity. *Nutrients*. 8:1-17.

Schmitz G, Ecker J. 2008. The opposing effects of n-3 and n-6 fatty acids. *Prog Lipid Res*. 47:147-155.

Shanthi M, Puska P, Norrving B. 2011. Global atlas on cardiovascular disease prevention and control. World Health Organization, p.156.

Shapiro JA, Koepsell TD, Voigt LF. 1996. Diet and rheumatoid arthritis in women: a possible protective effect of fish consumption. *Epidemiology*. 7:256-63.

Souza XR, Faria PB, Bressan MC. 2011. Proximate composition and meat quality of broilers reared under different production systems. *Rev Bras Cienc Avic*. 13:15-20.

Spite M. 2013. Deciphering the role of n-3 polyunsaturated fatty acid-derived lipid mediators in health and disease. *Proc Nutr Soc*. 72:441-450.

Taga MS, Miller EE, Pratt DE. 1984. Chia seeds as a source of natural lipid antioxidants. *J Am Oil Chem Soc*. 61:928-931.

Turan H, Sönmez G, Kaya Y. 2007. Fatty acid profile and proximate composition of the thornback ray (*Raja clavata*, L. 1758) from the Sinop coast in the Black Sea. *J Fish Sci*. 1:97-103.

Ulbricht TLV, Southgate DAT. 1991. Coronary heart disease: seven dietary factors. *Lancet*. 338:985-992.

Wan XL, Song ZH, Niu Y, Cheng K, Zhang JF, Ahmad H, Zhang LL, Wang T. 2017. Evaluation of enzymatically treated *Artemisia annua* L. on growth performance, meat quality, and oxidative stability of breast and thigh muscles in broilers. *Poult Sci*. 96:844-850.

Watford M, Wu G. 2005. Glutamine metabolism in uricotelic species: variation in skeletal muscle glutamine synthetase, glutaminase, glutamine levels and rates of protein synthesis. *Comp Biochem Physiol B*. 140:607-614.

Wisner-Perdersen, J. 1986. Chemistry of animal tissues: Water Pages 141-154 in *The Science of Meat and Meat Products*. J. F. Price and B. S. Schweigert. Food and Nutrition Press Inc., Westport, CT.

Weaver BJ, Holob BJ. 1998. Health effects and metabolism of dietary eicosapentaenoic acid. *Prog Food Nutr Sci*. 12:111-150.

Wu G. 2009. Amino acids: metabolism, functions, and nutrition. *Amino Acids*, 37:1-17.

Xiong YL, Cantor AH, Pescatore AJ, Blanchard SP, Straw ML. 1993. Variations in Muscle Chemical Composition, pH, and Protein Extractability Among Eight Different Broiler Crosses. *Poult Sci.* 72:583-588.

Tabela 1 - Composição centesimal e valores calculados das dietas experimentais para frangos de corte, Cobb 500[®], dos 29 aos 42 dias de idade

Ingredientes (%)	Dietas Experimentais			
	Óleo de Soja	Óleo de Chia	Soja Integral Tostada	Semente de Chia
Milho	65,10	65,10	64,46	64,46
Farelo de Soja (45%)	29,25	29,25	16,40	16,40
Fosfato Bicálcico	1,20	1,20	1,16	1,16
Calcário	0,80	0,80	0,77	0,77
Sal comum	0,45	0,45	0,45	0,45
DL-Metionina 99%	0,25	0,25	0,25	0,25
L-Lisina HCL 99%	0,21	0,21	0,24	0,24
L-Treonina	0,04	0,04	0,05	0,05
L-Valina	0,02	0,02	0,04	0,04
Suplemento Mineral ^a	0,05	0,05	0,05	0,05
Suplemento Vitamínico ^b	0,04	0,04	0,05	0,05
Cloreto de Colina 60%	0,04	0,04	0,04	0,04
Anticoccidiano	0,05	0,05	0,05	0,05
Óleo de Soja	2,50	0,00	0,00	0,00
Óleo de chia	0,00	2,50	0,00	0,00
Soja integral tostada	0,00	0,00	16,40	0,00
Semente de Chia	0,00	0,00	0,00	16,40
Total	100	100	100	100
Composição Calculada				
Energia Metabolizável (kcal/kg)	3103	-	3101	-
Proteína Bruta (%)	18,75	18,75	18,73	-
Metionina + cistina digestível (%)	0,77	0,77	0,76	-
Lisina digestível (%)	1,04	1,04	1,04	-
Treonina digestível (%)	0,68	0,68	0,68	-
Valina digestível (%)	0,82	0,82	0,81	-
Fósforo disponível (%)	0,33	0,33	0,32	-
Cálcio (%)	0,69	0,69	0,68	-
Sódio (%)	0,20	0,20	0,20	-

^aSuplementado por kg de ração: 55 mg de Zn; 0,18 mg de Se; 0,70 mg de I; 10 mg de Cu; 78 mg de Mn; 48 mg de Fe. ^bSuplementado por kg de ração: 0,48 mg de ácido fólico; 8,70 mg de ácido pantotênico; 0,018 mg de biotina; 1,5 mg de butilhidroxi-tolueno (BHT); 11,1 mg de niacina; 6000 UI de vitamina A; 0,8 mg de vitamina B1; 12,15 UI de vitamina E; 8,10 µg de vitamina B12; 3,6 mg de vitamina B2; 1,80 mg de vitamina B6; 1500 UI de vitamina D3; 1,44 mg de vitamina K3. ^cEnergia Metabolizável Calculada. ^d Energia metabolizável determinada *in vivo*. ^e Proteína bruta determinada.

Tabela 2 - Composição de ácidos graxos das dietas experimentais

Ácidos graxos (%)	Dietas Experimentais			
	Óleo de Soja	Óleo de Chia	Soja Integral Tostada	Semente de Chia
C14:0	0,0935	0,0656	0,0729	0,0995
C15:0	0,0369	0,1446	0,0358	0,0575
C16:0	12,4169	9,4326	11,6605	11,0004
C16:1	0,2819	0,1543	0,2093	0,3826
C17:0	0,0976	0,1077	0,1065	0,0766
C17:1	0,0765	0,0599	0,0226	0,0492
C18:0	3,1208	3,483	3,0245	3,4368
C18:1 n9T	0,042	0,0163	0,0449	0,0477
C18:1 n9c	28,7216	16,4752	27,9532	21,2369
C18:2 n6c	50,022	28,4012	47,9351	34,3201
C20:0	0,3949	0,3351	0,3995	0,3584
C18:3 n6	0,0621	0,1504	0,0235	0,1116
C20:1 n9	0,2769	0,1853	0,221	0,1595
C18:3 n3	3,6113	37,8121	4,8697	26,9675
SAT ^a	16,1606	13,5686	15,2997	15,0292
MON ^b	29,3989	16,891	28,451	21,8759
POL ^c	53,6954	66,3637	52,8283	61,3992
$\Sigma\omega 3^d$	3,6113	37,8121	4,8697	26,9675
$\Sigma\omega 6^e$	50,0841	28,5516	47,9586	34,4317
$\Sigma\omega 6/\Sigma\omega 3^f$	13,8687	0,7551	9,8484	1,2768

^aTotal de ácidos graxos saturados; ^bTotal de ácidos graxos monoinsaturados; ^cTotal de ácidos graxos poli-insaturados; ^dTotal de ácidos graxos ômega 3; ^eTotal de ácidos graxos ômega 6; ^fRelação ômega6/ômega3.

Tabela 3 - Perfil de ácidos graxos do óleo de soja, óleo de chia, soja integral tostada e semente de chia.

Ácidos graxos (%)	Alimentos			
	Óleo de Soja	Óleo de Chia	Soja Integral Tostada	Semente de Chia
C14:0	0,0727	0,13	0,0971	0,0543
C15:0	0,0895	0,1037	0,0307	0,0351
C16:0	10,7531	8,5146	11,738	7,2433
C16:1	0,1181	0,3871	0,1889	0,298
C17:0	0,0911	0,108	0,0925	0,0555
C17:1	0,0404	0,0553	0,0601	0,0221
C18:0	3,1664	4,7589	3,4762	3,6672
C18:1 n9T	0,039	0,0325	0,0269	0,0293
C18:1 n9c	25,0688	10,5755	26,1335	7,4172
C18:2 n6c	53,4759	17,7794	50,3258	19,7607
C20:0	0,3115	0,279	0,2941	0,2668
C18:3 n6	0,1139	0,2375	0,0311	0,2262
C20:1 n9	0,3033	0,2315	0,2045	0,1453
C18:3 n3	5,5544	56,3298	6,4358	60,3941
SAT ^a	14,4843	13,8942	15,7286	11,3222
MON ^b	25,5696	11,2819	26,6139	7,9119
POL ^c	59,1442	74,3467	56,7927	80,381
$\Sigma\omega 3^d$	5,5544	56,3298	6,4358	60,3941
$\Sigma\omega 6^e$	53,5898	18,0169	50,3569	19,9869
$\Sigma\omega 6/\Sigma\omega 3^f$	9,6482	0,3198	7,8245	0,3309

^aTotal de ácidos graxos saturados; ^bTotal de ácidos graxos monoinsaturados; ^cTotal de ácidos graxos poli-insaturados; ^dTotal de ácidos graxos ômega 3; ^eTotal de ácidos graxos ômega 6; ^fRelação ômega6/ômega3

Tabela 4 - Composição físico-química e valores de oxidação lipídica ao ácido tiobarbitúrico (dez dias após o abate) do peito e coxa de frangos de corte (aos 42 dias de idade) alimentados com dietas contendo soja (grão e óleo) e chia (semente e óleo) dos 29 aos 42 dias de idade

Cortes	Parâmetros	Tratamentos				Coeficiente de variação (%)
		Óleo de Soja	Óleo de Chia	Soja Integral Tostada	Semente de Chia	
Peito	pH _{24h}	5,93 a	5,88 b	5,79 c	5,73 d	0,574
	L*	54,58	56,26	56,28	55,57	2,72
	a*	0,44 b	0,38 b	0,90 a	0,69 a	42,03
	b*	11,17 b	12,50a	12,94 a	12,97 a	5,63
	C*	11,18 b	12,52 a	12,98 a	13,21 a	5,89
	h*	87,73	88,03	86,13	86,95	1,32
	PPC (%)	27,82	29,50	27,37	27,16	4,91
	FC (kgf)	1,38	1,51	1,67	1,60	21,55
	Oxidação (MDA/kg)	0,20	0,18	0,20	0,18	45,20
	Coxa	pH _{24h}	6,34 b	6,46 a	6,46 a	6,44 a
L*		52,42	52,37	52,15	53,30	2,78
a*		3,69	3,94	4,65	3,33	18,64
b*		12,14 b	12,86a	13,28 a	13,85 a	6,45
C*		12,73	13,50	13,99	14,28	6,32
h*		73,35b	73,86b	71,29 b	76,71a	3,56
PPC (%)		25,26b	24,57 b	25,03 b	28,94 a	5,55
FC (kgf)		1,11	1,08	1,18	1,18	11,15
Oxidação (MDA/kg)		0,32 b	0,51 a	0,36 b	0,37 b	18,98

pH_{24h} = pH 24 horas pós-mortem L* = Luminosidade; a* = Intensidade de vermelho; b* = Intensidade de amarelo; C* = Índice de saturação da cor; h* = Ângulo de tonalidade da cor; PPC = Perda de Peso por Cozimento; FC = Força de Cisalhamento.

Médias seguidas por letras minúsculas distintas na linha, diferem entre si (P < 0,05) pelo teste Scott-knott.

Tabela 5 - Composição centesimal e colágeno estimados dos cortes de peito e coxa de frangos de corte (42 dias de idade) alimentados com dietas contendo soja (grão e óleo) e chia (semente e óleo) dos 29 aos 42 dias de idade

Cortes	Composição (%)	Tratamentos				Coeficiente de variação (%)
		Óleo de Soja	Óleo de Chia	Soja Integral Tostada	Semente de Chia	
Peito	Umidade	73,64	73,48	73,00	72,94	0,83
	Proteína	21,05 b	21,26 b	21,98 a	22,10 a	2,74
	Lipídeo	2,25	2,43	2,32	2,15	6,91
	Minerais	3,09 a	2,88 b	2,86 b	2,81b	3,81
	Colágeno	0,92 a	0,93 a	0,86 b	0,82b	3,81
Coxa	Umidade	71,51	70,97	71,17	71,29	0,73
	Proteína	19,74	19,65	19,75	19,39	1,33
	Lipídeo	5,33	5,83	5,70	5,66	8,60
	Minerais	3,48b	3,53b	3,40 b	3,69 a	3,38
	Colágeno	1,13	1,13	1,21	1,21	7,21

Médias seguidas por letras minúsculas distintas na linha, diferem entre si ($P < 0,05$) pelo teste Scott-knott

Tabela 6 - Perfil de ácidos graxos no peito de frangos de corte (aos 42 dias de idade) alimentados com dietas contendo soja (grão e óleo) e chia (semente e óleo) dos 29 aos 42 dias de idade

Ácidos Graxos (%)	Alimentos				CV (%)
	Óleo de Soja	Óleo de Chia	Soja integral Tostada	Semente de chia	
C 6:0	0,044a	0,034a	0,044a	0,019b	23,38
C10:0	0,009	0,009	0,014	0,010	70,46
C12:0	0,035	0,030	0,031	0,030	11,91
C14:0	0,421	0,408	0,406	0,402	4,08
C14:1	0,095	0,097	0,099	0,0110	9,74
C15:0	0,396	0,381	0,348	0,226	28,84
C16:0	21,960a	20,947b	21,259b	21,796a	2,07
C16:1	3,522b	3,720b	3,454b	4,164a	6,58
C17:0	0,249a	0,194b	0,217b	0,150c	14,72
C17:1	0,253	0,206	0,225	0,1824	17,36
C18:0	8,438a	7,710b	7,825b	7,716b	5,38
C18:1 n9t	0,179a	0,156b	0,155b	0,151b	6,45
C18:1 n9c	31,164	30,373	31,428	31,938	2,95
C18:2 n6c	24,745b	21,505c	26,344a	20,262d	3,45
C20:0	0,076	0,085	0,080	0,073	11,32
C18:3 n6	0,196a	0,165b	0,185a	0,163b	7,95
C20:1 n9	0,322	0,260	0,294	0,291	9,40
C18:3 n3	2,006c	8,741a	2,087c	7,802b	12,81
C20:2	0,517a	0,358b	0,471a	0,371b	13,22
C22:0	0,095	0,087	0,079	0,096	21,47
C20:3 n6	0,779a	0,570b	0,631b	0,607b	14,21
C22:1 n9	0,030	0,022	0,022	0,026	21,51
C20:3 n3	0,061b	0,187a	0,052b	0,213a	16,51
C20:4 n6	3,553a	2,236b	3,172a	2,555b	12,64
C22:2	0,042c	0,098b	0,043c	0,116a	16,56
C24:0	0,021a	0,016b	0,014b	0,014b	13,61
C20:5 n3	0,171c	0,558b	0,141c	0,619a	9,79
C24:1 n9	0,006	0,013	0,011	0,012	71,15
C22:6 n3	0,326b	0,420a	0,289b	0,448a	15,20
SFA ^a	31,748a	29,903b	30,319b	30,532b	2,37
MUFA ^b	35,571	34,847	35,688	36,874	2,945
PUFA ^c	32,396b	34,837a	33,416b	33,156b	3,73
$\Sigma\omega 3^d$	2,564b	9,905a	2,569b	9,082a	11,42
$\Sigma\omega 6^e$	29,273b	24,475c	30,333a	23,586c	2,47
$\Sigma\omega 6/\Sigma\omega 3^f$	11,620a	2,493b	11,879a	2,699b	6,85
PUFA/SFA ^g	1,023b	1,168a	1,106a	1,090a	5,36
Aterogenicidade ^h	0,369a	0,349b	0,359b	0,369a	3,05
Trombogenicidade ⁱ	0,768a	0,488c	0,725b	0,524c	4,89

Médias seguidas por letras minúsculas distintas na linha, diferem entre si ($P < 0,05$) pelo teste Scott-knott. ^aTotal de ácidos graxos saturados; ^bTotal de ácidos graxos monoinsaturados; ^cTotal de ácidos graxos poli-insaturados; ^dTotal de ácidos graxos ômega 3; ^eTotal de ácidos graxos ômega 6; ^fRelação ômega6/ômega3; ^gRelação Poliinsaturado/Saturado; ^hÍndice de aterogenicidade; ⁱÍndice de trombogenicidade.

Tabela 7 - Perfil de ácidos graxos na coxa de frangos de corte (aos 42 dias de idade) alimentados com dietas contendo soja (grão e óleo) e chia (semente e óleo) dos 29 aos 42 dias de idade

Ácidos Graxos (%)	Alimentos				CV (%)
	Óleo de Soja	Óleo de Chia	Soja integral Tostada	Semente de chia	
C 6:0	0,038	0,035	0,036	0,036	21,69
C10:0	0,016	0,010	0,006	0,008	101,77
C12:0	0,029	0,034	0,028	0,031	11,38
C14:0	0,405	0,392	0,402	0,398	5,93
C14:1	0,105	0,096	0,106	0,107	10,83
C15:0	0,342	0,279	0,265	0,288	15,62
C16:0	20,819	20,234	20,537	20,791	2,28
C16:1	4,186	3,985	4,369	4,434	8,23
C17:0	0,181a	0,188a	0,159b	0,190a	9,04
C17:1	0,199	0,199	0,149	0,179	21,89
C18:0	7,753	8,115	3,380	7,892	6,93
C18:1 n9t	0,161	0,154	0,144	0,165	7,13
C18:1 n9c	31,633a	29,892b	31,662a	30,281b	2,534
C18:2 n6c	26,959a	23,427b	26,781a	21,694c	3,24
C20:0	0,076b	0,099a	0,082b	0,079b	11,05
C18:3 n6	0,196a	0,157b	0,190a	0,173b	8,62
C20:1 n9	0,272	0,275	0,278	0,284	6,48
C18:3 n3	1,850b	7,314a	1,999b	6,873a	9,53
C20:2	0,356	0,331	0,358	0,366	7,35
C22:0	0,122	0,106	0,112	0,119	12,01
C20:3 n6	0,579	0,572	0,531	0,546	7,90
C22:1 n9	0,019	0,018	0,018	0,020	11,29
C20:3 n3	0,050c	0,173a	0,045c	0,150b	11,71
C20:4 n6	3,419	2,991	3,172	2,999	11,86
C22:2	0,034b	0,104a	0,042b	0,100a	16,34
C24:0	0,010	0,012	0,010	0,009	48,17
C20:5 n3	0,097b	0,557a	0,112b	0,537a	18,17
C24:1 n9	0,007	0,011	0,009	0,008	71,32
C22:6 n3	0,245c	0,464a	0,244c	0,368b	12,93
SFA ^a	29,791	29,505	29,017	29,843	2,61
MUFA ^b	36,581a	34,629b	36,733a	35,478b	2,67
PUFA ^c	33,787b	36,091a	33,477b	33,804b	2,78
Σω3 ^d	2,243b	8,507a	2,402b	7,927a	9,39
Σω6 ^e	31,154a	27,148b	30,675a	25,412c	2,39
Σω6/Σω3 ^f	14,110a	3,207c	12,840b	3,286c	7,79
PUFA/SFA ^g	1,137b	1,226a	1,155b	1,136b	4,42
Aterogenicidade ^h	0,353a	0,333b	0,355a	0,352a	3,20
Trombogenicidade ⁱ	0,713a	0,508b	0,692a	0,537b	4,20

Médias seguidas por letras minúsculas distintas na linha, diferem entre si ($P < 0,05$) pelo teste Scott-knott. ^aTotal de ácidos graxos saturados; ^bTotal de ácidos graxos monoinsaturados; ^cTotal de ácidos graxos poli-insaturados; ^dTotal de ácidos graxos ômega 3; ^eTotal de ácidos graxos ômega 6; ^fRelação ômega6/ômega3; ^gRelação Poliinsaturado/Saturado; ^hÍndice de aterogenicidade; ⁱÍndice de trombogenicidade.