

UNIVERSIDADE ESTADUAL DO OESTE DO PARANÁ
CAMPUS DE MARECHAL CÂNDIDO RONDON
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ZOOTECNIA

BÁRBARA AMANDA BEBBER

**EMULSIFICANTES EM DIETA PARA FRANGOS DE CORTE COM
DIFERENTES FONTES LIPÍDICAS**

MARECHAL CÂNDIDO RONDON – PR

2024

UNIVERSIDADE ESTADUAL DO OESTE DO PARANÁ
CAMPUS DE MARECHAL CÂNDIDO RONDON
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ZOOTECNIA

BÁRBARA AMANDA BEBBER

**EMULSIFICANTES EM DIETA PARA FRANGOS DE CORTE COM
DIFERENTES FONTES LIPÍDICAS**

Dissertação apresentada à Universidade Estadual do Oeste do Paraná como requisito parcial do Programa de Pós-Graduação em Zootecnia, área de concentração em Produção e Nutrição Animal, para obtenção do título de Mestre em Zootecnia.

Orientador: Prof. Dr. Ricardo Vianna Nunes

MARECHAL CÂNDIDO RONDON – PR

2024

Ficha de identificação da obra elaborada através do Formulário de Geração Automática do Sistema de Bibliotecas da Unioeste.

Bebber, Bárbara Amanda

Emulsificantes em dieta para frangos de corte com diferentes fontes lipídicas / Bárbara Amanda Beber; orientador Ricardo Vianna Nunes. -- Marechal Cândido Rondon, 2024.

87 p.

Dissertação (Mestrado Acadêmico Campus de Marechal Cândido Rondon) -- Universidade Estadual do Oeste do Paraná, Centro de Ciências Agrárias, Programa de Pós-Graduação em Zootecnia, 2024.

1. Emulsificantes. 2. Digestibilidade de nutrientes. 3. Aditivos alimentares. 4. Lipídios. I. Nunes, Ricardo Vianna, orient. II. Título.

BÁRBARA AMANDA BEBBER

Emulsificantes em dieta para frangos de corte com diferentes fontes lipídicas

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Zootecnia em cumprimento parcial aos requisitos para obtenção do título de “Mestra em Zootecnia”, Área de Concentração “Produção e Nutrição Animal”, Linha de Pesquisa “Produção e Nutrição de Não-Ruminantes / Aquicultura, APROVADA pela seguinte Banca Examinadora:

Documento assinado digitalmente
 RICARDO VIANNA NUNES
Data: 28/11/2024 09:36:06-0300
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Orientador / Presidente - Prof. Dr. Ricardo Vianna Nunes
Universidade Estadual do Oeste do Paraná (Unioeste) - *Campus* de Mal. Cândido Rondon

Documento assinado digitalmente
 CINTHIA EYNG
Data: 28/11/2024 12:32:27-0300
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Membro – Prof.^a Dr.^a Cinthia Eyng
Universidade Estadual do Oeste do Paraná (Unioeste) - *Campus* de Mal. Cândido Rondon

Documento assinado digitalmente
 JOSE GERALDO DE VARGAS JUNIOR
Data: 28/11/2024 12:51:03-0300
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Membro – Prof. Dr. José Geraldo de Vargas Júnior
Universidade Federal do Espírito Santo – *Campus* de Alegre

Marechal Cândido Rondon, 27 de novembro de 2024.

AGRADECIMENTOS

Aos meus pais, pelo apoio incondicional, pela confiança em minhas escolhas e pela disposição em me ajudar a concluir mais esta etapa.

Ao Prof. Dr. Ricardo Vianna Nunes, por sua orientação, pela paciência e generosidade, por todos os ensinamentos e pela oportunidade de realizar a pós-graduação.

À Universidade Estadual do Oeste do Paraná e ao Programa de Pós-Graduação em Zootecnia, pela oportunidade e pelo suporte oferecido.

Ao Conselho Nacional do Desenvolvimento Científico e Tecnológico - CNPq, pela concessão de bolsa durante o período de desenvolvimento deste estudo.

Aos colegas e amigos do grupo GEMADA, que tornaram este estudo possível, reforçando que juntos alcançamos mais. E a todos que, direta ou indiretamente, participaram e contribuíram para a realização deste trabalho, meu muito obrigada.

Aos meus amigos, que, mesmo à distância, sempre apoiaram e incentivaram meu crescimento pessoal e profissional.

À empresa Nnativm, pela valiosa parceria e contribuição para a pesquisa.

Por fim, a todos que, de alguma forma, contribuíram e ajudaram a concluir esta etapa, obrigada.

RESUMO

A inclusão de emulsificantes na dieta de frangos de corte pode melhorar a digestão de lipídios e aumentar a energia metabolizável, impactando positivamente o desempenho das aves. Este estudo avaliou o efeito de diferentes emulsificantes e fontes de óleo sobre o desempenho, a digestibilidade de nutrientes, a qualidade da carne e o perfil bioquímico em frangos de corte. Foram utilizados 1080 pintos, os quais receberam diferentes dietas, distribuídas em delineamento fatorial (3x2): sem emulsificante, emulsificante 1 - éster de sorbitan e emulsificante 2 - lecitina de soja, sendo acrescidos dois tipos diferentes de óleos de soja (degomado e ácido), totalizando seis tratamentos, com 10 repetições e 18 aves por unidade experimental.

O uso de óleo de soja contribuiu para um maior peso médio e uma conversão alimentar mais eficiente em frangos de corte. O emulsificante éster de sorbitan, por sua vez, mostrou potencial para reduzir a oxidação lipídica inicial. Além disso, interações significativas entre fontes de óleo e emulsificantes impactaram positivamente a digestibilidade de nutrientes e o desempenho das aves, destacando a combinação de óleo de soja com emulsificantes como uma estratégia promissora para otimizar a eficiência alimentar.

Aos 21 dias, aves alimentadas com óleo de soja apresentaram maior ganho de peso e melhor conversão alimentar, sendo estes resultados mantidos aos 42 dias. O óleo de soja também favoreceu a digestão de lipídios, enquanto a digestibilidade de minerais foi superior com óleo ácido em combinação com o emulsificante éster de sorbitan. No perfil bioquímico, o óleo de soja aumentou os níveis de HDL, e o óleo ácido elevou a bilirrubina e os triglicerídeos. O rendimento de carcaça e a qualidade da carne não apresentaram diferenças significativas entre os tratamentos.

Palavras-chave: Emulsificantes; Digestibilidade de nutrientes; Lipídios; Qualidade da carne; Aditivos alimentares.

ABSTRACT

EMULSIFIERS IN CHICKEN DIETS WITH DIFFERENT LIPID SOURCES

The inclusion of emulsifiers in the diet of broilers can improve lipid digestion and increase metabolizable energy, positively impacting bird performance. This study evaluated the effect of different emulsifiers and oil sources on performance, nutrient digestibility, meat quality and biochemical profile in broilers. A total of 1080 chicks were used, which received different diets, distributed in a factorial design (3x2): without emulsifier, emulsifier 1 - sorbitan ester and emulsifier 2 - soy lecithin, with the addition of two different types of soybean oils (degummed and acid), totaling six treatments, with 10 replicates and 18 birds per experimental unit. The use of soybean oil contributed to a higher average weight and more efficient feed conversion in broilers. The sorbitan ester emulsifier showed potential for reducing initial lipid oxidation. Significant interactions between oil sources and emulsifiers positively impacted nutrient digestibility and bird performance, highlighting the combination of soybean oil with emulsifiers as a promising strategy to optimize feed efficiency. At 21 days, birds fed with soybean oil showed greater weight gain and better feed conversion, with these results maintained at 42 days. Soybean oil also enhanced lipid digestion, while mineral digestibility was higher with acid oil combined with the sorbitan ester emulsifier. In the biochemical profile, soybean oil increased HDL levels, and acid oil elevated bilirubin and triglycerides. Carcass yield and meat quality did not show significant differences between treatments.

Keywords: Emulsifiers; Nutrient digestibility; Lipids; Meat quality; Feed additives.

LISTA DE TABELAS

Tabela 1. Perfil de ácidos graxos e qualidade nutricional do óleo ácido de soja e óleo de soja degomado.....	21
Tabela 2. Composição percentual e calculada das rações experimentais.....	23
Tabela 3. Desempenho de frangos de corte alimentados com diferentes fontes de óleo e emulsificantes	32
Tabela 4. Rendimento de carcaça, cortes e peso relativo da gordura abdominal e fígado de frangos alimentados com diferentes emulsificantes e fontes de óleo	33
Tabela 5. Perfil bioquímico e atividade enzimática no sangue de frangos de corte aos 21 dias e alimentados com diferentes fontes de óleo e emulsificantes	36
Tabela 6. Desdobramento da interação entre os tipos de óleos e emulsificantes no perfil bioquímico e atividade enzimática no sangue de frangos de corte aos 21 dias.....	37
Tabela 7. Perfil bioquímico e atividade enzimática no sangue de frangos de corte aos 42 dias e alimentados com diferentes fontes de óleo e emulsificantes	39
Tabela 8. Desdobramento da interação entre os tipos de óleos e emulsificantes no perfil bioquímico e atividade enzimática no sangue de frangos de corte aos 42 dias.....	41
Tabela 9. Altura de vilo (μm), profundidade de cripta (μm), relação altura de vilo:profundidade de cripta e área de absorção (μm^2) do segmento jejuno de frangos de corte aos 21 e 42 dias de idade	45
Tabela 10. Potencial hidrogeniônico e coloração da carne do peito de frangos de corte alimentados com diferentes emulsificantes e fontes de óleo	48
Tabela 11. Qualidade da carne do peito de frangos de corte alimentados com diferentes emulsificantes e fontes de óleo	50
Tabela 12. Valores referentes as substâncias reativas ao ácido tiobarbitúrico (mg MDA/ g^{-1}) em peitos de frangos de corte alimentados com diferentes emulsificantes e fontes de óleo	52
Tabela 13. Avaliação da atividade pancreática de frangos de corte alimentados com diferentes fontes lipídicas e emulsificante aos 14 e 21 dias de idade.....	55
Tabela 14. Interação entre diferentes emulsificantes e fontes de óleo sobre a atividade das enzimas lipase e quimiotripsina em frangos de corte aos 21 e 42 dias de idade	57
Tabela 15. Coeficiente de digestibilidade ileal em frangos de corte aos 21 dias alimentados com diferentes emulsificantes e fontes de óleo	60
Tabela 16. Desdobramento das interações para os coeficientes de digestibilidade ileal aos 21 dias de frangos alimentados com diferentes emulsificantes e fontes de óleo.....	62
Tabela 17. Digestibilidade da energia e nutrientes aos 21 dias em frangos alimentados com diferentes emulsificantes e fontes de óleo	63
Tabela 18. Desdobramento das interações para a digestibilidade da energia e nutrientes aos 21 dias em frangos alimentados com diferentes emulsificantes e fontes de óleo.....	65
Tabela 19. Coeficiente de digestibilidade ileal em frangos de corte aos 42 dias alimentados com diferentes emulsificantes e fontes de óleo	66

Tabela 20. Digestibilidade da energia e nutrientes aos 42 dias em frangos alimentados com diferentes emulsificantes e fontes de óleo	67
Tabela 21. Desdobramento das interações para a digestibilidade de nutrientes aos 42 dias em frangos alimentados com diferentes emulsificantes e fontes de óleo	69
Tabela 22. Concentração de ácidos graxos de cadeia curta (mmol g^{-1} conteúdo cecal) de frangos de corte alimentados com dietas contendo emulsificante e diferentes fontes lipídicas, aos 21 e 42 dias de idade	73

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	9
2 REVISÃO	10
2.1 Lipídios.....	10
2.2 Digestão e absorção de lipídios associada a anatomia e fisiologia das aves...	11
2.3 Fontes lipídicas na dieta de frangos	12
2.3.1 Óleo de soja.....	13
2.3.2 Óleo Ácido de Soja	14
2.3.4 Lecitina de soja	15
2.4 Uso de emulsificante na dieta de frangos	16
2.4.1 Lecitina de Soja.....	17
2.4.2 Éster de Sorbitan	18
2.4.3 Mono e diglicerídeo de ácidos graxos saturados.....	18
3 MATERIAL E MÉTODOS	20
3.1 Instalações.....	20
3.2 Animais e delineamento experimental	20
3.3 Descrição dos Tratamentos e manejo dos animais.....	21
3.4 Coleta de amostras e análises realizadas	25
3.4.1 Desempenho	25
3.4.2 Rendimento de carcaça e cortes	25
3.4.3 Análise de parâmetros bioquímicos do sangue	26
3.4.4 Avaliação histológica do jejuno	26
3.4.5 Qualidade de carne	27
3.4.6 Substâncias reativas ao ácido tiobarbitúrico (TBARS).....	28
3.4.7 Atividade Pancreática.....	28
3.4.8 Digestibilidade ileal	29
3.4.9 Ácidos graxos de cadeia curta	30
4 RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	32
4.1 Desempenho.....	32
4.2 Análise de parâmetros bioquímicos do sangue	34
4.3 Avaliação histológica do Jejuno.....	43
4.4 Qualidade de carne e substâncias reativas ao ácido tiobarbitúrico (TBARS)47	
4.5 Substâncias reativas ao ácido tiobarbitúrico (TBARS).....	52
4.6 Atividade Pancreática.....	54
4.7 Digestibilidade ileal.....	59

4.8 Ácidos graxos de cadeia curta.....	72
5 CONCLUSÃO.....	76
REFERÊNCIAS.....	77
APÊNDICE A – Perfil de ácidos graxos e qualidade nutricional do óleo ácido de soja e óleo de soja degomado	85

1 INTRODUÇÃO

A produção de frango de corte no Brasil tem apresentado crescimento significativo e constante, impulsionada pela busca por melhorias na produtividade e pela redução global dos custos. Segundo Rostagno et al. (2011), a produção avícola passou por avanços nos âmbitos genético, nutricional e sanitário, assumindo fundamental importância para a economia brasileira. Para atender às necessidades das linhagens modernas de frangos de corte e melhorar o desempenho, são fornecidas dietas com alta densidade nutricional e energética (Poorghasemi et al., 2013). Neste contexto, a indústria avícola tem buscado alternativas dentro dos programas nutricionais, a fim de melhorar o aproveitamento dos alimentos, reduzir custos e minimizar as perdas no processo produtivo, sem comprometer o desempenho das aves.

O uso de tecnologias, a exemplo da inclusão de aditivos, como os emulsificantes, tem buscado melhorar a digestão das fontes lipídicas fornecidas na ração, proporcionando aumento dos níveis de energia metabolizável na dieta. O aditivo emulsificante possui moléculas que apresentam características hidrofílicas e hidrofóbicas, com a função de estabilizar a emulsão, reduzindo a tensão entre as fases imiscíveis (água e óleo), fazendo com que as partículas de gordura sejam quebradas em partículas menores, podendo estas ficarem dispersas no meio aquoso, o que permite que elas se misturem, formando uma emulsão e facilitando a digestão das gorduras (Araújo, 2008).

De acordo com Wu et al. (2019), a energia contida na dieta dos animais é um ponto importante a ser considerado na formulação de rações para frangos de corte. A energia atua diretamente na manutenção das funções fisiológicas, no crescimento e no desempenho, além de possibilitar maior deposição de proteína na carcaça. Desta maneira, a suplementação de emulsificante nas dietas pode beneficiar o aproveitamento energético e influenciar positivamente o desempenho das aves.

Sendo assim, a proposta deste estudo é de avaliar a inclusão de diferentes emulsificantes, associados a dois tipos de óleo, e os seus efeitos quanto a desempenho, rendimento de carcaça e de cortes, parâmetros bioquímicos do sangue, histomorfometria intestinal, qualidade da carne, atividade pancreática, digestibilidade ileal, substâncias reativas ao ácido tiobarbitúrico e concentração de ácidos graxos de cadeia curta do conteúdo cecal de frangos de corte.

2 REVISÃO

2.1 Lipídios

Os lipídios são compostos biológicos que compartilham características, como a baixa solubilidade em água e a solubilidade em solventes não polares. Além de serem fonte de energia prontamente disponíveis, eles reduzem a possibilidade de que as proteínas sejam mobilizadas como combustível energético (Lehninger et al., 2002). Estruturalmente, os lipídios são formados por cadeias de carbono de comprimento variável, com grupo carboxílico em uma das extremidades. Suas funções incluem isolamento térmico e elétrico, síntese de hormônios, formação da membrana plasmática, participação em processos digestivos, além de armazenamento e fornecimento de energia para o metabolismo (Galante et al., 2014).

Os lipídios apresentam características químicas complexas em relação ao grau de insaturação, tamanho da cadeia carbônica e presença de monoglicerídeos, diglicerídeos e ácidos graxos livres, fatores que influenciam tanto a digestão quanto a quantidade de energia fornecida durante o metabolismo dessas moléculas (Doreau; Chilliard, 1997). A maioria dos lipídios consumidos está na forma de triglicerídeos, que são degradados durante a digestão em ácidos graxos e monoglicerídeos, facilitando sua absorção no epitélio intestinal (Berg et al., 2015).

Os triglicerídeos são compostos por três ácidos graxos ligados ao glicerol por meio de ligações éster e constituem cerca de 90% dos ácidos graxos presentes em organismos animais e vegetais (Nelson; Cox, 2014).

As propriedades dos ácidos graxos e dos lipídios dependem do comprimento da cadeia e do seu grau de saturação. Ácidos graxos insaturados possuem pontos de fusão mais baixos em comparação aos saturados de mesma cadeia (Silva et al., 2014). O grau de insaturação refere-se à presença de ligações duplas entre os carbonos da cadeia, sendo que os ácidos graxos sem essas ligações são considerados saturados, enquanto aqueles com uma ou mais ligações duplas são classificados como insaturados. Essas insaturações podem ser monoinsaturadas (uma ligação dupla) ou poli-insaturadas (duas ou mais ligações duplas) (Galante et al., 2014).

A relação entre ácidos graxos insaturados e saturados (I:S) influencia processos como a emulsificação, a digestão e a absorção de gorduras, sendo uma relação considerada ideal a de 3:1, visto que as enzimas digestivas atuam de forma mais eficiente sobre gorduras insaturadas (Ravindran et al., 2016). Gorduras de origem animal, ricas em ácidos graxos saturados, tendem a ser sólidas à temperatura ambiente, enquanto as de origem vegetal, com maior teor de ácidos graxos insaturados, permanecem líquidas (Nelson; Cox, 2014).

2.2 Digestão e absorção de lipídios associada a anatomia e fisiologia das aves

A digestão de lipídios em aves de corte é um processo complexo, que envolve várias etapas, desde a emulsificação até a absorção no duodeno e no jejuno. A emulsificação é iniciada no duodeno, onde os sais biliares e fosfolipídios desempenham um papel fundamental para aumentar a área de superfície das gotículas de gordura, permitindo que a lipase pancreática atue de forma mais eficaz (Baião; Lara, 2005). A lipase, junto com a colipase, decompõe os triglicerídeos em ácidos graxos livres e monoglicerídeos, que são posteriormente incorporados em micelas para absorção pelos enterócitos (Noy; Sklan, 1995).

A produção de bile e de enzimas digestivas em aves jovens é menor em comparação com outras espécies, o que pode limitar a eficiência da digestão de lipídios, particularmente de ácidos graxos de cadeia longa, como os ácidos linoleico, oleico e palmítico (Tancharoenrat et al., 2013). A inclusão de emulsificantes na dieta tem demonstrado potencial para melhorar a digestibilidade dos lipídios e o desempenho de frangos de corte, promovendo a formação de micelas e otimizando a absorção de ácidos graxos (Upadhaya et al., 2017).

Após a eclosão, o sistema digestório das aves passa por diversas mudanças morfológicas, como o aumento da densidade das vilosidades intestinais, e por alterações fisiológicas, incluindo maior produção de enzimas digestivas (Yadav et al., 2010). Durante a primeira semana de vida, a digestibilidade dos nutrientes é menor, mas passa a melhorar conforme a ave se desenvolve (Tancharoenrat et al., 2013).

A digestão começa na cavidade oral: o alimento segue pelo esôfago até o papo, onde é armazenado e amolecido; em seguida, chega ao proventrículo (estômago glandular), onde é embebido em ácido clorídrico e pró-enzimas digestivas, como o pepsinogênio. Posteriormente, o alimento é impulsionado para a moela, uma estrutura de musculatura desenvolvida, responsável pela trituração mecânica através de contrações rítmicas, essas contrações permitem também o refluxo do conteúdo entre o proventrículo e o duodeno, essencial para o retorno dos sais biliares e monoglicerídeos à moela, o que contribui para a emulsificação dos lipídios (Ravindran et al., 2016).

Na porção do duodeno e do jejuno, ocorrem a digestão e a absorção dos nutrientes (Yang et al., 2013). A presença de alimento no duodeno estimula a secreção de colecistoquinina, que contrai a vesícula biliar e libera suco pancreático, além de reduzir a motilidade gástrica (Iqbal et al., 2009; Tan et al., 2016). No intestino, o ambiente de pH elevado favorece a ação da bile, composta principalmente por sais biliares e fosfolipídios, que solubilizam os lipídios e aumentam a superfície de atuação da lipase (Boyer, 2013; Silva et al., 2014).

A lipase age, principalmente, nas posições 1 e 3 do triglicerídeo, gerando 2-monoacilglicerol e ácidos graxos livres (Baião; Lara, 2005). Em conjunto, sais biliares, lipase e colipase garantem a digestão eficiente dos lipídios, resultando na formação de micelas que são absorvidas pelos enterócitos (Cunningham, 2004; Reece, 2008). No interior dos enterócitos, os ácidos graxos de cadeia longa são reesterificados pela enzima acil transferase, formando triglicerídeos. Estes triglicerídeos, em conjunto com outros compostos lipossolúveis e com a apoproteína B48, formam os quilomícrons (Berg et al., 2015). Ácidos graxos de cadeia curta e glicerol são absorvidos diretamente na corrente sanguínea e transportados pelo sistema porta hepático (Ravindran et al., 2016).

Metabolicamente, os lipídios podem ser utilizados via β -oxidação, que gera adenosina trifosfato (ATP) e acetil, ou, ainda, são armazenados como triglicerídeos nos adipócitos para reserva lipídica. O fígado desempenha papel central no metabolismo lipídico das aves, sendo responsável por aproximadamente 95% da oxidação dos ácidos graxos (Lai et al., 2018).

A digestão e a absorção de lipídios em frangos são um processo complexo, e a eficiência deste sistema é fundamental para o aproveitamento energético e o crescimento das aves, sendo importante cada etapa, a fim de maximizar a digestão e a absorção dos nutrientes (Ravindran et al., 2016).

2.3 Fontes lipídicas na dieta de frangos

O melhoramento genético dos frangos de corte levou à necessidade de aumentar os níveis de energia nas dietas. Nitsan et al. (1991) enfatizam que, para que os frangos de corte atinjam seu máximo potencial genético, é essencial a formulação com níveis adequados de energia, e a suplementação com óleos e gorduras são ferramentas valiosas na formulação de rações de elevadas densidades energéticas, em função das exigências nutricionais das aves mais produtivas (Sakomura et al., 2004).

O óleo de soja (OS) e seus derivados são utilizados na alimentação de frangos de corte e, de acordo com o tipo de processamento, pode ser classificado como bruto/cru, degomado ou purificado/refinado, o que influencia suas propriedades nutricionais e sua aplicabilidade na dieta das aves (Baião; Lara, 2005). Bavaresco et al. (2018) ressaltam que a alta capacidade de produção de óleo de soja no Brasil, combinada com seu uso como fonte de energia para suprir as necessidades nutricionais das aves, pode contribuir para a redução dos custos na produção avícola.

Entre os subprodutos do processamento da soja que podem ser incluídos na dieta das aves, destacam-se o óleo de soja degomado, o óleo ácido de soja, o óleo de soja refinado, destilados, a lecitina de soja e o glicerol (Peña et al., 2014).

2.3.1 Óleo de soja

O processo para obtenção do óleo de soja envolve uma sequência de etapas físicas e químicas. Dentre os processos físicos, encontram-se a moagem/prensagem e o tratamento térmico (70 a 105°C). O primeiro auxilia na extração do óleo da semente, enquanto o segundo diminui a ação das enzimas lipolíticas, bem como a afinidade do óleo pela parte sólida do grão. O procedimento químico está na ação do solvente orgânico (hexano) utilizado na extração do óleo residual presente na torta do farelo de soja (subproduto resultado da moagem). A finalização desses procedimentos resulta na obtenção do óleo bruto de soja (Mandarino et al., 2015).

O óleo bruto de soja (extraído dos grãos através de esmagamento mecânico) contém alguns componentes, como metais pesados e resíduos do farelo, sendo necessário um processo de refinamento, com o objetivo de melhorar sua aparência, odor e sabor. Este processo inclui a degomagem, que remove componentes como fosfatídeos, proteínas e lecitinas, sendo a última um subproduto de valor comercial. Após a degomagem, o óleo segue para as etapas de neutralização, clarificação e desodorização, nas quais são utilizados carvão ativado, pressão controlada (2 a 8 mm Hg) e temperatura específica (20 a 25°C). A desodorização é crucial para a remoção dos ácidos graxos livres residuais, que podem causar a rancificação das gorduras (Mandarino et al., 2015). O resultado é um óleo refinado, amplamente valorizado na nutrição de aves devido à sua alta concentração de gordura (99,6%), apresentando coeficiente de digestibilidade aparente (CDA) de 95% e uma energia metabolizável (EM) em torno de 9.200 kcal/kg (Rostagno et al., 2011).

Como co-produto da indústria do óleo de soja, tem-se o óleo ácido de soja (OAS). Entretanto, muitas indústrias consideram a borra um resíduo, podendo ocorrer, então, a mistura com resíduos dos demais grãos processados, como milho, girassol e canola. Desta forma, a composição do OAS é variada e questionada, o que dificulta sua padronização e, conseqüentemente, sua utilização (Gaiotto et al., 2000).

2.3.2 Óleo Ácido de Soja

O óleo ácido de soja (OAS) é um coproduto resultante do refino do óleo de soja (OS). É obtido após o processo de acidificação da borra do OS, possuindo em torno de 70% de ácidos graxos livres (AGL), enquanto o óleo de soja refinado possui apenas 1% (Lipstein; Bornstein, 1968). Por ter custo reduzido, tem sido amplamente utilizado como suplemento energético na formulação de dietas para animais (Cortez-Cuevas et al., 2018).

Questionamentos diversos envolvendo a segurança e a eficácia de sua utilização são comuns, devido à inconsistência na composição de ácidos graxos nos produtos comerciais disponíveis, frequentemente sugerindo adulteração pela adição de outros produtos de baixo valor nutricional (Von Schaumburg et al., 2018). Do ponto de vista nutricional, a principal incerteza em relação ao OAS está relacionada ao seu valor energético. Outro aspecto importante que contribui para a menor qualidade do OAS é a menor proporção de gordura total na forma de triglicerídeos e a maior concentração de AGL, que aumentam com o grau de acidez do OAS (Wiseman et al., 1986).

De acordo com dados apresentados por Wiseman et al. (1986), que estudaram diversos tipos de óleos e seus respectivos óleos ácidos em dietas para frangos, a redução da energia metabolizável (EM) das gorduras é mais acentuada com o aumento da quantidade de AGL. Este resultado ocorre principalmente devido à emulsificação reduzida da gordura que compõe a dieta. Sklan (1979) observou que, em frangos alimentados com dietas ricas em AGL, a síntese de monoglicerídeos é menor, o que compromete a eficiência digestiva. A menor presença de triacilgliceróis e de 2-monoacilglicerídeos pode reduzir a liberação de CCK e, por consequência, a eficácia da emulsificação das gorduras. A colecistoquinina (CCK) é um hormônio gastrointestinal que desempenha um papel importante na digestão de lipídios, sendo liberada em resposta à presença de gorduras no intestino. A CCK promove a contração da vesícula biliar e a liberação de bile, essenciais para a emulsificação de lipídios (Dufresne et al., 2006). Além disso, a presença de AGL pode impactar a motilidade intestinal, alterando o tempo de trânsito da digesta e a eficiência da digestão e a absorção de lipídios (Carey et al., 1983). A redução da motilidade duodenal, observada em dietas com alto teor de gordura, prolonga o tempo de permanência do conteúdo no intestino e favorece a liberação sustentada de CCK, o que pode aumentar a ação da bile e das enzimas pancreáticas sobre as gorduras (Glatzle et al., 2010).

2.3.4 Lecitina de soja

A lecitina de soja (LEC) é extraída do óleo de soja bruto, por meio de um processo de hidratação, realizado em altas temperaturas e seguido por centrifugação. Trata-se de uma mistura complexa, que inclui fosfolipídios, carboidratos, glicolipídios, triglicerídeos, ácidos graxos livres e esteróis em diversas proporções (Solae Company, 2000).

Em geral, tende-se a confundir as lecitinas comerciais com a 'lecitina pura'. As lecitinas comerciais podem apresentar maior conteúdo de energia bruta (EB) e de energia metabolizável aparente corrigida para o balanço de nitrogênio (EMAn), bem como menor conteúdo de fósforo e colina (Shothorst Feed Research, 2011). Basicamente, esses produtos são uma mescla de 60 a 65% de gomas (fosfolipídios) e de 35 a 40% de óleo residual, enquanto a composição da lecitina pura é apenas formada por fosfolipídios (Fedna, 2010).

A porção ativa da lecitina de soja, composta por fosfolipídios, possui uma estrutura anfifílica, com uma parte hidrofílica (ácido fosfórico) e uma parte hidrofóbica (cadeia de ácidos graxos). O comprimento da cadeia de ácidos graxos determina o grau de hidrofobicidade, permitindo que a lecitina atue como emulsificante, de modo a facilitar a mistura de substâncias com diferentes características superficiais, como água e óleo. Os fosfolipídios desempenham funções importantes, como aumentar a emulsificação dos lipídios no intestino delgado, facilitar a ação da lipase pancreática e promover a incorporação dos ácidos graxos não polares nas micelas (Al-Marzooqi; Lesson, 1999).

De acordo com Rostagno et al. (2017), a lecitina de soja apresenta um alto valor de energia metabolizável (EM) para aves, alcançando 6.036 kcal/kg, o que pode ser considerado um benefício adicional ao se incorporar gorduras nas dietas (Cho et al., 2008).

Os lipídios são a principal fonte de energia para os animais, pois, dentre todos os nutrientes, são os que oferecem maior valor calórico (NRC, 1994). A energia que um animal pode obter da gordura na dieta está diretamente relacionada à sua digestibilidade. Animais jovens apresentam uma limitação fisiológica na absorção de gordura, devido à baixa produção natural de lipase e à menor taxa de produção de sais biliares (Tancharoenrat et al., 2014).

Segundo Rovers (2014), uma mistura de ácidos graxos com uma alta concentração de AGL resulta em uma formação insuficiente de monoglicerídeos, diminuindo a capacidade de emulsificação. Como consequência, esses lipídios dietéticos são parcialmente digeridos e menos absorvidos. Contudo, essa limitação pode ser superada com a adição de emulsificantes à dieta. O emulsificante funciona como um catalisador que aumenta a superfície ativa das

gorduras, facilitando a ação da lipase. Esta ação melhora a hidrólise das moléculas de triglicerídeos em ácidos graxos e monoglicerídeos, além de promover a formação de micelas compostas pelos produtos da lipólise.

2.4 Uso de emulsificante na dieta de frangos

Os emulsificantes se enquadram como aditivos tecnológicos e, através do processo de emulsificação das gorduras, visam a melhorar o desempenho e a aumentar os níveis de energia digestível e metabolizável (Siyal et al., 2017).

Uma maneira de avaliar a eficácia dos emulsificantes é determinar o valor do seu balanço hidrofílico-hidrofóbico. De acordo com Verkempinck et al. (2018), os emulsificantes podem ser classificados conforme sua capacidade de emulsificar gorduras, o que está relacionado ao grau de hidrofobicidade. Um valor de balanço hidrofílico-hidrofóbico é estabelecido, de modo que quanto maior for esse valor, mais hidrofílico será o emulsificante e, conseqüentemente, maior será sua capacidade de emulsificação. Por outro lado, um valor menor indica uma maior solubilidade em gordura.

O equilíbrio hidrofílico-hidrofóbico de um emulsificante pode variar de 0 a 20. De acordo com Davis et al. (1994), esses valores indicam a capacidade de solubilidade do emulsificante em óleo ou água, de maneira que valores entre 3 e 6 mostram maior solubilidade em óleo, enquanto valores entre 8 e 18 indicam maior solubilidade em água. No entanto, valores entre 10 e 12, geralmente, proporcionam maior estabilidade às emulsões. Segundo Upadhaya et al. (2017), esses valores foram pouco explorados em dietas para aves, mas os autores recomendam valores próximos a 16. Siyal et al. (2017) argumentam que valores mais altos de equilíbrio hidrofílico-hidrofóbico são relevantes na dieta de aves, pois os frangos ingerem de 1,5 a 2 vezes mais água do que ração, o que resulta em uma maior proporção de água para gordura em seu trato gastrointestinal.

Arshad et al. (2020) classificam os emulsificantes em duas categorias principais: naturais e sintéticos, além de diferenciá-los entre endógenos e exógenos. Os emulsificantes naturais, como a lecitina de soja, são componentes presentes naturalmente nos alimentos, enquanto os sintéticos, como éster de sorbitan, mono e diglicerídeos de ácidos graxos saturados, são oriundos de processos químicos. Ainda, há os emulsificantes endógenos, produzidos pelo próprio organismo animal, como os ácidos biliares e os fosfolipídios, e os exógenos, que são adicionados à dieta do animal.

Neste estudo, foram utilizados três emulsificantes principais: lecitina de soja, éster de sorbitan e mono e diglicerídeos de ácidos graxos saturados. Estes emulsificantes possuem propriedades anfifílicas, o que lhes permite atuar na estabilização de emulsões e na digestibilidade dos lipídios (Dickinson, 2009). Contudo, cada emulsificante tem um mecanismo de ação distinto, o que influencia a nutrição de aves de maneira específica (Upadhaya et al., 2017).

2.4.1 Lecitina de Soja

A lecitina de soja é um emulsificante natural derivado da degomagem do óleo de soja, composta principalmente por fosfolipídios, como fosfatidilcolina, fosfatidiletanolamina e fosfatidilinositol (Araújo, 2008). Sua principal função é estabilizar emulsões e melhorar a absorção de lipídios no intestino. Ela também tem propriedades antioxidantes, ajudando a preservar alimentos e medicamentos (Dickinson, 2009).

Na indústria alimentícia, é utilizada especialmente em chocolates, margarinas e biscoitos, para melhorar a textura e a homogeneidade dos produtos, assim como para aumentar a vida útil de alimentos ricos em gorduras (McClements, 2005). Na indústria farmacêutica, a lecitina é utilizada para estabilizar suspensões e emulsões em medicamentos, além de servir como agente dispersante em suplementos. Na nutrição de aves, a lecitina desempenha papel crucial na emulsificação dos lipídios, facilitando a digestão e a absorção dos ácidos graxos (Huang et al., 2008).

O mecanismo de ação da lecitina envolve a redução da tensão superficial entre as fases de óleo e água, promovendo a formação de micelas. A fosfatidilcolina é hidrolisada pela fosfolipase A2, liberada pelo pâncreas, resultando em lisofosfatidilcolina, que interage diretamente com a lipase pancreática, aumentando a eficiência na quebra de triglicerídeos em ácidos graxos livres e monoglicerídeos (Morgado et al., 1995).

Na nutrição, a inclusão de lecitina de soja na dieta de aves melhora a digestibilidade dos lipídios, a fim de aumentar a eficiência de utilização de energia, refletindo em melhores índices de ganho de peso e conversão alimentar (Araújo, 2008).

2.4.2 Éster de Sorbitan

Os ésteres de sorbitan, derivados da esterificação de sorbitol com ácidos graxos, são amplamente utilizados na estabilização de emulsões, tanto de óleo em água (O/A) quanto de água em óleo (A/O) (Dickinson, 2009). Na indústria alimentícia, estes compostos desempenham papel fundamental na estabilização de produtos como sorvetes, molhos e margarinas (FAO/WHO, 2006). Além disso, na indústria cosmética, os ésteres de sorbitan são usados em cremes e loções, a fim de garantir a dispersão uniforme de ingredientes oleosos, enquanto no setor farmacêutico, facilitam a distribuição de princípios ativos em pomadas e cremes.

Sua principal função é estabilizar emulsões, garantir a uniformidade dos produtos e evitar a separação das fases, prolongando sua vida útil e melhorando a qualidade de diversos produtos, especialmente nos setores de cosméticos e alimentos (Crespo; Esteve-Garcia, 2001).

Na nutrição animal, especificamente para aves, o éster de sorbitan atua na redução do tamanho das gotículas de gordura, promovendo uma melhor ação das lipases (Upadhaya et al., 2017). Ele também reduz a coalescência das gotículas de gordura (Baião; Lara, 2005), o que facilita sua digestão. Esse emulsificante trabalha em sinergia com os sais biliares, promovendo a formação de micelas que transportam os ácidos graxos e monoglicerídeos para as células intestinais, aumentando, assim, a absorção desses nutrientes (Crespo; Esteve-Garcia, 2001).

Com essa ação, o éster de sorbitan melhora a digestibilidade dos lipídios, o que resulta em maior disponibilidade de energia para as aves. Isso se reflete em melhor desempenho zootécnico, com maior ganho de peso e eficiência na conversão alimentar (Upadhaya et al., 2017).

2.4.3 Mono e diglicerídeo de ácidos graxos saturados

Os monos e diglicerídeos de ácidos graxos saturados são obtidos a partir da reação entre ácidos graxos e glicerol. Eles são amplamente utilizados como emulsificantes, devido à sua capacidade de reduzir a tensão superficial entre líquidos imiscíveis, como água e óleo, formando emulsões estáveis (Dickinson, 2009). Na indústria alimentícia, esses compostos são comuns em produtos como pães, bolos e sorvetes, nos quais ajudam a manter a textura e prolongar a vida útil, garantindo que os ingredientes gordurosos fiquem bem distribuídos (Baião; Lara, 2005).

Segundo Dickinson (2009), na indústria cosmética, os monos e diglicerídeos são usados com o intuito de estabilizar emulsões em cremes e loções, proporcionando uma sensação suave e cremosa ao toque. No setor farmacêutico, também desempenham um papel importante, pois contribuem com a distribuição de ingredientes ativos em pomadas e outros produtos tópicos.

Na nutrição animal, especialmente para frangos de corte, os monos e diglicerídeos de ácidos graxos saturados atuam diretamente na digestão e na absorção de gorduras. Eles reduzem o tamanho das gotículas de gordura no trato digestivo, aumentando a superfície de contato das lipases, as enzimas que digerem os lipídios. Isso acelera a quebra de triglicerídeos em ácidos graxos livres e glicerol, que são, então, absorvidos no intestino (Baião; Lara, 2005).

Além disso, esses emulsificantes trabalham em sinergia com os sais biliares, formando micelas que facilitam o transporte dos ácidos graxos até as células intestinais. Este processo otimiza a digestibilidade dos lipídios, resultando em maior absorção de energia e de nutrientes, como vitaminas lipossolúveis (Upadhaya et al., 2017).

Os três emulsificantes — lecitina de soja, éster de sorbitan e mono e diglicerídeos de ácidos graxos saturados — atuam de forma distinta no processo de digestão e absorção de lipídios em aves. Enquanto a lecitina de soja foca na formação de micelas em sinergia com sais biliares (Araújo, 2008), os ésteres de sorbitan e os mono e diglicerídeos de ácidos graxos saturados facilitam a digestão de lipídios, reduzindo o tamanho das gotículas de gordura e estabilizando emulsões (Upadhaya et al., 2017).

3 MATERIAL E MÉTODOS

Este trabalho foi conduzido no Centro de Pesquisa em Avicultura da Universidade Estadual do Oeste do Paraná – Unioeste, *Campus* de Marechal Cândido Rondon/PR.

O estudo foi previamente aprovado pelo Comitê de Ética no Uso de Animais de Produção, sob o protocolo P07/2024. Todos os procedimentos de abate e sacrifício das aves seguiram as normas estabelecidas pela Resolução CFMV nº 1000/2012 (CFMV, 2012) e pela Instrução Normativa nº 3, de 17 de janeiro de 2000, da DSA/MAPA (Brasil, 2000), que regulamentam os métodos de insensibilização para o abate humanitário.

O manejo das aves foi conduzido em conformidade com a Resolução Normativa nº 27, de 23 de outubro de 2015, do Conselho Nacional de Controle de Experimentação Animal (CONCEA). Para a eutanásia, os animais foram insensibilizados por eletronarcose e, em seguida, submetidos à exsanguinação, conforme as diretrizes estabelecidas pela Resolução Normativa nº 37, de 15 de fevereiro de 2018, do CONCEA, que regulamenta os métodos aceitos para a prática de eutanásia em experimentação animal.

3.1 Instalações

O aviário experimental possui estrutura em alvenaria, piso em concreto, com telhas em aluzinco e forro com lã de vidro. O local contém boxes com 1,96 m², piso revestido com maravalha (primeiro uso), com comedouros tubulares e bebedouros tipo *nipple*.

3.2 Animais e delineamento experimental

Ao todo, foram alojados 1080 pintos de corte machos, com idade de um dia, da linhagem Ross 308 AP, com peso vivo médio inicial de $44,67 \pm 0,47$ gramas.

As aves foram distribuídas em um delineamento inteiramente casualizado, seguindo um esquema fatorial 3x2 (emulsificante a base de éster de sorbitan; emulsificante a base de lecitina de soja; sem inclusão de emulsificante x dois tipos de óleo - óleo de soja degomado e óleo de soja ácido), totalizando 6 tratamentos, com 10 repetições e 18 aves por unidade experimental.

3.3 Descrição dos Tratamentos e manejo dos animais

Os tratamentos utilizados consistiram em:

T1 – Ração com óleo de soja degomado, sem adição de emulsificante;

T2 – Ração com óleo de soja degomado + 1000 g ton⁻¹ do emulsificante a base de éster de sorbitan;

T3 – Ração com óleo de soja degomado + 1000 g ton⁻¹ do emulsificante a base de lecitina de soja;

T4 – Ração com óleo de soja ácido, sem adição de emulsificante;

T5 – Ração com óleo de soja ácido + 1000 g ton⁻¹ do emulsificante a base de éster de sorbitan;

T6 – Ração com óleo de soja ácido + 1000 g ton⁻¹ do emulsificante a base de lecitina de soja;

O óleo de soja degomado e o óleo ácido de soja foram analisados para o perfil de ácidos graxos (AOAC, 2005; método 996.06); acidez em ácido oleico (Analíticos, 2013); índice de peróxidos (Analíticos, 2013), índice de iodo (Helrich, 1990), índice de saponificação (Helrich, 1990), impurezas e extrato etéreo (Helrich, 1990) (Tabela 1).

Tabela 1. Perfil de ácidos graxos e qualidade nutricional do óleo ácido de soja e óleo de soja degomado

Análise	Óleo ácido soja	Óleo soja degomado
Extrato etéreo (%)	96,07	97,38
Acidez em ácido oleico (%)	68,91	2,02
Índice de Peróxido (meq kg ⁻¹)	0,83	1,34
Índice de Iodo (g 100g ⁻¹)	105,97	125,40
Índice de Saponificação (mg KOH g ⁻¹)	190,79	185,66
Impurezas (%)	0,09	0,09
Perfil de ácidos graxos (%)		
Gordura Monoinsaturada	33,26	24,70
Gordura Poli-insaturada	68,04	54,27
Gorduras Insaturadas	68,04	78,98
Gorduras Saturadas	28,03	18,41
Gorduras Trans	0,08	0,05
Ômega 3	2,30	5,56
Ômega 6	32,37	48,63
Ômega 9	31,89	24,63

FONTE: A autora (2024).

As aves tiveram acesso à água e ração *ad libitum* durante todo o experimento. Nos primeiros três dias de vida, as aves foram expostas a 24 horas de luz, reduzindo-se para 23 horas

entre o 4º e o 7º dia de idade. A partir do 8º dia até o final do experimento, o fotoperíodo foi ajustado para 18 horas de luz. A temperatura inicial, de 33°C na fase pré-inicial, foi gradualmente reduzida até atingir 20°C. A temperatura e a umidade foram controladas segundo as recomendações para cada fase, com auxílio de forno aquecido com pellets, exaustores e placas evaporativas, controlados pelo painel Smail 4.

As dietas experimentais (Tabela 2), isonutritivas e isocalóricas, foram formuladas à base de milho e farelo de soja, e as exigências nutricionais utilizadas seguiram as recomendações de Aviagen (2022).

Tabela 2. Composição percentual e calculada das rações experimentais

Ingredientes	Pré-Inicial		Inicial		Crescimento		Terminação	
Milho (7,88%)	516,75	523,70	546,34	553,66	592,60	601,73	634,93	644,07
Farelo de soja (46%)	402,35	401,05	375,53	374,16	326,40	324,69	285,02	283,31
Óleo soja degomado		26,05		27,41		34,20		34,26
Óleo ácido de soja	31,72		33,39		41,66		41,73	
Fosfato bicálcico	20,10	20,09	18,12	18,11	16,32	16,31	15,52	15,51
Calcário Calcítico	8,50	8,51	7,89	7,90	7,36	7,38	7,16	7,18
Sal comum	3,52	3,52	3,53	3,53	2,70	2,69	2,71	2,71
Bicarbonato sódio	1,00	1,00	1,00	1,00	1,50	1,50	1,50	1,50
Sulfato de Lisina (60,0%)	4,78	4,81	4,70	4,73	4,08	4,12	4,18	4,22
DL-Metionina (99%)	3,96	3,95	3,80	3,79	3,19	3,18	2,85	2,83
L-Treonina (99%)	1,59	1,59	1,36	1,36	0,90	0,90	0,76	0,76
L-Valina (98%)	0,83	0,83	0,74	0,74			0,45	0,45
Cloreto colina (60%)	0,50	0,50	0,50	0,50	0,40	0,40	0,40	0,40
Adsorvente	1,00	1,00						
Premix vitamínico ¹	1,30	1,30	1,00	1,00	0,80	0,80	0,70	0,70
Premix mineral ²	0,50	0,50	0,50	0,50	0,50	0,50	0,50	0,50
Coccidiostático ³	0,50	0,50	0,50	0,50	0,50	0,50	0,50	0,50
Avilamicina ⁴	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10
Inerte (caulim) ⁵	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00
EMA (kcal kg ⁻¹)	2.950	2.950	3.000	3.000	3.100	3.100	3.150	3.150
Proteína bruta (g kg ⁻¹)	230,00	230,00	220,00	220,00	200,00	200,00	185,00	185,00
Lisina dig. (g kg ⁻¹)	12,800	12,800	12,200	12,200	10,80	10,80	10,00	10,00
Met+Cist. Dig. (g kg ⁻¹)	9,600	9,600	9,270	9,270	8,320	8,320	7,700	7,700
Treonina dig. (g kg ⁻¹)	8,700	8,700	8,170	8,170	7,130	7,130	6,500	6,500
Valina dig. (g kg ⁻¹)	9,730	9,730	9,270	9,270	7,851	7,851	7,700	7,700
Triptofano dig. (g kg ⁻¹)	2,442	2,440	2,318	2,315	2,085	2,082	1,892	1,888
Arginina dig. (g kg ⁻¹)	13,224	13,210	12,560	12,546	11,317	11,299	10,282	10,264
Isoleucina dig. (g kg ⁻¹)	8,373	8,368	7,975	7,969	7,226	7,219	6,604	6,596

Cálcio (g kg ⁻¹)	9,600	9,600	8,800	8,800	8,000	8,000	7,600	7,600
Fósforo disp. (g kg ⁻¹)	4,800	4,800	4,400	4,400	4,000	4,000	3,800	3,800
Sódio (g kg ⁻¹)	1,800	1,800	1,800	1,800	1,800	1,800	1,800	1,800
Potássio (g kg ⁻¹)	9,017	9,015	8,620	8,619	7,869	7,867	7,248	7,246
Cloro (g kg ⁻¹)	2,765	2,770	2,782	2,787	2,304	2,310	2,327	2,334

¹Suplemento vitamínico, composição por kg de produto: Vitamina A (min) 11000000U.I.; Vitamina D₃ (min) 4000000U.I.; Vitamina E (min) 55000U.I.; Vitamina K₃ (min) 3000mg; Vitamina B₁ (min) 2300mg; Vitamina B₂ (min) 7000mg; Ácido pantotênico (min) 12g; Vitamina B₆ (min) 4000mg; Vitamina B₁₂ (min) 25000mcg; Ácido nicotínico (min) 60g; Ácido fólico (min) 2000mg; Biotina (min) 250mg; Selênio (min) 300 mg; ²Suplemento mineral, composição por kg de produto: Ferro (min) 100g; Cobre (min) 20g; Manganês (min) 130g; Zinco (min) 130g; Iodo (min) 2000mg. ³MN Grow (nicarbazina 8% e maduramicina 0,75%) de 1 a 21 dias de idade e Madimpex (maduramicina amônio 1%) de 22 a 42 dias de idade. ⁴Surmax 100 (avilamicina). ⁵Inerte. O inerte utilizado foi a base de caulim, sendo a inclusão dos emulsificantes (1 kg ton⁻¹) em função da substituição de peso por peso pelo inerte.

FONTE: A autora (2024).

3.4 Coleta de amostras e análises realizadas

3.4.1 Desempenho

Para avaliar seu desempenho, as aves e a ração de cada unidade experimental foram pesadas no início do experimento, bem como aos 21 e aos 42 dias de idade, a fim de determinar o ganho de peso, o consumo médio de ração e a conversão alimentar. A correção da mortalidade foi feita com base no consumo de ração no dia da morte de cada ave, considerando, individualmente, cada unidade experimental, seguindo a recomendação de Sakomura e Rostagno (2016).

3.4.2 Rendimento de carcaça e cortes

Para a avaliação do rendimento de carcaça e cortes, aos 42 dias de idade, duas aves por unidade experimental, escolhidas aleatoriamente, foram pesadas, marcadas e abatidas por eletronarcose, o que foi seguido pelos processos de sangria, escaldagem, depena e evisceração. A escaldagem foi realizada em caldeira de inox, com imersão em água a 60°C, e a depenagem ocorreu em depenadeira elétrica equipada com dedos de borracha flexíveis. Após a evisceração, o fígado e a gordura abdominal (tecido adiposo ao redor da cloaca, da moela, do proventrículo e dos músculos abdominais adjacentes) foram separados e pesados, para calcular o peso relativo em relação ao peso vivo da ave. As carcaças evisceradas foram pesadas para determinar o rendimento de carcaça quente. Em seguida, as carcaças foram submetidas ao resfriamento em tanque de imersão de água gelada por 60 minutos. Após o resfriamento, as carcaças foram mantidas por 10 minutos em gotejamento, para retirada do excesso de água. As carcaças resfriadas foram, então, pesadas, com o objetivo de calcular o rendimento de carcaça fria. Na etapa final, as carcaças foram parcialmente desossadas, e os cortes (perna, asa, filé de peito sem osso e pele e sassami) foram pesados individualmente. O rendimento de carcaça foi calculado pela relação entre o peso da carcaça e o peso vivo da ave, enquanto o rendimento de cortes foi calculado com base na proporção entre o peso dos cortes e o peso da carcaça eviscerada.

3.4.3 Análise de parâmetros bioquímicos do sangue

Para a análise dos parâmetros bioquímicos do sangue, foram colhidas amostras sanguíneas de uma ave por unidade experimental, aos 21 e aos 42 dias de idade. O sangue foi colhido por punção braquial na veia ulnar, com as aves posicionadas em decúbito lateral, utilizando tubos a vácuo de 4 mL, sem anticoagulante. Após a coleta, as amostras permaneceram em repouso por 15 min para coagulação e, em seguida, foram centrifugadas a 2500 rpm (1050g) por 10 min à temperatura ambiente. Após a centrifugação, o soro foi separado, identificado e acondicionado em microtubos de 2 mL, sendo armazenado em freezer a -20°C até o momento das análises bioquímicas.

Os parâmetros avaliados incluíram colesterol total, colesterol HDL, bilirrubina direta, bilirrubina total, triglicerídeos, glicose e atividade das enzimas alanina aminotransferase (ALT), aspartato aminotransferase (AST), lactato desidrogenase (LDH), lipase e creatina fosfoquinase (CPK). O equipamento utilizado para as análises bioquímicas foi o analisador bioquímico automático flexor EL200 (Elitech group, Netherlands), que realiza leituras por espectrofotometria. As análises foram realizadas utilizando reagentes, calibradores (Elical II) e padrões de aferição (Elitrol I) da marca Elitech®

3.4.4 Avaliação histológica do jejuno

A análise da morfometria intestinal foi avaliada mensurando a altura das vilosidades, a profundidade das criptas, a relação altura de vilosidade:profundidade de cripta e a área de absorção da superfície. Para tanto, aos 21 e aos 42 dias, uma ave por unidade experimental foi abatida por deslocamento cervical, e o intestino delgado foi exposto para coleta de fragmentos do jejuno, retirados da porção anterior ao divertículo de Meckel (aproximadamente 2 a 5 cm).

Os fragmentos de jejuno foram fixados em formalina tamponada a 10% por 24 horas. Em seguida, as amostras foram processadas em um equipamento histotécnico, passando por etapas de desidratação em concentrações crescentes de álcool, clareamento em xilol e inclusão em parafina. Após a microtomia semisseriada, com cortes de 1,5 micrômetros de espessura, os cortes de cada fragmento foram montados em lâminas de vidro e corados pela técnica de hematoxilina-eosina, conforme descrito por Luna (1968).

As mensurações foram realizadas utilizando o sistema de imagens Toup View 3.7, acoplado à câmera Opticam e ao microscópio Olympus (modelo CX31RTSF). Para cada

lâmina, foram mensurados o comprimento e a largura de 10 vilos, bem como a profundidade e a largura de 10 criptas. Estas medidas morfométricas foram utilizadas para o cálculo da área da superfície de absorção da mucosa intestinal, por meio da fórmula proposta por Kisielinski et al. (2002). Além disso, foi calculada a relação altura de vilos:profundidade de cripta, dividindo-se o valor da altura do vilos pelo valor da profundidade da cripta.

3.4.5 Qualidade de carne

Para a análise da qualidade de carne, o peito inteiro de uma ave abatida por unidade experimental foi coletado para mensuração de pH, colorimetria, capacidade de retenção de água (CRA), perda de peso por cocção (PPC) e força de cisalhamento (FC).

O pH e a coloração da carne foram determinados 15min e 24h *post mortem*. A medição de pH foi realizada diretamente no filé do peito direito (*Pectoralis major*), utilizando peagâmetro portátil HI 99163 (Hanna Instruments), conforme descrito por Olivo et al. (2001). A coloração foi avaliada em duas regiões distintas da parte interna do músculo do peito, utilizando o colorímetro portátil CR-400 (Konica Minolta Sensing, São Paulo, Brasil). Os parâmetros de L* (luminosidade – variando de escuro a claro), a* (intensidade do vermelho/verde) e b* (intensidade do amarelo/azul) foram expressos segundo o sistema de cor CIELab, conforme estabelecido por Honikel (1998).

A CRA foi determinada de acordo com o método de centrifugação descrito por Nakamura e Katok (1985). Amostras de, aproximadamente, 1g do músculo do peito *in natura* foram coletadas após o resfriamento em água e gelo por 60 min. As amostras foram envoltas em papel filtro qualitativo, centrifugadas (Centrífuga Kasvi K14-4000, Kasvi, São Paulo, BR) a 2000 rpm durante 4 min, pesadas, secas em estufa a 70°C por 12 h e, em seguida, pesadas novamente. O valor da CRA foi calculado pela diferença entre o peso final pós-centrifugação em relação ao peso inicial da amostra.

Para a determinação da PPC, os filés de peito *in natura* foram pesados, envoltos em papel alumínio e cozidos em chapa aquecedora de modelo comercial com aquecimento até 180°C, monitorando-se a temperatura interna de cada amostra. Quando a temperatura interna atingiu 80°C, as amostras foram retiradas da chapa e deixadas em repouso até atingirem a temperatura ambiente. Em seguida, as amostras foram novamente pesadas e o PPC foi determinado pela diferença entre os pesos inicial e final (Honikel, 1998).

Após a análise do PPC, as amostras foram utilizadas para a determinação da FC. As amostras foram cortadas em três paralelepípedos (1 x 1 x 4cm), com as fibras dispostas perpendicularmente à lâmina do aparelho. A FC foi medida em quilograma-força (kgf cm^{-2}) utilizando o equipamento Brookfield CT3 Texture Analyzer, acoplado com a probe TA 3/100, fixture TA – SBA, calibrado com força de 0,01kg, deformação 20mm e velocidade de teste de $2,5\text{mm.s}^{-1}$.

3.4.6 Substâncias reativas ao ácido tiobarbitúrico (TBARS)

Para a análise de substâncias reativas ao ácido tiobarbitúrico (TBARS), as amostras utilizadas foram obtidas da carne do peito esquerdo, 24h após o abate e após 30 dias de armazenamento a -20°C . As análises seguiram a metodologia adaptada de Vyncke (1975) e Sorensen e Jorgensen (1996).

Os aldeídos presentes na amostra de carne foram removidos através da homogeneização de 2,5g da amostra com 10mL de uma solução composta por ácido tricloroacético a 7,5% e BHT (butil-hidroxitolueno) a 0,2%. O ácido tricloroacético foi utilizado para precipitar os compostos indesejados, enquanto o BHT atuou como antioxidante, prevenindo a oxidação dos aldeídos durante o processo de remoção. O sobrenadante resultante foi filtrado em papel filtro qualitativo.

Alíquotas de 3mL dessa solução foram misturadas com 3mL de solução de ácido tiobarbitúrico (TBA) e mantidas em banho-maria a 80°C por 40 min. Após o resfriamento, as amostras foram submetidas à leitura em espectrofotômetro, com absorvância e comprimento de onda de 538nm. Uma curva padrão de 1,1,3,3-tetraetoxipropano (TEP) foi utilizada para a quantificação, e os resultados foram expressos em miligramas de malonaldeído (MDA) por quilograma de carne.

3.4.7 Atividade Pancreática

Para a avaliação da atividade pancreática, aos 21 e aos 42 dias, uma ave por unidade experimental foi abatida para coleta do pâncreas, que foi, imediatamente, congelado a -20°C para posterior análise da atividade de lipase, tripsina e quimotripsina. O pâncreas foi homogeneizado em solução tampão de tris-HCl (tris HCl 50mM e CaCl_2 50mM), pH 8,0, na

proporção 1:20g/ml (peso/volume) (Pinheiro et al., 2004), utilizando o homogeneizador Ultra Turraz IKA.

A atividade da lipase foi determinada pelo uso do tributirato de 2,3-dimercaptopropanol (BALB) como substrato e do ácido ditio-bis-2-nitrobenzóico (DTNB) como cromóforo, pelo método BALB-DTNP (Gold Analisa, Belo Horizonte, Minas Gerais, Brasil).

A atividade da tripsina foi determinada de acordo com a metodologia descrita por Kakade et al. (1974), utilizando o substrato cromogênico Cloridrato de Na-Benzoil-L-arginina 4-nitroanilida (BAPNA, Sigma-Aldrich) em tampão tris-HCl com pH 8,2 (50 mM tris-HCl e 50 mM CaCl₂). O procedimento envolveu a diluição de 40 µL de amostra em 360 µL de solução tampão tris-HCl com pH 8,2 (50 mM tris-HCl e 50 mM CaCl₂). Em seguida, 40 µL dessa solução diluída, foi pipetada em microplacas, com adição de 40 µL de enteroquinase. A reação foi iniciada com a adição de 100 µL de BAPNA e interrompida com a adição de 20 µL de ácido acético a 30%.

A determinação da quimotripsina foi realizada conforme a metodologia descrita por Erlanger et al. (1966), utilizando o substrato N-glutaril-L-fenilalanina-p-nitroanilida (GAPNA, Sigma-Aldrich) em tampão tris-HCl pH 7,6 (50 mM). Uma alíquota de 200 µL da amostra foi diluída em tampão tris-HCl pH 7,6 (50mM tris HCl e 50mM CaCl₂). 50 µL dessa solução diluída foram pipetados em microplacas, com adição de 50 µL de enteroquinase. A reação foi iniciada com a adição de 30 µL de GAPNA e interrompida com a adição de 20 µL de ácido acético a 30%.

Os resultados referentes à atividade das enzimas pancreáticas foram expressos em mg de proteína do tecido, determinada de acordo com Bradford (1976). Todas as leituras das análises enzimáticas foram realizadas em equipamento FlexStation 3 Molecular Devices.

3.4.8 Digestibilidade ileal

Para a determinação da digestibilidade dos nutrientes foi utilizado o método da digestibilidade ileal, aos 21 e aos 42 dias de idade das aves. Uma fonte de sílica, Celite[®], foi adicionada a todas as dietas experimentais, à proporção de 1%, como indicador indigestível. As aves foram submetidas a sete dias de adaptação com o indicador. Após o período de adaptação às dietas, duas aves por unidade experimental foram abatidas por deslocamento cervical. O conteúdo do íleo foi coletado, iniciando logo após o divertículo de Meckel e terminando a 4cm da junção íleo-cecal.

As digestas foram homogeneizadas e encaminhadas para secagem em estufa de circulação de ar a 55°C por 72 horas. Após a secagem, as amostras foram moídas e, juntamente com as amostras das rações experimentais, encaminhadas para análise dos teores de matéria seca (MS), energia bruta (EB), extrato etéreo (EE), matéria mineral (MM), proteína bruta (PB) e cinza ácida insolúvel (CAI).

As análises foram realizadas de acordo com a metodologia AOAC (2005). A proteína bruta foi analisada pelo método Kjeldahl (método 984.13), o extrato etéreo analisado pelo método Soxhlet (método 920.39), a matéria mineral (método 942.05) analisada pela queima total em mufla e a matéria seca por meio da secagem definitiva (método 934.01) Para a determinação da energia bruta, as amostras foram peletizadas e submetidas à combustão em bomba calorimétrica.

Com os resultados laboratoriais, foram determinados os coeficientes de digestibilidade (CD) da matéria seca, da proteína bruta, do extrato etéreo e dos valores de energia digestível (ED) (Sakomura; Rostagno, 2016).

3.4.9 Ácidos graxos de cadeia curta

A análise dos ácidos graxos de cadeia curta foi realizada conforme o método descrito por Del Valle et al. (2018). Aos 21 e aos 42 dias de idade, uma ave por unidade experimental foi abatida para coleta do conteúdo cecal, que foi utilizado para determinar as concentrações dos ácidos graxos de cadeia curta.

As concentrações dos ácidos acético, propanoico e butírico nas amostras foram determinadas por cromatografia gasosa, utilizando cromatógrafo Shimadzu[®] GC-2010 Plus, equipado com injetor automático AOC-20i, coluna capilar Stabilwax-DA[™] (30m, 0,25mm DI, 0,25µm df, Restek[®]) e detector de ionização de chama (FID), após acidificação com ácido o-fosfórico 1 M P.A. (Ref. 100573, Merck[®]) e fortificação com uma mistura de ácidos voláteis livres (Ref. 46975, Supelco[®]).

Uma alíquota de 1µL de cada amostra foi injetada com *split ratio*, na proporção de divisão de 40:1, utilizando gás hélio como carreador, à velocidade linear de 42 cm s⁻¹, obtendo a separação dos analitos em uma corrida cromatográfica de 11,5 minutos. As temperaturas do injetor e do detector foram, respectivamente, 250°C e 300°C, e a temperatura inicial da coluna foi de 40°C.

O gradiente de temperatura da coluna iniciou com aumento de 40 a 120°C, a uma taxa de 40°C min⁻¹, seguido por um aumento de 120 a 180°C, a uma taxa de 10°C min⁻¹, e de 180 a 240°C, a uma taxa de 120°C min⁻¹, sendo mantido a 240°C por mais três minutos ao final.

Para a quantificação dos analitos, uma calibração do método foi realizada com diluições do padrão WSFA-2 (Ref. 47056, Supelco[®]) e ácido acético glacial (Ref. 33209, Sigma-Aldrich[®]), analisados nas condições descritas. A determinação e a integração dos picos foram realizadas utilizando o software GCsolution v. 2.42.00 (Shimadzu[®]). Os resultados foram expressos em mmol kg⁻¹.

3.4.10 Análises estatísticas

Os dados foram submetidos a testes de normalidade e homogeneidade. Havendo distribuição normal, foi realizada análise de variância, avaliando-se os parâmetros de forma isolada e suas interações. Para o tipo de óleo, as médias foram comparadas pelo teste F, enquanto para os tipos de emulsificantes foi utilizado o teste de Tukey. Nos casos em que não ocorreu a distribuição normal, os dados foram submetidos a análises não paramétricas, como o teste de qui-quadrado e Kruskal-Wallis. Todos os procedimentos estatísticos foram realizados utilizando o programa SAS (versão *OnDemand*), sendo considerado como erro alfa o valor de 5%.

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1 Desempenho

Os frangos de corte alimentados com óleo de soja apresentaram um desempenho superior em comparação aos que receberam óleo ácido de soja. O melhor desempenho foi evidenciado por um maior ganho de peso e pela conversão alimentar mais eficiente, destacando a eficácia do óleo de soja como fonte lipídica. Embora o uso de emulsificantes, como o éster de sorbitan e a lecitina de soja, não tenha apresentado impacto significativo aos 21 dias, a lecitina de soja demonstrou um efeito positivo no ganho de peso aos 42 dias quando comparado ao grupo que não recebeu emulsificante (Tabela 3).

Tabela 3. Desempenho de frangos de corte alimentados com diferentes fontes de óleo e emulsificantes

Fonte lipídica	1 a 21 dias de idade			1 a 42 dias de idade		
	CMR (g)	GP (g)	CA (g g ⁻¹)	CMR (g)	GP (g)	CA (g g ⁻¹)
Óleo de soja degomado	1361	1014 ^A	1,338 ^B	5289	3506 ^A	1,509 ^B
Óleo ácido de soja	1352	985 ^B	1,373 ^A	5299	3466 ^B	1,533 ^A
Emulsificante						
Sem	1351	993	1,354	5276	3449 ^b	1,530
Éster de sorbitan	1355	1001	1,348	5294	3500 ^{ab}	1,518
Lecitina de soja	1363	1003	1,365	5313	3508 ^a	1,515
EPM	32,89	28,05	0,04	108,69	75,38	0,03
CV (%)	2,42	2,81	2,67	2,05	2,16	1,67
Óleo	0,2947	0,0003	0,0005	0,7205	0,0449	0,0007
Emulsificante	0,4863	0,4796	0,3492	0,5650	0,0328	0,1541
Óleo x Emulsificante	0,1267	0,1522	0,3165	0,5428	0,9985	0,5734

CMR = consumo médio de ração; GP = ganho de peso; CA = conversão alimentar; EPM = erro padrão da média; CV = coeficiente de variação; ^{a,b} = médias seguidas de letras minúsculas distintas diferem entre si pelo teste Tukey; ^{A,B} = médias seguidas de letras maiúsculas distintas diferem entre si pelo teste F a 5%.

FONTE: A autora (2024).

Ao serem avaliados os parâmetros de corte e rendimentos (Tabela 4), verifica-se que nenhum destes apresentou efeito significativo ($P < 0,05$) em comparação às fontes de óleo ou à presença de diferentes emulsificantes, individualmente ou em interação. Os valores de P para todas as variáveis verificadas (rendimento de carcaça, pernas, filé de peito, sassami, asas, peso relativo da gordura abdominal e fígado) foram superiores a 0,05, o que indica que as fontes de óleo e os emulsificantes não influenciaram significativamente as características da carcaça.

Tabela 4. Rendimento de carcaça, cortes e peso relativo da gordura abdominal e fígado de frangos alimentados com diferentes emulsificantes e fontes de óleo

Fonte lipídica	RC (%)	RP (%)	RF (%)	RS (%)	RA (%)	PRGA (%)	PRF (%)
Óleo de soja degomado	71,14	30,60	29,65	5,34	8,84	1,10	1,91
Óleo Ácido de soja	71,34	30,28	30,01	5,46	8,56	1,13	1,91
Emulsificante							
Sem	71,52	30,63	29,86	5,46	8,95	1,10	1,87
Éster de sorbitan	71,27	30,33	29,77	5,45	8,51	1,08	1,88
Lecitina de soja	70,92	30,35	29,86	5,31	8,65	1,17	1,98
EPM	1,68	1,28	1,21	0,52	0,84	0,35	0,22
CV (%)	2,36	4,21	4,06	9,55	9,66	31,17	11,39
Óleo	0,5095	0,1953	0,1043	0,2116	0,0677	0,6950	0,9540
Emulsificante	0,2791	0,5237	0,9349	0,3474	0,0654	0,5323	0,2247
Óleo x Emulsificante	0,9293	0,6000	0,2419	0,1193	0,6926	0,6907	0,8158

RC = rendimento de carcaça; RP = rendimento de pernas; RF = rendimento de filé de peito; RS = rendimento de sassami; RA = rendimento de asas; PRGA = peso relativo da gordura abdominal; PRF = peso relativo do fígado; EPM = erro padrão da média; CV = coeficiente de variação.

FONTE: A autora (2024).

Os resultados indicam que, aos 21 e aos 42 dias, o uso de óleo de soja proporcionou um desempenho superior ao óleo ácido de soja. Este resultado pode ser explicado pela composição dos ácidos graxos presentes no óleo de soja, o qual conta com maior proporção de ácidos graxos poli-insaturados, que são mais facilmente metabolizados, promovendo uma melhor utilização da energia. Crespo e Esteve-Garcia (2001) destacam que dietas ricas em ácidos graxos poli-insaturados, como as que utilizam óleo de soja, melhoram a digestibilidade lipídica e, conseqüentemente, a eficiência energética, promovendo um maior ganho de peso. Da mesma forma, Zhang et al. (2011) observaram que a inclusão de óleo de soja resultou em maior ganho de peso em frangos, devido à melhor absorção e metabolização dos ácidos graxos poli-insaturados, em comparação aos ácidos graxos saturados presentes em maior quantidade no óleo ácido. Em adição, o óleo ácido contém maior concentração de ácidos graxos livres, o que pode prejudicar a digestão lipídica e, conseqüentemente, o desempenho das aves. Baião e Lara (2005) destacam que a digestão e a absorção de ácidos graxos livres podem exigir maior atividade enzimática no trato gastrointestinal, o que pode influenciar o aproveitamento nutricional e, conseqüentemente, impactar o ganho de peso e a eficiência alimentar.

Sanz et al. (2000) relataram que a inclusão de óleo de soja melhora a eficiência alimentar, reduzindo o gasto energético para metabolizar os lipídios. Baião e Lara (2005), por sua vez, confirmaram que frangos alimentados com óleos com menores concentrações de ácidos graxos livres apresentam uma conversão alimentar melhor.

A adição de emulsificantes, especialmente do emulsificante à base de lecitina de soja, teve impacto no ganho de peso aos 42 dias. A lecitina tem propriedade de facilitar a formação de micelas, aumentando a superfície de contato dos lipídios com as lipases, otimizando a digestibilidade e a absorção de ácidos graxos. Upadhaya et al. (2017) confirmaram que emulsificantes aumentam a absorção de ácidos graxos de cadeias longas, o que contribui para a melhoria do ganho de peso. Estes mesmos autores enfatizam que os emulsificantes à base de lecitina promovem emulsificação mais eficiente dos lipídios, aumentando a digestão e a biodisponibilidade dos nutrientes no intestino delgado.

Ravindran et al. (2016) apontam que emulsificantes, como o éster de sorbitan, auxiliam na formação de micelas, o que otimiza a digestão de lipídios e pode melhorar o desempenho das aves em dietas com óleos de menor qualidade. Tal capacidade de facilitar a emulsificação é particularmente importante para favorecer a absorção de nutrientes em condições desafiadoras.

Upadhaya et al. (2017) constataram que os emulsificantes podem melhorar a digestão dos nutrientes e favorecer a saúde intestinal, diminuindo o estresse metabólico e aumentando a taxa de sobrevivência das aves. A lecitina de soja, ao promover uma digestão mais eficiente dos lipídios, contribui para uma melhor performance produtiva, como também foi observado por González-Alvarado et al. (2007).

O rendimento de carcaça e dos cortes não foi significativamente afetado pelas fontes de óleo, como relatado por Crespo e Esteve-Garcia (2001), que afirmaram que o tipo de óleo influencia mais na eficiência alimentar do que no rendimento de carcaça. No entanto, os autores sugerem que o tipo de óleo pode influenciar a composição corporal e a deposição de gordura, o que pode ter efeitos indiretos sobre o rendimento de carne magra.

4.2 Análise de parâmetros bioquímicos do sangue

A fonte lipídica e o tipo de emulsificante influenciaram o perfil bioquímico e a atividade enzimática dos frangos de corte aos 21 dias. Os frangos alimentados com óleo de soja degomado apresentaram níveis mais elevados de HDL (93,534 mg/dL) e menores concentrações de triglicerídeos (66,082 mg/dL), enquanto os alimentados com óleo ácido de soja apresentam maiores concentrações de bilirrubina total (0,423 mg/dL) (Tabela 5).

Em relação aos emulsificantes, o grupo que recebeu o emulsificante à base de éster de sorbitan mostrou os menores níveis de bilirrubina total (0,294 mg/dL) e as maiores atividades

de AST (206,754 UI/L) e LDH (1005,650 U/ L), com uma resposta metabólica mais intensa. Por outro lado, o uso de lecitina de soja proporcionou níveis mais baixos de triglicerídeos (66,439 mg/dL). O tratamento sem emulsificante teve menor atividade de AST e LDH, possivelmente indicando uma menor resposta metabólica em comparação aos grupos tratados com emulsificantes.

Tabela 5. Perfil bioquímico e atividade enzimática no sangue de frangos de corte aos 21 dias e alimentados com diferentes fontes de óleo e emulsificantes

Fonte lipídica	ALT IU/L	AST IU/L	COL mg/dL	CPK U/L	DB mg/dL	GLI mg/dL	HDL mg/dL	LDH U/L	LIP U/L	TB mg/dL	TRI mg/dL
Óleo de Soja degomado	17,929	195,014	150,529	2997,778	0,035	500,327	93,534 ^A	907,828	39,007	0,245 ^B	66,082 ^B
Óleo ácido de soja	18,973	193,080	149,296	2817,407	0,032	499,247	89,184 ^B	905,345	43,341	0,423 ^A	78,375 ^A
Emulsificante											
Sem	18,419	178,135 ^b	149,656	2471,000	0,037	495,462	88,919	823,700 ^b	41,340	0,338 ^b	73,721 ^{ab}
Éster de sorbitan	17,862	206,754 ^a	150,015	3433,125	0,033	507,728	91,936	1005,650 ^a	45,429	0,294 ^c	76,428 ^a
Lecitina de soja	19,077	197,371 ^{ab}	150,022	2925,556	0,032	495,289	92,978	888,611 ^{ab}	38,030	0,370 ^a	66,439 ^b
EPM	6,09	32,24	13,93	1492,73	0,01	18,65	7,72	176,84	14,10	0,04	12,89
CV (%)	33,01	16,62	9,30	51,34	21,62	3,73	8,45	19,51	34,25	11,92	17,88
Óleo	0,4908	0,7445	0,7514	0,8706	0,1181	0,7965	0,0405	0,8865	0,3484	<,0001	0,0005
Emulsificante	0,8027	0,0209	0,9938	0,1179	0,0571	0,0692	0,2572	0,0072	0,3297	<,0001	0,0449
Óleo x Emulsificante	0,3211	0,0037	0,7431	0,1207	0,5240	0,3858	0,3807	0,0685	0,5992	<,0001	0,6708

ALT = atividade da alanina amino transferase; AST = atividade da aspartato amino transferase; COL = colesterol; CPK = creatinafosfoquinase; DB = bilirrubina direta; GLI = glicose; LDH = lactato desidrogenase; LIP = lipase; TB = bilirrubina total; TRI = triglicerídeos; EPM = erro padrão da média; CV = coeficiente de variação; ^{a,b} = médias seguidas de letras minúsculas distintas diferem entre si pelo teste de Tukey a 5%; ^{A,B} = médias seguidas de letras maiúsculas distintas diferem entre si pelo teste F a 5%.

FONTE: A autora (2024).

De acordo com o desdobramento da interação, a combinação do emulsificante à base de lecitina de soja com o óleo de soja resultou em uma maior atividade de AST (219,60 IU/L) em comparação com o óleo ácido (177,36 IU/L), sugerindo um impacto potencial na função hepática ($P = 0,013$). Quanto à bilirrubina total, os níveis mais elevados foram observados nos frangos alimentados com óleo ácido, independentemente do uso de emulsificantes. Este resultado sugere que o óleo ácido está associado a uma maior sobrecarga hepática. O uso de óleo ácido, em particular, mostrou-se associado a uma maior sobrecarga hepática, refletida nos níveis consistentemente elevados de bilirrubina.

Tabela 6. Desdobramento da interação entre os tipos de óleos e emulsificantes no perfil bioquímico e atividade enzimática no sangue de frangos de corte aos 21 dias

Emulsificante/Óleo	AST (IU/L)			TB (mg/dL)		
	Soja	Ácido	Valor P	Soja	Ácido	Valor P
Sem	176,16 ^b	180,11 ^b	0,4257	0,223 ^{bB}	0,452 ^{aA}	0,0001
Éster de sorbitan	191,74 ^{ab}	221,77 ^a	0,1416	0,194 ^{bB}	0,394 ^{bA}	0,0001
Lecitina de soja	219,60 ^{aA}	177,36 ^{bB}	0,0129	0,317 ^{aB}	0,422 ^{abA}	0,0001
<i>P value</i>	0,0128	0,0124		0,0001	0,0454	

AST = aspartato amino transferase; TB = bilirrubina total; ^{a,b} = médias seguidas de letras minúsculas distintas na coluna diferem entre si pelo teste de Tukey a 5%; ^{A,B} = médias seguidas de letras maiúsculas distintas nas linhas diferem entre si pelo teste F a 5%.

FONTE: A autora (2024).

Os dados de perfil bioquímico aos 42 dias de idade (Tabela 7) destacam que tanto as fontes de óleo quanto os emulsificantes podem influenciar os parâmetros bioquímicos nos frangos de corte, especialmente em relação à atividade enzimática (AST), ao colesterol HDL e à bilirrubina total. Estes achados indicam que a formulação da dieta, inclusive a escolha da fonte de óleo e do emulsificante, pode ter implicações significativas na saúde e no metabolismo das aves.

A atividade da aspartato aminotransferase (AST) apresentou diferença entre as fontes de óleo ($P = 0,021$). O óleo de soja degomado apresentou uma atividade de AST superior (471,925 IU/L) em comparação ao óleo ácido de soja (407,298 IU/L). O colesterol HDL foi maior nos frangos alimentados com óleo de soja degomado (98,974 mg/dL) em relação aos que foram tratados com óleo ácido de soja (94,211 mg/dL) ($P = 0,002$).

A bilirrubina total apresentou diferença tanto entre as fontes de óleo ($P < 0,0001$) quanto entre os emulsificantes ($P < 0,0001$). O óleo ácido de soja apresentou um valor maior de TB (0,620 mg/dL) em comparação ao óleo de soja degomado (0,420 mg/dL), o que sugere sobrecarga hepática. Entre os emulsificantes, o grupo com emulsificante 1 (éster de sorbitan)

teve níveis de bilirrubina total menores (0,462 mg/dL) em relação ao grupo sem emulsificante (0,543 mg/dL) ($P < 0,0001$), indicando um possível efeito protetor na função hepática.

O óleo de soja favoreceu um perfil bioquímico mais saudável, com maior HDL e menor bilirrubina total, enquanto o óleo ácido esteve associado à maior bilirrubina total, sugerindo sobrecarga hepática. O emulsificante à base de éster de sorbitan mostrou potencial para reduzir a bilirrubina total, contribuindo para uma melhor saúde hepática. Outros parâmetros não apresentaram diferenças, mas forneceram uma visão geral do estado metabólico das aves.

Tabela 7. Perfil bioquímico e atividade enzimática no sangue de frangos de corte aos 42 dias e alimentados com diferentes fontes de óleo e emulsificantes

Fonte lipídica	ALT IU/L	AST IU/L	COL mg/dL	CPK U/L	DB mg/dL	GLI mg/dL	HDL mg/dL	LDH U/L	LIP U/L	TB mg/dL	TRI mg/dL
Óleo de soja degomado	20,310	471,925 ^A	158,684	40952,857	0,142	495,953	98,974 ^A	1840,315	62,911	0,420 ^B	81,094
Óleo ácido de soja	22,904	407,298 ^B	155,291	39866,429	0,152	502,905	94,211 ^B	2264,170	62,657	0,620 ^A	77,255
Emulsificante											
Sem	25,721	443,175	159,628	38773,333	0,143	501,740	97,916	1912,093	64,137	0,543 ^a	81,357
Éster de sorbitan	17,209	455,857	159,139	40687,778	0,155	497,177	97,381	1960,106	48,835	0,462 ^b	78,757
Lecitina de soja	21,778	419,803	152,244	41632,000	0,143	499,432	94,481	2284,531	75,380	0,555 ^a	77,213
EPM	7,60	71,88	17,71	6309,90	0,02	25,32	5,71	1216,99	45,97	0,05	19,29
CV (%)	35,23	16,35	11,28	15,62	13,10	5,07	5,92	59,30	73,22	9,00	24,36
Óleo	0,2970	0,0214	0,4740	0,6137	0,0528	0,2776	0,0021	0,1830	0,9830	<,0001	0,4997
Emulsificante	0,0595	0,5323	0,3561	0,5773	0,0828	0,8489	0,1333	0,5777	0,1959	<,0001	0,7987
Óleo x Emulsificante	0,0530	0,0071	0,3683	0,7550	0,0630	0,3377	0,0034	0,7239	0,0501	<,0001	0,1060

ALT = atividade da alanina amino transferase; AST = atividade da aspartato amino transferase; COL = colesterol; CPK = creatinafosfoquinase; DB = bilirrubina direta; GLI = glicose; LDH = lactato desidrogenase; LIP = lipase; TB = bilirrubina total; TRI = triglicerídeos; EPM = erro padrão da média; CV = coeficiente de variação; ^{a,b} = médias seguidas de letras minúsculas distintas diferem entre si pelo teste de Tukey a 5%; ^{A,B} = médias seguidas de letras maiúsculas distintas diferem entre si pelo teste F a 5%.

FONTE: A autora (2024).

A atividade de AST apresentou diferenças no grupo com emulsificante à base de lecitina de soja, no qual os frangos alimentados com óleo de soja mostraram valores superiores (508,74 IU/L) em comparação aos alimentados com óleo ácido (330,86 IU/L). Em relação aos níveis de HDL, houve elevação destes nos frangos alimentados com óleo de soja em comparação aos que receberam óleo ácido nos grupos contendo emulsificantes. No grupo com emulsificante à base de éster de sorbitan, os frangos que receberam óleo de soja apresentaram níveis de HDL mais altos (102,30mg/dL) em relação aos que receberam óleo ácido (92,47mg/dL). Diferença semelhante foi observada no grupo com emulsificante à base de lecitina de soja (97,94mg/dL versus 91,02mg/dL, com $P = 0,0033$). Estes achados indicam que a combinação de óleo de soja com emulsificantes, especialmente o éster de sorbitan, favoreceu um perfil lipídico mais saudável.

A bilirrubina total mostrou diferenças nos grupos sem emulsificante e com emulsificante à base de éster de sorbitan. No grupo sem emulsificante, frangos alimentados com óleo ácido tiveram níveis mais altos de bilirrubina total (0,691mg/dL) em comparação aos alimentados com óleo de soja (0,394mg/dL), sugerindo uma sobrecarga hepática maior associada ao óleo ácido. Resultados semelhantes foram encontrados no grupo com emulsificante de éster de sorbitan, no qual os níveis de bilirrubina total em frangos alimentados com óleo ácido foram superiores (0,603mg/dL) em comparação aos alimentados com óleo de soja (0,321mg/dL). Por outro lado, no grupo alimentado com emulsificante de lecitina de soja, os níveis de bilirrubina total não diferiram entre os frangos alimentados com óleo de soja e óleo ácido ($P = 0,377$), sugerindo que a lecitina de soja pode ter atenuado a resposta hepática associada ao óleo ácido.

Tabela 8. Desdobramento da interação entre os tipos de óleos e emulsificantes no perfil bioquímico e atividade enzimática no sangue de frangos de corte aos 42 dias

Emulsificante/Óleo	AST (IU L ⁻¹)			HDL (mg dL ⁻¹)			TB (mg dL ⁻¹)		
	Soja	Ácido	Valor P	Soja	Ácido	Valor P	Soja	Ácido	Valor P
Sem	419,61	466,74 ^a	0,4041	96,69	99,14 ^a	0,4476	0,394 ^{bB}	0,691 ^{aA}	0,0001
Éster de sorbitan	487,42	424,29 ^{ab}	0,1993	102,30 ^A	92,47 ^{bB}	0,0005	0,321 ^{cB}	0,603 ^{bA}	0,0001
Lecitina de soja	508,74 ^A	330,86 ^{bB}	0,0012	97,94 ^A	91,02 ^{bB}	0,0033	0,544 ^a	0,566 ^b	0,3770
Valor P	0,1141	0,0495		0,0825	0,0094		0,0001	0,0001	

AST = aspartato amino transferase; TB = bilirrubina total; ^{a,b} = médias seguidas de letras minúsculas distintas na coluna diferem entre si pelo teste de Tukey a 5%; ^{A,B} = médias seguidas de letras maiúsculas distintas nas linhas diferem entre si pelo teste F a 5%.

FONTE: A autora (2024).

A avaliação sérica das enzimas pancreáticas e dos parâmetros bioquímicos fornece uma visão abrangente sobre a resposta fisiológica de frangos de corte alimentados com diferentes fontes de óleo e emulsificantes. As enzimas ALT e AST são amplamente utilizadas como marcadores de saúde hepática e metabolismo. Enquanto a ALT reflete diretamente a função hepática, a AST está relacionada tanto ao metabolismo hepático quanto ao muscular. Segundo Ravindran et al. (2016), variações nestes marcadores podem ser influenciadas pela digestibilidade das fontes de lipídios e pela presença de emulsificantes na dieta.

Os níveis de ALT permaneceram estáveis, independentemente da fonte de óleo utilizada, sugerindo que tanto o óleo de soja degomado quanto o óleo ácido de soja não ocasionaram lesões hepáticas, conforme também observado por Baião e Lara (2005). Em relação à AST, a atividade foi menor no grupo alimentado com óleo ácido, porém sem significância estatística. No entanto, o aumento da AST nos grupos suplementados com emulsificantes, especialmente no grupo que recebeu o emulsificante à base de éster de sorbitan, sugere uma maior demanda metabólica no fígado, possivelmente devido à maior eficiência na digestão e na absorção de lipídios. De acordo com Upadhaya et al. (2017), emulsificantes como o éster de sorbitan otimizam a formação de micelas, facilitando a digestão de lipídios e aumentando a atividade hepática.

O óleo de soja elevou os níveis de HDL, conforme também observado por Crespo e Esteve-Garcia (2001), que destacaram o papel dos ácidos graxos poli-insaturados, como o ácido linoleico, na melhora do perfil lipídico. Por outro lado, o óleo ácido, devido ao seu maior conteúdo de ácidos graxos livres, apresentou menor impacto positivo no metabolismo lipídico. Este achado está alinhado com os resultados obtidos por Baião e Lara (2005), que relataram uma menor eficiência metabólica em aves alimentadas com óleos de qualidade inferior.

Os níveis de triglicerídeos foram menores no grupo alimentado com óleo de soja, o que pode ser atribuído à maior presença de ácidos graxos poli-insaturados, como o ácido linoleico, que facilita a redução dos triglicerídeos no sangue (Crespo; Esteve-Garcia, 2001). A adição de emulsificantes, especialmente do emulsificante 2 (lecitina), amplificou esse efeito, resultando em uma diminuição mais proeminente nos níveis de triglicerídeos. Zhao e Kim (2017) relataram que a lecitina favorece a emulsificação dos lipídios, promovendo maior eficiência no metabolismo dos ácidos graxos.

A bilirrubina total foi mais elevada nos frangos alimentados com óleo ácido, o que indica sobrecarga hepática causada pela maior concentração de ácidos graxos livres presentes neste óleo. Este resultado está de acordo com os estudos de González-Alvarado et al. (2008), que sugerem que lipídios de menor qualidade podem agravar a sobrecarga hepática em aves,

aumentando a produção de bilirrubina. No entanto, a adição de emulsificantes, particularmente do emulsificante à base de éster de sorbitan, ajudou a reduzir os níveis de bilirrubina, conforme descrito por González-Alvarado et al. (2007). A melhora na emulsificação dos lipídios facilitou sua digestão e absorção, diminuindo a sobrecarga hepática e melhorando a eficiência metabólica.

Os resultados indicam que o óleo de soja, com seu perfil de ácidos graxos poli-insaturados, contribuiu para a melhora do metabolismo lipídico, o que fica evidenciado pelos níveis mais elevados de HDL e pelos menores níveis de triglicerídeos e bilirrubina. Em contrapartida, o óleo ácido, devido ao seu alto teor de ácidos graxos livres, sobrecarregou o fígado, resultando em níveis mais altos de bilirrubina e menos benefícios ao perfil lipídico, em concordância com o descrito por Baião e Lara (2005). Os emulsificantes, em especial o éster de sorbitan, desempenharam um papel crucial na melhora da digestão de lipídios e na redução da sobrecarga hepática, aumentando a eficiência da absorção de ácidos graxos, conforme observado por Upadhaya et al. (2017).

Portanto, o óleo de soja promoveu melhores parâmetros bioquímicos, enquanto o óleo ácido representou desafios para o metabolismo lipídico das aves. Os emulsificantes, especialmente o éster de sorbitan, foram eficazes em minimizar esses desafios, otimizando a digestão e a absorção dos lipídios e promovendo a saúde hepática.

4.3 Avaliação histológica do Jejunio

Em relação à altura de vilosidade (AV), o uso de emulsificantes apresentou um impacto significativo ($P = 0,0105$), sugerindo que a inclusão de emulsificantes pode modificar a estrutura das vilosidades intestinais, possivelmente aumentando a capacidade de absorção dos nutrientes. Para a profundidade da cripta (PC), o efeito também foi significativo ($P = 0,0408$), indicando que os emulsificantes podem influenciar a renovação celular e a integridade estrutural das criptas.

A área de absorção (AA) foi significativamente influenciada, tanto pela fonte lipídica ($P = 0,0470$) quanto pelos emulsificantes ($P = 0,0230$). Estes resultados indicam que a combinação de diferentes fontes de óleo e emulsificantes pode aumentar a eficiência da absorção de nutrientes no intestino médio dos frangos, o que pode estar associado a um melhor desempenho geral da ave.

No entanto, aos 42 dias de idade, não foram observadas diferenças. Estes resultados podem sugerir que os efeitos dos tratamentos são mais pronunciados nas fases iniciais do desenvolvimento intestinal e que, com o avançar da idade, a adaptação do trato gastrointestinal pode minimizar essas diferenças.

Tabela 9. Altura de vilo (μm), profundidade de cripta (μm), relação altura de vilo:profundidade de cripta e área de absorção (μm^2) do segmento jejuno de frangos de corte aos 21 e 42 dias de idade

Fonte lipídica	21 dias de idade				42 dias de idade			
	AV	PC	RVC	AA	AV	PC	RVC	AA
Óleo de soja degomado	494,89	85,05	6,75	14,71 ^B	545,46	78,20	7,19	15,75
Óleo ácido de soja	523,54	86,54	6,75	19,01 ^A	543,90	71,09	7,48	16,57
Emulsificante								
Sem	570,74 ^a	97,72 ^a	6,53	20,07 ^a	551,42	78,25	6,95	16,27
Éster de sorbitan	468,89 ^b	80,72 ^{ab}	6,88	12,77 ^b	532,32	67,66	7,82	15,76
Lecitina de soja	488,01 ^{ab}	78,95 ^b	6,82	17,78 ^{ab}	550,29	78,02	7,26	16,50
EPM	108,72	25,15	1,63	8,33	159,77	22,95	1,81	884,00
CV (%)	21,35	29,31	24,17	49,54	29,33	30,76	24,75	54,65
Óleo	0,3120	0,8201	0,9854	0,0470	0,9700	0,2356	0,5798	0,7437
Emulsificante	0,0105	0,0408	0,7744	0,0230	0,9141	0,2581	0,3640	0,9584
Óleo x Emulsificante	0,5986	0,8452	0,7056	0,9844	0,4578	0,2387	0,7601	0,6686

AV - altura de vilosidade. PC – profundidade de cripta. RVC – relação altura de vilosidades : profundidade de cripta. AA – área de absorção. CV (%): coeficiente de variação, EPM: erro padrão da média. ^{a,b} = médias seguidas de letras maiúsculas distintas diferem entre si pelo teste F a 5%.

FONTE: A autora (2024).

Os parâmetros histológicos são essenciais para avaliar a capacidade de absorção de nutrientes e a integridade intestinal, especialmente em frangos em crescimento, uma vez que o trato gastrointestinal desempenha um papel crucial na digestão e na absorção de nutrientes.

Para a altura de vilo, aos 21 dias, a fonte de óleo não interferiu nos resultados, de modo a sugerir que o tipo de óleo não impacta de forma expressiva a morfologia intestinal nessa fase. No entanto, o grupo sem emulsificantes apresentou vilos mais altos, o que indica que a adição de emulsificantes pode reduzir a necessidade de adaptação morfológica do intestino, possivelmente devido à melhora na digestão e na absorção de lipídios. Montagne et al. (2003) sugerem que vilos mais altos estão associados à maior necessidade de absorção de nutrientes, especialmente em dietas de menor qualidade, como aquelas com óleo ácido.

Emulsificantes, como a lecitina e o éster de sorbitan, desempenham um papel fundamental na modulação da morfologia intestinal, facilitando a formação de micelas e melhorando a emulsificação dos lipídios. Isto resulta em uma digestão mais eficiente e em uma absorção de nutrientes otimizada, conforme descrito por Baião e Lara (2005) e Upadhaya et al. (2017), que demonstraram a influência desses emulsificantes na digestibilidade lipídica e na saúde intestinal dos frangos de corte.

Aos 21 e aos 42 dias, a profundidade de cripta não variou entre os grupos alimentados com diferentes fontes de óleo, indicando que o tipo de óleo não influencia diretamente esse parâmetro. No entanto, aos 21 dias, o grupo sem emulsificantes apresentou maior profundidade de cripta, o que pode estar relacionado à necessidade de maior renovação celular no intestino. Uma digestão menos eficiente de lipídios (como no caso de dietas sem emulsificantes ou com óleo ácido) pode aumentar o estresse digestivo e, conseqüentemente, a profundidade de cripta (Uni et al., 2000). Smirnov et al. (2004) também sugerem que dietas de menor digestibilidade podem aumentar a profundidade de cripta como uma forma de sustentar a renovação celular e manter a integridade intestinal. A inclusão de emulsificantes facilita a digestão dos lipídios e pode reduzir essa necessidade, conforme observado pela menor profundidade de cripta nos grupos tratados com emulsificantes.

A relação altura de vilo: profundidade de cripta (RVC) não apresentou diferença entre os tratamentos em ambos os períodos analisados, embora seja um indicador importante de saúde e eficiência intestinal. Dietas mais digestíveis, como aquelas que contêm emulsificantes, tendem a melhorar esta relação, favorecendo um intestino mais eficiente. Yasar (1999) indicam que dietas de maior digestibilidade promovem uma melhor relação, resultando em menor necessidade de renovação celular e maior eficiência na absorção de nutrientes. Emulsificantes como a lecitina de soja facilitam a absorção de lipídios e podem diminuir a necessidade de

renovação celular, resultando em uma relação mais eficiente (Upadhaya et al., 2017). O éster de sorbitan também pode melhorar a eficiência digestiva, ao reduzir a tensão superficial entre as fases lipídica e aquosa, promovendo a melhor absorção de nutrientes (Upadhaya et al., 2017).

Aos 21 dias, o grupo alimentado com óleo ácido apresentou uma área de absorção maior, o que possivelmente reflete adaptação do trato intestinal para melhorar a eficiência na digestão e na absorção das diferentes fontes lipídicas (Geyra et al., 2001). A ausência de emulsificantes também resultou em uma maior área de absorção, provavelmente como uma forma de compensar a menor eficiência digestiva dos lipídios. Smirnov et al. (2004) sugerem que a inclusão de emulsificantes reduz a necessidade de adaptação morfológica do intestino, resultando em uma área de absorção menor, porém mais eficiente. Isso reforça que emulsificantes como a lecitina e o éster de sorbitan melhoram a digestão dos lipídios e a absorção de nutrientes, diminuindo a necessidade de uma área de absorção ampliada.

De modo geral, os resultados mostram que o tipo de óleo e os emulsificantes afetam de forma diferente a morfologia intestinal ao longo do tempo. O óleo ácido, com sua maior concentração de ácidos graxos livres, parece exigir maior adaptação intestinal, especialmente aos 21 dias, como evidenciado pela maior área de absorção que foi encontrada na pesquisa. Por outro lado, emulsificantes como a lecitina e o éster de sorbitan facilitam a digestão de lipídios, reduzindo a necessidade de adaptações morfológicas. Isto é refletido na menor profundidade de cripta e na reduzida área de absorção em frangos tratados com emulsificantes, proporcionando uma digestão mais eficiente e menor estresse intestinal. Estes achados estão em conformidade com estudos que sugerem que emulsificantes melhoram a eficiência digestiva e reduzem o estresse intestinal (Montagne et al., 2003; Smirnov et al., 2004; Upadhaya et al., 2017).

4.4 Qualidade de carne e substâncias reativas ao ácido tiobarbitúrico (TBARS)

O pH foi semelhante entre os grupos alimentados com óleo de soja e óleo ácido, tanto aos 15min (6,70 vs 6,69; $P = 0,8930$) quanto após 24h (6,11 vs 6,11; $P = 0,9004$). Os emulsificantes também não influenciaram o pH (Tabela 10).

A coloração da carne, medida pelos parâmetros a, b e L do sistema CIELAB, reflete a aparência visual e é um importante indicador de frescor e qualidade, relacionado à aceitabilidade do produto pelo consumidor. O parâmetro "a" indica a intensidade da cor vermelha/verde na carne. Valores positivos de "a" indicam uma cor vermelha mais intensa, que é associada à carne fresca e de boa qualidade. O parâmetro "b" refere-se à intensidade das cores

amarela/azul. Valores positivos de "b" indicam a presença de tonalidades amareladas, enquanto valores negativos indicam tonalidades azuladas. Na carne, um valor mais alto de "b" pode estar relacionado com o teor de gordura ou com a oxidação de pigmentos. O parâmetro "L" representa a luminosidade, indicando quão clara ou escura a carne é. Valores mais altos de "L" indicam uma carne mais clara, enquanto valores mais baixos indicam uma carne mais escura. A carne de frango, por sua cor naturalmente mais clara, tende a apresentar valores mais elevados de "L".

A coloração da carne foi, em grande parte, semelhante entre os grupos. Aos 15min, o parâmetro "b" indicou coloração mais amarelada no grupo com óleo de soja (3,95) quando comparado ao do óleo ácido (2,67; $P = 0,005$). Contudo, esta diferença não foi observada após 24h (5,83 vs 5,93; $P = 0,7833$). Os emulsificantes não influenciaram a coloração.

Tabela 10. Potencial hidrogeniônico e coloração da carne do peito de frangos de corte alimentados com diferentes emulsificantes e fontes de óleo

Fonte lipídica	15 minutos				24 horas			
	pH	A	b	L	pH	a	b	L
Óleo soja degomado	6,70	2,81	3,95 ^A	48,20	6,11	3,55	5,83	52,13
Óleo ácido de soja	6,69	2,44	2,67 ^B	47,70	6,11	3,55	5,93	51,57
Emulsificante								
Sem	6,68	2,74	2,91	47,44	6,10	3,64	5,55	50,97
Éster de sorbitan	6,69	2,63	3,36	48,94	6,14	3,38	5,89	52,91
Lecitina de soja	6,71	2,51	3,63	47,53	6,10	3,63	6,22	51,75
EPM	0,15	1,27	1,70	3,65	0,12	1,42	1,44	4,35
CV (%)	2,17	48,28	51,47	7,61	1,92	39,99	24,55	8,38
Óleo	0,893	0,255	0,005	0,599	0,900	0,987	0,783	0,651
Emulsificante	0,881	0,849	0,403	0,385	0,553	0,802	0,358	0,374
Óleo x Emulsificante	0,867	0,666	0,593	0,655	0,882	0,933	0,982	0,738

EPM = erro padrão da média; CV = coeficiente de variação; ^{A,B} = médias seguidas de letras maiúsculas distintas diferem entre si pelo teste F a 5%.

FONTE: A autora (2024).

Os valores de pH observados, tanto aos 15 min quanto às 24 h após o abate, foram semelhantes entre os grupos alimentados com óleo de soja e óleo ácido. De acordo com a literatura, o pH da carne é influenciado principalmente por fatores como manejo pré-abate, genética e estado fisiológico dos animais (Fletcher, 1999). O pH está diretamente relacionado à capacidade de retenção de água e à textura, sendo um fator crucial na qualidade da carne (Berri et al., 2001). Valores de pH abaixo de 5,8 podem indicar carne PSE (pálida, flácida e exsudativa), enquanto valores superiores a 6,2 podem sugerir carne DFD (escura, firme e seca)

(Fletcher, 1999). Os valores de pH observados podem ser considerados dentro da normalidade, indicando boa qualidade da carne.

Segundo Petracci et al. (2014), a coloração vermelha na carne de frango está mais relacionada à quantidade de mioglobina nos músculos e ao estado de oxigenação após o abate do que diretamente à dieta. O uso de emulsificantes também não teve efeito sobre este parâmetro, corroborando os achados de Qiao et al. (2002), que apontam que a dieta influencia mais a composição lipídica do que a cor do músculo. Estudos anteriores demonstraram que a luminosidade da carne de frango é menos influenciada pela dieta e mais afetada por fatores como o manejo pré-abate, o estresse e o tempo de exposição ao ar (Berri et al., 2001). Barbut (2001) destacou que estes fatores têm um papel mais relevante na determinação da luminosidade do que a composição da dieta, sugerindo que a dieta influencia mais a coloração do subcutâneo (gordura) do que diretamente a cor do músculo. De forma similar, Fletcher (1999) reforça que a luminosidade da carne é amplamente influenciada pelos processos de resfriamento e pelo manejo pré-abate, enquanto Allen et al. (1997) observaram que a luminosidade tende a ser estável, exceto em casos de estresse severo ou de condições inadequadas de processamento.

A elevação no componente b pode ser atribuída ao maior teor de carotenoides no óleo de soja, que conferem uma coloração amarelada à carne, como apontado por Olivo et al. (2001). No entanto, essa diferença não foi observada após 24 h de armazenamento, sugerindo que a oxidação dos pigmentos carotenoides ao longo do tempo reduziu a intensidade da coloração amarela, conforme descrito por Fletcher (1999).

Além disso, a ausência de efeitos dos emulsificantes sobre os parâmetros de qualidade da carne sugere que, embora os emulsificantes possam melhorar a digestibilidade de nutrientes, eles não parecem influenciar diretamente os atributos de qualidade da carne como cor e pH. González-Alvarado et al. (2007) afirmam que a inclusão de emulsificantes na dieta tem efeitos mais pronunciados sobre o desempenho e a digestibilidade de nutrientes do que sobre a qualidade da carne.

A carne dos frangos alimentados com emulsificantes, especialmente lecitina de soja, apresentou menor FC (4,00 kg), indicando uma carne mais macia. Em contraste, o grupo sem emulsificantes mostrou a maior FC (4,75 kg), sugerindo uma carne mais firme. Apesar desta diferença, o impacto dos emulsificantes na maciez não foi conclusivo. A comparação entre os tipos de óleo mostrou valores de FC semelhantes e sem significância estatística ($P = 0,8313$), sugerindo que o tipo de óleo não influenciou a maciez da carne (Tabela 10).

A capacidade de retenção de água (CRA), que reflete a eficiência da carne em manter seu teor de água, foi maior nos frangos alimentados com óleo ácido (65,06%) em comparação com os que receberam óleo de soja (63,23%). No entanto, não houve diferença entre os grupos tratados com diferentes emulsificantes ($P = 0,4565$) (Tabela 10).

A análise da perda de água por cocção (PCC) apresentou variações nos resultados com base nas diferentes fontes de óleo e emulsificantes utilizados. Os grupos alimentados com emulsificantes, especialmente com lecitina de soja, apresentaram menor PCC (33,87%), sugerindo uma retenção superior de líquidos durante a cocção. O óleo ácido de soja também demonstrou contribuir para uma menor PCC (33,27%) em comparação ao óleo de soja degomado (35,67%). Por outro lado, a análise do impacto isolado dos emulsificantes revelou que eles não influenciaram a PCC ($P = 0,4914$).

Tabela 11. Qualidade da carne do peito de frangos de corte alimentados com diferentes emulsificantes e fontes de óleo

Fonte lipídica	FC (kg)	CRA (%)	PCC (%)
Óleo de soja degomado	4,33	63,23	35,67
Óleo ácido de soja	4,24	65,06	33,27
Emulsificante			
Sem	4,75	64,21	35,61
Éster de sorbitan	4,12	64,91	33,93
Lecitina de soja	4,00	63,32	33,87
EPM	1,12	4,00	5,22
CV (%)	26,23	6,24	15,13
Óleo	0,831	0,081	0,081
Emulsificante	0,087	0,457	0,491
Óleo x Emulsificante	0,605	0,229	0,936

FC = força de cisalhamento; CRA = capacidade de retenção de água; PCC = perda de água por cocção;

EPM = erro padrão da média; CV = coeficiente de variação.

FONTE: A autora (2024).

A falta de influência sobre a força de cisalhamento é consistente com os achados de Fletcher (2002), que sugerem que a composição de ácidos graxos nas fontes de óleo pode ter um impacto limitado na textura da carne. No entanto, o grupo que não recebeu emulsificantes apresentou o maior valor de FC (4,75 kg), indicando uma carne mais firme. Este resultado sugere que a ausência de emulsificantes pode influenciar negativamente a maciez da carne, em concordância com as observações de Upadhaya et al. (2017), que destacam que os emulsificantes podem melhorar a maciez, pois facilitam a emulsificação de lipídios e proteínas.

Por outro lado, o menor valor de força de cisalhamento foi observado no grupo que recebeu o emulsificante à base de lecitina de soja (4,00 kg). Isto pode ser atribuído à capacidade desse emulsificante de promover uma melhor dispersão de lipídios nas fibras musculares e otimizar a interação proteica, resultando em uma carne mais macia. Upadhaya et al. (2017) reforçam que a lecitina de soja tem o potencial de reduzir a resistência mecânica da carne, o que interfere positivamente na sua composição estrutural.

Em relação à capacidade de retenção de água (CRA), os frangos alimentados com óleo ácido de soja apresentaram uma retenção superior (65,06%) em comparação aos com óleo de soja degomado (63,23%). Este dado pode estar relacionado à maior presença de ácidos graxos livres no óleo ácido, o que, segundo Baião e Lara (2005), intensifica a interação entre as moléculas de água e as proteínas musculares, favorecendo a retenção de água. Os diferentes emulsificantes não influenciaram a CRA ($P = 0,457$), o que está alinhado com Upadhaya et al. (2017), que sugerem que os emulsificantes estão mais associados à digestão de lipídios do que à retenção de água na carne. Petracci et al. (2014) também observaram que o efeito dos emulsificantes sobre a CRA tende a ser limitado, especialmente quando o objetivo principal é a modificação do perfil lipídico.

A perda de água por cocção (PCC) foi menor nos frangos alimentados com óleo ácido de soja (33,27%) em comparação aos com óleo de soja (35,67%). Este resultado sugere que o óleo ácido pode contribuir para uma maior retenção de água durante o cozimento, possivelmente devido ao seu perfil de ácidos graxos. Embora os emulsificantes não tenham influenciado significativamente a PCC ($P = 0,491$), a menor perda observada no grupo que recebeu o emulsificante à base de lecitina de soja (33,87%) sugere um possível efeito benéfico na retenção de água, uma vez que melhorou a distribuição de lipídios no tecido, assim como observado por Petracci et al. (2014).

Os resultados indicam que, embora o impacto do tipo de óleo e dos emulsificantes na qualidade da carne tenha sido limitado, houve tendências relevantes em termos de força de cisalhamento e perda de água por cocção. O óleo ácido de soja mostrou-se vantajoso na preservação da água durante o cozimento, enquanto a lecitina de soja pode ter contribuído para uma carne mais macia.

4.5 Substâncias reativas ao ácido tiobarbitúrico (TBARS)

Após 24h, os níveis de TBARS (Tabela 12) estavam semelhantes entre os frangos alimentados com óleo de soja (0,075 mg MDA/g) e óleo ácido (0,084 mg MDA/g) ($P = 0,334$). No entanto, os emulsificantes apresentaram diferença ($P = 0,039$), sendo que o grupo sem emulsificante indicou o maior nível de oxidação (0,098 mg MDA/g), enquanto o grupo que recebeu o emulsificante à base de éster de sorbitan (0,068 mg MDA/g) teve a menor oxidação.

Após 30 dias de armazenamento, os níveis de TBARS aumentaram em ambos os grupos, registrando 0,178mg MDA/g para o óleo de soja e 0,193mg MDA/g para o óleo ácido, sem diferença ($P = 0,225$). Da mesma forma, os emulsificantes não mostraram efeito após 30 dias ($P = 0,293$), indicando que o efeito antioxidante dos emulsificantes não foi mantido a longo prazo.

Tabela 12. Valores referentes as substâncias reativas ao ácido tiobarbitúrico (mg MDA/ g⁻¹) em peitos de frangos de corte alimentados com diferentes emulsificantes e fontes de óleo

Fonte lipídica	24h	30 dias
Óleo de soja degomado	0,075	0,178
Óleo ácido de soja	0,084	0,193
Emulsificante		
Sem	0,098 ^a	0,187
Éster de sorbitan	0,068 ^b	0,197
Lecitina de soja	0,073 ^{ab}	0,174
EPM	0,03	0,04
CV (%)	36,80	18,96
Óleo	0,334	0,225
Emulsificante	0,039	0,293
Óleo x Emulsificante	0,294	0,181

EPM = erro padrão da média; CV = coeficiente de variação; ^{a,b} = médias seguidas de letras minúsculas distintas diferem entre si pelo teste de Tukey a 5%.

FONTE: A autora (2024).

Após 24h, a oxidação lipídica (Tabela 12) foi semelhante entre as amostras de carne provenientes de frangos alimentados com óleo de soja e óleo ácido ($P = 0,334$). Baião e Lara (2005) enfatizam que óleos vegetais, como o de soja, apresentam comportamentos semelhantes em termos de oxidação lipídica de curto prazo, devido à composição de ácidos graxos e à presença de antioxidantes naturais.

A presença de emulsificantes teve um efeito significativo na redução da oxidação lipídica, o que pode ser atribuído à capacidade dos emulsificantes de reduzir a tensão superficial

das gotículas de gordura, facilitando a emulsificação e protegendo as gorduras da oxidação precoce. Upadhaya et al. (2017) apontam que uma emulsificação eficiente melhora a estabilidade oxidativa das gorduras, retardando o processo de oxidação lipídica.

Monahan (2000) também afirma que antioxidantes e emulsificantes podem atuar sinergicamente para proteger os lipídios da oxidação, minimizando a exposição ao oxigênio. Os emulsificantes organizam e distribuem de maneira homogênea as gotículas de gordura, criando uma barreira física que evita o contato direto com agentes oxidantes. Isso permite que os antioxidantes atuem de forma mais eficaz ao neutralizar radicais livres e retardar o processo de oxidação lipídica. Essa combinação é particularmente útil em carnes e produtos cárneos, cujos lipídios insaturados são vulneráveis à oxidação. Portanto, a utilização conjunta de emulsificantes e antioxidantes é uma estratégia eficaz para prolongar a vida útil dos produtos alimentícios, de modo a preservar suas qualidades sensoriais e nutricionais.

Upadhaya et al. (2017) e Fletcher et al. (2000) reforçam a importância dos emulsificantes na manutenção da estabilidade das emulsões lipídicas, reduzindo, em alguns casos, a necessidade imediata de antioxidantes. No entanto, em períodos de armazenamento prolongados, os antioxidantes se tornam essenciais para garantir a proteção dos produtos. Em um estudo correlato, Fletcher et al. (2002) demonstraram que, embora os emulsificantes ajudem a reduzir a oxidação logo após o processamento, sua eficácia diminui com o tempo. Neste sentido, destaca-se a importância do uso combinado de antioxidantes e de emulsificantes para garantir a proteção contra a oxidação tanto a curto quanto a longo prazo.

Após 30 dias de armazenamento, a oxidação lipídica foi intensificada, independentemente do tipo de óleo utilizado e do emulsificante. Contudo, não houve diferença entre o óleo de soja (0,178 mg MDA/g) e o óleo ácido (0,193 mg MDA/g) ($P = 0,2251$). Freitas et al. (2005) observaram que, ao longo do tempo, tanto óleos de melhor qualidade quanto os de qualidade inferior tendem a oxidar em níveis semelhantes na ausência de antioxidantes ou emulsificantes.

Apesar do impacto inicial dos emulsificantes, sua proteção diminuiu ao longo dos 30 dias de armazenamento, sem diferenças significativas entre os grupos tratados com emulsificantes ($P = 0,293$). Isto sugere que a eficácia dos emulsificantes, especialmente do éster de sorbitan, é mais pronunciada no curto prazo. A estrutura das emulsões torna-se menos estável ao longo do tempo, o que permite maior exposição dos lipídios a agentes oxidantes, os quais aceleram o processo de rancificação (Fletcher et al., 2002).

De forma geral, os resultados indicam que os emulsificantes, em especial o éster de sorbitan, desempenham um papel importante na redução da oxidação lipídica, oferecendo

proteção imediata às gorduras, mesmo que diminuam a longo prazo. O tipo de óleo utilizado também não influenciou significativamente a oxidação lipídica em nenhum dos períodos avaliados, confirmando os achados de Freitas et al. (2005).

4.6 Atividade Pancreática

Aos 21 dias, não houve diferença quanto à atividade da lipase pancreática (Tabela 13) entre as dietas com óleo de soja (16,32 U/L) e óleo ácido de soja (18,93 U/L) ($P = 0,282$). No entanto, aos 42 dias houve um aumento na atividade da enzima no grupo alimentado com óleo ácido de soja (17,21 U/L) em comparação ao grupo com óleo de soja (7,20 U/L) ($P = 0,0002$). Esta variação sugere que a composição do óleo ácido, possivelmente com maior concentração de ácidos graxos livres, pode ter exigido maior atividade enzimática para a digestão de lipídios. Embora o efeito dos emulsificantes isoladamente não tenha sido significativo ($p = 0,101$), a interação entre a fonte lipídica e o tipo de emulsificante apresentou significância aos 21 dias ($p = 0,039$) e aos 42 dias ($p = 0,013$), sugerindo que o tipo de óleo na lipase é modificado pela presença de emulsificantes e que há sinergia entre esses fatores na digestão de lipídios.

Aos 21 dias, a atividade da tripsina foi maior nos frangos alimentados com óleo de soja (34,29 U/L) em comparação àqueles alimentados com óleo ácido de soja (13,80 U/L) ($P = 0,0001$), indicando uma melhor digestibilidade das gorduras poli-insaturadas presentes no óleo de soja nessa fase inicial. Aos 42 dias, não houve diferença entre as fontes lipídicas ($P = 0,947$), de modo que, ao longo do tempo, o efeito da fonte de óleo sobre a atividade da tripsina se torna menos pronunciado. De forma semelhante, os emulsificantes não apresentaram efeito sobre a tripsina em ambos os períodos analisados ($P = 0,064$, aos 21 dias; $P = 0,868$, aos 42 dias).

Aos 21 dias, a atividade da quimotripsina foi semelhante entre as dietas com óleo de soja (6,57 U/L) e óleo ácido de soja (6,12 U/L). Aos 42 dias, foi observada uma tendência de maior atividade da quimotripsina no grupo alimentado com óleo de soja (15,66 U/L) em comparação ao grupo com óleo ácido (12,78 U/L), sugerindo um possível impacto da fonte lipídica na modulação da enzima. O uso de emulsificantes mostrou um efeito na atividade da quimotripsina aos 42 dias ($P = 0,036$), com o grupo sem emulsificante apresentando menor atividade (11,37 U/L), o que reforça o papel dos emulsificantes na ativação dessa enzima. A interação entre fonte de óleo e emulsificante foi significativa aos 42 dias ($p = 0,004$), indicando que a combinação desses fatores pode influenciar a atividade enzimática de forma distinta.

Os resultados demonstram que a atividade das enzimas pancreáticas em frangos de corte é influenciada tanto pelo tipo de fonte lipídica quanto pela presença de emulsificantes, com variações conforme a idade das aves e a enzima avaliada. O óleo ácido de soja foi mais eficaz em aumentar a atividade da lipase aos 42 dias, enquanto o óleo de soja favoreceu a atividade da tripsina aos 21 dias. Os emulsificantes, por sua vez, mostraram maior impacto sobre a quimotripsina, especialmente aos 42 dias, ressaltando seu papel na digestão de proteínas em períodos mais tardios de crescimento. A interação entre as fontes lipídicas e os emulsificantes influenciou de forma distinta as enzimas pancreáticas, particularmente a lipase e a quimotripsina. Assim, destaca-se a importância de considerar estes fatores na formulação de dietas, a fim de otimizar a digestão de nutrientes ao longo do desenvolvimento das aves.

Tabela 13. Avaliação da atividade pancreática de frangos de corte alimentados com diferentes fontes lipídicas e emulsificante aos 14 e 21 dias de idade

Fonte Lipídica	21 dias		
	Lipase IU L ⁻¹	Tripsina U L ⁻¹	Quimotripsina U L ⁻¹
Óleo de soja degomado	16,32	34,29	6,57
Óleo ácido de soja	18,93	13,80	6,12
Emulsificante			
Sem emulsificante	17,95	30,89	7,06
Éster de sorbitan	20,30	18,33	5,91
Lecitina de soja	14,86	22,91	6,06
EPM	6,98	12,67	1,57
C.V. (%)	39,75	52,68	24,73
P (óleo)	0,2824	0,0001	0,3940
P (emulsificante)	0,2259	0,0639	0,1664
P (óleo x emulsificante)	0,0394	0,6052	0,4929
Fonte lipídica		42 dias	
Óleo de soja degomado	7,20	9,65	15,66
Óleo ácido de soja	17,21	9,91	12,78
Emulsificante			
Sem emulsificante	8,84	8,42	11,37
Éster de sorbitan	15,12	10,77	15,61
Lecitina de soja	12,65	10,15	15,32
EPM	6,96	11,18	4,20
C.V. (%)	57,08	114,29	29,64
P (óleo)	0,0002	0,9465	0,0808
P (emulsificante)	0,1014	0,8678	0,0359
P (óleo x emulsificante)	0,0131	0,9762	0,0040

EPM = erro padrão da média; CV= coeficiente de variação.

FONTE: A autora (2024).

Aos 21 dias, a atividade da lipase (Tabela 14) foi maior no grupo sem emulsificante alimentado com óleo ácido (23,78 IU/L) em comparação ao grupo com óleo de soja (12,12 IU/L) ($P = 0,015$). Este resultado sugere que o óleo ácido, na ausência de emulsificantes, promove maior resposta enzimática na digestão de lipídios. Nos grupos tratados com emulsificantes, a resposta enzimática foi mais equilibrada. Neste sentido, com o emulsificante de éster de sorbitan, as atividades de lipase foram de 20,94 IU/L e de 19,34 IU/L para óleo de soja e óleo ácido, respectivamente. Nos grupos com emulsificante de lecitina de soja, os valores foram de 15,91 IU/L e 13,81 IU/L, sem diferenças significativas.

Aos 42 dias, a atividade da lipase no grupo sem emulsificante permaneceu maior com óleo ácido (11,29 IU/L) em comparação ao óleo de soja (6,40 IU/L). No entanto, a combinação do emulsificante de éster de sorbitan com o óleo ácido mostrou um aumento na atividade da lipase (25,30 IU/L), superior àquela com óleo de soja (4,91 IU/L) ($P < 0,001$). Este resultado enfatiza a eficácia do emulsificante à base de éter de sorbitan em potencializar a digestão de lipídios quando combinado com o óleo ácido, indicando uma sinergia que pode melhorar a eficiência digestiva em frangos de corte. Já o grupo com emulsificante à base de lecitina de soja apresentou valores de lipase semelhantes entre as fontes de óleo ($P = 0,421$), o que sugere menor impacto deste emulsificante na modulação enzimática.

Na atividade da quimiotripsina, aos 42 dias, quanto aos resultados com emulsificante à base de éster de sorbitan, a enzima apresentou uma atividade maior nos frangos alimentados com óleo de soja (20,53 IU/L) em comparação ao com óleo ácido (10,68 IU/L) ($P < 0,01$). Ressalta-se uma possível interação benéfica entre o emulsificante e o óleo de soja, uma vez que esta pode ter implicações na formulação de dietas voltadas para uma maior eficiência digestiva.

Tabela 14. Interação entre diferentes emulsificantes e fontes de óleo sobre a atividade das enzimas lipase e quimiotripsina em frangos de corte aos 21 e 42 dias de idade

Emulsificante	Óleo de soja	Óleo ácido	P
	Atividade da lipase (IU L ⁻¹) aos 21 dias de idade		
Sem	12,12 ^B	23,78 ^A	0,015
Éster de sorbitan	20,94	19,34	0,753
Lecitina de soja	15,91	13,81	0,589
Valor P	0,120	0,0833	
Atividade da lipase (IU L ⁻¹) aos 42 dias de idade			
Sem	6,40	11,29 ^b	0,198
Éster de sorbitan	4,91 ^B	25,30 ^{aA}	0,001
Lecitina de soja	10,28	15,02 ^{ab}	0,421
Valor P	0,336	0,016	
Atividade quimiotripsina (U L ⁻¹) aos 42 dias			
Sem emulsificante	10,23 ^b	12,32	0,298
Emulsificante 1	20,53 ^{aA}	10,68 ^B	0,008
Emulsificante 2	15,31 ^{ab}	15,34	0,990
Valor P	0,003	0,209	

Médias seguidas de letras minúsculas na mesma coluna diferem entre si pelo teste de Tukey ($p < 0,05$); Médias seguidas de letras maiúsculas na mesma coluna diferem entre si pelo teste F ($p < 0,05$).

FONTE: A autora (2024).

A interferência na atividade da lipase, aos 21 dias, entre os grupos sem emulsificante, com maior atividade no grupo alimentado com óleo ácido, sugere que, nesta fase, o tipo de óleo pode influenciar a digestão de lipídios, especialmente na ausência de emulsificantes. Noy e Sklan (1995) relatam que a lipase pancreática pode digerir diferentes tipos de lipídios eficientemente, desde que a emulsificação seja adequada. Contudo, a interação significativa entre o tipo de óleo e os emulsificantes mostra que a inclusão de emulsificantes, especialmente do Emulsificante 1 (composto por éster de sorbitan e mono e diglicerídeos de ácidos graxos saturados), promoveu a formação de micelas e potencializou a ação da lipase, como destacado por Ravindran (2016). A presença de óleos com maiores quantidades de ácidos graxos livres, como o óleo ácido, torna a emulsificação ainda mais crítica para a digestão.

Aos 42 dias, a atividade da lipase foi maior nos grupos alimentados com óleo ácido, o que pode ser atribuído à maior quantidade de ácidos graxos livres, elevando a demanda por lipase. Baião e Lara (2005) apontam que óleos de qualidade inferior, como o óleo ácido, requerem maior ação enzimática para serem digeridos. O Emulsificante 1 intensificou essa resposta ao facilitar a formação de micelas, reduzindo a tensão superficial entre as fases lipídica e aquosa e promovendo uma digestão mais eficiente. O resultado do estudo de Upadhaya et al. (2017) indica que emulsificantes aumentam a biodisponibilidade dos lipídios, promovendo uma

digestão mais eficaz, especialmente em dietas com óleos de menor qualidade. Zhao e Kim (2017) acrescentam que a interação entre emulsificantes e lipídios impacta diretamente a eficiência da lipase, especialmente em dietas ricas em ácidos graxos livres.

A maior atividade da tripsina aos 21 dias no grupo alimentado com óleo de soja indica o efeito positivo deste óleo na digestão de proteínas. O óleo de soja, por conter menor quantidade de ácidos graxos livres e maior proporção de ácidos graxos poli-insaturados, favorece a emulsificação dos nutrientes e, conseqüentemente, a digestão proteica (Crespo; Esteve-Garcia, 2001). A emulsificação eficiente promove a ação de enzimas proteolíticas, como a tripsina, aumentando a eficiência digestiva das proteínas. Ravindran (2016) também destaca que emulsificantes, como a lecitina de soja, podem melhorar a digestão de proteínas ao criar um ambiente intestinal mais adequado para a ação da tripsina. Aos 42 dias, não foram observadas diferenças na atividade da tripsina, possivelmente devido à adaptação do sistema digestivo das aves à dieta. Mahagna et al. (1995) explicam que, com o avançar da idade, ocorre uma estabilização da secreção de enzimas pancreáticas, o que pode justificar a ausência de variações neste estágio.

Aos 42 dias, houve uma tendência de maior atividade da quimiotripsina nos frangos alimentados com óleo de soja, possivelmente devido à melhor emulsificação dos nutrientes proporcionada por esse óleo (Crespo; Esteve-Garcia, 2001). O Emulsificante à base de éster de sorbitan também aumentou a atividade da quimiotripsina, aos 42 dias, nos frangos alimentados com óleo de soja, de modo a reforçar a importância dos emulsificantes na digestão proteica (Upadhaya et al., 2017). Esses estudos mostram que emulsificantes melhoram a absorção de nutrientes ao otimizar a formação de micelas, facilitando a ação de enzimas proteolíticas, como a quimiotripsina.

Os resultados evidenciam a relevância das fontes de óleo e dos emulsificantes na modulação da atividade enzimática ao longo do tempo em frangos de corte. O óleo ácido, devido à sua alta concentração de ácidos graxos livres, aumentou a atividade da lipase aos 42 dias, o que é consistente com as observações de Baião e Lara (2005), que correlacionam óleos de menor qualidade à maior necessidade de ação enzimática. Este efeito foi intensificado pela adição do Emulsificante 1, que facilitou a formação de micelas e aumentou a eficiência da lipase, como relatado por Zhao e Kim (2017), Upadhaya et al. (2017) e Zhang et al. (2011).

Por outro lado, o óleo de soja, com uma composição mais estável e menor quantidade de ácidos graxos livres, promoveu maior atividade da tripsina aos 21 dias, facilitando a digestão proteica. Ravindran (2016) e Crespo e Esteve-Garcia (2001) confirmam que a qualidade do óleo afeta a emulsificação e, conseqüentemente, a digestão proteica. O uso de emulsificantes,

especialmente do Emulsificante 1, intensificou esses efeitos, aprimorando a formação de micelas e aumentando a biodisponibilidade dos nutrientes.

Além disso, a lecitina de soja desempenhou um papel crucial na digestão de lipídios por facilitar a emulsificação e a formação de micelas, o que favoreceu a ação das lipases e proteases pancreáticas (Baião; Lara, 2005). Estudos de González-Alvarado et al. (2007) também indicam que a adição de emulsificantes em dietas de frangos de corte melhora a absorção de nutrientes e a eficiência das enzimas digestivas, especialmente em dietas que utilizam óleos de menor qualidade. Esses achados corroboram a literatura, que sugere que emulsificantes aprimoram a digestibilidade dos lipídios e criam um ambiente mais propício para a digestão proteica (Upadhaya., 2017; Choct, 2009).

4.7 Digestibilidade ileal

Os dados de coeficiente de digestibilidade ileal em frangos de corte aos 21 dias de idade (Tabela 15) evidenciam que a digestibilidade dos nutrientes é influenciada tanto pela fonte lipídica quanto pelo uso de emulsificantes.

O óleo de soja degomado apresentou coeficientes de digestibilidade superiores em comparação com o óleo ácido de soja, especialmente no coeficiente de digestibilidade do extrato etéreo (CDEE). O uso de emulsificantes mostrou uma melhora significativa na digestibilidade dos nutrientes. O emulsificante éster de sorbitan destacou-se com os melhores resultados, superando tanto a dieta sem emulsificante quanto a dieta com emulsificante lecitina de soja. A interação entre as fontes lipídicas e os emulsificantes revelou significância para os coeficientes de CDEB, CDMS e CDEE, com valores de p inferiores a 0,05, os quais indicam que a eficácia dos emulsificantes é influenciada pelo tipo de óleo utilizado. O CDEE, em particular, apresentou um valor de p altamente significativo ($<0,0001$), reforçando que a interação entre o emulsificante e a fonte lipídica tem um impacto na digestibilidade do extrato etéreo. O uso de emulsificantes melhorou a digestibilidade dos nutrientes em frangos de corte, sendo o éster de sorbitan o mais eficaz, especialmente em combinação com o óleo de soja degomado.

Tabela 15. Coeficiente de digestibilidade ileal em frangos de corte aos 21 dias alimentados com diferentes emulsificantes e fontes de óleo

Fonte lipídica	CDEB (%)	CDPB (%)	CDMM (%)	CDMS (%)	CDEE (%)
Óleo soja degomado	79,99	85,65	94,06	78,32	92,91 ^A
Óleo ácido de soja	79,81	86,01	93,89	78,29	90,70 ^B
Emulsificante					
Sem	79,50 ^b	85,78 ^{ab}	93,73	77,95 ^b	90,62 ^c
Éster de sorbitan	80,78 ^a	86,38 ^a	93,96	79,18 ^a	92,89 ^a
Lecitina de soja	79,42 ^b	85,34 ^b	94,18	77,78 ^b	91,90 ^b
EPM	0,73	0,83	0,44	0,78	0,60
CV (%)	0,91	0,97	0,46	0,99	0,65
Óleo	0,5136	0,2483	0,2895	0,9280	<,0001
Emulsificante	0,0004	0,0345	0,1125	0,0009	<,0001
Óleo x Emulsificante	0,0019	0,2560	0,0050	0,0009	<,0001

CCEB = coeficiente de digestibilidade da energia bruta; CDPB = coeficiente de digestibilidade da proteína bruta; CDMM = coeficiente de digestibilidade da matéria mineral; CDMS = coeficiente de digestibilidade da matéria seca; CDEE = coeficiente de digestibilidade do extrato etéreo; EPM = erro padrão da média; CV = coeficiente de variação; ^{a,b} = médias seguidas de letras minúsculas distintas diferem entre si pelo teste de Tukey a 5%; ^{A,B} = médias seguidas de letras maiúsculas distintas diferem entre si pelo teste F a 5%.

FONTE: A autora (2024).

Os desdobramentos das interações entre emulsificantes e fontes de óleo (Tabela 16) evidenciam a importância de considerar tanto o tipo de emulsificante quanto a fonte lipídica na formulação de dietas, com o intuito de maximizar a digestibilidade dos nutrientes.

Para o coeficiente de digestibilidade da energia bruta (CDEB), o emulsificante à base de éster de sorbitan apresentou os melhores resultados, com valores mais altos em combinação com óleo de soja (81,36%) em comparação com o óleo ácido (80,25%). O emulsificante à base de lecitina de soja apresentou comportamento inverso, com resultados superiores para o óleo ácido (80,10%) em relação ao óleo de soja (79,75%) ($P = 0,014$). Na dieta sem emulsificante os coeficientes foram semelhantes ($P > 0,05$).

No coeficiente de digestibilidade da matéria mineral (CDMM), o emulsificante de éster de sorbitan se destacou com maior digestibilidade em óleo de soja (94,49%) quando comparado ao óleo ácido (93,54%) ($P = 0,004$). O emulsificante à base de lecitina de soja não apresentou variação entre as fontes de óleo ($P = 0,181$), mas houve diferença geral significativa entre os emulsificantes ($P = 0,037$).

No que tange ao coeficiente de digestibilidade da matéria seca (CDMS), o melhor desempenho foi observado com o emulsificante à base de éster de sorbitan, que proporcionou valores superiores em óleo de soja (79,75%) em comparação com óleo ácido (78,60%) ($P = 0,012$). O emulsificante de lecitina de soja apresentou melhores resultados para o óleo ácido

(78,63%), se comparado ao óleo de soja (76,93%) ($P = 0,007$), indicando significância entre os tratamentos de emulsificantes ($P = 0,0015$).

O coeficiente de digestibilidade do extrato etéreo (CDEE) demonstrou que o emulsificante de éster de sorbitan teve o melhor desempenho com óleo de soja (93,44%) em comparação ao óleo ácido (92,34%) ($P = 0,028$). O emulsificante à base de lecitina também foi mais eficaz com o óleo de soja (92,50%) em relação ao óleo ácido (91,30%) ($P = 0,030$). A dieta sem emulsificante apresentou maior digestibilidade em óleo de soja (92,78%) em comparação ao óleo ácido (88,45%) ($P < 0,0001$). A interação entre emulsificantes e fontes de óleo foi significativa ($P < 0,0001$).

Tabela 16. Desdobramento das interações para os coeficientes de digestibilidade ileal aos 21 dias de frangos alimentados com diferentes emulsificantes e fontes de óleo

Emulsificante	Óleo											
	CDEB (%)			CDMM (%)			CDMS (%)			CDEE (%)		
	Soja	Ácido	Valor P	Soja	Ácido	Valor P	Soja	Ácido	Valor P	Soja	Ácido	Valor P
Sem	79,91 ^b	79,09 ^b	0,173	93,80 ^b	93,68 ^b	0,607	78,26 ^{ab}	77,63 ^b	0,3347	92,78 ^{bA}	88,45 ^{bB}	0,0001
Éster de sorbitan	81,36 ^{aA}	80,25 ^{aB}	0,029	94,49 ^{aA}	93,54 ^{bB}	0,004	79,75 ^{aA}	78,60 ^{aB}	0,0122	93,44 ^{aA}	92,34 ^{aB}	0,028
Lecitina de soja	79,75 ^{bB}	80,10 ^{abA}	0,014	93,92 ^b	94,45 ^a	0,181	76,93 ^{bB}	78,63 ^{aA}	0,0070	92,50 ^{bA}	91,30 ^{aB}	0,030
Valor P	0,001	0,037		0,004	0,048		0,0015	0,036		0,005	0,0001	

CCEB = coeficiente de digestibilidade da energia bruta; CDMM = coeficiente de digestibilidade da matéria mineral; CDMS = coeficiente de digestibilidade da matéria seca; CDEE = coeficiente de digestibilidade do extrato etéreo; ^{a,b} = médias seguidas de letras minúsculas distintas na coluna diferem entre si pelo teste de Tukey a 5%; ^{A,B} = médias seguidas de letras maiúsculas distintas nas linhas diferem entre si pelo teste F a 5%.

FONTE: A autora (2024).

Os resultados referentes à digestibilidade da energia e de nutrientes, aos 21 dias, em frangos de corte alimentados com diferentes emulsificantes e fontes de óleo (Tabela 17) mostram a importância de considerar tanto o tipo de emulsificante quanto a fonte lipídica na formulação de dietas. No que diz respeito à fonte lipídica, o óleo ácido de soja apresentou um valor de energia digestível (ED) maior (3640 kcal) em comparação com o óleo de soja degomado (3600 kcal). Por outro lado, a matéria mineral digestível (MMD) e o extrato etéreo digestível (EED) mostraram respostas melhores para o óleo de soja degomado.

A análise dos emulsificantes demonstrou que todos os parâmetros de digestibilidade foram influenciados pela inclusão de emulsificantes ($P < 0,05$).

As interações entre as fontes de óleo e os emulsificantes foram significativas para todos os parâmetros avaliados ($P < 0,05$), indicando que a eficácia dos emulsificantes varia de acordo com a fonte lipídica.

Tabela 17. Digestibilidade da energia e nutrientes aos 21 dias em frangos alimentados com diferentes emulsificantes e fontes de óleo

Fonte lipídica	ED (kcal)	PD (%)	MMD (%)	MSD (%)	EED (%)
Óleo de soja degomado	3600 ^B	20,36	5,41	74,82	5,53
Óleo ácido de soja	3640 ^A	20,24	5,20	74,33	5,44
Emulsificante					
Sem	3578 ^b	20,36 ^a	5,27 ^b	74,42 ^b	5,36 ^c
Éster de sorbitan	3682 ^a	20,54 ^a	5,23 ^c	75,40 ^a	5,60 ^a
Lecitina de soja	3601 ^b	20,01 ^b	5,41 ^a	73,91 ^b	5,49 ^b
EPM	33,02	0,20	0,03	0,80	0,04
CV (%)	0,91	0,97	0,56	1,08	0,66
Óleo	0,0029	0,1367	<,0001	0,1032	<,0001
Emulsificante	<,0001	<,0001	<,0001	0,0012	<,0001
Óleo x Emulsificante	0,0027	0,0071	<,0001	0,0005	<,0001

ED = energia digestível; PD = proteína digestível; MMD = matéria mineral digestível; MSD = matéria seca digestível; EED = extrato etéreo digestível; EPM = erro padrão da média; CV = coeficiente de variação; ^{a,b} = médias seguidas de letras minúsculas distintas diferem entre si pelo teste de Tukey a 5%; ^{A,B} = médias seguidas de letras maiúsculas distintas diferem entre si pelo teste F a 5%.

FONTE: A autora (2024).

Os dados sobre as interações entre emulsificantes e fontes de óleo na digestibilidade da energia e de nutrientes, aos 21 dias, em frangos de corte (Tabela 18) mostram que a combinação de emulsificantes e tipos de óleo tem um impacto significativo na eficiência digestiva dos frangos, com influência na absorção de energia e nutrientes. Para a energia digestível (ED), o éster de sorbitan foi o mais eficaz, com valores elevados em ambas as fontes de óleo (3672 kcal em óleo de soja, e 3692 kcal em óleo ácido). A lecitina de soja proporcionou interação com as

fontes de óleo ($P = 0,0006$), apresentando melhor ED com o óleo ácido (3653 kcal) em comparação com o óleo de soja (3548 kcal).

Para a proteína digestível (PD), a lecitina de soja apresentou diferença entre as fontes de óleo ($P = 0,0024$), com melhor digestibilidade em óleo de soja (20,23%) em relação ao óleo ácido (19,79%). O éster de sorbitan e a dieta sem emulsificante não apresentaram variações.

No parâmetro de matéria mineral digestível (MMD), observou-se interação significativa ($P < 0,0001$). O melhor desempenho foi apresentado com a lecitina de soja em óleo de soja (5,48%), seguida por óleo ácido (5,34%). O éster de sorbitan apresentou um valor menor em óleo ácido (5,04%). A dieta sem emulsificante também apresentou valores de MMD mais baixos em óleo ácido (5,21%) em comparação com óleo de soja (5,33%; $P = 0,0003$).

Com relação à matéria seca digestível (MSD), o éster de sorbitan apresentou o maior valor com o óleo de soja (76,47%), mostrando uma diferença em comparação ao óleo ácido (74,33%; $P = 0,0005$). A lecitina de soja foi mais eficaz com óleo ácido (74,49%) em relação ao óleo de soja (73,32%; $P = 0,0366$).

O extrato etéreo digestível (EED) foi superior com o emulsificante a base de éster de sorbitan combinado com o óleo ácido (5,66%) em comparação com óleo de soja (5,55%; $P = 0,0016$). A dieta sem emulsificante mostrou menor EED em óleo ácido (5,20%) em relação ao óleo de soja (5,52%; $P = 0,0001$). A interação entre emulsificantes e fontes de óleo foi significativa ($P < 0,05$).

Tabela 18. Desdobramento das interações para a digestibilidade da energia e nutrientes aos 21 dias em frangos alimentados com diferentes emulsificantes e fontes de óleo

Emulsificante	Óleo														
	ED (kcal)			PD (%)			MMD (%)			MSD (%)			EED (%)		
	Soja	Ácido	P Value	Soja	Ácido	P Value	Soja	Ácido	P Value	Soja	Ácido	P Value	Soja	Ácido	P Value
Sem	3581 ^b	3576 ^b	0,836	20,27	20,44 ^a	0,3697	5,33 ^{cA}	5,21 ^{bB}	0,0003	74,68 ^b	74,17	0,4507	5,52 ^{abA}	5,20 ^{cB}	0,0001
Éster de sorbitan	3672 ^a	3692 ^a	0,310	20,57	20,51 ^a	0,3954	5,42 ^{bA}	5,04 ^{cB}	0,0001	76,47 ^{aA}	74,33 ^B	0,0005	5,55 ^{aB}	5,66 ^{aA}	0,0016
Lecitina de soja	3548 ^{bB}	3653 ^{aA}	0,0006	20,23 ^A	19,79 ^{bB}	0,0024	5,48 ^{aA}	5,34 ^{aB}	0,0001	73,32 ^{bB}	74,49 ^A	0,0366	5,51 ^b	5,47 ^b	0,2056
<i>P Value</i>	0,0004	0,0002		0,0520	0,0001		0,0001	0,0001		0,0003	0,7892		0,0561	0,0001	

ED = energia digestível; PD = proteína digestível; MMD = matéria mineral digestível; MSD = matéria seca digestível; EED = extrato etéreo digestível; ^{a,b} = médias seguidas de letras minúsculas distintas na coluna diferem entre si pelo teste de Tukey a 5%; ^{A,B} = médias seguidas de letras maiúsculas distintas nas linhas diferem entre si pelo teste F a 5%.

FONTE: A autora (2024).

Os resultados dos coeficientes de digestibilidade ileal em frangos de corte aos 42 dias (Tabela 19) destacam a importância da escolha de fontes lipídicas e emulsificantes na formulação de dietas. O coeficiente de digestibilidade do extrato etéreo (CDEE) foi o parâmetro mais influenciado, com diferenças tanto entre as fontes lipídicas quanto entre os tratamentos com emulsificantes. O óleo de soja degomado apresentou um CDEE superior (88,61%) em comparação ao óleo ácido de soja (85,53%) ($P < 0,0001$). Este resultado sugere que o óleo de soja degomado favorece a digestão dos lipídios em frangos de corte. A análise dos emulsificantes revelou que a inclusão desses aditivos impactou o CDEE ($P = 0,003$). Entre os emulsificantes, a lecitina de soja e o éster de sorbitan obtiveram melhores resultados em comparação com a dieta sem emulsificante.

Os resultados indicam que a inclusão de emulsificantes, especialmente da lecitina de soja, melhora a digestibilidade do extrato etéreo (CDEE) e da matéria seca (CDMS). O óleo de soja degomado demonstrou ser mais eficiente do que o óleo ácido de soja na digestão de lipídios.

Tabela 19. Coeficiente de digestibilidade ileal em frangos de corte aos 42 dias alimentados com diferentes emulsificantes e fontes de óleo

Fonte lipídica	CDEB (%)	CDPB (%)	CDMM (%)	CDMS (%)	CDEE (%)
Óleo de soja degomado	72,95	75,48	88,26	70,26	88,61 ^A
Óleo ácido de soja	72,05	75,78	88,69	69,67	85,53 ^B
Emulsificante					
Sem	72,30	75,25	88,31	70,15 ^a	85,96 ^b
Éster de sorbitan	72,20	75,82	88,43	68,86 ^b	87,37 ^a
Lecitina de soja	73,05	75,83	88,68	70,74 ^a	87,88 ^a
EPM	1,41	1,86	0,84	0,89	1,14
CV (%)	1,94	2,46	0,95	1,27	1,31
Óleo	0,129	0,746	0,221	0,297	<,0001
Emulsificante	0,471	0,768	0,717	0,003	0,003
Óleo x Emulsificante	0,051	0,063	0,146	0,408	0,714

CCEB = coeficiente de digestibilidade da energia bruta; CDPB = coeficiente de digestibilidade da proteína bruta; CDMM = coeficiente de digestibilidade da matéria mineral; CDMS = coeficiente de digestibilidade da matéria seca; CDEE = coeficiente de digestibilidade do extrato etéreo; EPM = erro padrão da média; CV = coeficiente de variação; ^{a,b} = médias seguidas de letras minúsculas distintas diferem entre si pelo teste de Tukey a 5%; ^{A,B} = médias seguidas de letras maiúsculas distintas diferem entre si pelo teste F a 5%.

FONTE: A autora (2024).

Os resultados da digestibilidade da energia e dos nutrientes aos 42 dias em frangos de corte alimentados com diferentes emulsificantes e fontes de óleo (Tabela 20) mostram que o extrato etéreo digestível (EED) foi um dos parâmetros mais impactados pela fonte lipídica. O óleo de soja degomado apresentou um EED superior (6,08%) em comparação ao óleo ácido de

soja (5,66%), indicando que o óleo de soja degomado é mais eficiente na digestibilidade de lipídios e proporciona maior absorção dessa fração energética.

A digestibilidade da matéria mineral (MMD) também mostrou diferença em relação à fonte lipídica, com o óleo ácido de soja exibindo um MMD superior em comparação ao óleo de soja degomado ($P = 0,042$).

Com relação aos emulsificantes, o éster de sorbitan se destacou por fornecer a maior MMD. Em relação ao EED, tanto o éster de sorbitan quanto a lecitina de soja melhoraram a digestibilidade dos lipídios, com valores de 5,90% e 5,95%, respectivamente, em comparação com a dieta sem emulsificante ($P = 0,0001$). As interações entre fontes de óleo e emulsificantes também tiveram diferença. O valor de proteína digestível (PD) foi influenciada pela combinação de emulsificante e fonte de óleo ($P = 0,005$), indicando que a digestão proteica pode ser melhorada por uma escolha estratégica desses fatores. Além disso, houve interações significativas em MMD ($P < 0,0001$) e EED ($P < 0,0001$).

Tabela 20. Digestibilidade da energia e nutrientes aos 42 dias em frangos alimentados com diferentes emulsificantes e fontes de óleo

Fonte lipídica	ED (kcal)	PD (%)	MMD (%)	MSD (%)	EED (%)
Óleo de soja degomado	3348	13,56	4,42 ^b	67,32	6,08 ^A
Óleo ácido de soja	3310	13,68	4,46 ^A	66,36	5,66 ^B
Emulsificante					
Sem	3291	13,51	4,42 ^b	66,37	5,78 ^b
Éster de sorbitan	3317	13,71	4,65 ^a	66,47	5,90 ^a
Lecitina de soja	3376	13,62	4,26 ^c	67,69	5,95 ^a
EPM	84,50	0,29	0,06	1,66	0,08
CV (%)	2,54	2,11	1,25	2,48	1,30
Óleo	0,208	0,368	0,042	0,127	<,0001
Emulsificante	0,100	0,464	<,0001	0,164	0,0001
Óleo x Emulsificante	0,081	0,005	<,0001	0,024	<,0001

ED = energia digestível; PD = proteína digestível; MMD = matéria mineral digestível; MSD = matéria seca digestível; EED = extrato etéreo digestível; EPM = erro padrão da média; CV = coeficiente de variação; ^{a,b} = médias seguidas de letras minúsculas distintas diferem entre si pelo teste de Tukey a 5%; ^{A,B} = médias seguidas de letras maiúsculas distintas diferem entre si pelo teste F a 5%.

FONTE: A autora (2024).

Os dados acerca das interações para a digestibilidade de nutrientes, aos 42 dias, em frangos de corte alimentados com diferentes emulsificantes e fontes de óleo (Tabela 21) mostram que, para os parâmetros de proteína digestível (PD), houve interação entre os emulsificantes e as fontes de óleo ($P = 0,034$). O emulsificante de éster de sorbitan apresentou maior digestibilidade de proteína com óleo de soja, quando em comparação ao óleo ácido ($P =$

0,029). O emulsificante de lecitina de soja mostrou um resultado oposto, com melhor PD em óleo ácido em comparação ao óleo de soja ($P = 0,024$).

A matéria mineral digestível (MMD) também apresentou interação ($P = 0,0001$). A dieta sem emulsificante apresentou maior MMD com óleo de soja, enquanto com óleo ácido o valor foi menor. A lecitina de soja teve um comportamento distinto, com uma MMD inferior em óleo de soja e superior em óleo ácido ($P = 0,0001$).

A matéria seca digestível (MSD) mostrou significância apenas para o emulsificante 1 (éster de sorbitan), que apresentou maior digestibilidade com óleo de soja em comparação ao óleo ácido, com $p = 0,0184$.

Para o extrato etéreo digestível (EED), houve interação entre os emulsificantes e as fontes de óleo ($P = 0,0001$). O Emulsificante à base de éster de sorbitan apresentou melhor EED com óleo de soja, em relação ao óleo ácido. O Emulsificante à base de lecitina de soja obteve resultados semelhantes, com maior EED em óleo de soja (6,21%), se comparado ao óleo ácido (5,68%).

Os resultados demonstram que a digestibilidade de nutrientes aos 42 dias é influenciada pela inclusão do emulsificante e pelas fontes de óleo. O éster de sorbitan apresentou melhor desempenho quando combinado com óleo de soja. A lecitina de soja mostrou melhor digestibilidade com óleo ácido, de modo que a escolha do tipo de emulsificante e da fonte lipídica deve ser estratégica para maximizar a absorção de nutrientes. A dieta sem emulsificante apresentou menor eficiência geral, reforçando a importância da inclusão de emulsificantes para melhorar a digestão e a absorção de nutrientes em frangos de corte.

Tabela 21. Desdobramento das interações para a digestibilidade de nutrientes aos 42 dias em frangos alimentados com diferentes emulsificantes e fontes de óleo

Emulsificante	Óleo											
	PD (%)			MMD (%)			MSD (%)			EED (%)		
	Soja	Ácido	Valor P	Soja	Ácido	Valor P	Soja	Ácido	Valor P	Soja	Ácido	Valor P
Sem	13,43 ^{ab}	13,60	0,184	4,78 ^{aA}	4,06 ^{bB}	0,0001	66,32	66,42 ^{ab}	0,9089	5,84 ^b	5,71	0,0749
Éster de sorbitan	13,90 ^{aA}	13,48 ^B	0,029	4,65 ^b	4,64 ^a	0,5650	68,21 ^A	64,72 ^{bB}	0,0184	6,20 ^{aA}	5,60 ^B	0,0001
Lecitina de soja	13,34 ^{bB}	13,90 ^A	0,024	3,83 ^{cB}	4,69 ^{aA}	0,0001	67,43	67,94 ^a	0,6474	6,21 ^{aA}	5,68 ^B	0,0001
Valor P	0,0342	0,0776		0,0001	0,0001		0,2348	0,0311		0,0001	0,1588	

PD = proteína digestível; MMD = matéria mineral digestível; MSD = matéria seca digestível; EED = extrato etéreo digestível; ^{a,b} = médias seguidas de letras minúsculas distintas na coluna diferem entre si pelo teste de Tukey a 5%; ^{A,B} = médias seguidas de letras maiúsculas distintas nas linhas diferem entre si pelo teste F a 5%.

FONTE: A autora (2024).

A superior digestibilidade dos lipídios (CDEE), observada com o uso de óleo de soja, pode ser atribuída ao perfil de triglicerídeos e à menor quantidade de ácidos graxos livres. Óleos de qualidade inferior, como o óleo ácido, apresentam maior concentração de ácidos graxos livres, que interferem na emulsificação e prejudicam a ação das lipases pancreáticas, dificultando a digestão (Baião; Lara, 2005; Ravindran et al., 2016). Assim, o óleo ácido mostrou digestibilidade reduzida, especialmente em termos de CDEE, devido à dificuldade na formação de micelas, essenciais para a absorção eficiente de lipídios.

A inclusão de emulsificantes desempenha um papel significativo na melhoria da digestão de lipídios e energia. O emulsificante composto por éster de sorbitan e mono e diglicerídeos de ácidos graxos saturados promoveu o aumento na digestibilidade de energia e de lipídios, pois reduziu a tensão superficial entre as fases lipídica e aquosa e, assim, facilitou a formação de micelas e a ação das lipases pancreáticas (Upadhaya et al., 2017). Além disso, a presença de mono e diglicerídeos contribuiu para a estabilização das emulsões no trato gastrointestinal, promovendo uma digestão mais eficiente dos nutrientes.

Por outro lado, o emulsificante composto por lecitina de soja demonstrou maior eficácia na digestibilidade de lipídios e matéria seca. A lecitina, rica em fosfolipídios, atua em sinergia com os sais biliares, facilitando a formação de micelas e otimizando a digestão e a absorção de lipídios e de outros nutrientes lipossolúveis (Baião; Lara, 2005). Em dietas que contêm óleo ácido, a lecitina de soja compensou a menor qualidade do óleo, melhorando a digestibilidade de lipídios e minerais, conforme indicado nas análises de digestibilidade aos 21 dias. Os resultados de digestibilidade demonstraram que o óleo de soja apresentou valores superior em comparação ao óleo ácido, com digestibilidade de lipídios (CDEE) de 92,91% e 90,70%, respectivamente ($P < 0,0001$). Esta diferença pode ser explicada pela menor concentração de ácidos graxos livres no óleo de soja, o que favorece a formação de micelas mais eficientes, essenciais para a digestão lipídica. Estudos como o de Baião e Lara (2005) destacam que a presença de ácidos graxos livres em óleos de menor qualidade, como o óleo ácido, interfere em níveis de emulsificação, resultando em menor digestibilidade.

Ravindran et al. (2016) investigaram o impacto da qualidade dos óleos na digestibilidade lipídica em frangos de corte, com foco na concentração de ácidos graxos livres. Eles usaram óleos de alta e baixa qualidade, classificados com base na quantidade de ácidos graxos livres: óleos de alta qualidade apresentavam baixos níveis de ácidos graxos livres, enquanto os de baixa qualidade tinham altas concentrações. Os dados obtidos demonstraram que a alta concentração de ácidos graxos livres em óleos de baixa qualidade prejudica a ação das lipases pancreáticas, dificultando a emulsificação e a formação de micelas, o que proporciona uma

digestibilidade lipídica inferior. Estes resultados estão em conformidade com os dados obtidos no presente estudo, no qual o óleo ácido apresentou desempenho inferior em termos de digestibilidade quando comparado ao óleo de soja.

A interação significativa entre o tipo de óleo e o uso de emulsificantes ($P < 0,002$) reforça a importância dos emulsificantes em dietas com óleo ácido. Upadhaya et al. (2017) investigaram o efeito da adição de emulsificantes em dietas para frangos de corte, particularmente em dietas que continham óleos de baixa qualidade, ou seja, com alta concentração de ácidos graxos livres. O objetivo foi avaliar como os emulsificantes poderiam melhorar a eficiência de emulsificação e, por consequência, aumentar a biodisponibilidade dos ácidos graxos e melhorar o desempenho dos frangos. Os resultados indicaram que a inclusão de emulsificantes nas dietas aumentou a digestibilidade dos lipídios e a utilização de energia pelos frangos. No presente estudo, a inclusão do emulsificante com éter de sorbitan melhorou a digestibilidade da energia bruta (CDEB) e dos lipídios (CDEE), com valores de 80,78% e 92,89%, respectivamente. Além disso, o emulsificante com lecitina de soja mostrou-se eficaz na melhoria da digestibilidade da matéria seca (CDMS) e da matéria mineral (CDMM), devido à capacidade dos fosfolipídios em formar micelas que facilitam a absorção de nutrientes lipossolúveis (Baião; Lara, 2005). Este efeito foi particularmente notável em dietas com óleo ácido, nas quais a adição de emulsificantes compensou a menor qualidade do óleo, conforme destacado por Ravindran et al. (2016).

A interação entre os diferentes tipos de óleo e os emulsificantes teve um impacto significativo na eficiência digestiva. As dietas contendo óleo de soja apresentaram melhores resultados com o emulsificante contendo éter de sorbitan, enquanto as que utilizavam óleo ácido se beneficiaram mais com o emulsificante contendo lecitina de soja. Embora a fonte de óleo não tenha causado diferenças significativas na digestibilidade da proteína bruta (CDPB), a inclusão de emulsificantes resultou em uma melhoria significativa ($P = 0,0345$).

O estudo de Ravindran et al. (2016) também destacou que a emulsificação eficiente dos lipídios na dieta melhora a digestão de proteínas, criando um ambiente intestinal mais propício para a ação das enzimas proteolíticas, como a pepsina e a tripsina. Ao otimizar a digestão de gorduras, a emulsificação reduz a competição por recursos digestivos no intestino delgado, permitindo melhores condições para a atuação dessas enzimas, o que resulta em maior absorção e aproveitamento das proteínas.

Portanto, os resultados deste estudo estão de acordo com a literatura. Neste sentido, a qualidade do óleo e a inclusão de emulsificantes são fatores importantes para a eficiência digestiva em frangos de corte. A inclusão de emulsificantes, especialmente do emulsificante à

base de éster de sorbitan foi eficaz na melhoria da digestibilidade de energia, lipídios e proteínas, particularmente em dietas contendo óleos de menor qualidade.

4.8 Ácidos graxos de cadeia curta

A concentração de ácidos graxos de cadeia curta (AGCC) no conteúdo cecal de frangos de corte, aos 21 e aos 42 dias de idade, foi alterada pela fonte lipídica (Tabela 22). Aos 21 dias, a concentração de ácido propanóico ($P = 0,014$) e de ácido butírico ($P = 0,016$) foi maior nos frangos alimentados com óleo de soja degomado em comparação aos alimentados com óleo ácido de soja. Estes resultados indicam que o óleo de soja degomado promove maior fermentação microbiana cecal, resultando em maiores concentrações de propanóico e butírico.

Aos 42 dias, efeito semelhante foi observado quanto à concentração de ácido propanóico ($P = 0,001$). Este achado sugere que a influência do óleo de soja degomado na produção de ácido propanóico persiste em aves mais velhas, sendo eficaz na promoção da fermentação cecal.

A fonte lipídica é um fator determinante na produção de certos ácidos graxos de cadeia curta em frangos de corte. O óleo de soja degomado foi mais eficaz em aumentar as concentrações de ácido propanóico e de ácido butírico, especialmente aos 21 dias de idade, e manteve um efeito superior na produção de ácido propanóico aos 42 dias. Em contraste, a inclusão de emulsificantes e suas interações com as fontes lipídicas não apresentaram impacto significativo na produção de AGCC.

Tabela 22. Concentração de ácidos graxos de cadeia curta (mmol g⁻¹ conteúdo cecal) de frangos de corte alimentados com dietas contendo emulsificante e diferentes fontes lipídicas, aos 21 e 42 dias de idade

Fonte lipídica	21 dias de idade			42 dias de idade		
	Acético	Propanóico	Butírico	Acético	Propanóico	Butírico
Óleo de soja degomado	38,493	3,130 ^a	5,518 ^a	41,848	6,979 ^a	13,220
Óleo ácido de soja	29,108	2,139 ^b	3,517 ^b	37,002	4,508 ^b	10,634
Emulsificante						
Sem	31,755	2,533	3,881	40,781	6,018	10,525
Éster de sorbitan	32,265	2,758	4,748	38,492	6,088	11,957
Lecitina de soja	36,707	2,652	4,759	39,379	5,275	13,298
EPM	13,15	1,03	2,06	12,16	1,73	5,70
CV (%)	39,09	38,85	46,06	30,78	29,95	47,76
Óleo	0,068	0,014	0,016	0,329	0,001	0,226
Emulsificante	0,700	0,815	0,712	0,912	0,544	0,561
Óleo x Emulsificante	0,812	0,317	0,408	0,338	0,375	0,873

EPM = erro padrão da média; CV = coeficiente de variação; ^{A,B} = médias seguidas de letras maiúsculas distintas diferem entre si pelo teste F a 5%.

FONTE: A autora (2024).

A produção de ácidos graxos de cadeia curta (AGCC), como o ácido propanóico, é um importante indicador de saúde intestinal em aves. Os AGCC são subprodutos da fermentação microbiana no intestino e desempenham papéis cruciais na manutenção da integridade intestinal e no bem-estar geral. Segundo Cummings e Macfarlane (1991), o ácido butírico, em particular, é uma fonte de energia fundamental para os enterócitos, de modo a auxiliar a preservação da integridade da barreira intestinal, promovendo a renovação das células epiteliais. Embora o ácido propanóico seja mais utilizado no fígado após a absorção, sua produção indica uma fermentação ativa que beneficia o ambiente intestinal.

A produção de AGCC também contribui para a redução do pH intestinal, criando um ambiente desfavorável para patógenos e mais propício ao crescimento de bactérias benéficas, conforme descrito por Van der Wielen et al. (2000). Esse equilíbrio favorece uma microbiota intestinal saudável. De acordo com Meimandipour et al. (2010), os AGCC podem modular o sistema imunológico e influenciar as respostas imunes inatas e adaptativas em aves. O ácido propanóico, especificamente, possui propriedades que auxiliam na homeostase imunológica.

Estudos indicam que a inclusão de óleo de soja degomado na dieta pode aumentar a produção de ácido propanóico. Baião e Lara (2005) destacam que a composição dos óleos, especialmente o perfil de ácidos graxos, influencia a digestibilidade e a fermentação no trato gastrointestinal. Óleos ricos em ácidos graxos insaturados, como o óleo de soja, são mais

fermentáveis e favorecem uma microbiota cecal que produz maiores concentrações de AGCC. Além disso, Józefiak et al. (2004) demonstraram que a inclusão de óleos vegetais na dieta de frangos de corte promove a fermentação cecal e a produção de AGCC, melhorando a saúde intestinal e o desempenho das aves.

Aos 21 dias, a concentração de ácido acético foi numericamente maior nas aves alimentadas com óleo de soja ($38,493 \text{ mmol g}^{-1}$) em comparação ao óleo ácido ($29,108 \text{ mmol g}^{-1}$), não apresentando diferença ($P = 0,068$). Isto pode estar relacionado ao fato de que o óleo de soja é uma fonte de ácidos graxos insaturados que favorece a formação bacteriana, aumentando a produção de ácidos graxos voláteis, como o acético. Segundo Józefiak et al. (2010), dietas ricas em ácidos graxos insaturados, como a soja, podem promover uma maior produção de ácidos graxos voláteis, devido à maior atividade fermentativa no ceco.

Aos 42 dias, a concentração de ácido acético não apresentou diferença entre os grupos alimentados com óleo de soja ($41,848 \text{ mmol g}^{-1}$) e óleo ácido ($37,002 \text{ mmol g}^{-1}$) ($P = 0,329$), o que pode indicar uma adaptação do microbioma cecal ao longo do tempo, uma vez que as dietas apresentaram respostas semelhantes em termos de produção de ácido acético. Apajalahti et al. (2004) apontam que, com o passar do tempo, as adaptações microbianas podem atenuar as diferenças nas concentrações de ácidos graxos produzidos pela microbiota cecal.

A concentração de ácido propiônico foi significativamente maior nas aves que receberam óleo de soja em ambas as idades (21 e 42 dias). A maior concentração de ácido propiônico pode estar relacionada ao perfil de ácidos graxos presentes no óleo de soja, o que pode melhorar o aproveitamento dos carboidratos no ceco, conforme sugerido por Crespo e Esteve-Garcia (2001). Além disso, o ácido propiônico tem sido associado à saúde intestinal e à regulação do metabolismo lipídico, o que pode ter impacto no desempenho das aves.

O ácido butírico é conhecido por seus efeitos benéficos na saúde intestinal, pois promove a integridade da mucosa e atua, especificamente, como fonte de energia para os enterócitos, conforme relatado por Guilloteau et al. (2010).

A variação nas concentrações de ácido butírico ao longo do tempo pode estar associada a mudanças na composição da microbiota cecal com o avanço da idade, conforme proposto por Timbermont et al. (2011), sugerindo que a microbiota sofre alterações conforme as aves se desenvolvem, o que impacta diretamente a produção de ácidos graxos de cadeia curta.

Os resultados indicam que a fonte de óleo tem um impacto significativo na produção de ácidos graxos de cadeia curta (AGCC), especialmente nos ácidos propiônico e butírico. O óleo de soja, em particular, demonstrou promover maior eficiência metabólica, resultando em uma maior produção desses ácidos.

Por outro lado, o uso de emulsificantes não apresentou efeito sobre as concentrações de AGCC, tanto aos 21 quanto aos 42 dias. Isto sugere que, embora os emulsificantes sejam fundamentais para a digestibilidade dos lipídios, eles não podem influenciar diretamente a atividade bacteriana no ceco responsável pela produção de AGCC, como proposto por Upadhaya et al. (2017). Sua atuação está mais relacionada à absorção de lipídios do que à fermentação de fibras ou de carboidratos complexos, que são os principais precursores do AGCC. Desta forma, a ausência de efeito dos emulsificantes reforça que a modulação da produção de AGCC é mais influenciada pela composição lipídica da dieta do que pela presença de emulsificantes.

Esses resultados corroboram com estudos anteriores, como os de Baião e Lara (2005), que destacaram a influência das fontes de óleo sobre o desempenho e a digestão lipídica em frangos de corte, evidenciando que o óleo de soja, por sua composição em ácidos graxos, promove a melhor utilização dos nutrientes e a maior produção de ácidos graxos de cadeia curta. Da mesma forma, Upadhaya et al. (2017) observaram que diferentes fontes de óleo, especialmente aquelas ricas em ácidos graxos insaturados, como o óleo de soja, resultaram na maior produção de AGCC no ceco, o que se refletiu em melhorias no desempenho das aves e na eficiência digestiva, reforçando a importância da escolha da fonte de óleo na dieta.

5 CONCLUSÃO

A inclusão de emulsificante em dietas para frangos de corte melhorou a digestibilidade dos lipídios e o desempenho das aves. A lecitina de soja mostrou maior eficácia na promoção da absorção de lipídios, refletindo em ganho de peso e eficiência alimentar. O éster de sorbitan, por sua vez, apresentou resultados positivos em combinação com fontes de óleo de menor qualidade, como o óleo ácido de soja, revelando-se uma solução viável para produções que buscam equilíbrio entre custo e desempenho.

Entre as fontes lipídicas, o óleo de soja destacou-se pela superior digestibilidade e pelo impacto positivo no desempenho, enquanto o óleo ácido de soja, quando associado a emulsificantes, demonstrou ser uma opção funcional.

Portanto, a escolha do emulsificante e da fonte lipídica deve ser feita estrategicamente, considerando os objetivos nutricionais e o potencial de aproveitamento energético. O uso de emulsificantes, como a lecitina de soja e o éster de sorbitan, permite aprimorar a eficiência alimentar e adaptar as dietas às necessidades específicas de cada sistema de produção, contribuindo para melhores resultados zootécnicos.

REFERÊNCIAS

- ALLEN, C.D.; RUSSELL, S.M.; FLETCHER, D.L. The relationship of broiler breast meat color and pH to shelf-life and odor development. **Poultry Science**, v. 76, n. 7, p. 1042–1046, 1997.
- AL-MARZOOQI, W.; LESSON, S. Evaluation of dietary supplements of lipase, detergent and crude porcine pancreas on fat utilization by young broiler chicks. **Poultry Science**, Savoy, v. 78, n. 11, p. 1561-1566, 1999.
- APAJALAHTI, J.; KETTUNEN, A.; GRAHAM, H. Characteristics of the gastrointestinal microbial communities, with special reference to the chicken. **World's Poultry Science Journal**, v. 60, n. 2, p. 223-232, 2004.
- ARAÚJO, J.M.A. Emulsificantes. In: ARAÚJO, J.M.A. **Química de alimentos: teoria prática**. 4. ed. Viçosa: UFV, 2008. p. 211-272.
- ARSHAD, M.A.; BHATTI, A.S.; HASSAN, I.; RAHMAN, M.A.; et al. Effects of Bile Acids and Lipase Supplementation in Low-Energy Diets on Growth Performance, Fat Digestibility and Meat Quality in Broiler Chickens. **Brazilian Journal of Poultry Science**, v. 22, n. 2, p.1-8, 2020.
- ASSOCIATION OF OFFICIAL ANALYTICAL CHEMISTRY (AOAC). **Official methods of analysis**. 18. ed. Washington DC: AOAC International, 2005. 1298 p.
- BAIÃO, N.C.; LARA, L.J.C. Oil and fat in broiler nutrition. **Brazilian Journal of Poultry Science**. v. 7, n. 3, p.129-141, 2005.
- BARBUT, S. **Poultry products processing: an industry guide**. 1. ed. Boca Raton (FL): CRC Press, 2001. 560 p.
- BAVARESCO, C.; ZIEGLER, V.; LOPES, D.C.N. et al. Coprodutos do óleo de soja na dieta de codornas: impactos sobre a qualidade durante o armazenamento. **Brazilian Journal of Food Technology**, v. 21, n. e2016168, p.1-8, 2018.
- BERG, J.M.; TYMOCZKO, J.L.; STRYER, L. **Bioquímica**. 7. ed. New York: WH Freeman, 2015.
- BERRI, C.; WACRENIER, N.; MILLET, N. et al. Effect of selection for improved body composition on muscle and meat characteristics of broilers from experimental and commercial lines. **Poultry Science**, v. 80, n. 7, p. 833-838, 2001.
- BOYER, J.L. Bile Formation and Secretion. American Physiological Society. **Compr Physiol** v. 3, n. 3, p. 1035-1078, 2013.

- BRADFORD, M.M. A rapid and sensitive method for the quantitation of microgram quantities of protein utilizing the principle of protein-dye binding. **Analytical Biochemistry**, v. 72, n. 1-2, p. 248, 1976.
- CAREY, M.C.; SMALL, D. M; BLISS, C.M. Lipid digestion and absorption. **Annual Review Physiology**, v. 45, p. 651-677, 1983.
- CHO, J.H.; CHEN, Y.J.; YOO, J.S. et al. Evaluation of fat sources (lecithin, mono-glyceride and mono-diglyceride) in weaned pigs: Apparent total tract and ileal nutrient digestibilities. **Nutrition Research and Practice**, v. 2, n. 2, p. 130-133, 2008.
- CHOCT, M. Managing gut health through nutrition. **British Poultry Science**, v. 50, n. 1, p. 9-15, 2009.
- CORTEZ-CUEVAS, A.; MUNOZ-OROZCO, J.L.; GOMEZ-VERDUZCO, G.G. et al. Effect of two oil types and energy levels on broiler performance, carcass quality and skin pigmentation. **Australian journal of veterinary science**, v. 50, n. 2, p. 89-94, 2018.
- CRESPO, N.; ESTEVE-GARCIA, E. Dietary fatty acid profile modifies abdominal fat deposition in broiler chickens. **Poultry Science**, v. 80, n. 1, p. 71-78, 2001.
- CUMMINGS J.H.; MACFARLANE G.T. The control and consequences of bacterial fermentation in the human colon. **Journal of Applied Bacteriology**, v. 70, n. 6, p. 443-459, 1991.
- CUNNINGHAM, J.G. **Tratado de Fisiologia Veterinária**. 3. ed. São Paulo: Guanabara-koogan, 2004. 596 p.
- DAVIS, H.T. Factors determining emulsion type: hydrophile-lipophile balance and beyond. **Colloids and Surfaces A: Physicochemical and Engineering Aspects**, v.91, p. 9-24, 1994.
- DEL VALLE, T.A.; ZENATTI, T.F.; ANTONIO, G. et al. Effect of chitosan on the preservation quality of sugarcane silage. **Grass and Forage Science**, v.73, p. 630-638, 2018.
- DEN BESTEN, G.; VAN EUNEN, K.; GROEN, A.K. et al. The role of short-chain fatty acids in the interplay between diet, gut microbiota, and host energy metabolism. **Journal of Lipid Research**, v.54, n. 9, p. 2325-2340, 2013.
- DICKINSON, E. Hydrocolloids as emulsifiers and emulsion stabilizers. **Food Hydrocolloids**, v. 23, n. 6, p. 1473-1482, 2009.
- DOREAU, M.; CHILIARD, Y. Digestion and metabolism of dietary fat in farm animals. **British Journal of Nutrition**, v.78, n. 1, p. 15-35, 1997.
- DUFRESNE, M.; SEVA, C.; FOURMY, D. Cholecystokinin and gastrin receptors. **Physiological Reviews**, v. 86, n. 3, p. 805- 847, 2006.

- ERLANGER, B.F.; EDEL, F.; COOPER, A.G. The action of chymotrypsin on two new chromogenic substrates. **Archives of Biochemistry and Biophysics**, v. 115, n. 1, p. 206–210, 1966.
- FAO/WHO. **Compendium of Food Additive Specifications**: Joint FAO/WHO Expert Committee on Food Additives (JECFA), 67th Meeting, Rome, 2006.
- FLETCHER, D.L. Poultry meat quality. **World's Poultry Science Journal**, v. 58, n. 2, p. 131-145, 2002.
- FLETCHER, D.L. Broiler breast meat color variation, pH, and texture. **Poultry Science**, v. 78, n. 9, p. 1323-1327, 1999.
- FREITAS, E. R.; SAKOMURA, N.K.; NEME, R. et al. Valor energético do óleo ácido de soja para aves. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 40, n. 3, p. 241-246, 2005.
- FUNDACIÓN ESPAÑOLA PARA EL DESAROLLO DE LA NUTRICION ANIMAL (FEDNA). **Tablas de composición y valores nutritivos de alimentos para la fabricación de piensos compuestos**. 3. ed. Madrid: FEDNA, 2010.
- GAIOTTO, J. B.; MENTEM, J. F. M.; RACANICCI, A. M. C. Óleo de soja, óleo ácido de soja e sebo bovino como fontes de gordura em rações para frangos de corte. **Revista brasileira de ciência avícola**, v. 2, n. 3, p. 219 – 227, 2000.
- GALANTE, F.; ARAÚJO, M.V.F. **Fundamentos de Bioquímica**: para universitários, técnicos e profissionais de saúde. 2. ed. São Paulo: Rideel, 2014. 209 p.
- GEYRA, A.; UNI, Z.; SKLAN, D. Enterocyte dynamics and mucosal development in the posthatch chick. **Poultry Science**, v. 80, n. 6, p. 776-782, 2001.
- GLATZLE, J.; WANG, Y.; ADELSON, D.W. et al. Chylomicron components activate duodenal vagal afferents via a cholecystokinin A receptor-mediated pathway to inhibit gastric motor function in the rat. **The Journal of Physiology**, v. 550, n. 2, p. 657- 664, 2003.
- GONZÁLEZ-ALVARADO, J.M.; JIMÉNEZ-MORENO, E.; LÁZARO, R. et al. Effect of type of cereal, heat processing of the cereal, and inclusion of fiber in the diet on productive performance and digestive traits of broilers. **Poultry Science**, v. 86, n. 8, p. 1705- 1715, 2007.
- GONZÁLEZ-ALVARADO, J.M.; JIMÉNEZ-MORENO, E.; VALENCIA, D, G. et al. Effects of fiber source and heat processing of the cereal on the development and pH of the gastrointestinal tract of broilers fed diets based on corn or rice. **Poultry Science**, v. 87, n. 9, p. 1779-1795, 2008.
- GUILLOTEAU, P.; MARTIN, L.; EECKHAUT, V. et al. From the gut to the peripheral tissues: the multiple effects of butyrate. **Nutrition Research Reviews**, v. 23, n. 2, p. 366-384, 2010.

- HELDRICH, K. **Official methods of analysis**. 15 ed. Washington DC: Association of Official Analytical Chemists, 1990.
- HONIKEL, K.O. Reference methods for the assessment of physical characteristics of meat. **Journal Meat Science**, v. 49, n. 4, p. 447-457, 1998.
- HUANG, J.; YANG, D.; GAO, D. et al. Effects of soy-lecithin on lipid metabolism and hepatic expression of lipogenic genes in broiler chickens. **Livestock Science**, v. 118, p. 53-60, 2008.
- IQBAL, J.; HUSSAIN, M.M. Intestinal lipid absorption. **American Journal of Physiology - Endocrinol and Metabolism**, v. 296, n. 6, p. E1183–E1194, 2009.
- JÓZEFIAK, D.; RUTKOWSKI, A.; MARTIN, S.A. Carbohydrate fermentation in the avian ceca: a review. **Animal Feed Science and Technology**, v.113, p. 1-15, 2004.
- KAKADE, M.L.; RACKIS, J.J.; MCGHEE, J.G. Determination of trypsin inhibitor activity of soy products: A collaborative analysis of an improved procedure. **American Association of Cereal Chemistry**, v.51, p. 376-382, 1974.
- KISIELINSKI, K.; WILLIS, S.; PRESCHER, A. et al. A simple new method to calculate small intestine absorptive surface in the rat. **Clinical and Experimental Medicine**, v. 2, n. 3, p. 131-135, 2002.
- LAI, W.; HUANG, W.; DONG, B. et al. Effects of dietary supplemental bile acids on performance, carcass characteristics, serum lipid metabolites and intestinal enzyme activities of broiler chickens. **Poultry Science**, v. 97, n. 1, p. 196-202, 2018.
- LEHNINGER, A.L; NELSON, D.L.; COX, M.M. **Lehninger: Princípios de Bioquímica**. 3. ed. São Paulo: Sarvier, 2002.
- LIPSTEIN, B.; BORNSTEIN, S. Lack of Interference between Dietary Acidulated Soybean Soapstock and Calcium in Chicks and Laying Hens. **Poultry Science**, v. 47, n. 6, p. 1905-1911, 1968.
- LUNA, L.G. **Manual of histologic staining methods of the Armed Forces**. 3. ed. New York: Institute of Pathology; McGraw-Hill, 1968. 258 p.
- MAHAGNA, M.; NIR, I.; LARBIER, M. et al. Effect of age and exogenous amylase and protease on development of the digestive tract, pancreatic enzyme activities and digestibility of nutrients in young meat-type chicks. **Reproduction Nutrition Development**, v. 35, n. 2, p. 201-212, 1995.
- MANDARINO, JM.G.; HIRAKURI, M.H.; ROESSING, A.C. **Tecnologia para produção do óleo de soja: descrição das etapas, equipamentos, produtos e subprodutos**. 2. ed. Londrina (PR): Embrapa soja; 2015. p. 1- 41.

- McCLEMENTS, D.J. **Food emulsions: Principles, practice, and techniques**. 2. ed. Boca Raton (FL): CRC Press, 2004.
- MEIMANDIPOUR, A. et al. Efficacy of lactobacilli to normalize production of corticosterone induced by unpleasant handling of broilers. **South African Journal of Animal Science**, v. 40, n. 4, p. 327-333, 2010.
- MONAHAN, F.J. Oxidation of lipids in muscle foods: Fundamental and applied concerns. In: DECKER, E.A.; FAUSTMAN, C.; LOPEZ-BOTE, C.J. (Eds.). **Antioxidant Muscles Food**. Canada: John Wiley & Sons, 2000. p. 113 -133.
- MONTAGNE, L.; PLUSKE, J.R.; HAMPSON, D.J. A review of interactions between dietary fibre and the intestinal mucosa, and their consequences on digestive health in young non-ruminant animals. **Animal Feed Science and Technology**, v. 108, n. 1-4, p. 95-117, 2003.
- MORGADO, M.A.P.; CABRAL, J.M.S.; PRAZERES, D.M.F. Hydrolysis of lecithin by phospholipase a in mixed reversed micelles of lecithin and sodium dioctyl sulphosuccinate. **Journal of Chemical Technology and Biotechnology**, v. 63, n. 2, p. 181-189, 1995.
- NAKAMURA, M.; KATOK, K. Influence of thawing method on several properties of rabbit meat. **Bulletin of Ishika Prefecture College of Agriculture**, v. 11, p. 45-49, 1985.
- NATIONAL RESEARCH COUNCIL (NRC). **Nutrient Requirements of Poultry**. 9. ed. The National Academies Press: Washington DC, 1994.
- NELSON, D.L.; COX, M.M. **Princípios de Bioquímica de Lehninger**. Porto Alegre: Atmed, 2014. p. 357-362.
- NITSAN, Z.; AVRAJAM, G.B.; ZOREF, Z. et al. Growth and development of the digestive organs and some enzymes in broiler chicks after hatching. **British Poultry Science**, v. 32, n.3, p. 515-523, 1991.
- NOY, Y.; SKLAN, D. Digestion and Absorption in the Young Chick. **Poultry Science**, v. 74, n. 2, p. 366-373, 1995.
- OLIVO, R.; SOARES, A.L.; IDA, E.I. et al. Dietary vitamin e inhibits poultry PSE and improves pémeat functional properties. **Journal of Food Biochemistry**, v. 25, n. 4, p. 271-283, 2001.
- PEÑA, J.E.M.; VIEIRA, S.L.; BORSATI, L. et al. Energy Utilization of By-Products from the Soybean Oil Industry by Broiler Chickens: Acidulated Soapstock, Lecithin, Glycerol and Their Mixture. **Brazilian Journal of Poultry Science**, v. 16, n. 4, p. 437-442, 2014.
- PETRACCI, M.; MUDALAL; S.; BABINI, E.; CAVANI, C. Effect of white striping on chemical composition and nutritional value of chicken breast meat. **Italian Journal of Animal Science**, v. 13, n. 1, p. 3138, 2014.

- PINHEIRO, D.F.; CRUZ, V.C.; SARTORI, J.R.; et al. Effect of early feed restriction and enzyme supplementation on digestive enzyme activities in broilers. **Poultry Science**, v. 83, n. 9, p. 1544-1450, 2004.
- POORGHASEMI, M.; SEIDAVI, A.; QOTBI, A.A.A. et al. Influence of Dietary Fat Source on Growth Performance Responses and Carcass Traits of Broiler Chicks. **Asian-Australasian Journal of Animal Sciences**, v. 26, n. 5, p. 705–710, 2013.
- QIAO, M.; FLETCHER, D.L.; NORTH CUTT, J.K. et al. The relationship between raw broiler breast meat color and composition. **Poultry Science**, v. 81, n. 3, p. 422-427, 2002.
- RAVINDRAN, V.; TANCHAROENRAT, P.; ZAEFARIAN, F. et al. Fats in poultry nutrition: Digestive physiology and factors influencing their utilization. **Animal Feed Science and Technology**, v. 213, p. 1-21, 2016.
- REECE; W.O. **Anatomia funcional e fisiologia dos animais domésticos**. 3. ed. São Paulo: Roca; 2008. 330p.
- ROSTAGNO, H.S.; ALBINO, L.F.T.; HANNAS, M.I. et al. **Tabelas Brasileiras para Aves e Suínos**. 4. ed. Viçosa (MG): Departamento de Zootecnia, 2017. 488p.
- ROSTAGNO, H.S.; ALBINO, L.F.T.; DONZELE, J.L. et al. **Tabelas brasileiras para aves e suínos: composição de alimentos e exigências nutricionais**. Viçosa (MG): Departamento de Zootecnia, 2011. 252p.
- ROVERS, M. Saving energy and feed cost with nutritional emulsifier. **International Poultry Production**, v. 22, n. 4, p. 7–8, 2014.
- SAKOMURA, N.K.; DEL BIANCHI, M.; PIZAURO JR, J. M. et al. Effect of age on enzyme activity and nutrients digestibility for broilers fed soybean meal and full fat soybean. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v. 33, n. 4, p. 924-935, 2004.
- SAKOMURA, N.K.; ROSTAGNO, H.S. **Métodos de pesquisa em nutrição de monogástricos**, 2. ed. Funep: Jaboticabal, Brasil, 2016. p. 262.
- SANZ, M.; FLORES, A.; LOPEZ-BOTE, C.J. The metabolic use of energy from dietary fat in broilers is affected by fatty acid saturation. **British Poultry Science**, v. 41, n. 1, p. 61-68, 2000.
- SHOTHORST FEED RESEARCH. **Lecithin in poultry and pig feeding**. Circular Letter SFR 2011-24. Lelystad, Países Baixos, 2011.
- SILVA, J.H.V.; LIMA, R. B.; LACERDA, P.B. et al. Digestão e absorção de lipídios. In: SAKOMURA, N.K.; SILVA, J.H.V.; COSTA, F.G.P. et al. **Nutrição de Não Ruminantes**. São Paulo: FUNEP Jaboticabal, 2014. p. 62-76.

- SIYAL, F.A.; BABAZADEH, D.; WANG, C. et al. Emulsifiers in the poultry industry. **World's Poultry Science Journal**. v. 73, n.3, p. 611 – 620, 2017.
- SKLAN, D. Digestion and absorption of lipids in chicks fed triglycerides or free fatty acids: synthesis of monoglycerides in the intestine. **Poultry Science**, v. 58, n. 4, p. 885-889, 1979.
- SMIRNOV, A.; SKLAN, D.; UNI, Z. Mucin dynamics in the chick small intestine are altered by starvation. **The Journal of Nutrition**. v. 134, n. 4, p. 736-742, 2004.
- SOLAE COMPANY. **Lecithin for animal feed**. San Luis (MI): LEC, 2000.
- SORENSEN, G.; JORGENSEN, S. S. A critical examination of some experimental variables in the 2-thiobarbituric acid (TBA) test for lipid oxidation in meat products. **Zeitschrift für Lebensmittel-untersuchung und Forschung**, v. 202, n. 3, p. 205–210, 1996.
- TAN, H.S.; ZULKIFLI, I.; FARJAM, A.S. et al. Effect of exogenous emulsifier on growth performance, fat digestibility, apparent metabolisable energy in broiler chickens. **Journal of Biochemistry, Microbiology and Biotechnology**, v. 4, p. 7-10, 2016.
- TANCHAROENRAT, P.; RAVINDRAN, V.; ZAEFARIAN, F. et al. Digestion of fat and fatty acids along the gastrointestinal tract of broiler chickens. **Poultry Science**, v. 93, p. 371–379, 2014.
- TANCHAROENRAT, P.; RAVINDRAN, V.; ZAEFARIAN, F. et al. Influence of age on the apparent metabolisable energy and total tract apparent fat digestibility of different fat sources for broiler chickens. **Animal Feed Science and Technology**, v. 186, n. 3 - 4, p. 186– 192, 2013.
- TIMBERMONT, L.; HAESEBROUCK, F.; DUCATELLE, R. et al. Necrotic enteritis in broilers: an updated review on the pathogenesis. **Avian Pathology**. v. 40, n. 4, p. 341-347, 2011.
- UNI, Z.; GEYRA, A.; BEN-HUR, H. et al. Small intestinal development in the young chick: crypt formation and enterocyte proliferation and migration. **British Poultry Science**, v. 41, v. 5, p. 544-551, 2000.
- UPADHAYA, S.D.; LEE, J.S.; JUNG, K.J. et al. Influence of emulsifier blends having different hydrophilic-lipophilic balance value on growth performance, nutrient digestibility, serum lipid profiles, and meat quality of broilers. **Poultry Science**. v. 97, n. 1, p. 255-261, 2017.
- VAN DER WIELEN, P.W.; BIESTERVELD, S.; NOTERMANS, S. et al. Role of volatile fatty acids in development of the cecal microflora in broiler chickens during growth. **Applied and Environmental Microbiology**, v. 66, n. 6, p. 2536-2540, 2000.
- VERKEMPINCK, S.H.E.; SALVIA-TRUJILLO, L.; MOENS, L.G. et al. Emulsion stability during gastrointestinal conditions effects lipid digestion kinetics. **Food Chemistry**, v. 246, p. 179-191, 2018.

- VON SCHAUMBURG, P.; UTTERBACK, P.; PARSONS, C.M. et al. Further evaluation of a slope-ratio precision-fed rooster assay and a limit-fed broiler chicken growth assay for relative metabolizable energy and relative bioavailable energy values of fats and oils. **Poultry science**, v.98, n.4, p.1723-1731, 2018.
- VYNCKE, W. Evaluation of the Direct Thiobarbituric Acid Extraction Method for Determining Oxidative Rancidity in Mackerel (*Scomber scombrus* L.). **Fette, Seifen, Anstrichmittel**, v. 77, n. 6, p. 239-240, 1975.
- WISEMAN, J.; COLE, D. J.; PERRY, F.G. et al. Apparent metabolizable energy values of fats for broiler chicks. **British Poultry Science**. v. 27, n. 4, p. 561-576, 1986.
- WU, S.B.; CHOCT, M.; PESTI, G. Historical flaws in bioassays used to generate metabolizable energy values for poultry feed formulation: a critical review. **Poultry Science**, v. 99, n. 1, p. 385-406, 2019.
- YADAV, G.B; KADAM, A.S.; PACHPANDE, A.M. et al. Post hatch histo-morphological studies of small intestinal development in chicks fed with herbal early chick nutritional supplement. **International Journal of Poultry Science**, v. 9, n. 9, p. 851-855, 2010.
- YANG, H.M.; WANG, W.; WANG, Z.Y. et al. Comparative study of intestine length, weight and digestibility on different body weight chickens. **African Journal of Biotechnology**, v. 12, n. 32, p. 5097-5100, 2013.
- YASAR, S. Performance and gastro-intestinal response of broiler chickens fed on cereal grain-based foods soaked in water. **British Poultry Science**, v. 40, n. 1, p. 65-76, 1999.
- ZHANG, B.; HAITAO, L.; ZHAO, D. et al. Effect of fat type and lysophosphatidylcholine addition to broiler diets on performance, apparent digestibility of fatty acids, and apparent metabolizable energy content. **Animal Feed Science and Technology**, v. 163, n. 2–4, p. 177–184, 2011.
- ZHAO, P.Y.; KIM, I.H. Effect of diets with different energy and lysophospholipids levels on performance, nutrient metabolism, and body composition in broilers. **Poultry Science**, v. 96, n. 5, p. 1341-1347, 2017.

APÊNDICE A – Perfil de ácidos graxos e qualidade nutricional do óleo ácido de soja e óleo de soja degomado

Análise	Óleo ácido soja	Óleo soja degomado
Extrato etéreo (%)	96,07	97,38
Ácidez em ácido oleico (%)	68,91	2,02
Índice de Peroxido (meq kg ⁻¹)	0,83	1,34
Índice de Iodo (g 100g ⁻¹)	105,97	125,40
Índice de Saponificação (mg KOH g ⁻¹)	190,79	185,66
Impurezas (%)	0,09	0,09
Perfil de ácidos graxos (%)		
Ác. Butírico (C4:0)	0,04	0,03
Ác. Capróico (C6:0)	<0,0003	<0,0003
Ác. Caprílico (C8:0)	<0,0003	<0,0003
Ác. Cáprico (C10:0)	<0,0003	<0,0003
Ác. Láurico (C12:0)	0,02	<0,0003
Ác. Mirístico (C14:0)	0,80	0,09
Ác. Miristoleico (C14:1)	0,09	<0,0003
Ác. Pentadecanóico (C15:0)	0,13	0,02
Ác. Palmítico (C16:0)	17,93	11,65
Ác. Palmitoleco (C16:1n7)	1,28	0,07
Ác. Margárico (C17:0)	0,28	0,09
Ác. Esteárico (C18:0)	7,41	5,11
Ác. Oleico (C18:1n9c)	31,54	24,35
Ác. Linolelaídico (C18:2n6t)	0,06	<0,0003
Ác. Linoleico (C18:2n6c)	31,92	48,63
Ác. Gama Linolênico (C18:3n6)	0,03	<0,0003
Ác. Alfa Linolênico (C18:3n3)	2,26	5,56
Ác. Araquídico (C20:0)	0,37	0,50
Ác. Cis-11-Eicosenóico (C20:1n9)	0,32	0,23
Ác. Heneicosanóico (C21:0)	0,01	<0,0003
Ác. Cis-11,14-Eicosadienóico (C20:2)	0,11	<0,0003
Ác. Araquidônico (C20:4n6)	0,29	<0,0003
Ác. Behenico (C22:0)	0,44	0,59
Ác. Erúico (C22:1n9)	0,01	<0,0003
Ác. 5,8,11,14,17 - EPA (C20:5n3)	0,02	<0,0003
Ác. Tricosanóico (C23:0)	0,09	0,07
Ác. Lignocérico (C24:0)	0,33	0,26
Ác. Nervonico (C24:1n9)	0,00	<0,0003
Ác. Docosaheptaenóico DHA (C22:6n3)	0,00	<0,0003
Gordura Monoinsaturada	33,26	24,70
Gordura Poli-insaturada	68,04	54,27
Gorduras Insaturadas	68,04	78,98
Gorduras Saturadas	28,03	18,41
Gorduras Trans	0,08	0,05
Ômega 3	2,30	5,56
Ômega 6	32,37	48,63
Ômega 9	31,89	24,63