

UNIVERSIDADE FEDERAL DE PELOTAS
Faculdade de Agronomia Eliseu Maciel
Programa de Pós-Graduação em Zootecnia



Dissertação

Efeito de emulsificante sintético na qualidade de *pellet*, na digestibilidade de nutrientes e no desempenho de frangos de corte

Thais Bastos Stefanello

Pelotas, 2018

Thais Bastos Stefanello

Efeito de emulsificante sintético na qualidade de *pellet*, na digestibilidade de nutrientes e no desempenho de frangos de corte

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Zootecnia da Faculdade de Agronomia Eliseu Maciel da Universidade Federal de Pelotas, como requisito parcial à obtenção do título de Mestre em Ciências.

Orientador: Prof. Dr. Eduardo Gonçalves Xavier
Co-orientador: Pesquisador Dr. Everton Luis Krabbe

Pelotas, 2018

Universidade Federal de Pelotas / Sistema de Bibliotecas
Catalogação na Publicação

S816e Stefanello, Thais Bastos

Efeito de emulsificante sintético na qualidade de pellet, na digestibilidade de nutrientes e no desempenho de frangos de corte / Thais Bastos Stefanello ; Eduardo Gonçalves Xavier, orientador ; Everton Luis Krabbe, coorientador. — Pelotas, 2018.

71 f. : il.

Dissertação (Mestrado) — Programa de Pós-Graduação em Zootecnia, Faculdade de Agronomia Eliseu Maciel, Universidade Federal de Pelotas, 2018.

1. Durabilidade. 2. Emulsificante. 3. Energia. 4. Nutrição. 5. Peletização. I. Xavier, Eduardo Gonçalves, orient. II. Krabbe, Everton Luis, coorient. III. Título.

CDD : 636.51

Thais Bastos Stefanello

Efeito de emulsificante sintético na qualidade de *pellet*, na digestibilidade de nutrientes e no desempenho de frangos de corte

Dissertação aprovada, como requisito parcial, para obtenção do grau de Mestre em Ciências, Programa de Pós-Graduação em Zootecnia, Faculdade de Agronomia Eliseu Maciel, Universidade Federal de Pelotas.

Data de Defesa: 28 de fevereiro de 2018

Banca examinadora:

Prof. Dr. Eduardo Gonçalves Xavier (Orientador)
Ph.D. em Nutrição Animal pela University of Kentucky

Prof. Dr. Débora Cristina Nichelle Lopes
Doutora em Nutrição Animal pela Universidade Federal de Pelotas

Prof. Dr. Fernando Rutz
Ph.D. em Nutrição Animal pela University of Kentucky

Prof. Dr. Victor Fernando Büttow Roll
Doutor em Produção Animal pela Universidad de Zaragoza

Agradecimentos

Primeiro de tudo, gostaria de agradecer a Deus por me guiar, iluminar e me tranquilizar para seguir em frente e não desanimar com as dificuldades.

Agradeço aos meus pais e minha irmã por estarem ao meu lado sempre vibrando a cada conquista. Por me motivarem dia a dia e entenderem meus momentos de estresse.

À minha avó Maria por estar sempre ao meu lado, mesmo longe.

Agradeço muito ao amigo Eduardo. Resumir a importância do meu orientador é pouco mas tenho certeza que ele sabe de toda a significância que teve, não só na condução deste trabalho mas também como um amigo para qualquer momento.

Agradeço aos demais professores e amigos, Débora, Aline, Beatriz e Victor por me acolherem e auxiliarem em todos os momentos.

Aos amigos do grupo Geaspel.

Aos colegas de pós-graduação, em especial, Caroline, Débora, Juliana, Renata, Suelen, Javier e Juan.

À Embrapa Suínos e Aves, Edenilse Gopinger e Diego Surek.

Agradeço especialmente ao pesquisador Everton Luis Krabbe, pela disponibilidade de co-orientação ao longo do mestrado, sempre disposto a me ajudar em todos os aspectos.

À Universidade Federal de Pelotas por ter sido minha instituição de ensino durante todo período de graduação e mestrado.

Ao Programa de Pós-graduação em Zootecnia por ter me acolhido durante os dois anos de mestrado e proporcionado grande crescimento científico.

À CAPES que concedeu minha bolsa de estudos e financiou meu estudo.

Resumo

STEFANELLO, Thais Bastos. **Efeito de emulsificante sintético na qualidade de *pellet*, na digestibilidade de nutrientes e no desempenho de frangos de corte.** 2018. 71f. Dissertação (Mestrado em Nutrição Animal) - Programa de Pós-Graduação em Zootecnia, Faculdade de Agronomia Eliseu Maciel, Universidade Federal de Pelotas, Pelotas, 2018.

No presente estudo avaliou-se a utilização de um emulsificante a base de polietilenoglicol ricinoleato de gliceril na dieta de frangos de corte sobre a qualidade de *pellet*, desempenho produtivo e digestibilidade de nutrientes. Foram utilizados 980 pintos machos, da linhagem comercial Cobb 500, com um dia de idade e as aves foram distribuídas em um delineamento em blocos completos casualizados conforme o peso inicial, em um esquema fatorial 2x2x2 (duas formas físicas de dieta, presença ou ausência do emulsificante, e dois níveis de energia). O período experimental foi de 1 a 28 dias de idade. Os tratamentos utilizados foram: T1 – dieta triturada, sem emulsificante e energia convencional (3000 kcal); T2 – dieta farelada, sem emulsificante e energia convencional; T3 – triturada, sem emulsificante e energia reduzida (2900 kcal); T4 – farelada, sem emulsificante e energia reduzida; T5 – triturada, com emulsificante e energia convencional; T6 – farelada, com emulsificante e energia convencional; T7 – triturada, com emulsificante e energia reduzida; e T8 – farelada, com emulsificante e energia reduzida. Os dados foram submetidos à análise de variância (ANOVA) e as médias comparadas por teste de Tukey a 5% de significância. O desempenho produtivo dos frangos e a digestibilidade de nutrientes não foram afetados pela adição do emulsificante às dietas, com exceção da EMAn, que aumentou em ambas as formas físicas das dietas. Quanto à qualidade física das dietas, a adição do emulsificante aumentou a dureza dos *pellets* e a atividade de água. Conclui-se que o uso de emulsificante a base de polietilenoglicol ricinoleato de gliceril na dieta de frangos de corte não proporcionou efeitos benéficos para o desempenho e digestibilidade de nutrientes nas condições em que estudo foi executado.

Palavras-chave: durabilidade, emulsificante, energia, nutrição, peletização.

Abstract

STEFANELLO, Thais Bastos. **Effect of synthetic emulsifier on pellet quality, nutrient digestibility and broiler performance.** 2018. 71p. Thesis (Master Degree in Animal Nutrition) - Programa de Pós-Graduação em Zootecnia, Faculdade de Agronomia Eliseu Maciel, Universidade Federal de Pelotas, Pelotas, Brazil, 2018.

The present study evaluated the utilization of a fat emulsifier based on glyceryl polyethylene glycol ricinoleate in the diet of chickens on the pellet quality, productive performance and digestibility of nutrients. A total of 980 one-day-old male chickens (Cobb 500) were distributed in a completely randomized block design according to the initial weight, in a 2x2x2 (two physical forms of diets, presence or absence of emulsifier, and two levels of energy) factorial. The experimental period was from 1 to 28 days. The treatments were: T1 – crumbled diet, without emulsifier and with conventional energy (3000 kcal); T2 – mashed diet, without emulsifier and with conventional energy; T3 – crumbled, without emulsifier and with reduced energy (2900 kcal); T4 – mashed, without emulsifier and with reduced energy; T5 – crumbled, with emulsifier and conventional energy; T6 – mashed, with emulsifier and conventional energy; T7 – crumble, with emulsifier and reduced energy; and T8 – mashed, with emulsifier and reduced energy. Data were submitted to analysis of variance (ANOVA) and the means were compared by Tukey test at 5% of significance. Both productive performance and nutrient digestibility were not affected by the addition of the emulsifier to the diets, except for AMEn, which increased in both types of diets. However, the addition of emulsifier increased both the hardness of the crumble diet and the water activity. It is concluded that the use of fat emulsifier based on glyceryl polyethylene glycol ricinoleate in the diet of chickens did not provide beneficial effects on productive performance and digestibility of nutrients under the conditions in which the study was executed.

Key words: durability, emulsifier, energy, nutrition, pelleting.

Lista de Figuras

| | | |
|-----------|---|----|
| Figura 1 | Estrutura química dos emulsificantes..... | 18 |
| Figura 2 | Esquema fatorial 2x2x2..... | 28 |
| Figura 3 | Análise da interação entre os fatores emulsificante e forma física para as variáveis densidade e atividade de água..... | 31 |
| Figura 4 | Análise da interação tripla entre os fatores emulsificante, nível de energia e forma física para as variáveis peso médio, consumo de ração e ganho de peso aos 21 dias..... | 40 |
| Figura 5 | Análise da interação entre os fatores forma física e nível de energia para a variável conversão alimentar aos 28 dias..... | 43 |
| Figura 6 | Análise da interação entre os fatores forma física e nível de energia para as variáveis peso médio, ganho de peso diário e conversão alimentar aos 28 dias..... | 44 |
| Figura 7 | Análise da interação entre os fatores emulsificante, nível de energia e forma física para a variável consumo diário de ração aos 28 dias..... | 46 |
| Figura 8 | Análise das interações entre emulsificante e energia para as variáveis CDA PB e EMAn de 10 a 14 dias..... | 48 |
| Figura 9 | Análise das interações entre emulsificante e forma física para as variáveis CDA MS, EMA e EMAn de 10 a 14 dias.... | 51 |
| Figura 10 | Análise das interações entre os fatores energia e forma física para as variáveis CDA EE, EMA e EMAn de 10 a 14 dias..... | 53 |
| Figura 11 | Análise das interações entre emulsificante e forma física para as variáveis CDA EE de 24 a 28 dias..... | 55 |
| Figura 12 | Análise das interações entre energia e forma física para as variáveis CDA EE de 24 a 28 dias..... | 56 |
| Figura 13 | Análise das interações entre emulsificante, energia e forma física para as variáveis CDA PB e EMAn de 24 a 28 dias..... | 58 |

Lista de Tabelas

| | | |
|-----------|--|----|
| Tabela 1 | Classificação dos aditivos para alimentação animal..... | 17 |
| Tabela 2 | Composição das dietas experimentais (%)..... | 26 |
| Tabela 3 | Propriedades e características do emulsificante..... | 27 |
| Tabela 4 | Avaliação física das dietas com o emulsificante (médias±desvio padrão)..... | 31 |
| Tabela 5 | Qualidade de <i>pellet</i> com emulsificante (médias±desvio padrão)..... | 33 |
| Tabela 6 | Desempenho de frangos de corte de 1 a 7 dias de idade (médias±desvio padrão)..... | 35 |
| Tabela 7 | Desempenho de frangos de corte de 1 a 14 dias de idade (médias±desvio padrão) | 38 |
| Tabela 8 | Desempenho de frangos de corte de 1 a 21 dias de idade (médias±desvio padrão)..... | 39 |
| Tabela 9 | Desempenho de frangos de corte de 1 a 28 dias de idade (médias±desvio padrão)..... | 42 |
| Tabela 10 | Coeficiente de digestibilidade aparente dos nutrientes e energia metabolizável aparente determinada aos 10-14 dias (médias±desvio padrão)..... | 49 |
| Tabela 11 | Coeficiente de digestibilidade aparente dos nutrientes e energia metabolizável aparente determinada aos 24-28 dias (médias±desvio padrão)..... | 54 |

Lista de Abreviaturas e Siglas

| | |
|-------------------|--|
| °C | Graus Celsius |
| % | Porcentagem |
| µm | Micrômetro |
| ANOVA | Análise de variância |
| Aa | Atividade de água |
| CA | Conversão alimentar |
| DBC | Blocos completos casualizados |
| CDA | Coeficiente de digestibilidade aparente |
| CD | Consumo diário |
| CEDISA | Centro de Diagnóstico de Sanidade Animal |
| CEEA | Comitê de Ética em Experimentação Animal |
| CNPISA | Centro Nacional de Pesquisa de Suínos e Aves |
| DGM | Diâmetro geométrico médio |
| EE | Extrato etéreo |
| EMA | Energia metabolizável aparente |
| EMAn | Energia metabolizável aparente corrigida para nitrogênio |
| g | Gramas |
| GPD | Ganho de peso diário |
| GPR | Polietilenoglicol ricinoleato de gliceril |
| HLB | Equilíbrio hidrofílico-lipofílico |
| kcal/kg | Quilocalorias por quilograma |
| kg/m ³ | Quilograma por metro cúbico |
| kgf | Quilograma força |
| mm | Milímetro |
| MS | Matéria seca |
| PB | Proteína bruta |
| PDI | Índice de durabilidade de <i>pellet</i> |
| PM | Peso médio |
| RPM | Rotações por minuto |
| UFC | Unidades formadoras de colônias |

Sumário

| | |
|--|-----------|
| 1. Introdução | 12 |
| 2. Revisão de literatura | 14 |
| 2.1. Avicultura atual | 14 |
| 2.2. Lipídios na dieta de frangos | 15 |
| 2.3. Digestão lipídica nas aves | 15 |
| 2.4. Aditivos emulsificantes..... | 18 |
| 2.4.1. Emulsificante à base de polietilenoglicol ricinoleato de gliceril | 21 |
| 2.5. Peletização e qualidade física dos <i>pellets</i> | 22 |
| 2.5.1. Durabilidade e dureza dos <i>pellets</i> | 22 |
| 2.5.2. Atividade de água | 24 |
| 3. Metodologia | 24 |
| 3.1. Aprovação no comitê de ética..... | 24 |
| 3.2. Local de execução experimental..... | 24 |
| 3.3. Manejo dos animais e instalações | 25 |
| 3.4. Dietas experimentais | 25 |
| 3.5. Delineamento experimental e tratamentos..... | 28 |
| 3.6. Variáveis analisadas | 29 |
| 3.6.1. Avaliação física e microbiológica das dietas | 29 |
| 3.6.1.1. Atividade de água (Aa)..... | 29 |
| 3.6.1.2. Índice de durabilidade do <i>pellet</i> (PDI) | 30 |
| 3.6.1.3. Dureza | 30 |
| 3.6.1.4. Densidade..... | 30 |
| 3.6.2. Desempenho produtivo | 31 |
| 3.6.3. Digestibilidade..... | 31 |
| 3.7. Análise estatística | 31 |
| 4. Resultados e discussão | 32 |
| 4.1. Avaliação física e microbiológica das dietas | 32 |
| 4.2. Desempenho produtivo | 34 |
| 4.3. Digestibilidade de nutrientes | 49 |
| 5. Conclusão | 62 |
| Referências | 63 |

1. Introdução

A produção industrial avícola passou por avanços no âmbito genético, nutricional e sanitário nos últimos anos, o que permitiu assumir fundamental importância para a economia brasileira (ROSTAGNO et al., 2011). Atualmente, o Brasil se encontra em uma posição de destaque como maior exportador e segundo maior produtor de carne de frango do mundo, produzindo em 2017 aproximadamente 14 milhões de toneladas de carne, segundo dados da *United States Department of Agriculture* (USDA, 2017).

A seleção genética intensa para taxa de crescimento e eficiência alimentar resultou no surgimento de linhagens cada vez mais exigentes em termos nutricionais. Paralelamente, a nutrição atingiu um alto grau de precisão e dietas podem ser formuladas com base em um melhor conhecimento das exigências e eficiência de utilização dos ingredientes (RICHARDS, 2003).

Para atender às necessidades de linhagens modernas de frangos de corte e melhorar o desempenho, dietas são fornecidas com uma alta concentração de nutrientes e energia (POORGHASEMI et al., 2013). Para alcançar elevada densidade energética, gorduras e óleos são incorporados à dietas comerciais. Além de seu uso como fonte energética, as gorduras são também adicionadas por seus efeitos na redução da pulverulência e separação das partículas em dietas fareladas, melhora da palatabilidade, fornecimento de ácidos graxos essenciais e lubrificação de equipamentos de moagem (SOEDE, 2005).

No entanto, características físico-químicas das gorduras, como quantidade e estrutura dos ácidos graxos, e também fatores específicos das aves, como estado de saúde e idade, podem limitar a digestibilidade da gordura (ROVERS, 2017).

É importante considerar a influência da idade no processo de digestão e absorção da gordura (LIMA et al., 2003). Nas primeiras semanas de vida, a digestibilidade dos lipídios é menor devido à baixa produção da enzima lipase e dificuldade de fazer a re-circulação entero-hepática dos sais biliares, porém aumenta conforme a idade (AL-MARZOOQI; LEESON, 1999).

Neste contexto, estratégias nutricionais viáveis têm sido estudadas para melhorar os processos digestivos e a qualidade física das dietas. O uso de emulsificantes exógenos pode vir a ser uma alternativa para melhorar a digestibilidade de fontes energéticas. No entanto, sua utilização ainda é pequena em

relação aos demais aditivos alimentares, sendo os dados disponíveis sobre sua eficácia limitados e inconsistentes, necessitando maiores estudos aplicados à nutrição de frangos de corte. Dessa forma, o presente estudo avaliou a utilização de um emulsificante a base de polietilenoglicol ricinoleato de gliceril na dieta de frangos de corte sobre a qualidade de *pellet*, desempenho produtivo e digestibilidade de nutrientes da dieta.

2. Revisão de literatura

2.1. Avicultura atual

A indústria de frangos de corte evoluiu significativamente no Brasil e seu dinamismo está ligado a ganhos produtivos constantes, particularmente através da melhora dos índices de conversão alimentar, tecnologias de nutrição, pesquisa em genética, maior automação de instalações e melhor gerenciamento de produção (PATRICIO et al., 2012).

O desenvolvimento da cadeia avícola na América do Sul iniciou na década de 1950, caracterizada basicamente como uma atividade agropecuária de subsistência com poucos recursos, sem expressão econômica e de baixo desempenho. Naquele período, o desempenho do frango era de 1,6 kg de peso vivo aos 70 dias e uma conversão alimentar de até 2,5 (ANDRADE, 1990). Já na década de 1970, período conhecido como “milagre econômico”, o governo brasileiro estimulou a produção de frangos de corte através de empréstimos e incentivos para empresas integradas, inicialmente no sul do país e depois espalhando-se para as demais regiões. Na época, o desempenho do frango brasileiro já havia melhorado significativamente, atingindo 1,6 kg de peso vivo em 49 dias, com conversão alimentar de 2,0 (ANDRADE, 1990).

A exportação de carne de frango brasileira iniciou-se em 1975 e, nos anos seguintes, estabeleceu-se como competitiva, organizada e integrada em mais de 75% da produção comercial (NORTH, 1984). Nos anos seguintes, mudanças profundas na indústria de aves ocorreram, como priorização de linhagens genéticas de alto rendimento e melhor conversão alimentar, crescentes internacionalizações e fusões de grandes empresas, além de mudanças nas linhas de produção, na qual cortes de frangos começaram a ser processados e exportados (MIOR, 2005).

Atualmente, o Brasil destaca-se como segundo maior produtor e maior exportador de carne de frangos, com aproximadamente 14 milhões de toneladas produzidas no ano de 2017 (USDA, 2017). Linhagens comumente utilizadas, como a Cobb, são abatidas em até 42 dias, com peso vivo médio de 2,95 kg e conversão alimentar de 1,69 (COBB-VANTRESS, 2012), refletindo os avanços atingidos em todos os âmbitos da cadeia produtiva brasileira.

2.2. Lipídios na dieta de frangos

A compreensão dos aspectos fisiológicos relacionados ao sistema digestório das aves promove o melhor entendimento dos mecanismos de ação envolvidos com o aproveitamento de nutrientes (SOUSA et al., 2017).

Para aumentar a concentração energética em dietas para frangos de corte, comumente são adicionadas gorduras animais e óleos vegetais, visando melhor desempenho e crescimento das aves (POORGHASEMI et al., 2013). Lipídios são moléculas orgânicas que exercem funções essenciais na nutrição, bioquímica e fisiologia dos animais (GONZALEZ; SILVA, 2017). Os lipídios de maior importância nutricional são compostos por aproximadamente 90% de triglicerídios, que apresentam como função o armazenamento de energia. Fosfolipídios, colesterol, ácido araquidônico e vitaminas lipossolúveis também desempenham importantes ações metabólicas.

Apesar de quimicamente diferentes entre si, os lipídios exibem como particularidade comum a insolubilidade em água (NELSON; COX, 2002), o que confere maior complexidade aos processos de digestão e transporte desses compostos, além de exigir quantidades suficientes de sais biliares e de enzima lipase (RAVINDRAN et al., 2016).

2.3. Digestão lipídica nas aves

A digestão em frangos de corte é iniciada através da ação mecânica na moela (LEESON; SUMMERS, 2001). O baixo pH presente no pró-ventrículo provocam a agregação de partículas de gordura e, na moela, o alimento é reduzido mecanicamente de tamanho através de moagem e mistura vigorosa (RAVINDRAN et al., 2016).

O local mais importante de digestão de gorduras nas aves é o intestino delgado. A presença de alimento no duodeno estimula a liberação de bile e de suco pancreático. O tampão bicarbonato, dos sucos pancreático e biliar, aumenta o pH luminal, criando um ambiente alcalino para receber as gorduras (RAVINDRAN et al., 2016).

A bile, fluído produzido no fígado e armazenado na vesícula biliar, apresenta como principais componentes os sais biliares, fosfolipídios, colesterol e lecitina, essenciais para digestão lipídica (FURLAN; MACARI, 2002). Os sais biliares são

moléculas anfipáticas que possuem uma região hidrofílica (solúvel em água) e outra hidrofóbica (insolúvel em água). A bile em contato com a gordura, associado a movimentos intestinais, promove a quebra dos glóbulos de gordura em gotículas finas e estáveis, aumentando a área superficial para ação da lipase (BAUER et al., 2005). Após a digestão lipídica, os sais biliares liberados continuam no lúmen e são recapturados através de um processo conhecido como reciclagem entero-hepática. Este evento refere-se à circulação da bile do fígado, onde é produzida, ao intestino delgado, onde auxilia na digestão lipídica, e retornando ao fígado através de transportes ativo e passivo (HORACE; DAVENPORT, 1980).

A lipase pancreática é uma das enzimas digestivas secretadas pelo pâncreas e a principal responsável pela hidrólise dos triglicerídeos. Sua ação é possível quando presente na superfície da gotícula de gordura emulsificada, junto aos sais biliares e a colipase (cofator presente no suco pancreático) (ERLANSON et al., 1973). Esta última, por si só não tem atividade enzimática, mas é necessária para iniciar a ação da lipase (BORGSTRÖM; ERLANSON, 1971). A colipase é rica em aminoácidos hidrofóbicos e hidrofílicos e interage com a lipase para formar um complexo mais hidrofóbico e menos carregado, possibilitando manter a lipase em uma configuração ativa na *interface* lipídio e água, permitindo que o substrato seja atingido pela lipase (DRACKLEY, 2000). Acredita-se que esta característica de carga da colipase a confere capacidade de ligar-se à superfície das gotículas de gordura e atuar como uma âncora para a lipase. A lipase hidrolisa os triglicerídeos em ácidos graxos livres e monoglicerídios (MACARI et al., 2002), formando, assim, uma emulsão mais fina, o que facilita a formação de micelas cada vez menores.

As micelas, por sua vez, são gotículas de gordura formadas no quimo intestinal, o qual contém lipídios, sais biliares e produtos da digestão lipídica. As moléculas são agrupadas de tal forma que grupos apolares ocupam o núcleo interno da micela, enquanto as partes polares permanecem na superfície em contato com o meio aquoso, tornando os constituintes gordurosos solúveis e capazes de movimentar-se no ambiente intestinal aquoso (RAVINDRAN et al., 2016). Elas interatuam com as microvilosidades intestinais, local onde ocorre a absorção de ácidos graxos livres e monoglicerídios (GONZALEZ; SILVA, 2017). Na célula da mucosa, o destino dos ácidos graxos é determinado pelo comprimento de sua cadeia carbônica. Uma vez hidrolisados, ácidos graxos de cadeia curta e média são

absorvidos passivamente pelo lúmen intestinal através dos enterócitos (Pond et al., 2005) e transportados à circulação portal, sem sofrerem re-esterificação.

Por outro lado, monoglicerídeos e ácidos graxos de cadeia longa necessitam ser re-esterificados a triglicerídeos e, combinados ao colesterol, fosfolipídios e proteínas, formam os portomicrons, os quais são equivalentes a quilomicrons nos mamíferos. Estes, constituem a forma de transporte dos lipídios no sistema linfático, chegando até a circulação portal (GONZALEZ; SILVA, 2017). Os portomicrons são transportados para vários tecidos, especialmente o fígado, onde os lipídios são utilizados para síntese de vários compostos, metabolizados como fonte energética ou armazenados em tecidos como depósito de energia (RAVINDRAN et al, 2016).

As dietas comerciais para frangos de corte geralmente são suplementadas com gorduras e óleos para melhorar o consumo de ração e a conversão alimentar, aumentar a densidade energética e diminuir a taxa de passagem do alimento no trato gastrointestinal (BRAGA; BAIÃO 2001). No entanto, é importante considerar que alguns fatores podem afetar a absorção dos triglicerídios, como comprimento da cadeia do ácido graxo, número de insaturações, idade do animal, microbiota intestinal e composição da dieta (GU; LI, 2003).

Frangos jovens possuem uma limitação fisiológica para absorver e metabolizar moléculas orgânicas como lipídios (LIMA et al., 2003). A assimilação de gorduras dietéticas é deficiente em aves jovens devido à incapacidade de produzir e secretar sais biliares e lipases até cerca de 10 a 14 dias de idade, período no qual seu trato gastrointestinal está amadurecendo (NOY; SKLAN, 1995). No entanto, esses processos biológicos melhoram com a idade, adaptando-se para lidar com ácidos graxos insaturados e saturados (MENG et al., 2004).

Em geral, a digestão e absorção de lipídios são processos complexos que exigem quantidades adequadas de sais biliares, lipase pancreática e colipases para que ocorram de forma eficiente (RAVINDRAN et al., 2016). Estratégias alimentares podem ser implantadas para favorecer a emulsificação de gordura e, conseqüentemente, a absorção. Dentre elas, o uso de aditivos emulsificantes.

2.4. Aditivos emulsificantes

Os aditivos são classificados de diversas formas de acordo com critérios estabelecidos por órgãos reguladores de cada país (SOUZA; SILVA, 2008). No Brasil, o órgão regulatório é o Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento (MAPA). Segundo a Instrução Normativa (IN) nº 13 de 30/11/2004, o termo aditivo é definido como “substância, micro-organismo ou produto formulado, adicionado intencionalmente aos produtos, que não usado comumente como ingrediente, com valor nutritivo ou não, passível de melhora do desempenho dos animais e das características de produtos destinados à alimentação animal, que atenda às necessidades nutricionais ou, ainda, tenha efeito anticoccidiano” (MAPA, 2004).

De acordo com essa IN, os aditivos são classificados em cinco grupos específicos: nutricionais, tecnológicos, sensoriais, zootécnicos e anticoccidianos, conforme descritos na tabela 1.

Tabela 1 - Classificação dos aditivos para alimentação animal

| Categoria | Descrição | Grupo funcional |
|-----------------------|--|--|
| Tecnológico | Substância adicionada com fins tecnológicos | Adsorventes, aglomerantes, antioxidantes, conservantes, emulsificantes, estabilizantes |
| Sensorial | Substância para melhorar ou modificar propriedades organolépticas ou visuais | Corantes, pigmentantes, aromatizantes, palatilizantes |
| Nutricional | Substância utilizada para manter ou melhorar as propriedades nutricionais | Vitaminas, oligoelementos, aminoácidos, ureia |
| Zootécnico | Substância utilizada para influenciar positivamente na melhoria do desempenho animal | Digestivos (enzimas), equilibradores de flora intestinal (probióticos), melhoradores de desempenho |
| Anticoccidiano | Substância destinada a eliminar ou inibir protozoários | Anticoccidianos |

Fonte: Adaptado de MAPA (2004)

Conforme a mesma IN, o produto emulsificante é qualificado como um aditivo tecnológico que possibilita a formação ou conservação de uma mistura homogênea entre duas ou mais fases não miscíveis nos alimentos, tais como água e gordura, atuando nas superfícies deles através da estabilização da emulsão e prevenção

contra coalescência dos glóbulos de gordura dispersos (*FOOD INGREDIENTS BRASIL*, 2013).

Os emulsificantes são caracterizados por serem moléculas anfipáticas, ou seja, sua estrutura é composta por uma porção hidrofílica (polar), que interage com água e outra lipofílica (apolar), que interage com a fase oleosa (Figura 1) (SANTOS et al., 2014). Essa estrutura permite a sua atuação na *interface* de duas substâncias imiscíveis.

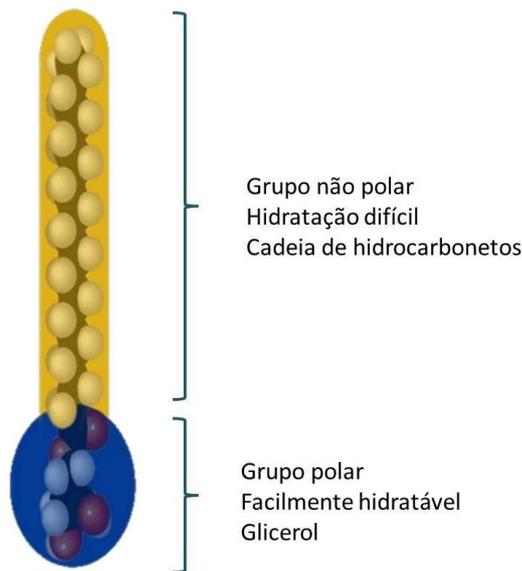


Figura 1 - Estrutura química dos emulsificantes

Fonte: Adaptado de *Food Ingredients Brasil* (2013)

Os emulsificantes atuam, principalmente, sobre a digestibilidade de ácidos graxos (AG) saturados de cadeia longa presentes tanto nas fontes energéticas de origem animal como em algumas de origem vegetal. Por serem substâncias de superfície, existem indicações de uso não só para as gorduras, mas também para as proteínas, que podem ser o seu alvo (ROY et al., 2008).

O modo de ação dos emulsificantes vem a ser o aumento da superfície ativa das gorduras permitindo a ação de enzimas como a lipase, que hidrolisa moléculas de triglicerídeos em AG e monoglicerídeos, facilitando a formação das micelas (GUERREIRO NETO et al., 2011). Segundo Krogdahl (1985), o processo mais limitante na digestibilidade da gordura não é a hidrólise de triglicerídeos, mas sim a formação de micelas. Os emulsificantes auxiliam, portanto, a melhorar a utilização

dos lipídios, especialmente a gordura animal, e desempenham papel importante quando da produção insuficiente de sais biliares em aves jovens.

Os agentes emulsificantes comerciais comumente usados na indústria de alimentação animal podem ser classificados em dois grupos: naturais e sintéticos. Os emulsificantes naturais são aqueles produzidos pelo organismo, tais como sais biliares e fosfolipídios, e aqueles presentes nos alimentos, como a lecitina de soja (SOARES; LOPEZ-BOTE, 2002). Já os emulsificantes sintéticos são aqueles modificados, como a liolecitina e o polietilenoglicol ricinoleato de gliceril (ZHANG et al., 2011).

Ao selecionar um emulsificante nutricional é importante verificar seu grau de solubilidade em água e gordura (HASENHUETTL, 2008) e isto é medido através do parâmetro de equilíbrio hidrofílico-lipofílico (HLB). Um emulsificante com elevado HLB indica uma alta solubilidade em água e, em contrapartida, um baixo HLB significa ser mais solúvel em gordura. Visto que o animal consome cerca de duas vezes mais água do que alimento, o trato gastrointestinal, em especial a parte intestinal, é um ambiente que possui grande quantidade de líquido, sendo mais desejado o emulsificante com alto HLB, ou seja, com alta solubilidade em água.

Segundo estudos de Roy et al. (2008), os efeitos benéficos do uso de emulsificantes sobre o desempenho de frangos podem estar relacionados à digestão de nutrientes, especialmente a gordura, que nesse mesmo estudo melhorou significativamente quando o aditivo foi adicionado à dieta. Além disso, foi observada uma diminuição significativa na excreção de gordura e proteína, e aumento em mais de 36% da gordura metabolizável devido à adição do emulsificante. Em outro experimento, Roy et al. (2010) verificaram a eficácia do emulsificante para frangos de corte quando acrescentado em concentrações acima de 1% da gordura da dieta. Nesta concentração, a utilização do emulsificante contribuiu para o aumento do peso vivo em cerca de 5% e para a melhora significativa da conversão alimentar. Houve também efeito sobre a utilização da gordura, evidenciado a partir da análise de digestibilidade e energia metabolizável.

O conceito de emulsificantes foi introduzido na indústria de nutrição animal como uma tecnologia para melhorar a qualidade dos alimentos (CHEAH et al., 2017). No entanto, ainda permanecem incertos os benefícios na qualidade física de dietas peletizadas.

2.4.1. Emulsificante à base de polietilenoglicol ricinoleato de gliceril

O emulsificante à base de polietilenoglicol ricinoleato de gliceril (GPR) apresenta propriedades emulsificantes e capacidade de aumentar a digestibilidade da gordura na dieta e formar uma barreira protetora contra a oxidação lipídica (UDOMPRASERT; RUKKWAMSUK, 2006; KACZMAREK et al., 2015). Sendo de natureza anfifílica, o glicerol, um de seus constituintes, é essencial para a absorção dos ácidos graxos livres pouco solúveis em micelas de sais biliares no intestino.

Como exemplo de GPR tem-se o Bredol^{®1} que apresenta a capacidade de produzir uma mistura homogênea de componentes líquidos devido às suas propriedades emulsificantes. Gordura, água e os demais ingredientes presentes na dieta formam uma mistura fina que é uniformemente distribuída. Além disso, permite que microingredientes tornem-se melhor dispersos e dissolvidos na dieta, como o exemplo dos pigmentantes (AKZO NOBEL, 2008).

Estudos utilizando emulsificantes compostos por GPR observaram melhora no ganho de peso médio e na conversão alimentar em suínos desmamados (UDOMPRASERT; RUKKWAMSUK, 2006) e, em aves, a adição de 1% do emulsificante mostrou melhorar o peso vivo em até 5%, afetando positivamente a conversão alimentar (ROY et al. 2010). Conforme esses mesmos autores, os efeitos do emulsificante sobre as fontes energéticas foram evidenciados por melhorias na digestibilidade total aparente e metabolização total das gorduras.

Além destas ações, a utilização de emulsificante a base de GPR também apresenta efeitos positivos sobre a qualidade física dos *pellets* (JONES et al., 1992; ROY et al., 2010). Os emulsificantes podem reduzir a tensão superficial da água melhorando sua penetração e distribuição na peletizadora (VAN DER HEIJDEN; HAAN, 2010). Bontempo et al. (2016), por sua vez, ao avaliarem o uso do aditivo no processo de peletização de dietas para frangos, observaram uma redução no consumo de energia elétrica, melhora na qualidade física dos *pellets* e, conseqüentemente, aumento do consumo de ração e melhora do desempenho dos animais. Adicionalmente, estudos conduzidos por Fomusa et al. (2002) e Udomprasert e Rukkwamsuk (2006) demonstraram a ação do emulsificante com GPR na estabilidade da gordura presente na dieta. Nesses estudos as dietas tratadas com o emulsificante apresentaram valores inferiores de oxidação média de

¹ Bredol[®] 683 (Akzo Nobel Surface Chemistry)

lipídios quando comparadas à dieta controle, sem suplementação com GPR. Segundo essas pesquisas, o emulsificante proporcionou um revestimento eficaz de membrana lipídica, resultando na prevenção de oxidação e deterioração das dietas armazenadas.

Em contraponto, algumas pesquisas demonstraram ineficiência no uso de emulsificantes, como a de Kaczmarek et al. (2015), em que os autores não observaram efeito do emulsificante a base de GPR sobre o desempenho de frangos de 0 a 14 dias de idade. Da mesma forma, Al-Marzooqi e Leeson (1999) também relataram que a utilização do emulsificante isolado ou em combinação com a enzima lipase não apresentou efeito sobre os resultados de desempenho, independentemente da idade das aves.

2.5. Peletização e qualidade física dos *pellets*

O processamento de alimentos é um conjunto de operações necessárias para extrair o maior potencial nutritivo do alimento, alterando sua estrutura natural antes do fornecimento aos animais (MEURER et al., 2008). Existem muitas estratégias possíveis para melhorar as técnicas de processamento, dentre elas a peletização, que destaca-se por promover a aglomeração de pequenas partículas, através do uso de pressão mecânica, umidade e calor.

Os benefícios proporcionados pela peletização são amplos, como a melhor palatabilidade e digestibilidade das dietas, destruição de organismos patogênicos, aumento da densidade, redução da segregação dos ingredientes e menor desperdício (LECZNIESKI, 1997). Entretanto, é importante considerar a qualidade dos *pellets* fornecidos aos animais para que cada *pellet* represente a fórmula da ração, tendo estabilidade e durabilidade durante o transporte e manuseio. Segundo Hilliker (1991), citado por Lecznieski (1997), a qualidade de um pellet depende de 40% da formulação, 20% do tamanho da partícula, 20% do condicionador, 15% da matriz e 5% do resfriador e secagem.

2.5.1. Durabilidade e dureza dos *pellets*

A análise da qualidade dos *pellets*, através dos índices de durabilidade e dureza, é indicador de grande importância na produção animal devido à extensa influência nos parâmetros de desempenho animal, como ganho de peso e conversão

alimentar, e na relação custo benefício das dietas, por meio do aumento da densidade de nutrientes, diminuição do desperdício e redução da porcentagem de finos (ABDOLLAHI, 2011).

O teste de durabilidade determina a proporção de *pellets* que permanecem intactos após esforços de atrito por agitação mecânica ou pneumática. Maior durabilidade significa que os *pellets* provavelmente permanecerão intactos até o momento da alimentação (BEHNKE; BEYER, 2002). Já a análise de dureza compreende a força necessária para fragmentar o *pellet* lateralmente, expresso em kg/f.

Na dieta peletizada, os finos representam a porção desagregada da sua forma inicial, ou seja, o *pellet*, podendo ser formada em qualquer estágio da peletização, no transporte ou mesmo no manuseio na granja. A quantidade de finos é negativamente correlacionada com o PDI da dietas peletizadas. *Pellets* de baixa qualidade resultam na concentração aumentada de finos na dieta, o que produz efeitos negativos no consumo de ração e na conversão alimentar (KENNY; ROLLINS, 2008). A alimentação elaborada com excesso de finos pode anular os benefícios da peletização (MEURER et al. 2008), igualando os resultados a uma dieta na forma farelada, explicado pelo aumento da seletividade por grânulos maiores, afetando a uniformidade do lote.

Cutlip et al. (2008) relataram que os *pellets* de melhor qualidade apresentam valores entre 80-90% e que uma melhoria de apenas 4% pode contribuir significativamente para o desempenho dos frangos. Do mesmo modo, Moritz e Lilly (2010) sugerem que *pellets* de alta qualidade (PDI em torno de 87%) melhoram a eficiência alimentar em comparação com os de menor qualidade. Os autores esclarecem que a melhora na eficiência pode ser explicada pela relação entre qualidade e comprimento dos *pellets*. Os frangos submetidos a uma alimentação com *pellets* de maior comprimento e maior durabilidade gastam menos energia para apreensão do alimento, o que resulta em aumento da energia produtiva, quando comparados a frangos alimentados com *pellets* mais curtos ou com alta porcentagem de finos.

2.5.2. Atividade de água

A atividade de água é um dos fatores intrínsecos dos alimentos que apresenta grande importância para a indústria, estando diretamente ligada ao crescimento de micro-organismos e a estabilidade das dietas (GARCIA, 2004). Além disso, é uma medida qualitativa sobre a disponibilidade de água livre nas dietas, que é suscetível a diversas reações, como enzimáticas e de oxidação, que podem comprometer as características nutricionais e de palatabilidade das dietas (KAREL; LUND, 2003; MARCON et al., 2013).

Cada micro-organismo necessita que um valor de atividade de água diferente para seu crescimento. Fungos/leveduras e a maioria das bactérias, por exemplo, são caracterizados por desenvolverem-se em ambientes com A_w acima de 0,62 e 0,86, respectivamente (KAREL; LUND, 2003).

A contaminação por micro-organismos na dieta de frangos de corte impacta economicamente a produção avícola, especialmente relacionada à perda de qualidade do alimento e ao comprometimento do desempenho das aves (LONGO et al., 2010). Em condições adversas, como alta temperatura e atividade de água, a presença de colônias fúngicas pode levar a produção de micotoxinas e consequente efeito imunossupressor para os animais (LESSON; SUMMERS, 2001).

3. Metodologia

3.1. Aprovação no comitê de ética

As atividades envolvendo animais neste projeto, incluindo a coleta de amostras biológicas, foram realizadas de acordo com os preceitos de bem-estar e ética na experimentação animal, sendo o presente projeto aprovado pela Comissão de Ética em Experimentação Animal (CEEA) da Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (Embrapa Suínos e Aves), sob o número 020/2016.

3.2. Local de execução experimental

O experimento foi conduzido na Fábrica de Ração e no Setor de Avicultura do Centro Nacional de Pesquisa em Suínos e Aves (CNPSA) – Embrapa, localizado no município de Concórdia, oeste de Santa Catarina.

3.3. Manejo dos animais e instalações

Foram utilizados 980 pintos machos, da linhagem comercial Cobb 500, adquiridos com um dia de idade. As aves foram alojadas em gaiolas metabólicas metálicas (0,80 x 0,80 x 0,25 m), dispostas em baterias, com comedouros do tipo calha e bebedouros do tipo *nipple*. Foi realizado o controle de temperatura, umidade e iluminação, de acordo com a idade dos frangos. As aves receberam ração e água à vontade.

Inicialmente, 20 pintos foram selecionados ao acaso e sofreram eutanásia para análise bacteriológica. Amostras de soro foram coletadas e testadas para presença de anticorpos de *Mycoplasma gallisepticum* e *Mycoplasma synoviae*, e vários *pool* (de fígado, baço, Bursa de Fabricius e ceco) foram submetidos ao cultivo bacteriológico para *Salmonella*. A monitoria feita no primeiro dia de vida tem importância especial pois passa a ser um atestado de qualidade sanitária dos animais e, ainda, sua susceptibilidade frente aos desafios microbiológicos.

3.4. Dietas experimentais

As dietas foram formuladas à base de milho e farelo de soja, de acordo com as exigências nutricionais de Rostagno et al. (2011). A composição nutricional e percentual de ingredientes são apresentados na tabela 2.

Tabela 2 - Composição das dietas experimentais (%) (continuação)

| Composição nutricional | T1 | T2 | T3 | T4 | T5 | T6 | T7 | T8 |
|-------------------------------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|
| EMAn*, kcal/kg | 3000 | 3000 | 2900 | 2900 | 3000 | 3000 | 2900 | 2900 |
| Proteína bruta | 22,5 | 22,5 | 22,5 | 22,5 | 22,5 | 22,5 | 22,5 | 22,5 |
| Extrato etéreo | 6,23 | 6,23 | 6,23 | 6,23 | 6,23 | 6,23 | 6,23 | 6,23 |
| Fibra bruta | 3,04 | 3,04 | 3,04 | 3,04 | 3,04 | 3,04 | 3,04 | 3,04 |
| Fósforo disponível | 0,47 | 0,47 | 0,47 | 0,47 | 0,47 | 0,47 | 0,47 | 0,47 |
| Fósforo total | 0,73 | 0,73 | 0,73 | 0,73 | 0,73 | 0,73 | 0,73 | 0,73 |
| Cálcio | 0,92 | 0,92 | 0,92 | 0,92 | 0,92 | 0,92 | 0,92 | 0,92 |
| Sódio | 0,20 | 0,20 | 0,20 | 0,20 | 0,20 | 0,20 | 0,20 | 0,20 |
| Cloro | 0,33 | 0,33 | 0,33 | 0,33 | 0,33 | 0,33 | 0,33 | 0,33 |
| Potássio | 0,94 | 0,94 | 0,94 | 0,94 | 0,94 | 0,94 | 0,94 | 0,94 |
| Ácido linoleico | 3,63 | 3,63 | 3,63 | 3,63 | 3,63 | 3,63 | 3,63 | 3,63 |
| Lisina digestível | 1,31 | 1,31 | 1,31 | 1,31 | 1,31 | 1,31 | 1,31 | 1,31 |
| Metionina digestível | 0,61 | 0,61 | 0,61 | 0,61 | 0,61 | 0,61 | 0,61 | 0,61 |
| Met+Cis digestível | 0,94 | 0,94 | 0,94 | 0,94 | 0,94 | 0,94 | 0,94 | 0,94 |
| Triptofano digestível | 0,85 | 0,85 | 0,85 | 0,85 | 0,85 | 0,85 | 0,85 | 0,85 |
| Treonina digestível | 0,24 | 0,24 | 0,24 | 0,24 | 0,24 | 0,24 | 0,24 | 0,24 |
| Valina digestível | 1,00 | 1,00 | 1,00 | 1,00 | 1,00 | 1,00 | 1,00 | 1,00 |
| Leucina digestível | 1,63 | 1,63 | 1,63 | 1,63 | 1,63 | 1,63 | 1,63 | 1,63 |
| Isoleucina digestível | 0,85 | 0,85 | 0,85 | 0,85 | 0,85 | 0,85 | 0,85 | 0,85 |
| Histidina digestível | 0,55 | 0,55 | 0,55 | 0,55 | 0,55 | 0,55 | 0,55 | 0,55 |

¹Níveis de garantia por kg do produto: Mn: 160 g; Fe: 100 g; Zn: 100 g; Cu: 20 g; Co: 2 g; Iodo: 2 g; Vit. A: 10.000.000 UI; Vit. B₆: 4.0 g; Vit. D₃: 2.000.000 UI; Vit. E: 30.000 UI; Vit. B₁₂: 0,015 g; Ácido pantotênico: 12 g; Biotina: 0,10 g; Vit. K₃: 3 g; Ácido fólico: 1 g; Ácido nicotínico: 50 g; Se: 0,25 g.

²Natuphos 10000 (BASF®). *Recobri: fonte energética aplicada por aspersão sobre as dietas. Fosf. bicál.: fosfato bicálcico. *EMAn: energia metabolizável corrigida para nitrogênio. Emulsificante: 0,04% *on top* nos tratamentos (T5, T6, T7, T8).

O aditivo utilizado no experimento foi o emulsificante² composto basicamente por polietilenoglicol ricinoleato de gliceril e DL-alfa-tocoferol, que apresenta as seguintes propriedades e características descritas na tabela 3.

Tabela 3 - Propriedades e características do emulsificante

| Propriedade | Característica |
|----------------------------------|------------------------------|
| Consistência | Líquida |
| Cor | Amarela |
| Densidade | 1016 g.L-1 (\pm 50 g.L-1) |
| pH 1% em água | 5,50 - 7,50 |
| Solubilidade em água | Emulsionável |
| Solubilidade em outros solventes | Solúvel em etanol |
| Ponto de fusão | -18°C |
| Ponto de ebulição | >100°C |
| Ponto de fulgor | 150-199°C |
| Temperatura de ignição | >150°C |

Fonte: Adaptado de Akzo Nobel (2008)

O emulsificante foi adicionado às dietas, separadamente, durante o processo de mistura e antes da peletização através do método de aspersão na forma *on top*. A concentração utilizada foi de 0,04%.

A peletização foi realizada com as seguintes características: condicionamento de 9 segundos com temperatura de $80\pm 2^\circ\text{C}$ e pressão de vapor de $1,1 \text{ kg/cm}^3$. A espessura da matriz foi de 50 mm com orifícios de 4,2 mm.

As dietas peletizadas foram posteriormente trituradas para eliminar o fator forma física, ou seja, para que a granulometria não interferisse entre os dois tipos de forma física, mas mantendo o efeito do condicionamento e peletização. O diâmetro geométrico médio (DGM) das dietas fareladas e peletizadas foram $640 \mu\text{m}$ e $1236 \mu\text{m}$, respectivamente.

3.5. Delineamento experimental e tratamentos

Os animais foram distribuídos em um delineamento em blocos completos casualizados (DBC) conforme o peso inicial, com oito tratamentos, 12 repetições (10 aves por repetição), em um esquema fatorial $2 \times 2 \times 2$ (duas formas físicas de dieta,

² Bredol® 683 (Akzo Nobel Surface Chemistry)

presença ou ausência do emulsificante, e dois níveis de energia). O esquema fatorial é representado na figura 2.

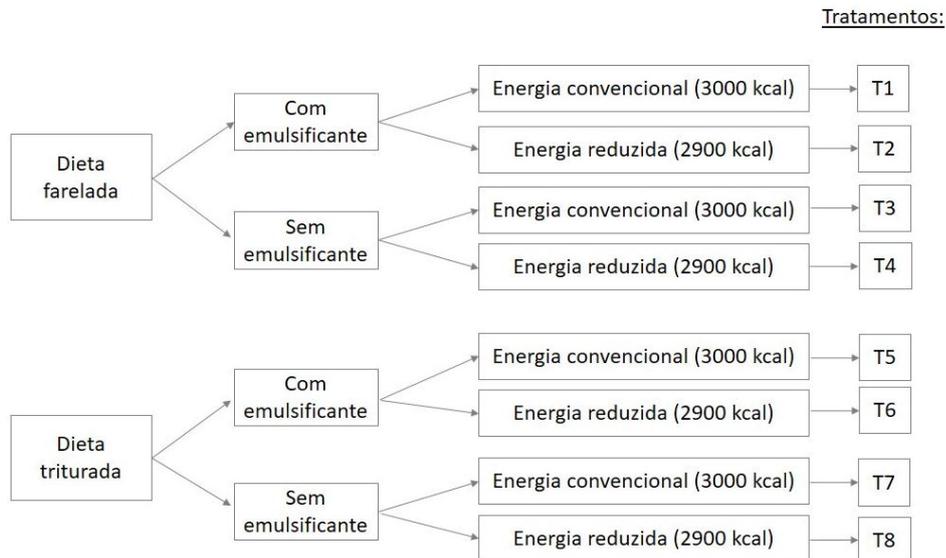


Figura 2 - Esquema fatorial 2x2x2

3.6. Variáveis analisadas

3.6.1. Avaliação física e microbiológica das dietas

Durante o processamento das dietas na fábrica de ração da unidade foram coletadas amostras para análises de atividade de água (Aa), índice de durabilidade de *pellet* (PDI), dureza, densidade e qualidade microbiológica (UFC).

As amostras de dieta foram coletadas tanto na forma farelada como na triturada. A amostra farelada foi colhida após a mistura no misturador vertical e da peletizada ocorreu após o resfriamento, por meio de um simulador com insuflação de ar por 5 minutos para que atingissem a temperatura ambiente $\pm 5^{\circ}\text{C}$.

3.6.1.1. Atividade de água (Aa)

Durante a fabricação das dietas as amostras foram coletadas e acondicionadas em sacos plásticos fechados e identificados. As amostras foram então encaminhadas para o Laboratório de Nutrição Animal da Universidade Federal do Paraná (LNA-UFPR) sendo a análise realizada em 96h após o preparo das dietas.

Para a análise foi utilizado o equipamento LabSwiftaw[®] (Novasina). As amostras foram adicionadas a recipientes redondos (diâmetro de 40 x 12 mm), os quais foram posicionados no centro do equipamento, realizando a leitura. O resultado expressou a quantidade de água presente na amostra e a temperatura.

3.6.1.2. Índice de durabilidade do *pellet* (PDI)

Para esta análise, foram pesados 200 g de *pellets* e adicionados ao misturador ou durabilímetro por 10 minutos com uma rotação de 50 rpm. Após este período de tempo, toda a amostra era retirada e peneirada (peneira *Tyler* 5). A parte íntegra retida na peneira era então pesada e anotada.

O PDI é um teste utilizado para simular o efeito do transporte e manuseio das dietas através de movimentos constantes em um misturador. No que refere-se à qualidade física, dietas peletizadas com alto PDI indicam que os *pellets* conseguem manter-se mais íntegros até o momento de ingestão pelos animais.

3.6.1.3. Dureza

Os *pellets* íntegros das amostras coletadas eram medidos com o uso de um paquímetro convencional, escolhendo os que possuíam comprimento mínimo de 1 mm. Os *pellets* eram posicionados no centro do equipamento durômetro (Nova Ética) aplicando-se uma força constante e ininterrupta até que todo o *pellet* rompesse, gerando o valor em quilograma força (kgf). O valor representa a quantidade de força necessária para romper o *pellet*.

Para as variáveis índice de durabilidade e dureza, somente os *pellets* (anterior ao processo de trituração) foram avaliados pois, para essas análises, é necessário que o *pellet* esteja íntegro.

3.6.1.4. Densidade

A densidade foi determinada na dieta farelada e peletizada através do equipamento para determinação de peso hectolítrico de cereais da marca Dallemolle, expressa em kg/m³.

3.6.2. Desempenho produtivo

Foi avaliado o desempenho produtivo (peso corporal médio, consumo de ração, ganho de peso e conversão alimentar) aos 7, 14, 21 e 28 dias. Os animais eram pesados por gaiola e para o cálculo do consumo alimentar toda ração fornecida e o comedouro com as sobras foram pesados.

3.6.3. Digestibilidade

Os coeficientes de digestibilidade de nutrientes (proteína bruta, matéria seca e extrato etéreo) e energia metabolizável foram determinados a partir das dietas e da coleta total das excretas das aves nos períodos de 10 a 14 dias e de 24 a 28 dias.

3.7. Análise estatística

Os dados foram submetidos à análise de variância (ANOVA) através do programa SAS™ (SAS, Inst. Inc., Cary, NC, 2002) e as médias comparadas pelo teste de Tukey a 5% de significância. Quando não houve interação significativa, os fatores foram analisados separadamente.

4. Resultados e discussão

4.1. Avaliação física e microbiológica das dietas

Os resultados de qualidade física das dietas fornecidas aos frangos são apresentados na tabela 4. Houve interação significativa entre o emulsificante e a forma física para as variáveis densidade e atividade de água. O desdobramento da interação é apresentado na figura 3.

Tabela 4 - Avaliação física das dietas com emulsificante (médias±desvio padrão)

| | | Densidade (kg/m ³) | Atividade de água (Aa) |
|------------------------------|-----------|--------------------------------|------------------------|
| Emulsificante | + | 609,42±0,033 | 0,6576±0,111 a |
| | - | 613,44±0,027 | 0,6192±0,025 b |
| Forma física | Farelada | 639,70±0,002 a | 0,6216±0,027 b |
| | Triturada | 583,16±0,008 b | 0,6552±0,015 a |
| Valor de P | | | |
| Emulsificante | | 0,1119 | <0,0001 |
| Forma física | | <0,0001 | <0,0001 |
| Emulsificante x forma física | | 0,0253 | 0,0003 |

Médias seguidas por letras minúsculas diferentes, na coluna, diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de significância.

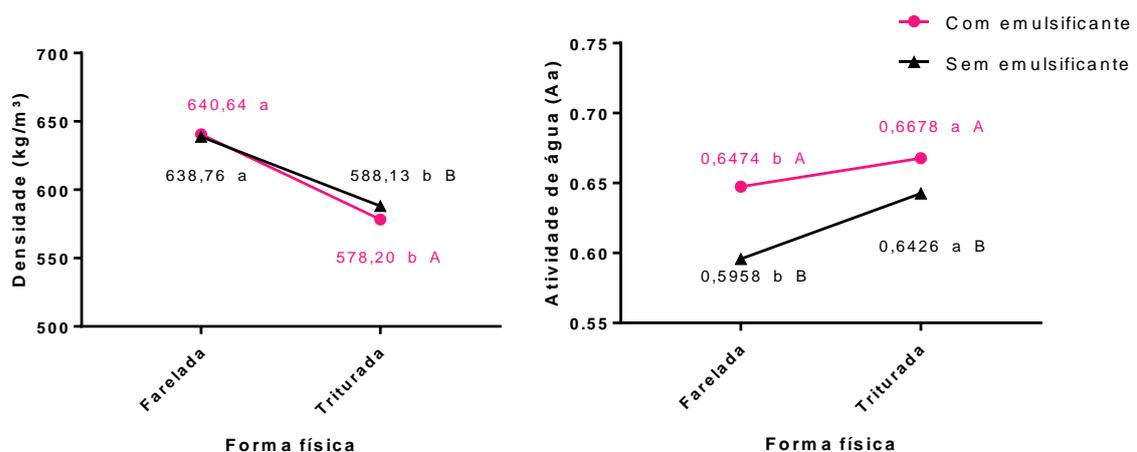


Figura 3 - Análise da interação entre os fatores emulsificante e forma física para as variáveis densidade e atividade de água

Médias seguidas por letras maiúsculas diferentes diferem entre si em função do emulsificante. Médias seguidas por letras minúsculas diferentes diferem entre si em função da forma física da dieta.

A análise da interação mostrou que as dietas fareladas apresentaram maior valor de densidade quando comparadas com a forma triturada, tanto para as dietas inclusas ou não de emulsificante. As dietas submetidas ao processo de peletização demonstraram uma redução de até 10% na densidade em relação à dieta farelada ($P < 0,05$). Quanto ao emulsificante, sua adição junto a forma triturada diminuiu significativamente a densidade quando comparada a não inclusão do mesmo. Resultados semelhantes foram encontrados em estudos de Marcon et al. (2014), no qual a dieta triturada demonstrou redução na densidade, em torno de 23%, quando comparada à forma farelada.

Os resultados obtidos nesse estudo divergem dos benefícios encontrados na literatura, os quais afirmam que dietas trituradas promovem o aumento da densidade da dieta (MCKINNEY; TEETER, 2004). O aumento da densidade é uma ação importante para redução de custos e melhora da organização em uma fábrica de ração, uma vez que permite a redução do espaço de armazenamento das dietas e o transporte de mais produtos em um mesmo tempo (KLEIN et al., 1999).

Já para atividade de água, as dietas que receberam a adição do emulsificante, nas duas formas físicas, apresentaram maior valor para essa variável ($P < 0,05$). É possível perceber ainda que a adição de vapor durante o processo de peletização agregou umidade à dieta, refletindo no aumento observado dos valores de atividade de água ($P < 0,05$), tanto naquela inclusas ou não do emulsificante. Em estudo semelhante, Bontempo et al. (2016), utilizando um emulsificante também à base de polietilenoglicol ricinoleato de gliceril (GPR) misturado aos ingredientes da dieta antes do processo de peletização, observaram que a sua adição aumentou a lubricidade da mistura e reduziu o consumo de energia elétrica durante o processamento da dieta peletizada, melhorando a qualidade dos *pellets* através da modulação do teor de umidade e, conseqüentemente, melhorando a ingestão do alimento.

Cheah et al. (2017) também observaram valores de atividade de água variando entre 0,61 e 0,69 em dietas com o mesmo emulsificante. No entanto, apesar dos valores encontrados no atual estudo estarem de acordo com os demais dados já publicados, é preciso considerar também os efeitos da umidade na estabilidade das dietas, especialmente relacionado a qualidade microbiológica.

Conforme a tabela 5, apenas a variável dureza apresentou diferença significativa ($P < 0,05$). Os *pellets* produzidos com a adição do emulsificante

demonstraram maior dureza, ou seja, foi necessário aplicar maior quantidade de força para que fosse possível o rompimento da estrutura.

No que se refere à durabilidade do *pellet*, apesar de não ter sido encontrada diferença significativa entre a adição ou não do emulsificante, verificou-se uma tendência de que os *pellets* produzidos com emulsificante sejam mais duráveis.

Tabela 5 - Qualidade de *pellet* com emulsificante (médias±desvio padrão)

| Forma física | Emulsificante | Índice de durabilidade de <i>pellet</i> (%) | Dureza (kgf) |
|---------------|---------------|---|--------------|
| <i>Pellet</i> | + | 61,80±2,75 | 7,18±0,25 a |
| | - | 60,11±2,70 | 6,76±0,15 b |
| Valor de P | | 0,356 | 0,013 |
| CV* | | 4,48 | 3,06 |

Médias seguidas por letras minúsculas diferentes, na coluna, diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de significância. *Coeficiente de variação (%).

No presente estudo, a melhoria na dureza e durabilidade dos *pellets* constatada na dieta suplementada com emulsificante pode ser explicada por uma maior umidade, observada através da análise de atividade de água, juntamente com uma diminuição do calor de fricção. Cheah et al. (2017) observaram melhora na durabilidade e dureza de *pellets* em dietas suplementadas com emulsificante a base de polietilenoglicol ricinoleato de gliceril, corroborando com os resultados obtidos neste estudo.

4.2. Desempenho produtivo

Os efeitos dos fatores emulsificante, nível energético e forma física sobre o desempenho zootécnico das aves estão apresentados nas tabelas a seguir (Tabelas 6, 7, 8 e 9). É interessante ressaltar que os pesos iniciais usados para distribuição dos pintinhos nos tratamentos, avaliados no primeiro dia do experimento, não diferiram entre si ($P>0,05$) indicando uma perfeita equalização entre os tratamentos experimentais, ou seja, os efeitos do peso inicial foram eliminados.

No período de 1 a 7 dias de idade (Tabela 6), não foram observadas interações significativas entre os fatores para variáveis peso médio, consumo diário, ganho de peso diário e conversão alimentar. No entanto, avaliando-se isoladamente os fatores, a forma física das dietas afetou significativamente o desempenho

($P < 0,05$). As aves alimentadas com dieta farelada apresentaram menor peso médio, ganho de peso diário e consumo diário de ração, além de pior conversão alimentar em relação às aquelas alimentadas com dieta triturada ($P < 0,05$).

Resultados semelhantes encontrados na literatura apontam melhor desempenho de crescimento quando a dieta pré-inicial é fornecida na forma peletizada ou triturada. Freitas et al. (2008) verificaram a importância do efeito da forma física da dieta, estudo no qual concluíram que o uso de dietas peletizada e triturada resulta no aumento do consumo de ração, do ganho de peso e melhora da conversão alimentar quando comparadas à dieta farelada para pintos na primeira semana de vida. Ainda nesse sentido, Silva et al. (2004) verificaram maior ganho de peso e melhor conversão alimentar para aves alimentadas com dietas trituradas.

Já Abdollahi et al. (2013), em um estudo com três formas físicas de dieta (farelada, peletizada e triturada), observaram que as aves alimentadas com a dieta apenas peletizada apresentaram maior ganho de peso e consumo de ração em comparação às alimentadas com as outras duas formas, que não diferiram entre si ($P > 0,001$), demonstrando que o processo de trituração dos *pellets* antes do fornecimento aos animais poderia ocasionar uma perda dos benefícios proporcionados pela peletização.

A presença do emulsificante, por sua vez, permitiu o aumento do consumo diário sem afetar ganho de peso, impactando negativamente a conversão alimentar ($P < 0,05$). De igual forma, Guerreiro Neto (2005) não constatou efeito do emulsificante na melhora do desempenho até os sete dias de idade, podendo estar relacionado à baixa atividade da enzima lipase no período pós-natal, conforme descrito por Jeason e Kellog (1992).

Resultado semelhante ocorreu com a energia, em que os frangos submetidos à dietas de energia reduzida (2900 kcal/kg) aumentaram o consumo diário sem apresentar maior ganho de peso, resultando em uma piora na conversão ($P < 0,05$). Frangos de corte, por serem animais não ruminantes e homeotermos, tendem a aumentar linearmente o consumo de alimentos com a diminuição do nível energético das dietas, sendo o inverso também verdadeiro (LEESON et al., 1996; ALBUQUERQUE et al., 2003). Neste estudo, as aves demonstraram compensar no consumo de ração a redução do nível energético, sem efeito sobre o ganho de peso, o que impactou negativamente a conversão alimentar.

Tabela 6 - Desempenho de frangos de corte de 1 a 7 dias de idade (médias±desvio padrão)

| | | PM ¹ inicial (g) | PM ¹ 7d (g) | CD ² 1-7d (g) | GPD ³ 1-7d (g) | CA ⁴ 1-7d (g/g) |
|--|--------------|-----------------------------|------------------------|-----------------------------|------------------------------|-------------------------------|
| Emulsificante | + | 42,65±3,00 | 181,00±10,82 | 20,05±1,06 a | 19,76±1,42 | 1,023±0,040 a |
| | - | 42,64±3,04 | 181,32±11,13 | 19,67±0,99 b | 19,81±1,45 | 1,005±0,046 b |
| Energia | 2900 kcal/kg | 42,64±3,03 | 180,44±10,57 | 20,09±0,94 a | 19,68±1,36 | 1,028±0,042 a |
| | 3000 kcal/kg | 42,65±3,00 | 181,87±11,32 | 19,63±1,09 b | 19,88±1,50 | 0,999±0,041 b |
| Forma física | Farelada | 42,63±3,02 | 173,88±8,28 b | 19,32±0,94 b | 18,75±1,00 b | 1,038±0,037 a |
| | Triturada | 42,66±3,02 | 188,44±8,02 a | 20,4±0,84 a | 20,82±0,96 a | 0,989±0,037 b |
| Valor de P | | | | | | |
| Emulsificante | | 0,9844 | 0,8518 | 0,0344 | 0,8177 | 0,0087 |
| Energia | | 0,9792 | 0,4004 | 0,0090 | 0,3242 | <0,0001 |
| Forma física | | 0,9584 | <0,0001 | <0,0001 | <0,0001 | <0,0001 |
| Emulsificante x energia | | 0,9740 | 0,8873 | 0,3469 | 0,8550 | 0,1023 |
| Emulsificante x forma física | | 0,9948 | 0,3804 | 0,6775 | 0,2968 | 0,2165 |
| Forma física x energia | | 0,9896 | 0,5076 | 0,7414 | 0,4285 | 0,1312 |
| Emulsificante x energia x forma física | | 0,9740 | 0,4390 | 0,1588 | 0,3512 | 0,5452 |

Média seguidas por letras diferentes, na coluna, diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de significância.

¹PM = Peso médio; ²CD = Consumo diário; ³GPD = Ganho de peso diário; ⁴CA = Conversão alimentar.

Maiorka et al. (1997), citado por Faria et al. (2006) não observaram influência no desempenho das aves quando utilizaram dietas com valores de energia metabolizável de 2900, 3000 e 3100 kcal/kg na fase de 1 a 7 dias de vida. De fato, durante as primeiras semanas, aves jovens apresentam particularidades fisiológicas que dificultam a digestão e absorção dos lipídios, sendo recomendado um menor nível energético. Já Orduña-Hernández et al. (2016), avaliando níveis de 2994 e 3013 kcal/kg na fase inicial, observaram uma melhora no desempenho das aves quando utilizado o nível mais elevado.

Igualmente para o período de 1 a 14 dias, não foram identificadas interações entre os fatores (Tabela 7). Isoladamente, o efeito da forma física da dieta mostrou-se semelhante ao do período anterior, de modo que as aves alimentadas com a dieta triturada apresentaram melhores resultados de peso médio, consumo diário, ganho de peso e conversão alimentar ($P < 0,05$). Nesta fase, a concentração energética normal da dieta, de 3000 kcal/kg, promoveu o aumento do peso aos 14 dias e do ganho de peso até os 14 dias, além de melhora da conversão alimentar ($P < 0,05$).

Esses resultados concordam com os de Farias et al. (2006), que verificaram que aves alimentadas com dieta de maior nível energético (3050 kcal/kg) apresentaram maior ganho de peso e melhor conversão alimentar, enquanto que o consumo não foi afetado significativamente pelos níveis de EM.

No que se refere ao emulsificante, sua adição proporcionou efeito negativo no desempenho dos animais, causando um aumento no consumo diário ($P < 0,05$) que não se refletiu em maior ganho de peso, levando a uma piora na conversão alimentar ($P < 0,05$), assim como aconteceu na 1ª semana de vida das aves.

No presente estudo, a adição do emulsificante não teve efeito significativo no desempenho de frangos de corte durante as duas primeiras semanas de vida. Essas descobertas coincidem com as de Kaczmarek et al. (2015) que observaram efeito ineficiente do emulsificante a base de GPR sobre o desempenho de frangos até 14 dias de idade, sugerindo que seu efeito no desempenho possa depender da idade das aves.

Frangos jovens possuem uma limitação fisiológica para absorver e metabolizar moléculas orgânicas como lipídios (LIMA et al., 2003). A assimilação de gorduras dietéticas é deficiente devido à incapacidade de produzir e secretar sais biliares e lipases até cerca de 10 a 14 dias de idade, período no qual seu trato

gastrointestinal está amadurecendo (NOY; SKLAN, 1995). Independentemente da idade das aves, alguns autores relataram não observar efeito positivo do uso de emulsificante sobre o desempenho de frangos (Al-Marzooqi; Leeson, 1999).

Para o período de 1-21 dias, os fatores emulsificante, energia e forma física da dieta interagiram significativamente entre si para as variáveis peso médio, consumo diário e ganho de peso diário (Tabela 8). Os desdobramentos das interações estão ilustrados na figura 4.

Tabela 7 - Desempenho de frangos de corte de 1 a 14 dias de idade (médias±desvio padrão)

| | | PM ¹ inicial (g) | PM ¹ 7d (g) | PM ¹ 14d (g) | CD ² 1-14d (g) | GPD ³ 1-14d (g) | CA ⁴ 1-14d (g/g) |
|--|-----------|-----------------------------|------------------------|-------------------------|------------------------------|-------------------------------|--------------------------------|
| Emulsificante | + | 42,65±3,00 | 181,00±10,82 | 526,09±29,00 | 37,96±1,85 a | 34,53±2,03 | 1,105±0,294 a |
| | - | 42,64±3,04 | 181,32±11,13 | 525,59±28,32 | 37,45±1,72 b | 34,49±1,97 | 1,093±0,029 b |
| Energia | 2900 | 42,64±3,03 | 180,44±10,57 | 518,01±27,50 b | 37,90±1,784 | 33,95±1,90 b | 1,122±0,021 a |
| | 3000 | 42,65±3,00 | 181,87±11,32 | 533,66±27,60 a | 37,51±1,807 | 35,07±1,94 a | 1,076±0,015 b |
| Forma física | Farelada | 42,63±3,02 | 173,88±8,28 b | 504,86±20,35 b | 36,43±1,25 b | 33,01±1,39 b | 1,106±0,030 a |
| | Triturada | 42,66±3,02 | 188,44±8,02 a | 546,82±18,18 a | 38,98±1,27 a | 36,01±1,23 a | 1,092±0,027 b |
| Valor de P | | | | | | | |
| Emulsificante | | 0,9844 | 0,8518 | 0,8929 | 0,0436 | 0,8897 | 0,0007 |
| Energia | | 0,9792 | 0,4004 | <0,0001 | 0,1222 | <0,0001 | <0,0001 |
| Forma física | | 0,9584 | <0,0001 | <0,0001 | <0,0001 | <0,0001 | <0,0001 |
| Emulsificante x energia | | 0,9740 | 0,8873 | 0,8529 | 0,9074 | 0,8492 | 0,6294 |
| Emulsificante x forma física | | 0,9948 | 0,3804 | 0,7324 | 0,7856 | 0,7167 | 0,3102 |
| Forma física x energia | | 0,9896 | 0,5076 | 0,9461 | 0,7765 | 0,9411 | 0,5605 |
| Emulsificante x energia x forma física | | 0,9740 | 0,4390 | 0,2037 | 0,0635 | 0,1772 | 0,3223 |

Média seguidas por letras diferentes, na coluna, diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de significância.

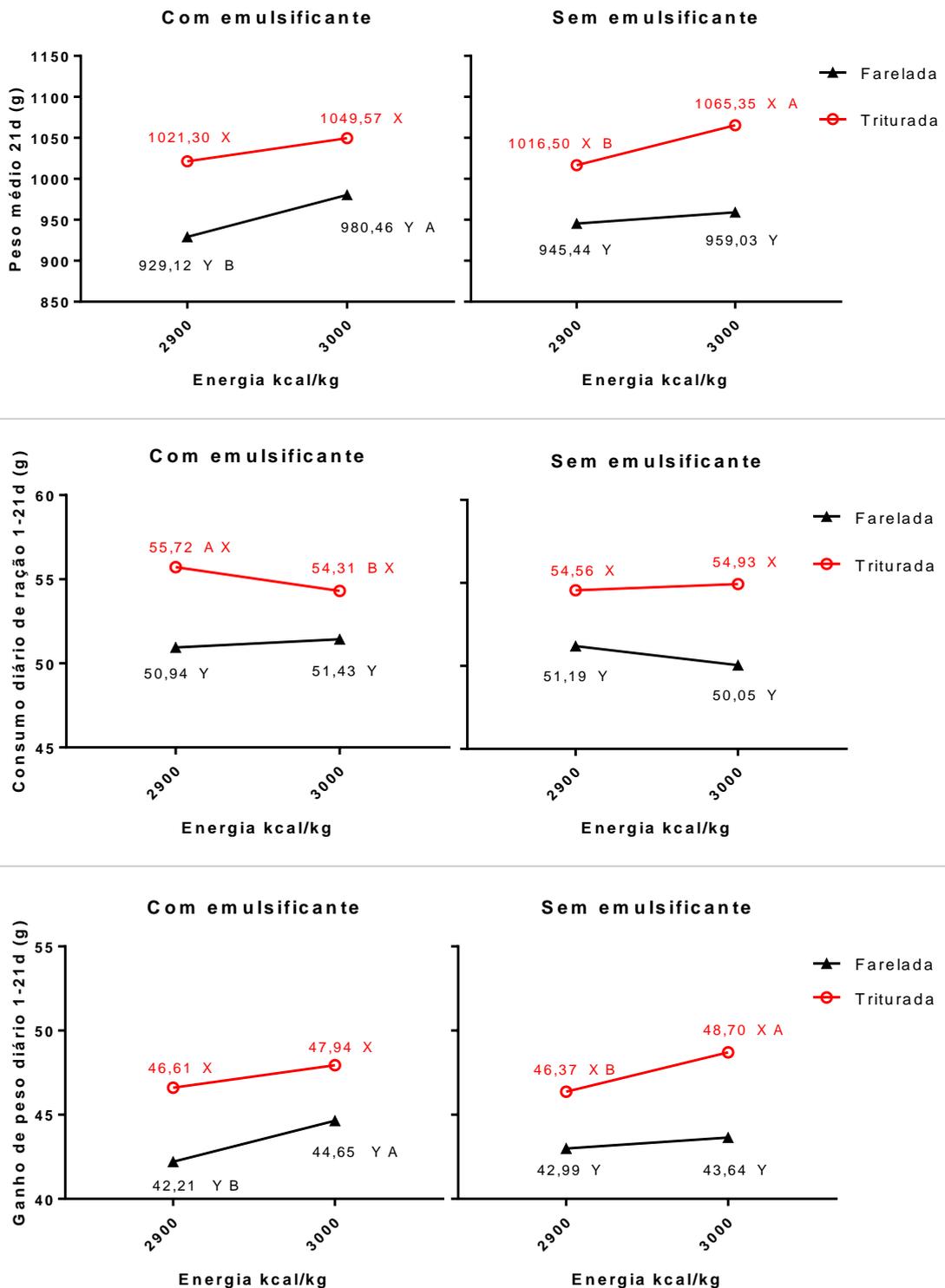
¹PM = Peso médio; ²CD = Consumo diário; ³GPD = Ganho de peso diário; ⁴CA = Conversão alimentar.

Tabela 8 - Desempenho de frangos de corte de 1 a 21 dias de idade (médias±desvio padrão)

| | | PM ¹ inicial (g) | PM ¹ 7d (g) | PM ¹ 14d (g) | PM ¹ 21d (g) | CD ² 1-21d (g) | GPD ³ 1-21d (g) | CA ⁴ 1-21d (g) |
|---|--------------|--------------------------------|------------------------|-------------------------|-------------------------|------------------------------|-------------------------------|------------------------------|
| Emulsificante | + | 42,65±3,00 | 181,00±10,82 | 526,09±29,00 | 995,11±58,67 | 53,10±2,56 | 45,35±2,77 | 1,175±0,034 a |
| | - | 42,64±3,04 | 181,32±11,13 | 525,59±28,32 | 996,58±58,12 | 52,68±2,63 | 45,42±2,75 | 1,163±0,028 b |
| Energia | 2900 kcal/kg | 42,64±3,03 | 180,44±10,57 | 518,01±27,50 b | 978,09±52,65 b | 53,10±2,56 | 44,54±2,48 b | 1,195±0,022 a |
| | 3000 kcal/kg | 42,65±3,00 | 181,87±11,32 | 533,66±27,60 a | 1013,60±57,71 a | 52,68±2,63 | 46,23±2,73 a | 1,144±0,015 b |
| Forma física | Farelada | 42,63±3,02 | 173,88±8,28 b | 504,86±20,35 b | 953,51±41,73 b | 50,90±1,78 b | 43,37±1,97 b | 1,175±0,032 a |
| | Triturada | 42,66±3,02 | 188,44±8,02 a | 546,82±18,18 a | 1038,18±37,14 a | 54,88±1,56 a | 47,40±1,73 a | 1,163±0,031 b |
| Valor de P | | | | | | | | |
| Emulsificante | | 0,9844 | 0,8518 | 0,8929 | 0,8409 | 0,2267 | 0,8375 | 0,0018 |
| Energia | | 0,9792 | 0,4004 | <0,0001 | <0,0001 | 0,2179 | <0,0001 | 0,0014 |
| Forma física | | 0,9584 | <0,0001 | <0,0001 | <0,0001 | <0,0001 | <0,0001 | <0,0001 |
| Emulsificante x energia | | 0,9740 | 0,8873 | 0,8529 | 0,5579 | 0,9167 | 0,5641 | 0,1209 |
| Emulsificante x forma física | | 0,9948 | 0,3804 | 0,7324 | 0,5828 | 0,6603 | 0,5871 | 0,8120 |
| Forma física x energia | | 0,9896 | 0,5076 | 0,9461 | 0,6772 | 0,7750 | 0,6848 | 0,7567 |
| Emulsificante x energia x forma física | | 0,9740 | 0,4390 | 0,2037 | 0,0488 | 0,0139 | 0,0447 | 0,9056 |

Média seguidas por letras minúsculas diferentes, na coluna, diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de significância.

¹PM = Peso médio; ²CD = Consumo diário; ³GPD = Ganho de peso diário; ⁴CA = Conversão alimentar.



Médias seguidas por letras maiúsculas diferentes diferem entre si em função do nível de energia dentro da forma física da dieta.

Médias seguidas por letras X e Y diferem entre si em função da forma física dentro do emulsificante.

Figura 4 - Análise da interação tripla entre os fatores emulsificante, nível de energia e forma física da dieta para as variáveis peso médio, consumo de ração e ganho de peso aos 21 dias.

Considerando-se o efeito da forma física dentro de cada nível de energia e uso do emulsificante, observou-se que as aves alimentadas com dieta triturada de maior teor energético (3000 kcal/kg) sem adição do emulsificante obtiveram os maiores pesos médios e ganho de peso diário aos 21 dias. Já para a variável consumo diário de ração, os frangos submetidos à dieta triturada de menor teor energético (2900 kcal/kg) e com adição de emulsificante apresentaram melhores resultados, mas sem impactar o peso e ganho de peso.

No que se refere ao uso do emulsificante em função da forma física, todas as variáveis comportaram-se de forma semelhante, sendo que as aves alimentadas com dieta peletizada/triturada com adição de emulsificante obtiveram melhores resultados nas três variáveis (peso médio, consumo diário e ganho de peso diário) quando comparadas às aves que receberam dieta farelada com emulsificante, tanto no maior como menor nível energético. Logo, o uso de emulsificante associado a uma dieta triturada proporcionou melhores efeitos no desempenho produtivo das aves em relação ao seu uso junto a uma dieta farelada.

No entanto, quando analisado isoladamente a presença ou ausência de emulsificante dentro da dieta triturada, não são encontradas diferenças significativas, demonstrando que os benefícios proporcionados às variáveis peso, ganho de peso e consumo diário até os 21 dias são atribuídos ao processo de peletização e não à adição do emulsificante.

Conforme mencionado anteriormente, os benefícios da peletização no desempenho de frangos de corte já foram comprovados através de diversos experimentos e incluem a melhora no desempenho de crescimento e eficiência alimentar (BEHNKE; BEYER, 2002). A ingestão de alimentos é um dos principais fatores que impacta o ganho de peso e, de acordo com Peisker (1994), a peletização está associada ao aumento da ingestão principalmente devido à redução das partículas finas.

Para o período total do experimento (1 a 28 dias), os fatores emulsificante, energia e forma física interagiram significativamente entre si, além de que interações duplas também ocorreram (Tabela 9).

Tabela 9 - Desempenho de frangos de corte de 1 a 28 dias de idade (médias±desvio padrão)

| | | PM ¹ inicial (g) | PM ¹ 7d (g) | PM ¹ 14d (g) | PM ¹ 21d (g) | PM ¹ 28d (g) | CD ² 1-28d (g) | GPD ³ 1-28d (g) | CA ⁴ 1-28d (g/g) |
|---|-----------|--------------------------------|------------------------|-------------------------|-------------------------|----------------------------|------------------------------|-------------------------------|--------------------------------|
| Emulsificante | + | 42,65±3,00 | 181,00±10,82 | 526,09±29,00 | 995,11±58,67 | 1531,89±101,44 | 67,45±3,61 | 53,18±3,59 | 1,271±0,035 a |
| | - | 42,64±3,04 | 181,32±11,13 | 525,59±28,32 | 996,58±58,12 | 1536,37±103,98 | 67,18±3,87 | 53,35±3,71 | 1,263±0,026 b |
| Energia (kcal/kg) | 2900 | 42,64±3,03 | 180,44±10,57 | 518,01±27,50 b | 978,09±52,65 b | 1520,39±89,46 b | 67,82±3,51 a | 52,78±3,17 b | 1,288±0,022 a |
| | 3000 | 42,65±3,00 | 181,87±11,32 | 533,66±27,60 a | 1013,60±57,71 a | 1547,87±111,87 a | 66,81±3,91 b | 53,75±3,98 a | 1,246±0,024 b |
| Forma física | Farelada | 42,63±3,02 | 173,88±8,28 b | 504,86±20,35 b | 953,51±41,73 b | 1455,26±60,52 b | 64,40±2,45 b | 50,45±2,13 b | 1,277±0,027 a |
| | Triturada | 42,66±3,02 | 188,44±8,02 a | 546,82±18,18 a | 1038,18±37,14 a | 1613,00±68,11 a | 70,23±2,20 a | 56,09±2,41 a | 1,257±0,031 b |
| Valor de P | | | | | | | | | |
| Emulsificante | | 0,9844 | 0,8518 | 0,8929 | 0,8409 | 0,7255 | 0,5663 | 0,7146 | 0,0436 |
| Energia | | 0,9792 | 0,4004 | <0,0001 | <0,0001 | 0,0333 | 0,0329 | 0,0323 | <0,0001 |
| Forma física | | 0,9584 | <0,0001 | <0,0001 | <0,0001 | <0,0001 | <0,0001 | <0,0001 | <0,0001 |
| Emulsificante x energia | | 0,9740 | 0,8873 | 0,8529 | 0,5579 | 0,0661 | 0,5852 | 0,0634 | 0,0009 |
| Emulsificante x forma física | | 0,9948 | 0,3804 | 0,7324 | 0,5828 | 0,7344 | 0,7498 | 0,7307 | 0,8232 |
| Forma física x energia | | 0,9896 | 0,5076 | 0,9461 | 0,6772 | 0,0377 | 0,2013 | 0,0373 | 0,0299 |
| Emulsificante x energia x forma física | | 0,9740 | 0,4390 | 0,2037 | 0,0488 | 0,0887 | 0,0191 | 0,0865 | 0,8893 |

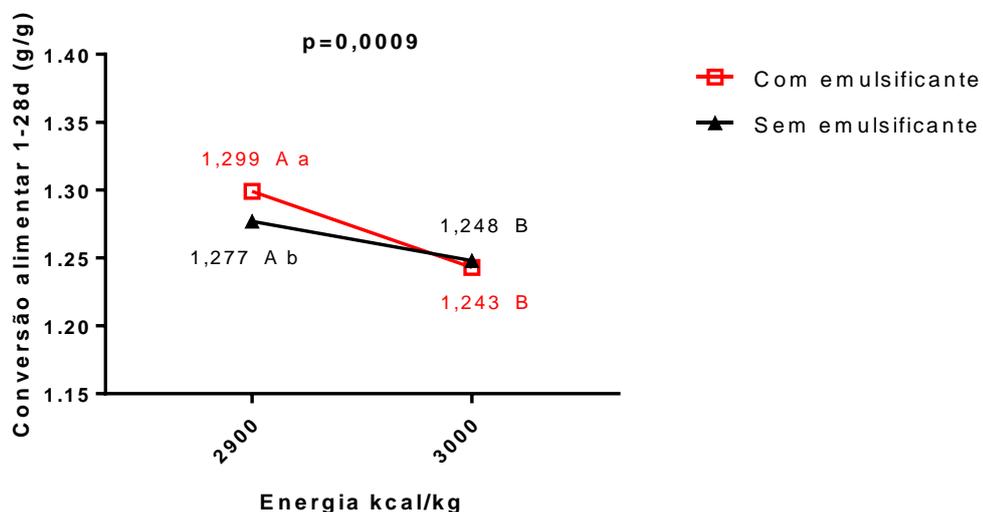
Média seguidas por letras minúsculas diferentes, na coluna, diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de significância.

¹PM = Peso médio; ²CD = Consumo diário; ³GPD = Ganho de peso diário; ⁴CA = Conversão alimentar.

Na tabela 9 é possível acompanhar a evolução dos pesos médios nas diferentes semanas de produção. Independentemente do fato da inclusão do emulsificante não ter afetado positivamente o desempenho de peso médio nas quatro semanas de análises, os valores encontrados estão de acordo com o manual de desempenho nutricional da linhagem Cobb 500 (COBB-VANTRESS, 2012).

Foram observadas interações duplas significativas entre os fatores emulsificante e nível de energia para a variável de conversão alimentar. O desdobramento da interação está presente na figura 5.

Considerando o efeito dos níveis de energia dentro do fator emulsificante, observou-se que as aves alimentadas com maior teor energético (3000 kcal/kg) apresentaram melhor conversão alimentar, tanto para as dietas com inclusão do emulsificante como para as isentas do aditivo. No entanto, quando se analisa o efeito da adição do aditivo, percebe-se que houve diferença significativa entre os níveis de 2900 e 3000 kcal/kg ($P < 0,05$), ou seja, é possível que o efeito do emulsificante esteja limitado a uma dieta de maior valor energético. Para dieta com 2900 kcal/kg, a adição do emulsificante piorou a conversão das aves ($P < 0,05$).



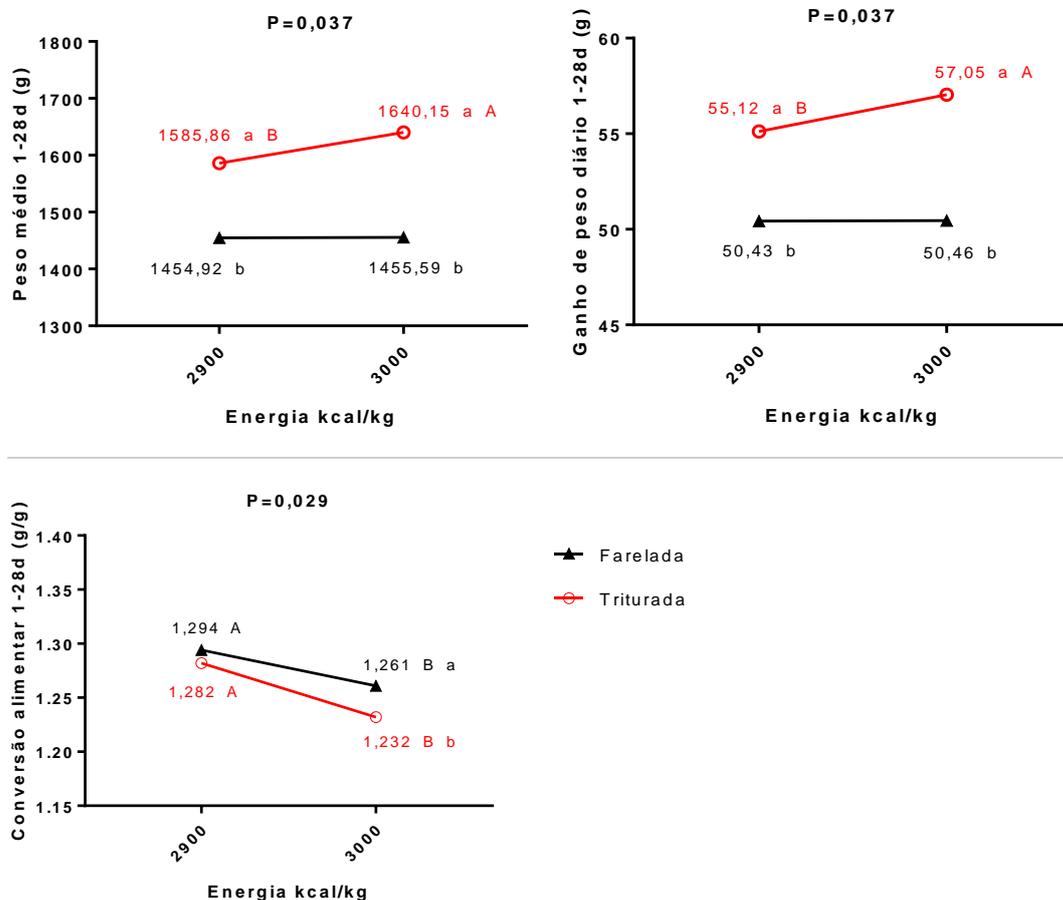
Médias seguidas por letras minúsculas diferentes diferem entre si em função do uso do emulsificante dentro do nível de energia.

Médias seguidas por letras maiúsculas diferentes diferem entre si em função do nível de energia dentro do uso do emulsificante.

Figura 5 - Análise da interação entre os fatores emulsificante e nível de energia para a variável conversão alimentar aos 28 dias.

Melegy et al. (2010), avaliando a ação de emulsificante a base de lisolecitinas, não observaram diferenças nas respostas de desempenho quando comparadas a uma dieta controle. Entretanto, quando aplicado uma redução da concentração energética em uma dieta isenta de emulsificantes, os autores perceberam respostas reduzidas no desempenho de frangos.

Houve interação entre os fatores forma física e nível de energia para peso médio, ganho de peso diário e conversão alimentar. O desdobramento da interação está presente na figura 6.



Médias seguidas por letras minúsculas diferentes diferem entre si em função da forma física dentro do nível de energia.

Médias seguidas por letras maiúsculas diferentes diferem entre si em função do nível de energia dentro da forma física da dieta.

Figura 6 - Análise da interação entre os fatores forma física e nível de energia para as variáveis peso médio, ganho de peso diário e conversão alimentar aos 28 dias.

Considerando o efeito do nível de energia dentro de cada forma física, observou-se que as aves alimentadas com o maior teor energético (3000 kcal/kg) apresentaram maior peso médio, maior ganho de peso diário e melhor conversão alimentar quando alimentadas com a dieta triturada. As aves que receberam dieta farelada exibiram desempenho similar nos níveis de 2900 ou 3000 kcal/kg de EM, exceto para a variável conversão alimentar, na qual a dieta de maior teor energético proporcionou melhor resultado.

Quando considerado o efeito da forma física dentro de cada nível de EM, foi possível observar que a dieta triturada promoveu melhor desempenho ($P < 0,05$) nos dois níveis energéticos, em relação à dieta farelada. No que se refere ao nível energético, esperava-se que a forma triturada compensasse a retirada de 100 kcal/kg na dieta. No entanto, não foi possível observar essa relação.

Quando contrastada à forma farelada, o processo de peletização permite que a ave utilize os nutrientes com maior eficiência pois o processamento atua como um conservador de energia (PENZ JÚNIOR, 1997). Conforme Mckinney e Teeter (2004), o nível energético de uma dieta com boa qualidade de *pellets* pode ser reduzido sem comprometer a resposta de desempenho. Isso é justificado pelo fato do processamento térmico proporcionar um aumento no teor de energia produtiva, fundamentado pela redução do tempo de ingestão e redução da energia gasta na apreensão do alimento.

Reddy et al. (1961) demonstraram que aves alimentadas com dieta na forma de *pellets* gastam 4% do tempo em ingestão, enquanto as que recebem dieta farelada gastam aproximadamente 15%. Além disso, é relatado que a peletização contribui com aproximadamente 186 kcal EMA/kg em uma dieta com *pellets* de alta qualidade (sem finos), sendo esse valor decrescente com o aumento da presença de finos (MCKINNEY; TEETER, 2004).

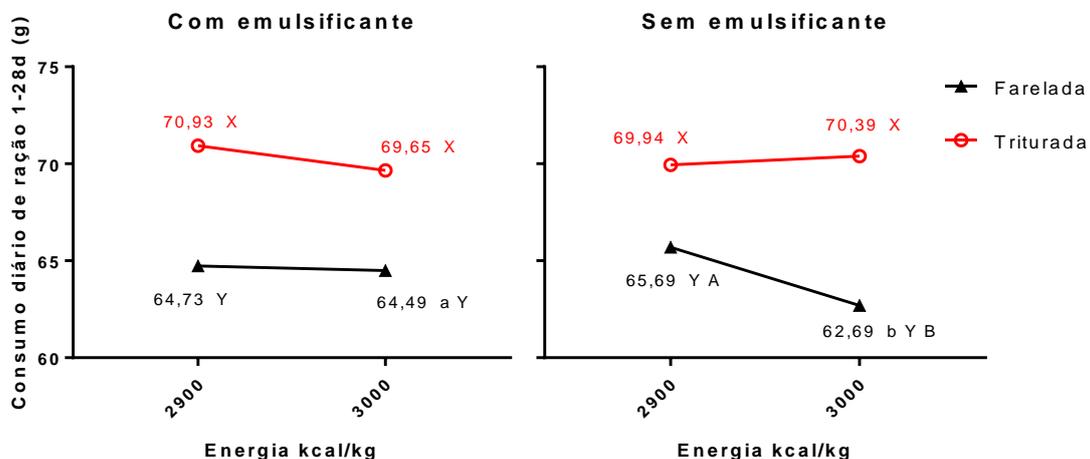
Contrariamente, Bertechini et al. (1991) e Faria et al. (2006) conseguiram observar essa relação, na qual a dieta na forma de *pellets* triturados permitiu a diminuição do seu nível de energia, além de promover melhor desempenho em relação à dieta farelada e extrusada. Segundo os mesmos autores, dietas trituradas promoveram um melhor desempenho, sendo esse benefício acentuado naquelas com baixo nível energético.

Meinerz et al. (2001) indicam que parece haver maior benefício da peletização nas dietas de baixa energia, além do efeito positivo sobre o consumo. Em

contraponto, outros autores trabalhando com frangos de 14 a 30 dias e 21 a 42 dias de idade, não constataram interação entre a forma física da dieta e níveis de energia empregados (GREENWOOD et al., 2004; MAIORKA et al., 2005).

Conforme observado no presente trabalho, as dietas trituradas promoveram maior peso e ganho de peso diário ao final do período total de produção, principalmente quando associadas a um nível energético maior, de 3000 kcal/kg. A diferença de ganho de peso diário da dieta triturada observada neste trabalho chegou a aproximadamente 9% e 12%, nos níveis energéticos de 2900 e 3000 kcal/kg, respectivamente, quando comparada à dieta farelada nos mesmos níveis. As maiores taxas de ganho de peso observadas com os *pellets* triturados não se justificam somente por um maior consumo, mas sim através de uma melhor utilização do alimento pela ave, que pode ser verificada pela melhor conversão alimentar.

Por fim, houve também interação tripla entre os fatores emulsificante, forma física e nível de energia para a variável consumo diário de ração. O desdobramento da interação está ilustrado na figura 7.



Médias seguidas por letras minúsculas diferentes diferem entre si em função do emulsificante dentro da forma física.

Médias seguidas por letras maiúsculas diferem entre si em função do nível de energia dentro da forma física da dieta.

Médias seguidas por letras X, Y diferem entre si em função da forma física dentro do emulsificante.

Figura 7 - Análise da interação entre os fatores emulsificante, nível de energia e forma física para a variável peso médio aos 28 dias.

Considerando o efeito da inclusão do emulsificante, as aves alimentadas com *pellets* triturados apresentaram maior consumo diário ($P < 0,05$), tanto no menor como no maior nível de energia utilizado ($P > 0,05$), quando comparadas à dieta na forma farelada. No entanto, efeito semelhante ocorreu para aquelas dietas sem emulsificante, nas quais o uso de *pellets* triturados também expressou maior valor para o consumo, ou seja, não foi o emulsificante que favoreceu o consumo, mas sim a forma física.

Ainda assim é possível perceber que, como mostrado nos gráficos da interação dupla entre os fatores energia e forma física (Figura 7), a dieta triturada afetou positivamente as demais variáveis analisadas (peso médio, ganho de peso e conversão alimentar aos 28 dias), mostrando que, assim como no consumo, a ação da peletização foi fundamental para que as demais variáveis de desempenho fossem significativas.

Quanto à dieta farelada, houve diferença significativa pela adição do emulsificante associado à maior concentração de energia, manifestando maior consumo em relação à dieta com mesmo valor energético sem o emulsificante. É possível que, por tratar-se da dieta farelada, a ação do emulsificante pôde ser mais expressiva.

Quanto ao nível energético, apenas a dieta farelada sem o emulsificante demonstrou diferença significativa, sendo que a dieta de 2900 kcal/kg obteve maior consumo em relação à de 3000 kcal/kg. Esse resultado já era esperado, pois os frangos de corte tendem a aumentar linearmente o consumo com a diminuição do nível energético das dietas, sendo o inverso também verdadeiro (LEESON et al., 1996; ALBUQUERQUE et al., 2003). Neste estudo, as aves demonstraram compensar no consumo de ração a redução do nível energético da dieta, sem afetar o ganho de peso, o que impactou negativamente a conversão alimentar, verificada na interação dupla.

No entanto, de forma isolada, o emulsificante experimentado neste estudo não se mostrou positivo para o desempenho em nenhuma das semanas em que as aves foram avaliadas. Apesar das interações encontradas, muitos efeitos foram resultados apenas da melhora na qualidade da forma física ou ainda no uso do nível energético mais adequado.

O efeito inconsistente e as discrepâncias nos resultados de utilização de emulsificantes exógenos no desempenho produtivo de frangos pode ser atribuído ao

tipo de emulsificante, ao grau de saturação da fonte de gordura dietética utilizada ou ainda à proporção de cereais adicionados à dieta (DIERICK; DECUYPERE, 2004).

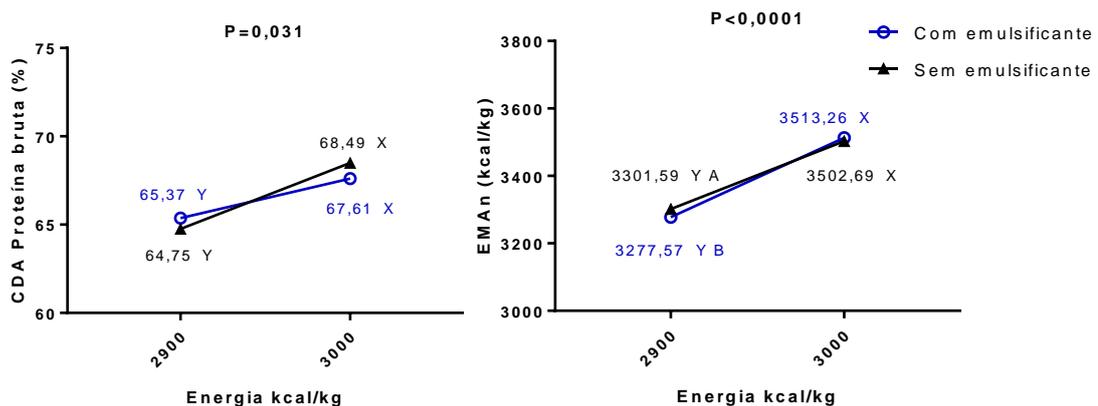
4.3. Digestibilidade de nutrientes

Os resultados de digestibilidade de nutrientes e energia metabolizável aparente das dietas são apresentados nas tabelas 11 e 12. Houve interações duplas entre eles (Tabela 10).

Houve interação entre o emulsificante e o nível energético para as variáveis CDA PB e EMAn (Figura 8).

O desdobramento da interação mostra que a variável CDA PB não sofreu influência significativa quanto ao uso de emulsificante ($P > 0,05$), especialmente quando associado ao nível energético de 3000 kcal/kg, no qual ainda houve uma tendência de promover menor digestibilidade, em comparação à dieta sem o emulsificante. Quanto à EMAn, o uso do aditivo ocasionou uma redução significativa no valor dessa variável quando associado a uma dieta de menor teor de energia (2900 kcal/kg).

As aves alimentadas com dietas de 3000 Kcal/kg, tanto com a adição ou não do emulsificante ($P > 0,05$), foram as que obtiveram os melhores resultados para o CDA PB e EMAn ($P < 0,05$).



Médias seguidas por letras maiúsculas diferentes diferem entre si em função do emulsificante dentro de cada nível de energia.

Médias seguidas por letra X ou Y diferem entre si em função dos níveis de energia dentro do uso de emulsificante.

Figura 8 - Análise das interações entre emulsificante e energia para as variáveis CDA PB e EMAn de 10 a 14 dias.

Tabela 10 - Coeficiente de digestibilidade aparente dos nutrientes e energia metabolizável aparente determinada aos 10-14 dias (médias±desvio padrão)

| | | CDA MS ¹ | CDA PB ² | CDA EE ³ | EMA (MS) ⁴ | EMAn (MS) ⁵ |
|--|-----------|---------------------|---------------------|---------------------|-----------------------|------------------------|
| Emulsificante | + | 74,67±1,10 a | 66,49±2,22 | 87,84±2,43 | 3635,32±123,67 b | 3395,42±121,16 |
| | - | 74,23±1,10 b | 66,62±2,61 | 88,24±2,45 | 3648,60±121,14 a | 3402,14±105,91 |
| Energia | 2900 kcal | 73,48±0,52 b | 65,06±2,18 b | 86,84±2,60 b | 3523,45±23,64 b | 3289,58±22,67 b |
| | 3000 kcal | 75,42±0,59 a | 68,05±1,57 a | 89,24±1,50 a | 3760,47±28,57 a | 3507,98±32,43 a |
| Forma física | Farelada | 74,41±1,11 | 67,39±2,12 a | 86,37±2,09 b | 3633,43±109,00 b | 3383,89±100,13 b |
| | Triturada | 74,49±1,14 | 65,71±2,41 b | 89,71±1,37 a | 3650,48±134,28 a | 3413,67±124,26 a |
| Valor de P | | | | | | |
| Emulsificante | | <0,0001 | 0,7093 | 0,1112 | 0,0014 | 0,0651 |
| Energia | | <0,0001 | <0,0001 | <0,0001 | <0,0001 | <0,0001 |
| Forma física | | 0,4424 | <0,0001 | <0,0001 | <0,0001 | <0,0001 |
| Emulsificante x energia | | 0,4846 | 0,0311 | 0,8415 | 0,3282 | <0,0001 |
| Emulsificante x forma física | | 0,0092 | 0,3893 | 0,9413 | 0,0014 | 0,0048 |
| Forma física x energia | | 0,1885 | 0,1851 | <0,0001 | <0,0001 | <0,0001 |
| Emulsificante x energia x forma física | | 0,3270 | 0,1591 | 0,1525 | 0,7269 | 0,5311 |

Médias seguidas por letras minúsculas diferentes, na coluna, diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de significância.

¹CDA MS = Coeficiente de digestibilidade aparente de matéria seca; ²CDA PB = Coeficiente de digestibilidade aparente de proteína bruta; ³CDA EE = Coeficiente de digestibilidade aparente de extrato etéreo; ⁴EMA (MS) = Energia metabolizável aparente em base de matéria seca; ⁵EMAn (MS) = Energia metabolizável aparente corrigida para nitrogênio em base de matéria seca.

É uma prática comum aumentar os índices de energia alimentar através do uso de altas taxas de inclusão de gordura na dieta para atender as exigências energéticas dos genótipos atuais de frangos de corte. Tancharoenrat et al. (2013) demonstraram que os índices de EMA e digestibilidade da gordura foram influenciados pela idade dos frangos de corte. Esses autores concluíram que a menor EMA e digestibilidade de EE determinada durante primeira semana de vida confirma que a capacidade fisiológica de digerir e absorver gorduras é imatura na fase inicial do desenvolvimento, mas que essa habilidade se desenvolve rapidamente com o avanço da idade.

Em suínos, Zhao et al. (2015) utilizaram emulsificante à base de lisofosfolípídeos em dietas com dois níveis energéticos e perceberam que o emulsificante associado a uma dieta com menor nível de energia (2524,60 kcal/kg) melhorou significativamente a digestibilidade da PB avaliada aos 14 dias de idade. Já Yan e Kim (2013), demonstraram que dietas de elevada e baixa energia não tem influência no CDA PB em suínos em crescimento. Por sua vez, Roy et al. (2010) observaram uma melhora na eficiência de utilização da PB em frangos alimentados com dieta suplementada com emulsificante de polietilenoglicol ricinoleato de gliceril durante a fase de crescimento, indicando efeitos positivos na digestão e absorção de gordura e outros nutrientes.

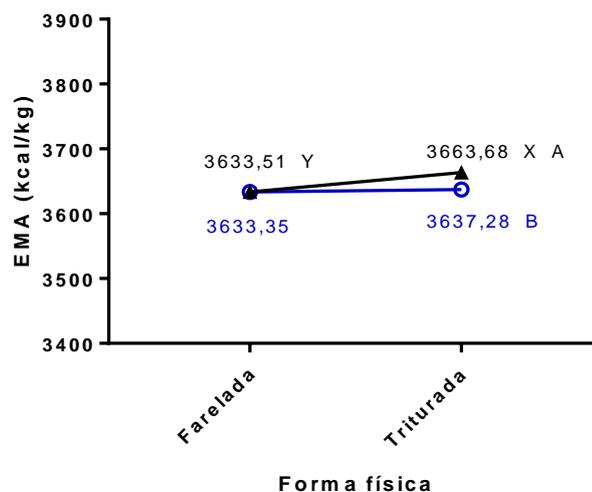
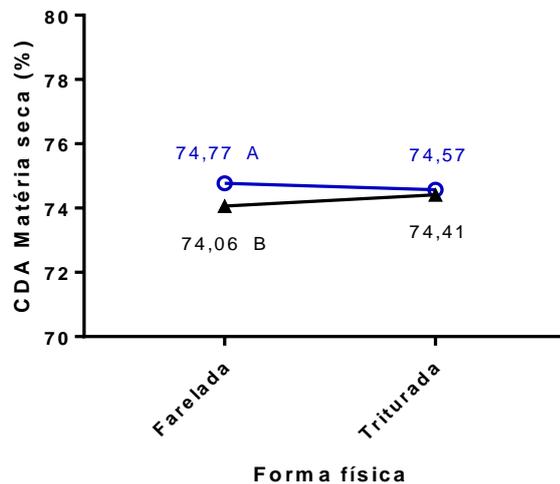
As diferenças encontradas na variável EMAn já eram esperadas devido aos níveis de energia. No entanto, a presença do emulsificante não afetou a variável no nível de 3000 kcal/kg. Mesmo a diferença não sendo significativa, houve uma tendência de melhora após a inclusão do emulsificante na dieta de energia convencional (3000 kcal/kg), com um aumento de aproximadamente 11 kcal/kg, quando comparado à dieta sem o emulsificante. Esses resultados corroboram com os encontrados por Kaczmarek et al. (2015) que utilizando um emulsificante com idêntica composição, observaram essa mesma tendência, na qual a inclusão deste aditivo aumentou em até 48 kcal/kg a EMAn em dietas com energia convencional para frangos de 14 dias.

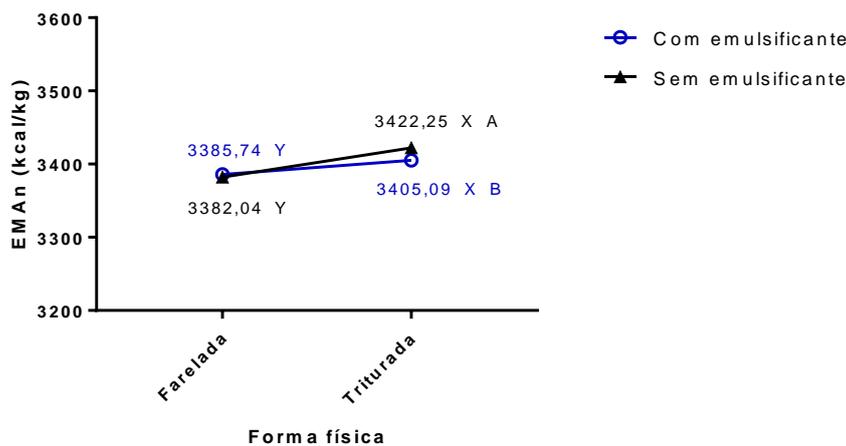
Ainda neste aspecto, Kaczmarek et al. (2015) também perceberam tendência de aumento da EMAn quando o emulsificante foi adicionado a uma dieta de menor teor energético (2930 kcal/kg), diferentemente do observado neste trabalho, no qual o emulsificante piorou significativamente a EMAn ($P < 0,05$).

Houve interação entre o emulsificante e a forma física da dieta nas variáveis CDA MS, EMA e EMAn (Figura 9).

O desdobramento da interação mostrou que a adição do emulsificante melhorou significativamente a digestibilidade aparente da matéria seca, principalmente na forma farelada ($P < 0,05$). Na forma triturada não houve efeito significativo da adição do emulsificante.

As variáveis EMA e EMAn (MS) não sofreram influência significativa do uso de emulsificante e da forma física da dieta. Apesar disso, é possível perceber que, numericamente, a adição do emulsificante a uma dieta triturada apresentou uma menor EMA e EMAn quando comparada a dieta sem a adição do mesmo.





Médias seguidas por letras maiúsculas diferentes diferem entre si em função do emulsificante dentro da forma física da dieta.

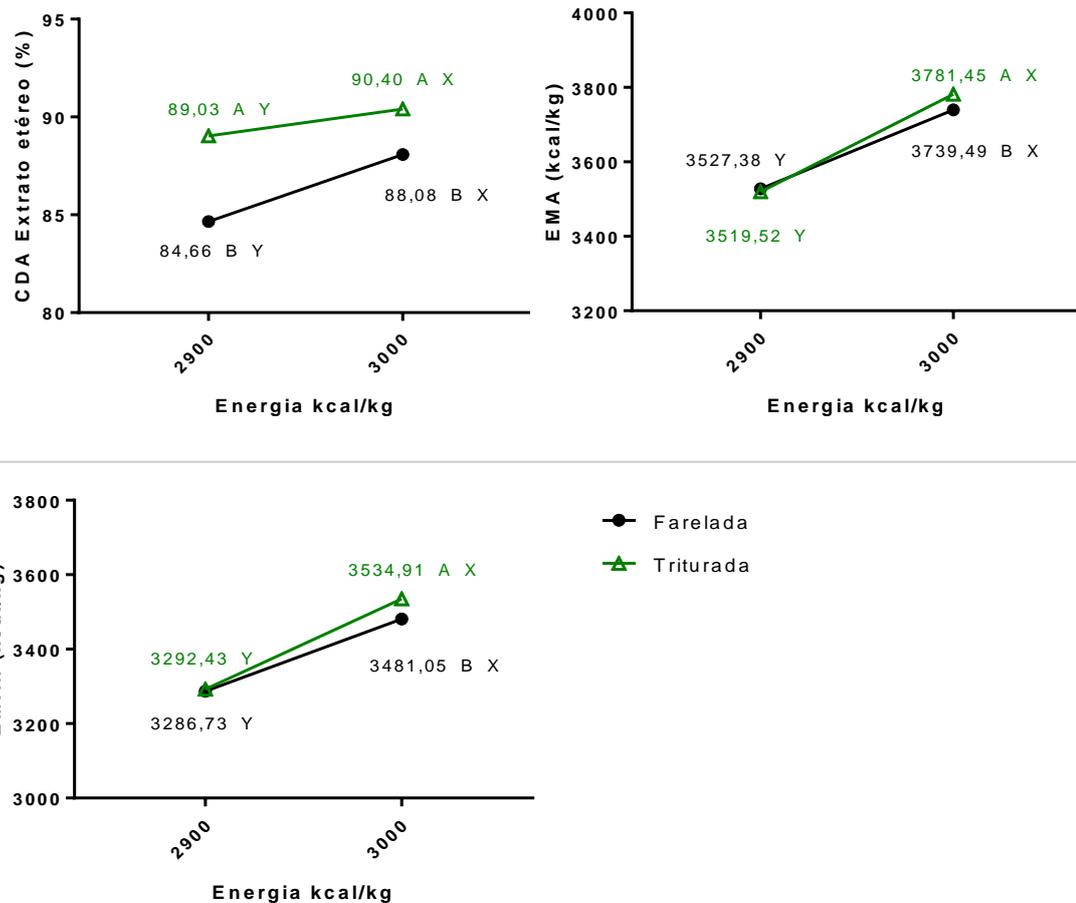
Figura 9 - Análise das interações entre emulsificante e forma física para as variáveis CDA MS, EMA e EMAn de 10 a 14 dias.

Os resultados encontrados nesse estudo estão de acordo com os observados por Abbas et al. (2016) e Cho et al. (2012) que relataram um aumento significativo na digestibilidade da MS e EE em frangos alimentados com dietas fareladas contendo emulsificante. Segundo os pesquisadores, esses resultados podem ser atribuídos à ação do emulsificante sobre as gorduras da dieta e a estabilização de outros ingredientes, associado a uma lipólise dos triglicerídeos, resultando na formação de mais micelas, o que facilitaria a digestão e absorção das gorduras.

É possível que o emulsificante proporcione um efeito reduzido quando associado a uma dieta peletizada, contrariando um dos importantes propósitos deste aditivo. A suplementação com emulsificantes foi introduzida na indústria de nutrição animal como uma tecnologia a fim de melhorar os processos digestivos e a qualidade dos alimentos (CHEAH et al., 2017). Com a sua aplicação, era esperada uma melhoria na eficiência de produção das dietas.

Ainda no período de 10-14 dias, houve interação dupla significativa entre as variáveis nível de energia e forma física da dieta para as variáveis CDA EE, EMA e EMAn (Figura 10).

O desdobramento da interação mostrou que, tanto para a forma física farelada como para triturada, a aves alimentadas com dieta de maior energia (3000 Kcal/kg) apresentaram melhores resultados para essas variáveis, diferindo significativamente do nível de menor energia (2900 kcal/kg).



Médias seguidas por letras maiúsculas diferentes diferem entre si em função da forma física dentro de cada nível de energia.

Médias seguidas por letras X ou Y diferem entre si em função dos níveis de energia dentro da forma física

Figura 10 - Análise das interações entre os fatores energia e forma física para as variáveis CDA EE, EMA e EMAn de 10 a 14 dias.

Para o CDA EE, as dietas trituradas demonstraram melhores resultados tanto no nível energético convencional como no reduzido. Já para EMA e EMAn, a dieta triturada mostrou-se superior ($P < 0,05$) quando associada somente ao nível de 3000 kcal/kg.

Esses resultados estão de acordo com as afirmações de Freitas et al. (2008) que comprovaram que a forma física da dieta pré-inicial influenciou a digestibilidade do EE e os valores de energia metabolizável. A forma triturada aumentou o CDA EE e, conseqüentemente, esse resultado influenciou os valores de EMA e EMAn.

Ainda, segundo outros pesquisadores (MAIORKA et al., 2005; ZELENKA, 2003), a peletização melhora a eficiência de retenção da EMA, quando comparada a dietas fareladas, possuindo a capacidade de aumentar o valor da energia

metabolizável decorrente da maior digestibilidade dos nutrientes, sendo este um dos seus propósitos.

Para o período final de análise (24 a 28 dias), os fatores emulsificante, energia e forma física interagiram significativamente entre si, além de que interações duplas significativas também ocorreram (Tabela 11).

Tabela 11 - Coeficiente de digestibilidade aparente dos nutrientes e energia metabolizável aparente determinada aos 24-28 dias (médias±desvio padrão)

| | | CDA MS ¹ | CDA PB ² | CDA EE ³ | EMA (MS) ⁴ | EMAn (MS) ⁵ |
|--|-----------|---------------------|---------------------|---------------------|-----------------------|------------------------|
| Emulsificante | + | 72,36±1,46 a | 62,25±1,76 a | 83,48±2,33 | 3541,44±105,60 a | 3317,79±101,96 a |
| | - | 71,98±1,17 b | 61,64±1,91 b | 83,36±2,50 | 3509,01±93,59 b | 3285,33±93,18 b |
| Energia | 2900 kcal | 71,27±1,12 b | 61,70±2,08 | 81,83±2,31 b | 3437,25±35,81 b | 3213,96±29,28 b |
| | 3000 kcal | 73,07±0,88 a | 62,19±1,91 | 85,00±1,12 a | 3613,21±30,94 a | 3389,16±24,59 a |
| Forma física | Farelada | 72,76±1,19 a | 62,65±1,60 a | 82,65±2,72 b | 3530,83±97,49 | 3305,38±97,30 |
| | Triturada | 71,57±1,24 b | 61,23±1,91 b | 84,18±1,75 a | 3519,63±100,33 | 3297,75±96,94 |
| Valor de P | | | | | | |
| Emulsificante | | 0,0280 | 0,0487 | 0,6965 | <0,0001 | <0,0001 |
| Energia | | <0,0001 | 0,1122 | <0,0001 | <0,0001 | <0,0001 |
| Forma física | | <0,0001 | <0,0001 | <0,0001 | 0,0506 | 0,1263 |
| Emulsificante x energia | | 0,1265 | 0,2129 | 0,8695 | 0,7198 | 0,6889 |
| Emulsificante x forma física | | 0,4289 | 0,4373 | 0,0167 | 0,0636 | 0,0970 |
| Forma física x energia | | 0,3355 | 0,2242 | <0,0001 | 0,0795 | 0,3970 |
| Emulsificante x energia x forma física | | 0,3964 | 0,0083 | 0,1565 | 0,6268 | 0,0395 |

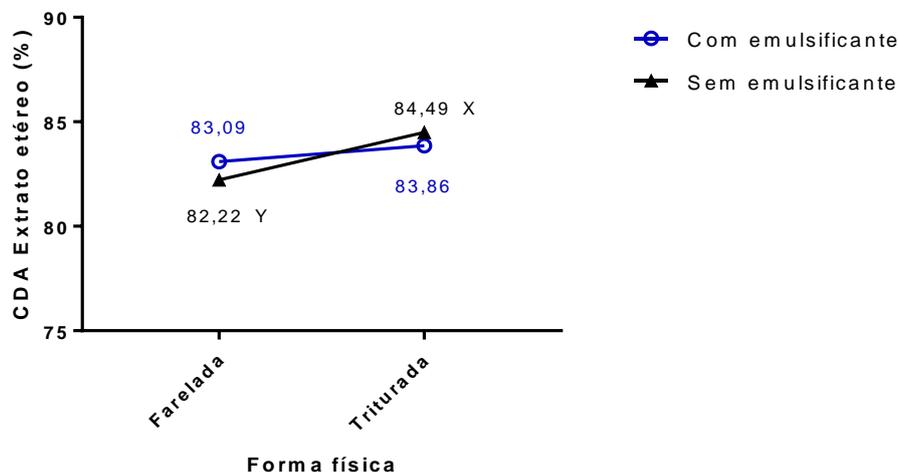
Média seguidas por letras diferentes, na coluna, diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de significância.

¹CDA MS = Coeficiente de digestibilidade aparente de matéria seca; ²CDA PB = Coeficiente de digestibilidade aparente de proteína bruta; ³CDA EE = Coeficiente de digestibilidade aparente de extrato etéreo, ⁴EMA (MS) = Energia metabolizável aparente em base de matéria seca; ⁵EMAn (MS) = Energia metabolizável aparente corrigida para nitrogênio em base de matéria seca.

Houve interação entre o emulsificante e a forma física da dieta na variável CDA EE (Figura 11).

Considerando o efeito do emulsificante na digestibilidade do EE, observou-se que a sua adição não demonstrou diferenças entre as duas formas físicas, apesar de ter ocorrido uma leve melhora quando associado à dieta triturada.

Ainda neste aspecto, avaliando-se apenas o efeito da dieta sem emulsificante, percebe-se que o processamento através da peletização e posterior trituração promoveu um aumento significativo no CDA EE ($P < 0,05$), quando comparado com a forma farelada.



Médias seguidas por letras maiúsculas diferem entre si em função do uso do emulsificante dentro de cada forma física.

Médias seguidas por letras X ou Y diferem entre si em função da forma física dentro do uso do emulsificante

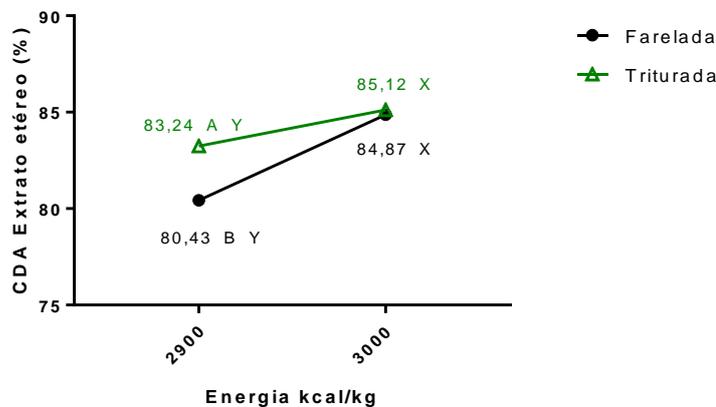
Figura 11 - Análise das interações entre emulsificante e forma física para as variáveis CDA EE de 24 a 28 dias.

De modo semelhante ao ocorrido no período de 10-14 dias, é possível observar que houve um aumento de, aproximadamente, 3%, na digestibilidade do EE, estando esses resultados em conformidade com Freitas et al. (2008) e Lara et al. (2013) que comprovaram a influência da forma física peletizada no CDA do EE. Outros estudos evidenciaram um aumento de aproximadamente 7% na digestibilidade do EE quando suínos foram alimentados com dieta peletizada, em comparação com a dieta na forma farelada (ZHU et al., 2010; MAZUTTI et al., 2017).

Kaczmarek et al. (2015) observaram em seus estudos que o emulsificante de polietilenoglicol ricinoleato de gliceril melhorou a digestibilidade do EE em frangos de 14 e 35 dias.

Houve interação entre os fatores energia e forma física da dieta para a variável CDA EE (Figura 12).

Para o CDA de EE, a dieta triturada proporcionou melhores resultados quando comparada à forma farelada. No entanto, apenas para o menor nível de energia (2900 kcal/kg) essa diferença foi significativa ($P < 0,05$).



Médias seguidas por letras maiúsculas diferentes diferem entre si em função da forma física dentro de cada nível de energia.

Médias seguidas por letras X ou Y diferem entre si em função dos níveis de energia dentro de cada forma física.

Figura 12 - Análise das interações entre energia e forma física para as variáveis CDA EE de 24 a 28 dias.

O aumento do nível energético das dietas evidenciou um aumento significativo na digestibilidade do EE para cada forma física. Entretanto, neste maior nível as dietas não diferiram entre si. Possivelmente, os efeitos da peletização/trituração, em relação à dieta farelada, sobre o EE sejam mais expressivos no menor nível energético, compensando a redução de 100 kcal/kg.

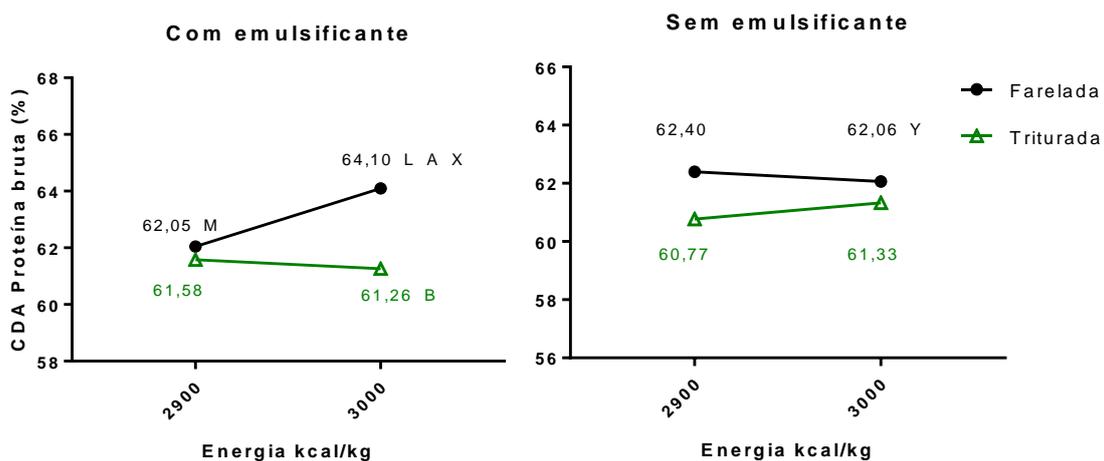
Comumente, frangos de corte são alimentados com dietas de alta energia. Porém, é de conhecimento geral que os custos de produção são afetados em grande proporção pelos níveis e fontes de gordura utilizadas. A peletização atua como um poupador de energia, aumentando a eficiência de utilização energética. Dessa forma, é possível que dieta peletizadas compensem a redução no teor de energia, reduzindo assim os custos de produção das dietas. Vários pesquisadores comprovaram a ação de dietas peletizadas na digestibilidade do EE em frangos de

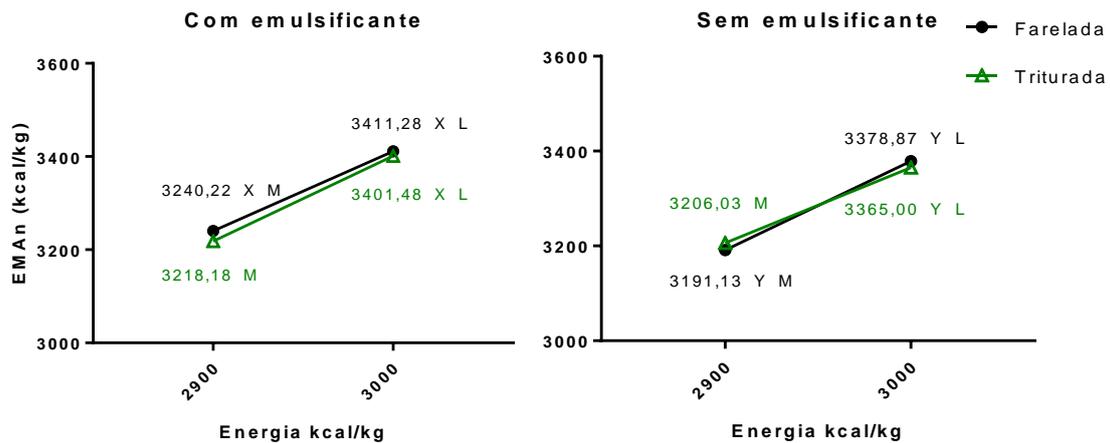
corte e suínos (FREITAS et al., 2008; ZHU et al., 2010; LARA et al., 2013; MAZUTTI et al., 2017). Gonzales-Esquerria e Leeson (2000) sugerem que essa melhora na digestibilidade pode estar relacionada a um aumento na disponibilidade do óleo intracelular do milho, resultado da maior abrasão durante o processo de peletização, refletindo melhor utilização do nutriente.

Assim como discutido anteriormente, é possível observar que houve um aumento de, aproximadamente, 2% no CDA EE para as dietas trituradas no nível de maior energia e de 4% para forma farelada também no mesmo nível.

Por fim, verificou-se também uma interação tripla entre os fatores emulsificante, forma física e nível de energia para as variáveis CDA PB e EMAn. O desdobramento da interação está presente na figura 13, a seguir.

Considerando-se o efeito da inclusão do emulsificante na dieta, as aves alimentadas com *pellets* triturados apresentaram menor digestibilidade de PB ($P < 0,05$), tanto no menor como no maior nível de energia utilizado ($P > 0,05$), quando comparadas às alimentadas com dieta na forma farelada. Efeito semelhante ocorreu para aquelas dietas sem o emulsificante, nas quais o uso de *pellets* triturados também expressou menor valor para essa variável, ou seja, é possível que o processamento da dieta tenha sido responsável pela redução na digestibilidade.





Médias seguidas por letras maiúsculas diferentes diferem entre si em função da forma física da dieta dentro dos níveis de energia com uso do emulsificante.

Médias seguidas por letras minúsculas diferentes diferem entre si em função da forma física da dieta dentro de cada nível de energia sem uso do emulsificante.

Médias seguidas por letras X ou Y diferem entre si em função do uso do emulsificante dentro dos níveis de energia e forma física da dieta.

Médias seguidas por letras L ou M diferem entre si em função dos níveis de energia dentro da forma física da dieta.

Figura 13 - Análise das interações entre emulsificante, energia e forma física da dieta para as variáveis CDA PB e EMAn de 24 a 28 dias.

Apesar dos benefícios já conhecidos para a digestibilidade de nutrientes e utilização de energia, a peletização também pode vir a causar efeitos negativos para a estrutura dos ingredientes. Vitaminas termolábeis, enzimas exógenas e proteínas podem ser destruídas por conta das altas temperaturas de processamento (ABDOLLAHI, 2011).

As proteínas são estruturas sensíveis que, após a exposição ao vapor do processo de peletização, geralmente mudam sua estrutura física, causando alterações substanciais na reatividade, propriedade funcional e nutricional (VORAGEN et al., 1995). Em geral, o aquecimento melhora a digestibilidade das proteínas, inativando inibidores enzimáticos e desnaturando proteínas para expor novos locais de ação ao ataque enzimático. No entanto, no presente estudo os resultados demonstraram uma redução no CDA da PB, tal qual no uso ou não do emulsificante.

É possível que tenha ocorrido alguma irregularidade no processo de peletização, como um excesso de temperatura ou teor de umidade, permitindo a quebra de ligações não covalentes, responsáveis pela estabilidade estrutural, além

das ligações dissulfeto e covalentes, o que causaria uma desnaturação irreversível da estrutura tridimensional das proteínas (ABDOLLAHI, 2011).

Ainda neste aspecto, é possível perceber que o emulsificante não atuou positivamente sobre a estabilidade dos ingredientes frente ao condicionamento da dieta pelo processo de peletização.

No que se refere à EMAn, considerando o nível energético dentro da forma física e do uso do emulsificante, é possível verificar que, como esperado, as aves alimentadas com energia convencional de 3000 kcal/kg obtiveram os melhores resultados, diferindo estatisticamente do nível de 2900 kcal/kg ($P < 0,05$).

Considerando-se o uso do emulsificante dentro dos níveis de energia e forma física, percebe-se que a adição do aditivo aumentou significativamente a EMAn nas dietas fareladas com 2900 kcal e 3000 kcal, e triturada de 3000 kcal ($P < 0,05$). Para a dieta triturada de 2900 kcal não houve diferença significativa quanto à adição do emulsificante. No entanto, numericamente, o seu uso também aumentou a EMAn.

Os resultados indicam um efeito positivo do emulsificante no aumento da energia presente na dieta, indiferente do processamento térmico da dieta. Essas descobertas concordam com Kaczmarek et al. (2015) e Zhang et al. (2011), que demonstraram uma melhora no nível de EMA das dietas quando o emulsificante foi adicionado. No entanto, parecem contrariar aqueles resultados obtidos por Al-Marzooqi e Leeson (1999), os quais afirmaram que a presença de emulsificante composto de sorbitol não provocou efeito benéfico no aumento da EMA na digestibilidade da gordura da dieta.

Os efeitos inconsistentes do uso do emulsificante na digestibilidade dos nutrientes observado neste trabalho evidencia a necessidade de maiores investigações a respeito da eficácia desse aditivo em dietas frangos de corte. Fatores relacionados à fonte de gordura empregada nas dietas e também à composição do emulsificante podem levar a diferentes respostas no desempenho e digestibilidade em frangos de corte (ZHANG et al., 2011; ZHAO et al, 2015).

5. Conclusão

A suplementação do emulsificante à base de polietilenoglicol ricinoleato de gliceril em dietas de frangos de corte aumenta a dureza dos *pellets*, não afeta o desempenho produtivo e a digestibilidade de nutrientes, com exceção da EMAn, que é aumentada em ambas as formas físicas das dietas.

Referências

- ABBAS, M.T.; ARIF, M.; SAEED, M.; REYAD-UL-FERDOUS, M.; HASSAN, M.A.; ARAIN M.A.; REHMAN A. Emulsifier effect on fat utilization in broiler chicken, **Asian Journal of Animal Veterinary Advances**, 11(3):158-167, 2016.
- ABDOLLAHI, M.R. **Influence of feed processing on the performance, nutrient utilisation and gut development of poultry and feed quality**. Massey University, Palmerston North, New Zealand. Tese de Doutorado. 2011.
- ABDOLLAHI, M.R.; RAVINDRAN, V.; SVIHUS, B. Influence of grain type and feed form on performance, apparent metabolisable energy and ileal digestibility of nitrogen, starch, fat, calcium and phosphorus in broiler starters. *Animal Feed Science and Technology*, v.186, p.193-203, 2013.
- AKZONOBEL. Emulsifier technology for effective feed production. Pelleting. AkzoNobel Surface Chemistry, 2008.
- ALBUQUERQUE, R.; FARIA, D.E.; JUNQUEIRA, O.M.; SALVADOR, D.; FARIA FILHO, D.E.; RIZZO, M.F. Effects of energy levels in finisher diets and slaughter age of on performance and carcass yield in broiler chickens. **Brazilian Journal of Poultry Science**; 5(2):99-104; 2003.
- AL-MARZOOQI, W.; LEESON, S. Evaluation of dietary supplements of lipase, detergent, and crude porcine pancreas on fat utilization by young broiler chicks, **Poultry Science**, vol. 78, no. 11, pp. 1561–1566, 1999.
- ANDRADE, A.N. Avicultura do futuro: uma perspectiva para o século 21. In: **Sociedade Brasileira de Zootecnia**. Avicultura. Piracicaba: FEALQ, p.71-76. 1990.
- ASAE. **Cubes, pellets and crumbles. Definitions and methods for determining density, durability, and moisture**. S269.4. American Society of Agricultural and Biological Engineers, Saint Joseph, Michigan. 1997.
- BAUER, E.; JAKOB, S.; MOSENTHIN, R. Principles of physiology of lipid digestion. **Asian-Australian Journal of Animal Sciences**, v.18, n. 2, p.282-295, 2005.
- BEHNKE, K.C.; BEYER, R.S. Effect of feed processing on broiler performance. **VIII. International Seminar on Poultry Production and Pathology**, Santiago, Chile. 2002.
- BERTECHINI, A.G.; ROSTAGNO, H.S.; FONSECA, J.B. Efeito da forma física e níveis de energia da ração sobre o desempenho e carcaças de frangos de corte. **Revista Sociedade Brasileira de Zootecnia**. SBZ 20:229, 1991.
- BONTEMPO, V.; COMI, M.; JIANG, X. The effects of a novel synthetic emulsifier product on growth performance of chickens for fattening and weaned piglets. **Animal**, 10(4), 592-597. 2016.

BORGSTRÖM, B.; ERLANSON, C. Pancreatic juice colipase: physiological importance. **Biochimica et Biophysica Acta** 242, 509–513. 1971.

BRAGA, J.P.; BAIÃO, N.C. Suplementação lipídica no desempenho de aves em altas temperaturas. **Cadernos Técnicos de Veterinária e Zootecnia**, n.31, p.23-28, 2001.

BRASIL. Ministério da Agricultura e Abastecimento. Sindicato Nacional da Indústria de Alimentação Animal. Associação Nacional dos Fabricantes de Rações. **Compêndio brasileiro de alimentação animal**. São Paulo: ANFAR/CBNA/SDR, p. 204, 2005.

CHEAH, Y.S.; LOH, T.C.; AKIT, H.; KIMKOOL, S. Effect of Synthetic Emulsifier and Natural Biosurfactant on Feed Process and Quality of Pelletized Feed in Broiler Diet. **Revista Brasileira de Ciência Avícola**, 19(SPE), 23-34, 2017.

COBB-VANTRESS. Suplemento: desempenho e nutrição para frangos de corte cobb 500. 2012. URL. http://www.cobbvantress.com/languages/guidefiles/793a16cc5812-4030-9436-1e5da177064f_pt.pdf

CHO, J. H.; ZHAO, P.Y.; KIM, I.H. Effects of emulsifier and multi-enzyme in different energy density diet on growth performance, blood profiles and relative organ weight in broiler chickens, **Journal of Agricultural Science**; Vol. 4(10); 161-168. 2012.

CUTLIP, S.E.; HOTT, J.M.; BUCHANAN, N.P.; RACK, A.L.; LATSHAW, J.D.; MORITZ, J.S. The effect of steam-conditioning practices on pellet quality and growing broiler nutritional value. **The Journal of Applied Poultry Research**, vol. 17, p.249-261. 2008.

DIERICK, N.A.; DECUYPERE, J.A. Influence of lipase and/or emulsifier addition on the ileal and faecal nutrient digestibility in growing pigs fed diets containing 4% animal fat. **Journal of the Science of Food and Agriculture**. 84:1443-1450. 2004.

DRACKLEY, J.K. **Lipid Metabolism**. In: D'MELLO, J. P. F. (Ed.). cap. 5. Farm Animal Metabolism and Nutrition. Edinburg: The Scottish Agricultural College, p.97-119, 2000.

ERLANSON, C., FERNLUND, P., BORGSTRÖM, B. Purification and characterization of two proteins with co-lipase activity from porcine pancreas. **Biochimica et Biophysica Acta** 310, 437–445, 1973.

ESMINGER, M.E. Processin effects. In. **Feed Manufacturing Technology III**. AFIA. Cap. 66. p.529-533, 1985.

FARIA, D.E.; FARIA FILHO, D.E.; JUNQUEIRA, O.M.; ARAÚJO, L.F.; TORRES, K.A.A. Forma física e níveis de energia metabolizável da ração para frangos de corte de 1 a 21 dias de idade. **Ars Veterinaria**, 22(3), 259-264, 2006.

FOMUSA, L.B.; CORREDING, M.; AKOH, C.C. Effect of emulsifier on oxidation properties of fish oil-based structured lipid emulsion. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**. 50: 2957 – 2961. 2002.

FOOD AND DRUG ADMINISTRATION et al. Overview of food ingredients, additives & colors. **Retrieved March**, v. 21, p. 2013, 2013.

FOOD INGREDIENTS BRASIL. Probióticos, prebióticos e simbióticos. **Revista Food Ingredients Brasil**. São Paulo, n. 24, p. 50-57, 2013.

FREITAS, E.R.; SAKOMURA, N.K.; DAHLKE, F.; SANTOS, F.R.; BARBOSA, N.A.A. Desempenho, eficiência de utilização dos nutrientes e estrutura do trato digestório de pintos de corte alimentados na fase pré-inicial com rações de diferentes formas físicas. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v.37, p.73-78, 2008.

FROETSCHNER, J.R. **Micro-ingredient application and equipment: Issues and advances**. Animal Feed Manufacturers' Association, 16(2):12-19, 2007.

FURLAN, R.L.; MACARI, M. **Lipídios: digestão e absorção**. In: MACARI, M.; FURLAN, R. L.; GONZALES, E. Fisiologia aviária aplicada a frangos de corte. Jaboticabal: FUNEP/UNESP, 2002.

GARCIA, D.M. **Análise de atividade de água em alimentos armazenados no interior de granjas de integração avícola**. Dissertação (Mestrado) – Curso de Pós-graduação em Ciências Veterinárias, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2004.

GONZALEZ-ESQUERRA, R.; LEESON, S. Studies on the metabolizable energy content of ground full-fat flaxseed fed in mash, pellet, and crumbled diets assayed with birds of different ages. **Poultry science**, v. 79, n. 11, p. 1603-1607, 2000.

GONZALEZ, F.H.D.; SILVA, S.C. **Introdução à bioquímica clínica veterinária**. Félix H. Díaz González [e] Sérgio Ceroni da Silva; colaboradores Alan Gomes Pöpl, Gonzalo J. Diaz, José Joaquín Cerón [e] Rómulo Campos. – 3. ed. Porto Alegre: Editora da UFRGS, p.538, 2017.

GREENWOOD, M.W.; CRAMER, K.R.; CLARK, P.M.; BEHNKE, K.C.; BEYER, R.S. Influence of feed form on dietary lysine and energy intake and utilization of broilers from 14 to 30 days of age. **International Journal of Poultry Science**, v.3, p.189-194, 2004.

GU, X.; LI, D. Fat nutrition and metabolism in piglets: a review. **Animal Feed Science and Technology**. 109:151-170. 2003.

GUERREIRO NETO, A.C. **Efeito da ação de emulsificante em diferentes fontes de gordura da dieta sobre o desempenho e variáveis fisiológicas em frangos de corte**. Dissertação (Mestrado) – Universidade Estadual Paulista, Faculdade de Medicina Veterinária e Zootecnia, Botucatu, 2005.

GUERREIRO NETO, A.C.; PEZZATO, A.C.; SARTORI, J.R.; MORI, C.; CRUZ, V.C.; FASCINA, V.B.; GONÇALVES, J.C. Emulsifier in broiler diets containing different fat sources. **Revista Brasileira de Ciência Avícola**, 13(2), 119-125. 2011.

HASENHUETTL, G. L. **Overview of Food Emulsifiers**. In: HASENHUETTL, G. L.; HARTEL, R. W. (Ed.) *Food Emulsifiers and Their Applications*, 2a ed. New York: Springer, p.1-10, 2008.

HORACE, W.; DAVENPORT, D.S. **A digest of digestion**. In: *Digestion and Absorption of Fat*. Year Book Medical Publishers, Inc., London, UK, pp. 123–137, 1980.

JEASON S.E.; KELLOGG, T.F. Ontogeny of taurocholate accumulation in terminal ileal mucosal cells of young chicks, **Poultry Science**, 71:367-372, 1992.

JONES, D.; HANCOCK, J.; HARMON, D.; WALKER, C. Effects of exogenous emulsifiers and fat sources on nutrient digestibility, serum lipids, and growth performance in weanling pigs. **Journal of Animal Science** 70: 3473-3482, 1992.

KACZMAREK, S.A.; BOCHENEK, M.; SAMUELSSON, A.C.; RUTKOWSKI, A. Effects of glyceryl polyethylene glycol ricinoleate on nutrient utilisation and performance of broiler chickens. **Archives of animal nutrition**, 69(4), 285-296. 2015.

KAREL, M.; LUND, D.B. **Physical Principles of Food Preservation**. CRC Press, 2003.

KENNY, M.; ROLLINS D. **A Qualidade Física da Ração**. Aviagen Brasil Tecnologia. Informativo Técnico. 2008.

KLEIN, C.H.; PENZ Jr, A.M.; GUIDONI, A.L. Efeito da forma física e do nível de energia da ração sobre o desempenho e composição de carcaça em frangos de corte. **Embrapa Suínos e Aves – Comunicado Técnico**, 1999.

KROGDAHL A. Digestion and absorption of lipids in poultry. **Journal of Nutrition**, 115:675-685. 1985.

LARA, L.J.C. et al. Efeitos da forma física da ração e da linhagem de frangos de corte sobre a digestibilidade dos nutrientes e determinação de energia líquida. **Arquivo Brasileiro de Medicina Veterinária e Zootecnia**, v. 65, n. 6, p. 1849-1857, 2013.

LECZNIESKI, J.L. **Efeito da forma física e do nível de energia da ração sobre o desempenho, a composição de carcaça, a utilização e a retenção da energia líquida de frangos de corte, machos, dos 21 aos 42 dias de idade**. 108f.

Dissertação (Mestrado em Agronomia - Zootecnia) - Programa de Pós-Graduação em Agronomia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 1997.

LEESON, S.; CASTON, L.; SUMMERS, J.D. Broiler response to diet energy. **Poultry Science**; 75(4):529-535, 1996.

LEESON, S.; SUMMERS, J.D. **Nutrition of the chicken**. 4. ed. Ontario: University Books, 591p. 2001.

LIMA, A.C.F.; PIZAURO JR., J.M.; MACARI, M. et. al. Efeito do uso de probiótico sobre o desempenho e atividade de enzimas digestivas de frangos de corte. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v.32, n.1, p.200-207, 2003.

LONGO, F.A.; SILVA, I.F.; LANZARIN, M.A. A importância do controle microbiológico em rações para aves. XI Simpósio Brasil Sul de Avicultura e II Brasil Sul Poultry Fair, 6 a 8 de abril. Concórdia: Embrapa Suínos e Aves, **Anais...** 2010.

MACARI, M; FURLAN, R.L.; GONZALES, E. **Fisiologia Aviária Aplicada a Frango de Corte**. 2 ed. Jaboticabal: Funep, 2002.

MAIORKA, A.; LECZNIESKI, J.; BARTELS, H.A.; PENZ JÚNIOR, A.M. Efeito do nível energético da ração sobre o desempenho de frangos de corte de 1 a 21 dias de idade. In: CONFERÊNCIA APINCO DE CIÊNCIA E TECNOLOGIA AVÍCOLAS, 1997, São Paulo. **Anais...**p.18. 1997.

MAIORKA, A.; DAHLKE, F.; PENZ, A.M.; KESSLER, A.M. Diets formulated on total or digestible amino acid basis with different energy levels and physical form on broiler performance. **Brazilian Journal of Poultry Science**, v.7, p.47-50, 2005.

MINISTÉRIO DA AGRICULTURA, PECUÁRIA E ABASTECIMENTO. **Instrução Normativa** nº 13, de 30 de novembro de 2004. D.O.U., Brasília, 01 de dezembro de 2004. Disponível em: <http://sistemasweb.agricultura.gov.br>.

MARCON, V.; SUREK, D., LOPES; L.D.S.; KRABBE, E.L. Estudo microbiológico em rações de frango de corte na forma farelada e peletizada. In: JORNADA DE INICIAÇÃO CIENTÍFICA (JINC), 7, 2013, Concórdia. **Anais...** Brasília, DF: Embrapa, 2013. p. 82-83, 2013.

MARCON, W.; AVILA, V.S.; KRABBE, E.L.; SUREK, D.; MAIORKA, A. Efeito da adição de óleo na dieta de frangos sobre características físicas da ração. In: SEMINÁRIO TÉCNICO CIENTÍFICO DE AVES E SUÍNOS; FEIRA DA INDÚSTRIA LATINO-AMERICANA DE AVES E SUÍNOS, 2014, Florianópolis. **Anais...**, 2014.

MAZUTTI, K.; KRABBE, E.L.; SUREK, D.; MAIORKA, A. Effects of processing and the physical form of diets on digestibility and the performance of nursery piglets. **Semina: Ciências Agrárias**, 38(3). 2017.

MCKINNEY, L.J.; TEETER, R.G. Predicting effective caloric value of nonnutritive factors: I. Pellet quality and II. Prediction of consequential formulation dead zones. **Poultry Science**, v.83, p.1165-1174. 2004.

MEINERZ, C.; RIBEIRO, A.M.L.; PENZ Jr. A.M.; KESSLER, A.M.K. Níveis de energia e peletização no desempenho e rendimento de carcaças de frangos de corte com oferta alimentar equalizada. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v. 30, n. 6, p. 2026-2032, 2001.

MELEGY, T.; KHALED, N.F.; EL-BANA, R.; ABDELLATIF, H. Dietary fortification of a natural biosurfactant, lysolecithin in broiler. **African Journal of Agricultural Research**. 5:2886–2892. 2010.

MENG, X.; SLOMINSKI, B.A.; GUENTER, W. The effect of fat type, carbohydrase, and lipase addition on growth performance and nutrient utilization of young broilers fed wheat-based diets. **Poultry Science** 83, 1718–1727, 2004.

MEURER, R.P.; FÁVERO, A.; DAHLKE, F.; MAIORKA, A. Avaliação de rações pelotizadas para frangos de corte. **Archives of Veterinary Science**; 13(3): 229-240; 2008.

MIOR, L.C. **Agricultores Familiares, agroindústrias e redes de desenvolvimento rural**. Chapecó: Argos; 338 p. 2005.

MORITZ, J.S.; LILLY K.G.S. Production strategies and feeding opportunities for pellets of high quality. **Proceedings of the 8th Annual Mid-Atlantic Nutrition Conference**, University of Maryland, College Park, MD. pp: 85-90, 2010.

NANGUY, S.P.M.; CORNET, J.M.P.; BENSOUSSAN, M.; DANTIGNY, P. Impact of water activity of diverse media on spore germination of *Aspergillus* and *Penicillium* species. **International Journal of Food Microbiology**, v.142, n.1-2, p.273- 276, 2010.

NELSON, D.L.; COX, M.M. *Lehninger princípios de bioquímica*. São Paulo: Sarvier, v. 3, 2002.

NOY, Y.; SKLAN, D. Digestion and absorption in the young chick. **Poultry Science**. 74:366–373. 1995.

NORTH M.O. **Commercial Chicken Production Manual**. 3rd ed. Westport: The Avian Publishing Company; 710 p. 1984.

ORDUÑA-HERNÁNDEZ, H.M.; SALINAS-CHAVIRA, J.; MONTAÑO-GÓMEZ, M.F.; INFANTE-RODRÍGUEZ, F.; MANRÍQUEZ-NÚÑEZ, O.M.; VÁZQUEZ-SAUCEDA, M.L.; YADO-PUENTE, R. Effect of frying fat substitution by vegetable oil and energy concentration on diets for productive performance of broilers. **Revista Ciência UAT**. 10:44–51, 2016.

PASTER, N.; BARTOV, I.; PERELMAN, A. Studies of the fungistatic activity of antifungal compounds in mash and pelleted feeds. **Poultry Science**. vol. 64(9). p. 1673-1677. 1985.

PATRICIO, I.S.; MENDES, A.A.; RAMOS, A.A.; PEREIRA, D.F. Overview on the performance of Brazilian broilers (1990 to 2009). **Brazilian Journal of Poultry Science**, 14:233-238, 2012.

PEISKER, M. **Influence of expansion on feed components**. Feed Mix 2: 26-31, 1994.

PENZ JÚNIOR, A.M. Ração peletizada para frangos: Critérios técnico-econômicos para a sua adoção. In: CONFERÊNCIA APINCO DE CIÊNCIA E TECNOLOGIA AVÍCOLAS, 1997, São Paulo. **Anais...**p.285-303. 1997.

POND, W.G., CHURCH, D.C., POND, K.R., SCHOKNECHT, P.A. **Basic Animal Nutrition and Feeding**, 5th ed. John Wiley & Sons, Inc., New York, NY. 2005.

POORGHASEMI, M., SEIDAVI, A., QOTBI, A.A.A., LAUDADIO, V., TUFARELLI, V. Influence of Dietary Fat Source on Growth Performance Responses and Carcass Traits of Broiler Chicks. **Asian-Australasian Journal of Animal Sciences**, 26(5), 705–710, 2013.

RAVINDRAN, V.; TANCHAROENRAT, P.; ZAEFARIAN, F.; RAVINDRAN, G. Fats in poultry nutrition: Digestive physiology and factors influencing their utilisation. **Animal Feed Science and Technology**, 213, 1-21, 2016.

REDDY, C.V.; JENSEN, L.S.; MERRIL, L.H.; MCGINNIS, J. Influence of pelleting on metabolizable and productive energy of a complete diet for chickens. **Poultry Science**, Savoy, v. 40, p. 1466, 1961.

RICHARDS, M.P. Genetic regulation of feed intake and energy balance in poultry. **Poultry Science**. 82:907–916, 2003.

ROY, A.; HALDAR, S.; GHOSH, T.K. Nutritional emulsifier: An approach to enhance productivity. **Poultry Magazine**, August, 2008.

ROY, A.; HALDAR, S.; MONDAL, S.; GHOSH, T.K. Effects of supplemental exogenous emulsifier on performance, nutrient metabolism, and serum lipid profile in broiler chickens. **Veterinary Medicine International**, 2010.

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:UFV, 252p. 2011.

ROVERS, M. Nutritional emulsifier in broiler diets saves energy and feed costs. **Asian Poultry Magazine**, January, 2017.

SANTOS, C.A.; MING, C.C.; GONÇALVES, L.A.G. Emulsificantes: atuação como modificadores do processo de cristalização de gorduras. **Ciência Rural**, Santa Maria, v.44, n.3, p.567-574, mar, 2014.

SCOTT, M.L., NESHEIM, M.C., YOUNG, R.J. **Nutrition of the Chicken**, 3rd ed. W.F. Humphrey Press Inc., NY. 1982.

SILVA, J.R.L.; RABELLO, C.B.V.; DUTRA JÚNIOR, W.M., CAMPELO FILHO, E.V.B.; AQUINO, L.M.; LUDKE, M.C.M.M.; FREITAS, C.R.G.; CARDOSO, E.C. Desempenho zootécnico e avaliação econômica de frangos de corte alimentados com diferentes formas físicas e programas de alimentação na fase pré-inicial. In:

REUNIÃO ANUAL DA SOCIEDADE BRASILEIRA DE ZOOTECNIA, 41., 2004, Campo Grande. **Anais...** 2004.

SOARES, M.; LOPEZ-BOTE, C.J. Effect of dietary lecithin and fat unsaturation on nutriente utilisation in weaned piglets. **Animal Feed Science and Technology** 95: 169-177, 2002.

SOEDE, I.J. Fat digestive physiology and exogenous emulsifiers. **World Poultry**. Vol. 21. No.4, 2005.

SOUSA, D.C.; OLIVEIRA, N.L.; SANTOS, E.T.; GUZZI, A.; DOURADO, L.R.; FERREIRA, G.J. Caracterização morfológica do trato gastrointestinal de frangos de corte da linhagem Cobb 500®. **Pesquisa Veterinária Brasileira**, 35(1), 61-68. 2017.

SOUZA, R.V.; SILVA, V.A. Implicações do uso de aditivos na alimentação animal: resíduos e barreiras a exportação. In: CONGRESSO NORDESTINO DE PRODUÇÃO ANIMAL, 5; **Anais...** Aracaju, 10 p. 2008.

TABIB, Z.; JONES, F.T.; HAMILTON, P.B. Effect of pelleting of poultry feed on the activity of molds and mold inhibitors. **Poultry Science**. 63:70-75, 1984.

TANCHAROENRAT, P.; RAVINDRAN, V.; ZAEFARIAN, F.; RAVINDRAN, G. 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**. 186:186-192, 2013.

UNIÃO BRASILEIRA DE AVICULTURA. **Norma Técnica de Produção Integrada de Frango** / Coordenadores Ariel Antônio Mendes e Ibiara Correia de Lima Almeida Paz. – São Paulo: União Brasileira de Avicultura, 2009.

UDOMPRASERT, P.; RUKKWAMSUK, T. Effect of an exogenous emulsifier on growth performance in weanling pigs. **Kasetsart Journal**, 40, 652-656. 2006.

USDA – United States Department of Agriculture Foreign Agricultural Service. Livestock and Poultry: World Markets and Trade. October, 2017.

VAN DER HEIJDEN M; HAAN D. Optimising moisture while maintaining feed quality. **All About Feed** 1, 29–31. 2010.

VORAGEN, A.G.J.; GRUPPEN, H.; MARSMAN, G.J.P.; MUL, A.J. Effect of some manufacturing technologies on chemical, physical and nutritional properties of feed. In: Garnsworthy, P.C. and Cole, D.J.A. (Eds.), **Recent Advances in Animal Nutrition**, University of Nottingham, Feed Manufacturers Conference 1995. Nottingham University Press, pp: 93-126. 1995.

YAN, L.; KIM, I.H. Effect of probiotics supplementation in diets with different nutrient densities on growth performance, nutrient digestibility, blood characteristics, faecal microbial population and faecal noxious gas content in growing pigs. **Journal of Applied Animal Research** 41, 23–28. 2013.

ZELENKA, J. Effect of pelleting on digestibility and metabolisable energy values of poultry diet. **Czech Journal of Animal Science**, v. 48, n. 6, p. 239-242, 2003.

ZHANG, B., HAITAO, 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 Technology**, v.163, p.177–184, 2011.

ZHAO, P.Y.; LI, H.L.; HOSSAIN, M.M.; KIM, I.H. Effect of emulsifier (lysophospholipids) on growth performance, nutrient digestibility and blood profile in weanling pigs. **Animal Feed Science and Technology**, 207, 190-195. 2015.

ZHU, Z.; HINSON, R. B.; MA, L.; LI, D.; ALLEE, G. L. Growth performance of nursery pigs fed 30% distillers dried grain with solubles (DDGS) and the effects of pelleting on performance and nutrient digestibility. *Asian-Australas. Journal of Animal Science*, Champaign, v. 23, n. 6, p. 792-798, 2010.