

UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA MARIA
CENTRO DE CIÊNCIAS RURAIS
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ZOOTECNIA

Yuri Katagiri Dalmoro

**FARINHA DE LARVAS DE *Tenebrio molitor* E FARINHA DE TILÁPIA
EM RAÇÕES PARA FRANGOS DE CORTE**

Santa Maria, RS
2020

Yuri Katagiri Dalmoro

**FARINHA DE LARVAS DE *Tenebrio molitor* E FARINHA DE TILÁPIA
EM RAÇÕES PARA FRANGOS DE CORTE**

Dissertação de mestrado apresentado ao Programa de Pós-Graduação em Zootecnia da Universidade Federal de Santa Maria (UFSM), como requisito parcial para a obtenção do título de **Mestre em Zootecnia**.

Orientadora: Dra Catarina Stefanello

Santa Maria, RS
2020

Ficha gerada com os dados fornecidos pelo autor

Dalmore, Yuri Katagiri

Farinha de *tenebrio molitor* e farinha de tilápia na nutrição de frangos de corte / Yuri Katagiri Dalmore. -2020.
54 p.; 30cm

Orientadora: Catarina Stefanello

Dissertação (mestrado) – Universidade Federal de Santa Maria, Centro de Ciências Rurais, Programa de Pós-graduação em Zootecnia, Santa Maria, RS, 2020.

1. Frangos de Corte. 2. Nutrição. 3. *Tenebrio molitor*. 4. *Oreochromis niloticus*. Dalmore, I. Stefanello Catarina II. Dalmore, Yuri Katagiri, Farinha de *Tenebrio molitor* e farinha de tilápia na nutrição de frangos de corte.



Yuri Katagiri Dalmoro

**FARINHA DE LARVAS DE *Tenebrio molitor* E FARINHA DE TILÁPIA
EM RAÇÕES PARA FRANGOS DE CORTE**

Dissertação de mestrado apresentado ao Programa de Pós-Graduação em Zootecnia da Universidade Federal de Santa Maria (UFSM), como requisito parcial para a obtenção do título de **Mestre em Zootecnia**.

Aprovado em: 09/11/2020

Catarina Stefanello, Dra (UFSM)
(Presidente/Orientador)

Naglezi de Menezes Lovatto (UFSM)

Rafael Gustavo Hermes (Nutrition Technologies)

Santa Maria, RS
2020

DEDICATÓRIA

A minha família que sempre me apoiou nessa trajetória.

AGRADECIMENTOS

A concretização desse trabalho só foi possível devido a colaboração, auxílio e compreensão de diversas pessoas que me cercaram durante essa caminhada até a conclusão dos meus estudos. De uma maneira especial, agradeço:

– À Catarina Stefanello, por ter aceitado ser minha orientadora, por topar realizar e viabilizar meu projeto de pesquisa e ter confiado a mim diversos experimentos, proporcionando um crescimento profissional único. Também agradeço por ser sempre uma grande incentivadora, dedicada e divertida de se conviver sempre.

– A minha namorada Gabriela Rotilli dos Santos, que sempre esteve ao meu lado em todos os momentos difíceis onde tudo parecia estar errado, me acalmando nas horas de ansiedade e fazendo meus dias melhores.

– Além da dedicatória, reitero aqui mais um agradecimento aos meus pais, Yurika Valéria Katagiri e Marivaldo Dalmoro, por acreditarem no meu potencial e sempre estarem dispostos a ajudar no que fosse necessário. Estendo um caloroso muito obrigado a minha irmã Saory Katagiri Dalmoro, ao meu irmão Hiyuky Katagiri Dalmoro, a minha tia Shisue Karina Katagiri e ao meu avô Isao Katagiri, pela companhia e suporte.

– A toda equipe do laboratório de avicultura da UFSM, principalmente os estagiários e estagiárias que estiveram dispostos em trabalhar nos experimentos sempre felizes, alegrando o dia a dia tornando mais leve um trabalho árduo, pela parceria nos bares e festas, que essa amizade continue para sempre.

– A todos colegas do LABRUMEN, que além de esclarecerem dúvidas sobre procedimentos tornaram-se também amigos, espero que sigamos assim por muito tempo.

– Agradeço à Universidade Federal de Santa Maria por ter me recebido, mas principalmente às universidades públicas, gratuitas e de qualidade, que o acesso a elas se estenda a todos e todas desse país, pois conhecimento e educação não são mercadorias.

– Encerro agradecendo ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq), que mesmo diante de todos os ataques recebidos nos últimos tempos, consegue manter viva a pesquisa brasileira de qualidade.

RESUMO

FARINHA DE LARVAS DE *Tenebrio molitor* e FARINHA DE TILÁPIA EM RAÇÕES PARA FRANGOS DE CORTE

AUTOR: Yuri Katagiri Dalmoro
ORIENTADORA: Catarina Stefanello

Esta dissertação foi conduzida para trazer informações sobre a utilização de farinha de insetos e de peixe para frangos de corte. A farinha de larvas de *Tenebrio molitor* é um ingrediente com altos níveis de energia e proteína, possuindo satisfatória digestibilidade de aminoácidos e com resultados que não prejudicam o desempenho das aves. Já a farinha de tilápia, é um subproduto da industrialização deste peixe, que gera um produto de qualidade, com altos valores de proteína e energia. O maior conhecimento dos nutrientes e dos valores de energia de ambos os ingredientes é importante para trazer informações para a melhor formulação das rações para frangos de corte, que possibilitará alcançar melhores resultados produtivos de utilização destes produtos. Além de auxiliar na obtenção de avanços para a sua produção, padronização e inclusão. A pesquisa objetivou determinar os valores de energia digestível ileal (EDI) e energia metabolizável aparente (EMA) da farinha de larvas de *Tenebrio molitor* e da farinha de tilápia (*Oreochromis niloticus*) para frangos de corte até 21 dias de idade utilizando o método de regressão. Frangos de corte foram alojados em gaiolas metálicas e receberam uma mesma ração inicial até os 14 dias de idade. Aos 14 dias, as aves foram selecionadas, uniformizadas por peso e alimentadas com as dietas experimentais. Um total de 315 frangos de corte machos Cobb 500 receberam 5 dietas experimentais com 9 repetições e 7 aves cada, em um delineamento em bloco ao acaso. Os frangos foram alimentados com uma dieta referência à base de milho e farelo de soja e 4 dietas teste, de 14 a 21 dias de idade. As dietas testes consistiram em farinha de larvas de *Tenebrio molitor* e farinha de tilápia do Nilo que substituíram parcialmente as fontes de energia da dieta referência em 100 ou 200 g/kg e 75 ou 150 g/kg de ração, respectivamente. As proporções dos ingredientes energéticos foram mantidas em todas as rações. Peso inicial, peso final e o consumo de ração foram avaliados no período experimental. Amostras de excretas foram coletadas duas vezes ao dia do dia 19 ao 21, e a digesta ileal foi coletada aos 21 dias de idade. Os coeficientes de digestibilidade aparente ileal da MS, N, energia e aminoácidos foram calculados, bem como a metabolizabilidade de MS, N e energia. Determinou-se a EDI, EMA e energia metabolizável aparente corrigida para balanço de nitrogênio (EMA_n) das duas farinhas. Os dados foram submetidos à análise de variância e os efeitos dos níveis crescentes dos ingredientes teste nas dietas foram comparados usando contrastes (linear e quadrático). A regressão do consumo de farinha de *Tenebrio molitor* ou farinha de tilápia em kcal associada a EDI, EMA ou EMA_n versus kg de ingestão dos ingredientes (base na MS) foi determinada. A utilização de farinha de inseto aumentou linearmente (P < 0,05) a digestibilidade ileal da MS e N, bem como EDI, EMA e EMA_n. A digestibilidade ileal de Lis, Tre, Val, Arg, His, Ala, Cis, e Gli aumentou linearmente (P < 0,05) com o aumento dos níveis de farinha de *Tenebrio molitor*. A adição de farinha de tilápia à ração referência diminuiu linearmente (P < 0,05) os valores de energia e a digestibilidade de aminoácidos (P < 0,001). Em conclusão, o estudo atual mostrou que os frangos de corte podem usar uma quantidade considerável de energia e aminoácidos provenientes da farinha de *Tenebrio molitor* ou da farinha de tilápia. Os valores de EDI, EMA, EMA_n (kcal/kg de MS) foram 5,141, 5,239 e 4,926 da farinha de inseto e 2.984, 3.413 e 2.852 da farinha de tilápia, respectivamente, permitindo maior conhecimento sobre os ingredientes para utilizar em rações.

Palavras-chave: Frangos de Corte. Nutrição. *Tenebrio molitor*. *Oreochromis niloticus*.

ABSTRACT

Tenebrio molitor LARVA MEAL AND TILAPIA MEAL IN DIETS FOR BROILERS

AUTHOR: Yuri Katagiri Dalmoro

ADVISOR: Catarina Stefanello

This dissertation was conducted to provide information on the use of insect and fish meal for broilers. The *Tenebrio molitor* meal larvae is an ingredient with high levels of energy and protein, having satisfactory values of digestibility of amino acids with results that do not harm the performance of the birds. Tilapia flour, on the other hand, is a by-product of the industrialization of this fish, which generates a quality product, with high values of protein and energy. Greater knowledge of the nutrients and energy values of both ingredients is important to bring information for the best formulation of diets, which will make it possible to achieve better productive results with these ingredients, and also assist in obtaining advances in their production, standardization and use. The research is aimed to determine the values of ileal digestible energy (IDE) and apparent metabolizable energy (AME) of larvae meal from *Tenebrio molitor* and tilapia meal (*Oreochromis niloticus*) for broilers up to 21 days of age using the regression method. Broiler chickens were housed in metal cages and received the same initial feed until 14 days of age. At 14 days, the birds were selected, uniform by weight and fed the experimental diets. A total of 315 male Cobb 500 broilers received 5 experimental diets with 9 replicates and 7 birds each, in a randomized block design. The chickens were fed a reference diet based on corn and soybean meal and 4 test diets from 14 to 21 days of age. The test diets consisted of meal of larvae of *Tenebrio molitor* and meal of Nile tilapia that partially replaced the energy sources of the reference diet in 100 or 200 g / kg and 75 or 150 g / kg of feed, respectively. The proportions were maintained for all energetic ingredients in all diets. Initial weight, final weight and feed intake were evaluated in the experimental period. Excrete samples were collected twice a day from the 19th to the 21st, and the ileal digest was collected at 21 days of age. The coefficients of ileal apparent digestibility of MS, N, energy and amino acids were calculated, as well as the metabolizability of DM, N and energy. The EDI, EMA and apparent metabolizable energy corrected for nitrogen balance (AMEn) of the two flours were determined. The data were subjected to analysis of variance and the effects of increasing levels of test ingredients on diets and were compared using contrasts (linear and quadratic). The regression of consumption of insect flour or tilapia flour in kcal associated with IDE, AME or AMEn versus kg of ingredient intake (based on DM) was determined. The use of insect flour linearly increased ($P < 0.05$) the ileal digestibility of DM and N, as well as IDE, AME and AMEn. The ileal digestibility of Lis, Thr, Val, Arg, His, Ala, Cis, and Gli increased linearly ($P < 0.05$) with the increase in *Tenebrio* meal levels. The addition of tilapia meal to the reference diet linearly decreased ($P < 0.05$) the values of energy and digestibility of amino acids ($P < 0.001$). In conclusion, the current study has shown that broilers can use a considerable amount of energy and amino acids from *Tenebrio molitor* or tilapia flour. The values of EDI, AME, AMEn (kcal / kg DM) were 5,141, 5,239 and 4,926 for insect flour and 2,983, 3,413 and 2,852 for tilapia flour, respectively, allowing greater knowledge about the ingredients to be used in feed.

Keywords: Broilers. Nutrition. *Tenebrio molitor*. *Oreochromis niloticus*.

INDICE DE FIGURAS

| | |
|--|----|
| Figura 1. Obtenção da farinha do subproduto da tilápia | 20 |
|--|----|

INDICE DE TABELAS

REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

| | |
|---|----|
| Tabela 1 - Proteína bruta e extrato etéreo de farinha das larvas de <i>Tenebrio molitor</i> | 14 |
| Tabela 2 - Perfil de aminoácidos da farinha das larvas de <i>Tenebrio molitor</i> | 15 |
| Tabela 3 - Perfil de aminoácidos da farinha de Tilápia, Farinha de peixe e Farinha de carne e osso..... | 19 |

CAPÍTULO II

Energy values of insect meal (*Tenebrio molitor*) and fish meal (*Oreochromis niloticus*) for broiler chickens determined using the regression method

| | |
|--|----|
| Tabela 1 - Ingredient composition of starter diet fed from d 0 to 14 posthatch and experimental diets (reference and test diets) fed from d 14 to 21 posthatch..... | 44 |
| Tabela 2 - Analyzed gross energy and chemical composition of insect meal and fish meal (as-is basis). | 45 |
| Tabela 3 - Growth performance of broiler chickens fed experimental diets containing insect meal or fish meal from d 14 to 21 posthatch. | 46 |
| Tabela 4 - Ileal digestibility and total tract utilization of DM, nitrogen, and energy of broilers fed experimental diets containing insect meal or fish meal from d 14 to 21 posthatch..... | 47 |
| Tabela 5 Ileal digestibility of amino acids of broilers fed experimental diets containing insect meal or tilapia meal from d 14 to 21 posthatch. | 48 |
| Tabela 6 Regressions equations relating test ingredient-associated energy intake to intake of insect meal or fish meal..... | 49 |

SUMÁRIO

| | | |
|-------|--|-----------|
| 1 | INTRODUÇÃO..... | 12 |
| 2 | REVISÃO DA LITERATURA | 14 |
| 2.1 | FARINHA DE LARVAS DE <i>Tenebrio molitor</i> | 14 |
| 2.1.1 | Utilização da farinha de inseto (<i>Tenebrio molitor</i>) em dietas para frangos de corte..... | 16 |
| 2.1.2 | Resultados da inclusão de farinha de inseto (<i>Tenebrio molitor</i>) em dietas para frangos de corte..... | 17 |
| 2.2 | FARINHA DE TILÁPIA (<i>Oreochromis niloticus</i>)..... | 18 |
| 2.2.1 | FARINHA DE TILÁPIA NA NUTRIÇÃO DE FRANGOS DE CORTE..... | 20 |
| 3 | CAPITULO II - ENERGY VALUES OF INSECT MEAL (<i>Tenebrio molitor</i>) AND FISH MEAL (<i>Oreochromis niloticus</i>) FOR BROILER CHICKENS DETERMINED USING THE REGRESSION METHOD..... | 22 |
| 4 | CONSIDERAÇÕES FINAIS..... | 50 |
| 5 | REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS | 51 |

1 INTRODUÇÃO

No Brasil a nutrição das aves é baseada principalmente na utilização de milho e farelo de soja. Estes ingredientes possuem seu próprio processamento industrial e agrícola para alcançar qualidade e quantidade capaz de atender a indústria de ração animal. Em 2019, o Brasil produziu mais de 13 milhões de toneladas de carne de aves, 32% exportadas mundialmente (ABPA, 2020). Este valor só foi possível devido à sistemática produção de grãos transformados em ração, que em 2019 chegou a 29,5 milhões de toneladas para aves (SINDIRAÇÕES, 2019).

Na produção de frangos de corte, a utilização do farelo de soja é primordial por ser uma excelente fonte de proteína e aminoácidos. Entretanto, o impacto da produção de soja transgênica para determinados mercados e os cenários atuais de aumento de preço do farelo de soja geram preocupações (FARSUL, 2020). Esses fatores possibilitam um aumento de estudos visando a utilização de fontes alternativas ao farelo de soja para a avicultura.

A farinha de inseto e a farinha de subprodutos de peixe estão entre os ingredientes que também são fontes de proteína, aminoácidos e gordura para a alimentação das aves e que requerem mais estudos para sua melhor utilização. O estudo da farinha de inseto merece destaque por seu apelo à sustentabilidade e, por isso, sua utilização vem sendo estudada na alimentação animal (GASCO et al., 2020; FAO, 2019; MOULA & DETILLEUX, 2019). A utilização da farinha de subprodutos de peixe como ingrediente tem sido uma alternativa de aproveitamento dos subprodutos gerados pela indústria piscícola, a qual tem apresentado crescimento nos últimos anos.

A utilização da farinha de inseto nas rações para aves e suínos pode ocorrer pois esta é uma fonte promissora devido a sua composição nutricional e por utilizar resíduos orgânicos ou produtos orgânicos na sua obtenção (GASCO et al., 2020; VAN BROEKHOVEN et al., 2015), diminuindo a produção de resíduos e emissão de CO₂ nas granjas (OONINCX et al., 2010). Quando as granjas utilizam as larvas de insetos para degradar a matéria orgânica gerada na produção, e conseqüentemente, passam a produzir a farinha com estas larvas ou os insetos cultivados, a produção do inseto é efetiva e barata. Porém, para a produção animal industrial, as farinhas de insetos ainda são caras, possuem variação de composição e necessitam trabalho manual (HECKMAN et al., 2018). Portanto, as indústrias ainda precisam mais informações sobre os valores de energia e nutrientes destes ingredientes, bem como o conhecimento das particularidades e dos fatores que afetam a composição das farinhas, o que auxiliará no aumento da produção, tornando-os economicamente competitivos.

Para utilização dos insetos na nutrição animal, existem diversas espécies, principalmente larvas como de mosca doméstica (*Musca domestica*), mosca soldado negro (*Hermetia illucens*) e bicho da seda (*Bombyx mori*). Existem outros casos em que se utilizam insetos adultos, como grilos (*Gryllus spp.*) e gafanhotos (*Caelifera spp.*). Desses insetos, um dos mais utilizados após a mosca soldado negro, são as larvas de *Tenebrio molitor*, já reconhecido como uma praga no armazenamento de grãos, entretanto, quando geram o ingrediente, são uma boa fonte de proteína para as dietas de aves.

Quanto à farinha de peixe, o crescente sistema de integração da piscicultura no Brasil tem aumentado a disponibilidade de matéria-prima no mercado proveniente dos subprodutos de peixe para obtenção de farinha, sendo esta uma estratégia mais comum para formulação das dietas para aves. Um dos problemas na utilização de farinhas de peixe são as diferenças que existem entre a composição corporal das espécies e os tipos de subprodutos utilizados para obtenção das farinhas, gerando diferentes valores nutricionais para o ingrediente (SIERRA LOPERA et al., 2018)

Neste trabalho será utilizada a farinha de subprodutos da indústria da tilápia do Nilo (*Oreochromis niloticus*), em que na indústria se utiliza o filé dessa espécie para a comercialização, deixando como subproduto as sobras de filetagem, cabeça, espinha, escamas, órgãos e os peixes que morrem no abatedouro (MAIGUALEMA; GERNAT, 2003). Essa farinha também pode ser utilizada para obtenção de óleos e proteínas hidrolisadas, agregando valor (SILVA et al., 2014). Mais informações sobre os valores energéticos e nutricionais que a farinha de tilápia fornece para as aves também é de interesse para indústria avícola.

Diante disso, pesquisas recentes que envolvem a utilização de farinha de larvas de *Tenebrio molitor* e da farinha de subproduto da tilápia (*Oreochromis niloticus*) são fundamentais para obter mais conhecimento sobre a composição e o aproveitamento destes ingredientes. A determinação dos valores nutricionais e energéticos das farinhas de larvas *Tenebrio molitor* e de tilápia permitirá uma melhor utilização ingredientes na alimentação das aves. Este trabalho tem como objetivo trazer informações sobre o uso da farinha de tilápia e de *Tenebrio molitor*, de forma que auxilie futuros alunos e pesquisadores na busca de métodos para uso desses ingredientes em nutrição de frangos de corte.

2 REVISÃO DA LITERATURA

2.1 FARINHA DE LARVAS DE *Tenebrio molitor*

A principal forma de utilização da farinha de *Tenebrio molitor* na nutrição de aves é a farinha obtida a partir das larvas do inseto, podendo ela ser desengordurada ou não (BOVERA et al., 2015; JÓZEFIK et al., 2016). O valor energético das larvas é influenciado pela sua alimentação, assim a grande gama de alimento fornecido às larvas pode influenciar diretamente as características bromatológicas das farinhas e conseqüentemente a sua digestibilidade quando incluídas em rações para animais (DE MARCO et al., 2015; MORALES-RAMOS et al., 2012; NOWAK et al., 2016).

A farinha das larvas de *Tenebrio molitor* possui alto teor de proteína bruta (PB), podendo superar 50% na matéria seca (MS), e o extrato etéreo (EE) chegando a quase 30% na MS. A Tabela 1 apresenta valores de PB e EE na matéria seca de acordo com publicações recentes.

Tabela 1. Proteína bruta e extrato etéreo de farinha das larvas de *Tenebrio molitor*.

| Item, % | Benzertiha et al. (2020) | Józefiak et al. (2018) | Loponte et al. (2017) | Kar et al. (2016) | Zhao et al. (2016) ¹ |
|---------|-----------------------------|---------------------------|--------------------------|----------------------|------------------------------------|
| PB | 47,0 | 56,3 | 51,9 | 47,6 | 51,0 |
| EE | 29,6 | 25,3 | 21,5 | 27,0 | 33,0 |

¹Composição na matéria natural.

As publicações também indicaram MS da farinha de *Tenebrio molitor* variando entre 85 a 98% e vários trabalhos apresentaram o perfil de aminoácido e / ou o lipídico das larvas de *Tenebrio molitor* (BENZERTIHA et al., 2020; JÓZEFIK et al., 2018; LOPONTE et al., 2017; KAR et al., 2016; ZHAO et al., 2016). Para o perfil lipídico, Alves et al. (2016) não encontraram diferença entre duas dietas fornecidas para larvas de *Tenebrio molitor*, embora Van broekhoven et al. (2015) relataram que o uso de diferentes combinações de dietas com altos e baixos níveis de amido e proteína resultou em diferenças no perfil lipídico das larvas. O perfil de aminoácidos das larvas obtidas parece seguir a mesma tendência de resultados. Com o uso de insetos como principal fonte de proteína, os primeiros aminoácidos limitantes seriam os sulfurados, metionina e cisteína (KOUTSOS et al., 2019). Dos aminoácidos essenciais, arginina, valina e leucina são os que possuem maiores níveis, o mesmo acontece com o farelo de soja.

Para demonstração, os valores encontrados de perfil de aminoácidos das larvas de *Tenebrio molitor* são apresentados na Tabela 2, juntamente com o farelo de soja para efeito de comparação, pois é o ingrediente proteico comumente utilizado na nutrição de aves.

Tabela 2 Perfil de aminoácidos da farinha das larvas de *Tenebrio molitor*

| Aminoácidos, % MS | Benzertiha et al. (2020) | Ido et al. (2019) ¹ | Hussain et al. (2017) | Costa (2017) | Kar et al. (2016) ² | Bovera et al. (2016) ² | Zhao et al. (2016) ³ | De marco et al. (2015) | Farelo de soja (ROSTAGNO et al., 2017) | Farelo de soja (NRC, 1994) |
|-----------------------------------|-----------------------------|-----------------------------------|-----------------------------|-----------------|-----------------------------------|---|---------------------------------------|------------------------------|--|----------------------------------|
| Aminoácidos essenciais | | | | | | | | | | |
| Arginina | 2,51 | 5,70 | 2,21 | 1,75 | 2,55 | 3,61 | 5,55 | 2,80 | 3,35 | 3,14 |
| Histidina | 1,41 | 3,20 | 1,65 | 1,11 | 1,55 | 2,11 | 2,41 | 1,68 | 1,20 | 1,17 |
| Isoleucina | 2,08 | 4,60 | 4,51 | 1,23 | 2,60 | 2,63 | 5,07 | 2,21 | 2,13 | 1,96 |
| Leucina | 3,78 | 7,80 | 5,32 | 2,91 | 3,60 | 4,63 | 8,30 | 3,15 | 3,51 | 3,39 |
| Lisina | 2,65 | 5,90 | 4,51 | 1,00 | 2,84 | 1,68 | 5,90 | 3,59 | 2,80 | 2,69 |
| Metionina | 0,73 | 1,30 | 1,34 | - | 0,59 | - | - | 1,01 | 0,61 | 0,62 |
| Fenilalanina | 1,93 | 3,90 | 1,54 | 1,32 | 1,53 | - | - | 1,88 | 2,34 | 2,16 |
| Treonina | 2,51 | 4,20 | 1,64 | 2,11 | 1,98 | 2,71 | 3,65 | 1,85 | 1,78 | 1,72 |
| Valina | 3,33 | 6,60 | 4,42 | 1,86 | 3,19 | 3,72 | 6,56 | 2,82 | 2,20 | 2,07 |
| Triptofano | 0,47 | 1,40 | - | - | 0,38 | 1,75 | - | - | - | - |
| Aminoácidos não essenciais | | | | | | | | | | |
| Alanina | 4,17 | 7,40 | 4,34 | 3,88 | 3,51 | - | 5,98 | 3,89 | 2,03 | 2,16 |
| Ácido aspártico | 3,82 | 8,70 | 3,23 | 3,74 | - | - | 9,33 | 4,37 | 3,22 | - |
| Cisteína | 0,58 | 1,00 | 3,62 | - | 0,5 | - | - | 1,25 | 6,70 | 0,66 |
| Ácido glutâmico | 6,03 | 12,80 | 4,75 | 4,81 | - | - | 12,88 | 6,29 | 4,44 | - |
| Glicina | - | 5,60 | 2,65 | 2,53 | 2,57 | - | 5,29 | 2,21 | 1,97 | 1,90 |
| Prolina | 3,13 | 7,40 | 2,34 | 3,68 | 4,20 | - | 4,85 | 3,13 | 2,31 | - |
| Serina | 2,28 | 4,90 | 3,45 | 2,23 | 2,23 | - | 4,20 | 2,27 | 2,46 | 2,29 |

¹% no total de aminoácidos e desengordurado.

² Matéria natural.

³% no total de proteínas.

O alto valor energético da farinha de *Tenebrio molitor* se deve à grande quantidade de extrato etéreo presente, possuindo baixos níveis de ácidos graxos de cadeia longa (ômega-3) (KOUTSOS et al., 2019). Dos ácidos graxos predominantes, o oleico, linoleico e palmítico são os que mais constituem o perfil do extrato etéreo da farinha deste inseto, abrangendo valores de 35 a 46%, 23 a 35% e 15 a 23%, respectivamente (VAN BROEKHOVEN et al., 2015; ZHAO et al., 2016; ALVES et al., 2016; COSTA, 2017; IDO et al., 2019; BENZERTIHA et al., 2019; BENZERTIHA et al., 2020).

2.1.1 Utilização da farinha de inseto (*Tenebrio molitor*) em dietas para frangos de corte

O conhecimento sobre a composição, limites de inclusão de cada ingrediente utilizado na alimentação animal e atuação no metabolismo do animal, são importantes para possibilitar sua adequada utilização e melhor aproveitamento. Assim, pesquisas devem ser realizadas para garantir seus valores. No caso da energia da farinha de larvas de *Tenebrio molitor*, valores como 4570 kcal/kg de energia metabolizável aparente corrigida para nitrogênio (EMA_n) na MS, são apresentados pelo FEETABLE (2020) para frangos de corte. O conhecimento do valor de energia metabolizável é importante pois esta é a base da formulação de rações para aves, bem como os aminoácidos digestíveis.

De Marco et al. (2015), em um trabalho utilizando frangos com 26 a 35 dias de idade e comparando dietas com farelo de soja e farinha de *Tenebrio molitor*, encontraram uma média de 86% de digestibilidade ileal de aminoácidos; 4027 kcal/kg de energia metabolizável aparente (EMA) na MS e 3,827 kcal de EMA_n na MS. Porém, Lopes (2019) em sua dissertação utilizando aves de 8 a 21 dias de idade, encontrou valores de EMA da larva de *Tenebrio molitor* em 4847 kcal/kg, resultando em 76% da digestibilidade da energia, mas encontrou uma digestibilidade baixa da MS de 65%.

Bovera et al. (2016) afirmaram que o *Tenebrio molitor* é uma boa fonte de proteína, a partir de um trabalho substituindo todo o farelo de soja por farinha de *Tenebrio molitor* nas dietas. Obtiveram uma média de digestibilidade da MS da dieta de 86%, 80% de PB, 2 e 6% abaixo da dieta à base de farelo de soja, respectivamente para frangos de 30 a 62 dias de idade. A menor digestibilidade da farinha de inseto foi atrelada à presença de quitina do *Tenebrio molitor*. Khempaka et al. (2006) encontraram redução na digestibilidade de MS com 3,9% de inclusão de quitina purificada nas dietas de frangos, um componente presente no exoesqueleto das larvas. A digestibilidade dos aminoácidos da farinha de larvas de *Tenebrio molitor* relatada por De Marco et al., (2015) foi 85% lisina, 80% metionina e 80% treonina. A digestibilidade dos aminoácidos não essenciais foi acima de 80%.

A utilização de farinha de larvas de *Tenebrio molitor* é possível na nutrição de frangos de corte, incluindo a substituição de produtos já estabelecidos na indústria, porém somente a troca de uma parcela do ingrediente seria interessante, incluindo provavelmente a possível interferência da quitina na digestibilidade. Outro ponto a ser levado em consideração é a maneira que se obtém as larvas, diferentes métodos de alimentação delas podem levar a diferentes valores nutricionais no produto final, além de que ainda não se tem resultados concretos que indicam a melhor fase da larva. Por esses motivos, mais trabalhos sobre a digestibilidade desse ingrediente devem ser feitos, podendo conter informações como o método de criação e estágios de desenvolvimento, para obter mais informações das possibilidades e níveis de uso.

2.1.2 Resultados da inclusão de farinha de inseto (*Tenebrio molitor*) em dietas para frangos de corte

Além de fornecer nutrientes para os frangos de corte, a farinha de *Tenebrio molitor* pode atuar no sistema imunológico das aves. Isso se deve à presença do de quitina, que de acordo com Adámková et al. (2017), as larvas de TM contém cerca de 13% desse polissacarídeo na MS. Por isso é necessário observar a inclusão na dieta, sem que afete o desempenho produtivo das aves. Uma metanálise (MOULA & DETILLEUX, 2019) contendo 75 artigos, utilizou informações sobre inclusão e desempenho de aves usando insetos na ração, mostrando diferentes faixas de inclusão e os efeitos. Em geral, a maioria dos trabalhos citados nesta publicação tem inclusões de farinha de *Tenebrio molitor* entre 0 e 20% e indicaram que a substituição parcial de farelo soja por farinha de larvas de *Tenebrio molitor* não afeta negativamente o desempenho dos animais, mas estes autores observaram que os resultados entre os artigos estavam muito heterogêneos, afirmando precisar de mais trabalhos com a utilização de insetos.

A pesquisa de Benzertiha et al. (2020) indicou que a baixa suplementação de 0,2 e 0,3% de farinha de *Tenebrio molitor* aumentou o desempenho dos frangos de 1 a 35 dias de idade. Biasato et al. (2018) usando substituição do farelo de soja por 5, 10 e 15% da farinha de *Tenebrio molitor* encontraram diminuição na eficiência alimentar, mas houve melhora no peso corporal de frangos de corte de 1 a 53 dias e sem efeitos negativos nos parâmetros hematoquímicos, características da carcaça e morfologia intestinal. Os mesmos resultados foram encontrados por Bovera et al. (2016) com frangos de corte entre 30 e 62 dias de idade.

Outra característica de interesse para a inclusão de farinha de *Tenebrio molitor* nas rações para frangos, são os aspectos antimicrobianos da quitina (BORRELLI et al., 2017).

Entretanto, a presença de quitina pode reduzir a digestibilidade da farinha para as aves devido a conformação de suas fibras (SCHIAVONE et al., 2017). O uso das larvas do inseto como antibiótico alternativo tem sido relatado na literatura. Islam et al. (2017), utilizando frangos de corte de 1 a 7 dias de idade, observou redução na contaminação por *Escherichia coli* e *Salmonella spp.* usando dietas com suplementação de *Tenebrio molitor*, reduzindo também a mortalidade.

2.2 FARINHA DE TILÁPIA (*Oreochromis niloticus*)

A farinha de peixe em geral é um ingrediente de alto custo e fonte de aminoácidos e gordura para a formulação de rações para frangos de corte. Com a sistematização da produção de grãos proteicos como a soja, a utilização de aminoácidos industriais e formulações de dietas a menor custo, diferentes ingredientes e estratégias nutricionais têm sido utilizados (RUMSEY, 1993). A produção mundial de tilápia duplicou nos últimos 10 anos (FAO, 2016; 2020), o Brasil tem sido o 4º maior produtor de tilápia do mundo e produziu mais de 400 toneladas em 2018 (PEIXEBR, 2019). A produção vem seguindo em crescimento e a industrialização naturalmente segue a mesma tendência. O filé de tilápia possui maior interesse para consumo humano, deixando assim espinhas, sobras da filetagem, escamas, cabeça e vísceras como subprodutos da indústria (Figura 1), que após mais processos gera diferentes produtos, como a proteína hidrolisada.

Figura 1. Obtenção da farinha do subproduto da tilápia

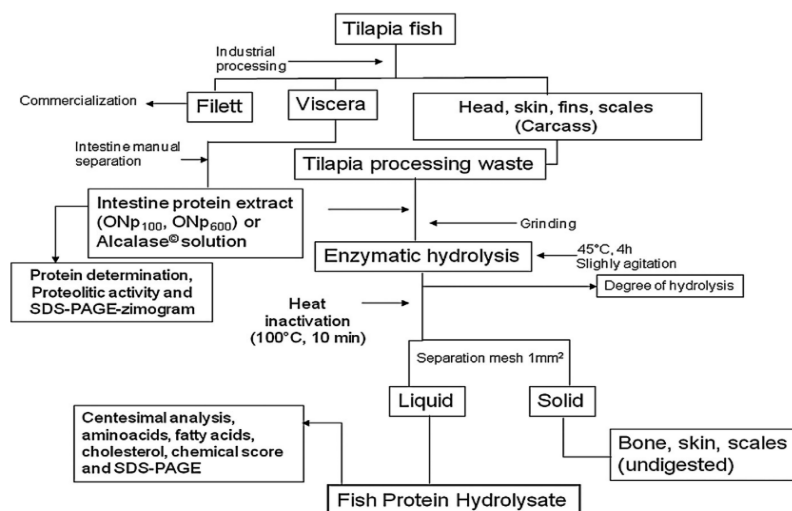


Figura por: SILVA et al. (2014)

Tabelas que apresentam a composição de alimentos como Rostagno et al. (2017), NRC (1994), NRC (2012) e FEDNA (2019) são comumente utilizadas na literatura e muitas vezes o

resultado apresentado de digestibilidade ou EMA vem de apenas 1 estudo. Além disso, a farinha descrita nesta publicações é farinha de peixe sem especificação de sua obtenção. A composição de PB e EE foi de 54,6% PB e 8,06% EE (ROSTAGNO et al., 2017); 31,5% PB e 7,8% EE (NRC, 1994); 63% PB e 9,71 % EE (NRC, 2012) e 59 a 70% PB e 9 a 9,5% EE (FEDNA, 2019). Sabe-se que as farinhas de peixe possuem valores diferentes de acordo com a espécie utilizada, produtos utilizados no processamento e tipo de processamento para obtenção da farinha (SIERRA LOPERA et al., 2018).

Existem poucos trabalhos na literatura que utilizaram o subproduto da indústria da tilápia na dieta de frangos de corte. Os trabalhos pioneiros da utilização desta farinha para aves, Maigualema e Gernat, (2003) e Ponce e Gernat, (2002) encontraram valores de 63,5% de PB, 10,8% de EE, e 18,5% de cinzas. No caso da farinha de tilápia, Dale et al. (2004) reportou a média de 54,8% de PB, 11,7% de EE e 26,3% de cinzas em 8 diferentes amostras. O perfil de aminoácidos da farinha de subproduto da tilápia será demonstrado na Tabela 3 e para comparação dos seus valores proteicos e energéticos, são apresentadas farinhas de peixe ou carne e osso encontradas na literatura.

Tabela 3 Perfil de aminoácidos da farinha de tilápia, farinha de peixe e farinha de carne e osso.

| Aminoácidos, % matéria natural | Farinha de tilápia Maigualema; Gernat, (2003) | Farinha de tilápia Dale et al (2004) | Farinha de peixe Rostagno et al. (2017) | Farinha de peixe NRC, (1994) | Farinha carne e osso 50 - 55% PB Rostagno et al. (2017) | Farinha carne e osso 54% PB NRC, (1994) |
|--------------------------------------|---|---|--|---------------------------------------|---|--|
| Arginina | 5,01 | 3,67 | 3,25 | 2,78 | 3,82 | 3,28 |
| Histidina | 1,14 | 1,07 | 1,03 | 2,18 | 0,89 | 0,96 |
| Isoleucina | 2,37 | 1,72 | 2,08 | 1,95 | 1,51 | 1,54 |
| Leucina | 4,16 | 3,18 | 3,52 | 3,16 | 2,94 | 3,28 |
| Lisina | 3,71 | 3,37 | 3,33 | 3,28 | 2,73 | 2,61 |
| Metionina | 1,58 | 1,18 | 1,29 | 1,00 | 0,70 | 0,69 |
| Fenilalanina | 2,27 | - | 2,05 | 1,48 | 1,53 | 1,81 |
| Treonina | 2,44 | 2,03 | 2,20 | 1,35 | 1,71 | 1,74 |
| Valina | 3,14 | 2,19 | 2,59 | 2,22 | 2,30 | 2,36 |
| Triptofano | 0,41 | 0,39 | 0,44 | 0,51 | 0,28 | 0,27 |
| Alanina | 4,87 | - | 3,51 | - | 4,05 | - |
| Ácido | 5,30 | - | 2,58 | - | 2,14 | - |
| Cisteína | 0,99 | 0,36 | 0,96 | 0,66 | 0,51 | 0,69 |
| Ácido | 8,36 | - | 3,74 | - | 3,60 | - |
| Glicina | 8,18 | - | 5,01 | 5,89 | 7,09 | 6,65 |
| Prolina | 1,81 | - | 3,70 | - | 4,68 | - |
| Serina | 2,86 | - | 2,67 | 2,02 | 2,11 | 2,20 |

A farinha de peixe possui maior digestibilidade de proteína e energia e maior nível de lisina, metionina e treonina que farelo de soja. Também apresenta maior energia metabolizável e a maioria dos aminoácidos em quantidade maior e PB similar comparada à farinha de carne e ossos (NRC, 1994; Rostagno et al., 2017).

O extrato etéreo da farinha de peixe é baixo, como visto anteriormente, não passando de 9%. Dale et al. (2004) trouxeram os maiores valores de 35,4% de ácido oleico, 25,7% de ácido palmítico e 11,9% de ácido linoleico e o restante dos ácidos menores que 6% da composição do perfil graxo. Valores menores estão apresentados no NRC (1994), sendo 1,96%, 3,61%, e 0,14% para ácido oleico, palmítico e linoleico, respectivamente, na MS da farinha de peixe. Comparando a farinha de carne e ossos com a farinha de peixe, o maior valor é de ácido oleico com 3,74% na MS e FEDNA (2019) apresentou um valor de no máximo 5,29% de ácido oleico. NRC (2012) e Rostagno et al. (2017) trazem valores do perfil de ácidos graxos da farinha de carne e ossos.

2.2.1 Farinha de tilápia na nutrição de frangos de corte

A utilização de farinha de tilápia nas dietas de frangos depende da disponibilidade do produto em cada região ou país. Com o crescimento da produção de peixes no Brasil, o subproduto da tilápia tem se tornado mais disponível no mercado e inclusive para utilização em rações para frangos (GASCO et al., 2020). Assim, é importante adquirir uma estratégia na redução de matéria orgânica a ser desperdiçada, como a utilização da farinha de tilápia para a nutrição de aves. Esse subproduto ainda é recente na nutrição de aves, e para começarmos a ter maior conhecimento, partiríamos do princípio de reconhecer seus limites e valores nutricionais na cadeia avícola, como por exemplo, a energia metabolizável desse ingrediente, o desempenho dos animais com a inclusão da farinha nas dietas, e outras avaliações necessárias.

Os valores de energia metabolizável encontrados para farinha de peixe, variam de 2,785 a 3,350 kcal/kg (FEDNA, 2019), 2,778 a 2,851 kcal/kg (ROSTAGNO et al., 2017) e 2,580 a 3,190 kcal/kg (NRC, 1994). Deve se levar em consideração que a algumas farinhas utilizadas nessas publicações não especificaram a espécie utilizada, podendo ser oriundas de subprodutos ou do peixe inteiro, assim diferenças são encontradas dependendo do peixe de origem e processamento.

Para a utilização da farinha de tilápia, ainda faltam trabalhos sobre a metabolizabilidade desse produto. No entanto há estudos que avaliaram a substituição do farelo de soja pela farinha de tilápia (MAIGUALEMA; GERNAT, 2003; PONCE; GERNAT, 2002) e relataram que o

desempenho das aves nas idades iniciais foi maior. Substituindo o farelo de soja entre 0 e 100% por farinha de tilápia, Maigualema e Gernat (2003) encontraram mesmos valores de desempenho com 0, 25 e 50% de substituição dos 7 aos 21 dias de idade. Entretanto, o peso final e a conversão alimentar foram melhores, dos 7 aos 42 dias, com 25 ou 50% de substituição se comparadas com 0, 75 ou 100% de substituição.

Ponce e Gernat (2002), obtiveram resultados superiores dos 14 aos 28 dias, substituindo 10 e 20%, obtendo um maior peso final e redução na conversão alimentar comparadas com 0, 30, 40 e 50% da substituição. Utilizando farinha de peixe, Karimi (2006) relatou que 2,5 e 5% de inclusão nas dietas de frangos não alterou o desempenho no período inicial, mas na fase de crescimento inclusões de 1,25 ou 2,55% resultaram em maior peso dos animais.

O sabor da carne de frango pode ser afetado com a inclusão de farinha de peixe na dieta, esses fatores podem se dar por um chamado “*off-flavor*”, que indica um sabor não correspondente ao frango, e para o caso de farinha de peixe, se dá por um *off-flavor* com uma característica de “sabor de peixe” na carne. Poste et al. (1990) incluindo 0, 4, 8 e 12% de farinha de peixe na dieta de frango, observaram um aumento de sabor de peixe e decréscimo do sabor da carne de frango com o aumento da inclusão da farinha. Wu et al. (1984) utilizando dietas contendo farinhas hidrolisadas de diferentes espécies de peixes, tais como, linguado, rockfish, merluza e bacalhau nas inclusões de 7,0; 5,63; 5,66 e 5,12%, respectivamente, e 6% de farinha de arenque para frangos de corte de 1 a 49 dias, também encontraram diferença nos sabores, sendo a maior delas utilizando farinha de arenque. Porém resultados mais recentes obtidos por Eynng et al. (2013) utilizando a farinha de tilápia até 8% dos 1 aos 42 dias, não alteraram os parâmetros de rendimento de carcaça e a qualidade sensorial da carne. Entretanto, não foram encontradas publicações recentes que tenham avaliado qualidade sensorial da carne de frangos alimentados com farinha de peixe para confirmação desta informação que muitas vezes é feita sem embasamento científico e experimental.

Os dois ingredientes, farinha de *Tenebrio molitor* e farinha de tilápia, foram escolhidos para fazer parte do mesmo estudo pois possuem composição similar de proteína bruta, sendo reconhecidos pela sua capacidade de fornecer aminoácidos e energia. Adicionalmente, a produção destes ingredientes também possui muitos desafios, muitas novas informações que precisam ser obtidas e muito poucos estudos foram realizados para determinação dos seus valores energéticos para aves. Por fim, percebeu-se que é necessário determinar os valores de energia (EMA, EMA_n e EDI) de ambos os ingredientes bem como a digestibilidade de aminoácidos, energia e nitrogênio para ampliar os conhecimentos sobre estas farinhas e melhorar a sua utilização em rações para frangos de corte.

CAPITULO II - ARTIGO

Energy values of insect meal (*Tenebrio molitor*) and fish meal (*Oreochromis niloticus*) for broiler chickens determined using the regression method

Este capítulo é apresentado de acordo com as normas para publicação no periódico **Animal Feed Science and Technology**

Artigo submetido em 26 de Outubro de 2020

Energy values of *Tenebrio molitor* larvae meal and tilapia byproduct meal for broiler chickens determined using the regression method

Y.K. Dalmoro^a, C.B. Adams^a, V.S. Haetinger^a, L. Bairros^a, N. Yacoubi^b, C. Stefanello^{a,*}

^a Department of Animal Science, Federal University of Santa Maria, Santa Maria, RS 97105-900, Brazil.

^bEvonik Operations Rellinghauser Str. 1-11, 45128 Essen, Germany.

*Corresponding author: Tel.: +55 55 3220 8083

E-mail address: catarina.stefanello@ufsm.br (C. Stefanello)

Highlights

The regression method allowed to determine metabolizable energy of insect meal and tilapia byproduct meal for broilers.

The metabolizable energy of *Tenebrio molitor* larvae meal for broilers was 21.93 MJ/kg.

The metabolizable energy of tilapia byproduct meal for broilers was 14.29 MJ/kg.

Abbreviations: AA, amino acid; BW, body weight; C: coefficient; Ca: calcium; CP, crude protein; d, days; DM: dry matter; EE: ether extract; FCR, feed conversion ratio; FI, feed intake; GE, gross energy; IDE, ileal digestible energy; ME, apparent metabolizable energy; ME_n, apparent metabolizable energy corrected for zero nitrogen retention; P: phosphorus; RD: reference diet; TD: test diet; SBM, soybean meal.

ABSTRACT

A study was conducted to determine ileal digestible energy (IDE), metabolizable energy (ME), and nitrogen-corrected ME (ME_n) of *Tenebrio molitor* larvae meal and Nile tilapia byproduct meal for broiler chickens using the regression method. A total of 315 slow feathering Cobb 500 male broilers were fed 5 experimental diets with 9 replicate cages of 7 birds each, in a completely randomized design. Broilers were fed a maize-soybean meal reference diet (RD) and 4 test diets (TD) from d 14 to 21 posthatch. The TD consisted of *Tenebrio molitor* larvae meal and tilapia byproduct meal that partly replaced the energy sources in the reference diet at 100 or 200 g/kg and 75 or 150 g/kg, respectively, such that equal ratios were maintained for all energy containing ingredients across all experimental diets. Excreta samples were collected twice daily from d 19 to 21, and ileal digesta were collected on d 21. Apparent ileal digestibility of DM, N, amino acids as well as metabolizability coefficients of DM, N, and energy were calculated. Addition of *Tenebrio molitor* larvae meal to the RD linearly increased ($P < 0.05$) ileal and total tract of DM and N digestibilities as well as IDE, ME, and ME_n . For diets with *Tenebrio molitor* larvae meal substitution, regression equations were $IDE = 21.52x - 0.0234$, $ME = 21.93x - 0.0189$, and $ME_n = 20.62x - 0.0241$. Addition of tilapia byproduct meal to the RD linearly decreased ($P < 0.05$) ileal and total tract coefficients of DM and IDE, ME, and ME_n , as well as ileal digestibility of amino acids ($P < 0.001$). The equations for the tilapia byproduct meal diets were $IDE = 12.49x - 0.0264$, $ME = 14.29x - 0.0152$, and $ME_n = 11.94x - 0.0129$. In conclusion, the current study showed that broiler chickens can utilize a considerable amount of energy and amino acids from insect meal or fish meal. The IDE, ME, ME_n values (MJ/kg of DM) were 21.52, 21.93 and 20.62 for *Tenebrio molitor* larvae meal, and 12.49, 14.29 and 11.94 for tilapia byproduct meal, respectively.

Keywords: Broiler; Digestibility; Fish meal; Insect meal; Metabolizable energy.

1. Introduction

Great efforts have been made to determine and update nutritional values for alternative ingredients for broiler chickens. The determination of nutrient and energy values of feed ingredients is important to provide limits of inclusion and precision in diet formulation, improving the efficiency of poultry industry (Pereira and Adeola, 2016; Stefanello et al., 2016; Zhang and Adeola, 2017). Therefore, more attention has been given to provide adequate dietary energy and amino acid (AA), as these components account for major cost of poultry diets, and they should be provided without deficiency or excess to maximize production and decrease nutrient excretion (Kong and Adeola, 2014).

Additionally, sustainability of food production and processing systems based on low environmental pollution, efficient use of raw materials and waste minimization has become a priority (Gasco et al., 2020). For this reason, insect meal (from *Tenebrio molitor* larvae) and fish byproduct meal have become more studied as feed ingredients for animals. This insect meal is also known as yellow mealworm meal and it is generally rich in crude protein (CP) (40 to 60%), with well-balanced AA profile as well as rich in lipids (20 to 35% ether extract) (Biasato et al., 2018; Józefiak et al., 2018; Koutsos et al., 2019). The functionality of *Tenebrio molitor* larvae meal on immunological response and gut health has also been reported and attributed to its chitin content (Borrelli et al., 2017). However, the nutritional value of *Tenebrio molitor* larvae meal varies mainly according to the rearing substrate (Koutsos et al., 2019).

Fish byproduct meals are good sources of AA with high protein content but similar energy compared to meat or meat and bone meals, besides its wide range nutritional composition. Fish meal is usually marketed at 65% CP, however this can vary from 50 to 70% depending on the species of fish used (Ponce and Gernat, 2002). The Nile tilapia (*Oreochromis niloticus*) industry has grown significantly worldwide. It represents more generated waste because the myomere muscles are the main product for human consumption. After removing the fillets, a major

proportion of the fish (64%) can be lost during processing operations (Ponce and Gernat, 2002). This waste from tilapia processing plants has the potential of being an alternative ingredient source in broiler diets. For this reason, high quality fish meals from tilapia have been obtained with processed viscera, head, fins, tail, backbone, scales and whole fishes. The standardization of processing methods and tissues processed for fish meal and more knowledge about the different composition between species of fish used for processing could improve nutritional value. Obtaining the energy values of tilapia byproduct meal is important because tilapia industry is growing and more accurate nutritional values will help to formulate diets.

Tenebrio molitor larvae meal and tilapia byproduct meal contain high CP and considerable amount of energy (NRC, 1994; Rostagno et al., 2017; Gasco et al., 2020). Those two ingredients can be used in poultry diets as protein source substitutes for soybean meal (SBM); however, they are restricted to partial replacement of SBM because of costs, variable composition according to their production/harvest systems and processing, lack of information on nutrients and energy values for broilers as well as the low available production.

There is limited research on nutrients and energy values of *Tenebrio molitor* larvae meal and tilapia byproduct meal fed to broiler chickens. In an experiment with broiler chickens from d 0 to 35 posthatch, De Marco et al. (2015) reported 16.84 MJ/kg ME and 16.00 MJ/kg ME_n with positive effects of insect meal (52.4% CP) on CP and AA digestibility. Metabolizable energy values of fish meal (not specific for tilapia byproduct) for broilers are presented by NRC (1994), FEDNA (2010) and Rostagno et al. (2017). These values ranged from 10.80 to 13.30 MJ/kg (NRC, 1994), 12.26 to 14.43 MJ/kg (FEDNA, 2010) and 11.62 to 11.93 MJ/kg (Rostagno et al., 2017). Ponce and Gernat (2002), Maignalema and Gernat (2003) evaluated replacements of SBM with tilapia meal (63.5% CP) and observed that broilers fed this tilapia meal had improved growth performance mainly from d 14 to 28 and d 7 to 42, respectively.

There is an alternative potential of using *Tenebrio molitor* larvae meal and tilapia byproduct meal for broiler chickens, and because of a lack of data for ME, more data on the ileal digestible energy (IDE), ME and ME_n are needed to optimize diet formulation. Therefore, the objective of the current study was to determine IDE, ME and ME_n of *Tenebrio molitor* larvae meal and Nile tilapia byproduct meal for broiler chickens using the regression method.

2. Material and methods

All procedures used in the current study were approved by the Ethics and Research Committee of the Federal University of Santa Maria, Santa Maria, Brazil (number 5404280717).

2.1 Birds and experimental diets

Male broiler chicks (Cobb × Cobb 500), vaccinated for Marek's disease at the hatchery, were purchased from a local hatchery (Vibra Group, Rio Grande do Sul, Brazil) and weighed ($42 \text{ g} \pm 1.1 \text{ g}$). Birds were reared in wire battery cages ($0.8 \text{ m} \times 0.4 \text{ m}$). Each cage was equipped with one feeder and two nipple drinkers. Average temperature was 32°C at placement being reduced by 1°C every 2 days until 23°C to provide comfort throughout the study. Lighting was continuous until d 21 posthatch. Birds had *ad libitum* access to water and a common broiler starter diet (Table 1) from d 0 to 14 posthatch.

On d 14, a total of 315 birds were sorted by weight (average $553 \text{ g} \pm 4.5 \text{ g}$) and fed 5 experimental diets with 9 replications of 7 birds each in a completely randomized design. Dietary treatments consisted of a reference diet (RD) and four test diets (TD). Birds also had *ad libitum* access to water and mash experimental diets. A maize-SBM diet was prepared as a RD in which maize, SBM, and soybean oil were used as energy-yielding sources (Table 1). Four TD were prepared by supplementing the RD with 100 or 200 g/kg of *Tenebrio molitor*

larvae meal and 75 or 150 g/kg of tilapia byproduct meal (from Nile tilapia, *Oreochromis niloticus*). The test ingredients were added to partly replace the energy sources in TD, so that the ratio of maize, SBM, and soybean oil across the experimental diets were maintained the same. These ratios were 1.50, 10.50, and 7.10 for maize:SBM, maize:soybean oil, and SBM:soybean oil, respectively. Celite (Celite Corp., Lompoc, CA, US) at 10 g/kg was added to the experimental diets as an indigestible marker.

The analyzed gross energy (GE) and chemical composition of *Tenebrio molitor* larvae meal and tilapia byproduct meal are presented in Table 2. The full-fat insect meal was conserved in vacuum bags and purchased from a commercial source (Vidaproteina Ind. Com. Lt., Neropolis, GO, Brazil). The fish meal (only tilapia byproduct) was a defatted product obtained from a cooperative (Copacol, Cafelandia, PR, Brazil). The tilapia meal was produced with processed viscera, head, fins, tail, backbone, scales and whole tilapias.

2.2 Experimental procedures

Chicks were individually weighed into groups of 7 birds per cage at placement. Bird and feeder weights averaged per cage were recorded at d 14 and 21 posthatch. Excreta were collected twice daily on wax paper from d 19 to 20 being immediately mixed and pooled by cage and stored at -20°C until analysis. Prior to calorimetry, excreta were dried in a forced air oven at 55°C (Fisher Isotemp Oven, Waltham, MA, US) and ground to pass a 0.5-mm screen. Ileal digesta were collected from all birds at d 21 after euthanasia by CO_2 asphyxiation. Ileal digesta were collected from the final 2/3 distal ileum, defined as the region between Meckel's diverticulum to approximately 2 cm cranial to the ileo-cecal junction.

Digesta were flushed with distilled water into plastic containers, pooled by cage, immediately frozen in liquid nitrogen, and stored in a freezer at -20°C until lyophilized (Christ

Beta 1-8 LDplus, Newtown, UK). Diet and freeze-dried samples of ileal digesta and excreta were ground to pass a 0.5-mm screen in a grinder (Tecnal, R-TE-648, Sao Paulo, SP, Brazil).

2.3 *Chemical analysis*

Dry matter (DM) analysis of diets, excreta and ileal digesta was performed after oven drying (Nade, FA2104N, Zhejiang, China) the samples at 105°C for 16 h (method 934.01; AOAC International, 2006). Diets, excreta, and ileal digesta were also analyzed for gross energy in an adiabatic bomb calorimeter (Parr Instrument Company, 6400 calorimeter, Moline, IL, US) using benzoic acid as a calibration standard. Nitrogen was determined using the dry combustion method (method 972.43; AOAC international, 2006) using a CN analyzer (Thermo-Finnigan Flash EA 1112, Waltham, MA, US). Acid insoluble ash concentration in the diets, excreta, and ileal digesta samples were determined using the method described by Vogtmann et al (1975) and Choct and Annison (1992).

Ether extract (EE) in insect meal and fish meal samples was determined by extracting in petroleum ether using a Soxhlet apparatus for approximately 8 h (method 934.01; AOAC International, 2000). Ash samples of insect meal and fish meal were also digested in nitric and perchloric acids and subsequently analyzed for phosphorus by spectrophotometry (method 946.06; AOAC International, 2000) and calcium by flame atomic absorption spectroscopy (method 968.08; AOAC International, 2000). Crude fiber of ingredients was determined by digestion with a sulfuric acid solution, afterward by a sodium hydroxide solution and finished with total combustion of organic matter at 600°C for 4 h (method 962.09; AOAC International, 1990). Amino acid analyses of ingredients, diets and ileal digesta samples were done at Evonik Industries AG laboratory, Germany [method 982.30 E (a, b, c); AOAC International, 2000].

2.4 *Calculations*

The ileal digestibility and total tract metabolizability coefficients (C) of nutrients and energy were calculated as previously reported Bolarinwa and Adeola (2012) and calculated as $C = 1 - [(Cd/Co) \times (Eo/Ed)]$, where Cd is the concentration of celite in the diet; Co is the concentration of celite in the ileal digesta or excreta output; Eo is the concentration of nutrient or energy in the ileal digesta or excreta output; and Ed is the concentration of nutrient or energy in the diet.

Ileal digestible energy (IDE, MJ/kg) of the diet was calculated as the product of C and the gross energy concentration (MJ/kg) of the diet. Metabolizable energy (MJ/kg) of the diet was calculated as the product of C and the gross energy concentration (ME) (MJ/kg) of the diet. Metabolizable energy was corrected to zero N retention (ME_n) using a factor of 0.03439248 MJ/g (Hill and Anderson, 1958) as $ME_n = ME - (0.03439248 \times N_{ret})$, where N_{ret} is N retention in g/kg of DM intake. The N_{ret} was calculated as $N_{ret} = N_i - (N_o \times Cd/Co)$, where N_i and N_o are the N concentrations (g/kg of DM) in the diet and excreta, respectively. The coefficients (C) of IDE, ME, or ME_n for reference diet, test diets, and test ingredient are C_{rd} , C_{td} , and C_{ti} , respectively (Zhang and Adeola, 2017; Adeola and Kong, 2020). The proportional contribution of energy by the reference diet and test ingredient to the test diet are Prd and Pti, respectively, and by definition $Prd + Pti = 1$ or $Prd = 1 - Pti$. The assumption of additivity in diet formulation implies that $C_{td} = (C_{rd} \times Prd) + (C_{ti} \times Pti)$; solving for C_{ti} gives $C_{ti} = [C_{td} - (C_{rd} \times Prd)] \div Pti$. Substituting $1 - Pti$ for Prd gives $C_{ti} = [C_{rd} + (C_{td} - C_{rd}) \div Pti]$. The product of C_{ti} at each level of test ingredient substitution rate (*Tenebrio molitor* larvae meal, 100 or 200 g/kg) and (tilapia byproduct meal, 75 or 150 g/kg), kilograms of dry test ingredient intake (product of 0.1, 0.2 or 0.075, 0.15 and dry feed intake), and the gross energy of test ingredient is the test ingredient-associated IDE, ME, or ME_n in kilocalories (Zhang and Adeola, 2017; Adeola and Kong, 2020).

2.5 Statistical analysis

Growth performance and digestibility data were analyzed using the GLM procedures of SAS Institute (SAS, 2009) in a completely randomized design. Regressions of the test ingredient-associated IDE, ME, or ME_n intake in kilocalories against kilograms of test ingredient intake for cage of birds was conducted using linear regression following SAS statements described by Bolarinwa and Adeola (2012). The effects of increasing levels of *Tenebrio molitor* larvae meal and tilapia byproduct meal in assay diets were compared using linear and quadratic contrasts. Statistical significance was determined at an α level of 0.05.

3. Results

Birds remained healthy throughout the experiment, without any reported mortality in the experimental period. The analyzed nutrients and energy composition of the tested ingredients used in the current study are presented in Table 2. It shows that *Tenebrio molitor* larvae meal (489 g/kg CP) and tilapia byproduct meal (514 g/kg CP) have similar protein content; however, the insect meal has the highest gross energy, probably because of its higher ether extract concentration. *Tenebrio molitor* larvae meal also presented lower calcium (Ca) and phosphorus (P) as well as Met, Lys and Thr content compared to tilapia byproduct meal.

As *Tenebrio molitor* larvae meal levels increased in the diets, there was a linear decrease ($P < 0.001$) on gain:feed ratio and linearly reduced ($P < 0.05$) feed intake (Table 3). The inclusion of increasing levels of *Tenebrio molitor* larvae meal or tilapia byproduct meal to the RD did not result in quadratic effects for all evaluated performance responses ($P > 0.05$). When tilapia byproduct meal was included in the reference diet, there were no effects on growth performance of broiler chickens from d 14 to 21 ($P > 0.05$).

The ileal digestibility of DM, N, energy, and IDE as well as the total tract metabolizability of DM, N, energy, ME and ME_n of experimental diets are presented in Table 4. Linear increases

($P < 0.05$) were observed on DM and N digestibility coefficients and IDE in the diets containing *Tenebrio molitor* larvae meal. Also, there was a linear increase ($P < 0.05$) on DM, energy and N-corrected energy metabolizability coefficients as well as ME and ME_n of diets with increasing levels of *Tenebrio molitor* meal. Addition of tilapia byproduct meal linearly decreased ($P < 0.05$) IDE, ME and ME_n as well as digestibility and metabolizability of DM; however, had no effects ($P > 0.05$) on energy and N digestibility and metabolizability coefficients.

The ileal digestibility of indispensable and dispensable amino acids, except tryptophan is shown in Table 5. Addition of *Tenebrio molitor* larvae meal to the RD linearly increased ($P < 0.05$) ileal digestibility coefficients of Lys, Thr, Val, Arg, His, Ala, Cys, Glu also for Gly, Lys, Met, Phe, Thr, Ala, Asp, Cys, Glu, Gly and Ser had quadratic response ($P < 0.05$). The addition of increasing levels of tilapia byproduct meal to the RD linearly decreased ($P < 0.05$) the ileal digestibility of all indispensable and dispensable amino acids ($P < 0.001$). Methionine, Arg, His and Lys, presented the highest digestibility coefficients, respectively.

Energy values of *Tenebrio molitor* larvae meal and tilapia byproduct meal for broiler chickens are presented in Table 6. The regression of IDE, apparent ME, and apparent ME_n intake associated with insect meal or fish meal were $IDE = 21.52x - 0.0234$, $ME = 21.93x - 0.0189$, and $ME_n = 20.62x - 0.0241$ for the diet with *Tenebrio molitor* larvae meal substitution; and $IDE = 12.49x - 0.0264$, $ME = 14.29x - 0.0152$, and $ME_n = 11.94x - 0.0129$ for the diet with tilapia byproduct meal substitution. The regression-derived IDE for insect meal or fish meal were 21.52 or 12.48 MJ/kg DM, respectively. The ME and ME_n values were 21.93 and 20.62 MJ/kg DM for *Tenebrio molitor* larvae meal; and 14.28 and 11.93 MJ/kg DM for tilapia byproduct meal (Table 6).

4. Discussion

Energy values and ileal digestibility of many alternative ingredients have been determined to provide useful information that helps to formulate adequate diets and meet animal requirements (Bolarinwa and Adeola, 2012). Another objective of determining accurate alternative ingredients nutrients and energy values has been their potential to replace maize or SBM in poultry diets (Pereira and Adeola, 2016; Stefanello et al., 2016; Zhang and Adeola, 2017). In the current study, *Tenebrio molitor* larvae meal and tilapia byproduct meal were chosen to determine IDE, ME and ME_n for broiler chickens.

Insect meal from *Tenebrio molitor* larvae has higher protein and energy, and more AA as Lys, Met and Thr than SBM (De Marco et al., 2015; Rostagno et al., 2017). In the current study, full-fat insect meal was used, and the analyzed values were 489 g/kg CP, 334 g/kg EE and 25.92 MJ/kg GE. However, *Tenebrio molitor* meal composition can be variable according to its production system and processing condition, but high energy, protein and fat values have been reported: 519 g/kg CP and 216 g/kg EE (Bovera et al., 2015; 2016); 524 g/kg CP, 280 g/kg EE and 24.38 MJ/kg GE (De Marco et al., 2015), as well as 563 g/kg CP and 253 g/kg EE (Józefiak et al., 2018), and 458 g/kg CP and 342 g/kg EE (Hussain et al., 2017).

In the present study, the proportional substitution of maize, SBM, and soybean oil in the reference diet, with 100 or 200 g insect meal/kg diet, resulted in a linear increase on weight gain and gain:feed, with a linear decrease on FI ratio ($P < 0.05$). These results are in agreement with Ballitoc and Sun (2013) that observed higher BW gain and lower FCR when broilers were fed 0 to 100 g/kg *Tenebrio molitor* meal from d 0 to 35. Khan et al. (2018) observed increased BW gain, with decreased FCR and FI when broilers were fed maize-based diets with 81 g/kg insect meal until d 35. Furthermore, Biasato et al (2018) fed male broilers with maize-soy diets containing 0, 50, 100 or 150 g/kg insect meal and observed linear increases on BW and FI until d 25, however FCR and intestinal morphology were negatively affected ($P < 0.05$). These authors suggested that low levels of *Tenebrio molitor* meal inclusion (i.e., 50 g/kg) may be more

suitable in poultry feed. On the other hand, Ramos-Elorduy et al (2002) did not observed effects on growth performance of broilers fed sorghum-SBM-based diets in which the full-fat insect meal inclusion level ranged from 50 to 100 g/kg in partial substitution of SBM and oil. Similarly, Biasato et al (2016) observed unaffected performance in broilers fed maize-SBM-gluten meal-based diets in which the insect meal was included at 75 g/kg to replace maize gluten meal.

Linear increases were observed on DM, N and AA digestibility coefficients and IDE when broilers were fed *Tenebrio molitor* larvae meal. Metabolizability coefficients of DM, energy and N-corrected energy as well as ME and ME_n were improved in diets with increasing levels of insect meal. There are few studies evaluating digestibility and energy utilization of insect meal for broilers. Bovera et al. (2016) presented ileal digestibility coefficients of DM (0.86) and CP (0.80) of broiler chickens fed diets with 295 g/kg insect meal from d 30 to 62. De Marco et al. (2015) obtained ileal digestibility coefficients of DM (0.60), CP (0.88) and EE (0.64) for broilers on d 35 using diets with 250 g/kg insect meal. The same authors also provided ileal digestibility coefficients of amino acids.

De Marco et al. (2015) had the first publication that provided data on ME and ME_n of *Tenebrio molitor* larvae meal, which is a useful information for formulating broiler diets (ME = 16.85 MJ/kg DM and ME_n = 16.01 MJ/kg DM). The energy values are lower compared to those obtained in the current study (21.93 and 20.62 MJ/kg for ME and ME_n, respectively); however, the studies had differences in methodology, age, inclusion levels and ingredient composition.

Finally, it was noted that *Tenebrio molitor* larvae meal can present a similar or slightly higher digestibility of N and most of AA when compared to tilapia meal, although the AA content was lower in insect meal. Ravindran et al. (1999; 2005) reported that AA contents in fish meal were higher than those in meat meal or meat and bone meal with higher apparent ileal

digestibility of AA. However, when compared to SBM, fish meal presented lower AA digestibility for broilers. Ravindran et al. (2005) commented that a higher variability was observed in meat or meat and bone meal, reflecting processing damage and the relative amounts of muscle protein and collagen as well as the collagen is deficient in most essential AA and probably poorly digested due to its inadequate AA balance, resulting in decreased digestibility when compared to fish meal or SBM. Otherwise, there is no found published material comparing insect meal with meat and bone meal, fish meal or SBM in the same assay with broilers.

Fish meal has higher digestible protein and energy, and more AA as Lys, Met and Thr than SBM as well as higher ME and AA compared with some meat and bone meals with similar CP (NRC, 1994; Rostagno et al., 2011; 2017). In the current study, the inclusion of tilapia byproduct meal did not affect growth performance, which agrees with previous report that there was no significant effect of partially replacing SBM with tilapia meal on growth performance in the starter phase of broilers (Harms et al., 1961; Wu et al., 1984; Maigualema and Gernat, 2003; Karimi, 2006).

Maigualema and Gernat (2003) evaluated replacements of SBM with tilapia byproduct meal from 0 to 100% and observed that broilers fed 0, 74.3 or 148.8 g/kg fish meal (0, 25 or 50% substitution, respectively) had similar growth performance from d 7 to 21. However, BW and FCR were improved from d 7 to 42 using 25 or 50% fish meal compared to 0, 75 or 100%. Ponce and Gernat (2002) also evaluated SBM replacements with tilapia meal and observed that fish meal resulted in improved performance mainly from d 14 to 28. These authors also observed that broilers fed 10 or 20% SBM replacements with tilapia meal (22.4 or 44.7 g/kg fish meal, respectively) had higher BW and FI and lower FCR compared to 0, 30, 40 and 50% (0, 67.1, 89.4 and 111.8 g/kg tilapia meal, respectively). Additionally, Karimi et al. (2006) reported that growth performance was not influenced by 25 or 50 g/kg tilapia byproduct meal

inclusion to broiler diets during the starter period ($P > 0.05$); however, through the grower period, broilers fed diets containing 12.5 or 25 g/kg tilapia meal had higher BW but similar FCR compared to broilers fed diets without fish meal.

It is considerable difficult to compare results of the current study with most of publications because different fish meals were used or some researches have reported the effects of formulating isonitrogenous and isoenergetic diets varying in fish meal levels with the objective to replace SBM for broilers (Ponce and Gernat, 2002; Maigualema and Gernat, 2003; Karimi, et al., 2006; Eyng et al., 2013). These publications reported that the observed improvements in production parameters may be attributed to the CP provided by a higher quality protein from an animal source instead of a vegetable source. Additionally, as fish meals present an excellent source of protein, energy, minerals and vitamins, when broilers were fed fish meal, the improved performance could be by its high biological value and utilization in the diets. For this reason, determining the energy and nutrient utilization of tilapia byproduct meal for broilers is necessary to formulate more appropriate diets.

In the current study, dietary ME, protein and amino acids decreased with increasing addition of tilapia byproduct meal. However, the proportional substitution of maize, soybean meal, and soybean oil in the reference diet, with 75 or 150 g fish meal/kg diet, did not affected ($P < 0.05$) weight gain and gain:feed ratio (Table 3). In addition, protein and energy digestibility were similar across dietary treatments ($P > 0.05$). The decreased IDE, ME and AA digestibility observed when experimental diets had increased tilapia byproduct meal did not impact performance until d 21 (Table 4). It suggested that tilapia byproduct meal addition to diet does not have an adverse effect on broiler chicken production and it can partly replace some other protein or energy ingredients.

Tilapia (*Oreochromis niloticus*) production has gained popularity for the human consumption and the industry has grown significantly over the past years due to its fast growth

rate, marketability, ease reproduction, production and adaptability (Wang and Lu, 2016). The increased production of tilapia meat can result in more waste if the material is not processed to obtain fish meal. In this context, techniques used for the processing of tilapia byproducts, even if only parts or the whole fish is used in the process, can lead to modifications in their CP, fat and ash composition. Ponce and Gernat (2002) and Maigualema and Gernat (2003) used a fish meal from tilapia byproduct with 63.5% CP. Dale et al (2004) reported variable CP (average 54.8%), Ca and P composition in percentage, with 1.6, 1.9 and 0.9 SD, respectively when tilapia meal from 8 different origins were evaluated.

The ME of tilapia byproduct meal obtained in the current study was 14.28 MJ/kg. These values are higher than 12.24 MJ/kg ME published by FEDNA (2010) and 11.93 MJ/kg ME presented by Rostagno et al. (2017) in fish meals with higher CP and EE, both determined without specify the fish byproduct. Other publications also have reported lower ME values of fish meal for broilers: 11.84 MJ/kg (NRC, 1994) and 11.17 MJ/kg (Rostagno et al., 2011). The higher ME values obtained in the current study compared to other publication, can be related to processing, fish meal quality or because the fish meal was produced only with tilapia byproduct.

5. Conclusions

The current study provided the energy values for *Tenebrio molitor* larvae meal and Nile tilapia byproduct meal using the regression method. These ingredients can provide a considerable amount of protein and energy for broiler chickens. The IDE, ME, ME_n values (MJ/kg of DM) were 21.52, 21.93 and 20.62 for *Tenebrio molitor* larvae meal, and 12.49, 14.29 and 11.94 for tilapia byproduct meal, respectively. However, as with many byproducts the nutrient composition can vary, and more data is needed to create databases to formulate diets for broiler chickens.

Acknowledgements

The authors acknowledge the partial scholarship from Conselho Nacional de Pesquisa (CNPq – Brasilia, DF, Brazil), the partial support in amino acid analysis from Evonik Operations GmbH (Essen, Germany).

Author Contributions

YD: *in vivo* trial, data analysis, digestibility analysis, trial conduction, draft and revision of the manuscript. CA: *in vivo* trial and sample collection. VH: *in vivo* trial and sample collection. LB: *in vivo* trial, sample analyses. NY: amino acid analysis and draft of the manuscript. CS: draft and revision of the protocol, supervision, data analysis, interpretation of results, draft and revision of the manuscript, and final approval for paper publication.

Declaration of Competing Interest

None.

Funding

This research did not receive any specific grant from funding agencies in the public, commercial, or not-for-profit sectors.

References

- Adeola, O. Kong C., 2020. Energy values of triticale or sorghum distillers' dried grains with solubles and rye fed to broiler chickens. *J. Anim. Sci.* 98, 2. <https://doi.org/10.1093/jas/skaa018>
- Choct, M., Annison, G., 1992. Anti-nutritive effect of wheat pentosans in broiler chickens: roles of viscosity and gut microflora. *Br. Poult. Sci.* 33, 821–834.

<https://doi.org/10.1080/00071669208417524>

Association of Official Analytical Chemistry, 1990. Official Methods of Analysis, 15th ed. Analytical Chemists, Arlington, VA.

Association of Official Analytical Chemistry, 2000. Official Methods of Analysis, 17th ed. Analytical Chemists, Arlington, VA.

Association of Official Analytical Chemistry, 2006. Official Methods of Analysis, 18th ed. Analytical Chemists, Gaithersburg, MD.

Ballitoc, D. A., Sun, S., 2013. Ground yellow mealworms (*Tenebrio molitor* L.) feed supplementation improves growth performance and carcass yield characteristics in broilers. Open Science Repository Agriculture. <https://doi.org/10.7392/openaccess.23050425>

Biasato, I., Gasco, L., De Marco, M., Renna, M., Rotolo, L., Dabbou, S., Capucchio, M. T., Biasibetti, E., Tarantola, M., Sterpone, L., Cavallarín, L., Gai, F., Pozzo, L., Bergagna, S., Dezzutto, D., Zoccarato, I., Schiavone, A., 2018. Yellow mealworm larvae (*Tenebrio molitor*) inclusion in diets for male broiler chickens: Effects on growth performance, gut morphology, and histological findings. *Poult. Sci.* 97, 540–548. <https://doi.org/10.3382/ps/pex308>

Biasato, I., M. De Marco, L. Rotolo, Renna, M., Lussiana, C., Dabbou, S., Capucchio, M. T., Biasibetti, E., Costa, P., Gai, F., Pozzo, L., Dezzutto, D., Bergagna, S., Martínez, S., Tarantola, M., Gasco, L., Schiavone, A., 2016. Effects of dietary *Tenebrio molitor* meal inclusion in free-range chickens. *J. Anim. Physiol. Anim. Nutr. (Berl)*. 100, 1104–1112. <https://doi.org/10.1111/jpn.12487>

Bolarinwa, O. A., Adeola, O., 2012. Energy value of wheat, barley, and wheat dried distillers grains with solubles for broiler chickens determined using the regression method. *Poult. Sci.* 91, 1928–1935. <https://doi.org/10.3382/ps.2012-02261>

Borrelli, L., Coretti, L., Dipineto, L., Bovera, F., Menna, F., Chiariotti, L., Nizza, A., Lembo,

- F., Fioretti, A., 2017. Insect-based diet, a promising nutritional source, modulates gut microbiota composition and SCFAs production in laying hens. *Sci. Rep.* 7, 1–11. <https://doi.org/10.1038/s41598-017-16560-6>.
- Bovera F., Loponte R., Marono S., Piccolo G., Parisi G., Iaconisi V., Gasco L, et al., 2016. Use of *Tenebrio molitor* larvae meal as protein source in broiler diet: Effect on growth performance, nutrient digestibility, and carcass and meat traits *Academic.Oup.Com* 94, 639–647. <https://doi.org/10.2527/jas.2015-9201>
- Bovera, F., Piccolo, G., Gasco, L., Marono, S., Loponte, R., Vassalotti, G., Mastellone, V., Lombardi, P., Attia, Y. A., Nizza, A., 2015. Yellow mealworm larvae (*Tenebrio molitor*, L.) as a possible alternative to soybean meal in broiler diets. *Br. Poult. Sci.* 56, 569–575. <https://doi.org/10.1080/00071668.2015.1080815>
- Dale, N. M., Zumbado, M., Gernat, A. G., Romo, G., 2004. Nutrient value of tilapia meal. *J. Appl. Poult. Res.* 13, 370–372. <https://doi.org/10.1093/japr/13.3.370>
- De Marco, M., Martínez, S., Hernandez, F., Madrid, J., Gai, F., Rotolo, L., Belforti, M., Bergero, D., Katz, H., Dabbou, S., Kovitvadhi, A., Zoccarato, I., Gasco, L., Schiavone, A., 2015. Nutritional value of two insect larval meals (*Tenebrio molitor* and *Hermetia illucens*) for broiler chickens: Apparent nutrient digestibility, apparent ileal amino acid digestibility and apparent metabolizable energy. *Anim. Feed Sci. Technol.* 209, 211–218. <https://doi.org/10.1016/j.anifeedsci.2015.08.006>
- Eyng, C., Nunes, R. V., Pozza, P. C., Murakami, A. E., Scherer, C., Schone, R. A., 2013. Rendimento de carcaça e análise sensorial da carne de frangos alimentados com farinha de resíduo da filetagem de tilápia. *Cienc. Agrotecnologia* 37, 451–456. <https://doi.org/10.1590/S1413-70542013000500009>
- FEDNA, 2010. Tablas FEDNA de composición y valor nutritivo de alimentos para la fabricación de piensos compuestos 3ª ed. 2010. C. de Blas, G.G. Mateos y P. García-

- Rebollar. Fundación Española para el Desarrollo de la Nutrición Animal. Madrid. 502 pp.
- Gasco, L., Acuti, G., Bani, P., Dalle, A., Zotte, P., Danieli, P., De Angelis, A., Fortina, R., Marino, R., Parisi, G., Piccolo, G., Pinotti, L., Prandini, A., Schiavone, A., Terova, G., Tulli, F., Roncarati, A., 2020. Insect and fish by-products as sustainable alternatives to conventional animal proteins in animal nutrition. *Ital. J. Anim. Sci.* 19, 360–372. <https://doi.org/10.1080/1828051X.2020.1743209>
- Harms, R. H., Waldroup, P. W., Douglas, C. R., 1961. The value of menhaden fish meal in practical broiler diets. *Poult. Sci.* 40, 1617–1622. <https://doi.org/10.3382/ps.0401617>
- Hill, F. W., Anderson, D. L., 1958. Comparison of metabolizable energy and productive energy determinations with growing chicks. *J. Nutr.* 64, 587–603. <https://doi.org/10.1093/jn/64.4.587>
- Hussain, I., Khan, S., Sultan, A., Chand, N., Khan, R., Alam, W., Ahmad, N., 2017. Mealworm (*Tenebrio molitor*) as potential alternative source of protein supplementation in broiler. *Int. J. Biosci.* 10, 255-262, <https://doi.org/10.12692/ijb/10.4.255-262>
- Józefiak, A., Kierończyk, B., Rawski, M., Mazurkiewicz, J., Benzertiha, A., Gobbi, P., Nogales-Mérida, S., Świątkiewicz, S., Józefiak, D., 2018. Full-fat insect meals as feed additive – the effect on broiler chicken growth performance and gastrointestinal tract microbiota. *J. Anim. Feed Sci.* 27, 131–139. <https://doi.org/10.22358/jafs/91967/2018>
- Karimi, A., 2006. The effects of varying fishmeal inclusion levels (%) on performance of broiler chicks. *Int. J. Poult. Sci.* 5, 255–258. <https://doi.org/10.3923/ijps.2006.255.258>
- Khan, S. H., 2018. Recent advances in role of insects as alternative protein source in poultry nutrition. *J. Appl. Anim. Res.* 46, 1144–1157. <https://doi.org/10.1080/09712119.2018.1474743>
- Kong, C., Adeola, O., 2014. Invited review - evaluation of amino acid and energy utilization in feedstuff for swine and poultry diets. *Asian-australas. J. Anim. Sci.* 27, 917–925.

<https://doi.org/10.5713/ajas.2014.r.02>

- Koutsos, L., McComb, A., Finke, M., 2019. Insect composition and uses in animal feeding applications: a brief review. *Ann. Entomol. Soc. Am.* 112, 544–551. <https://doi.org/10.1093/aesa/saz033>
- Maigualema, M. A., Gernat A. G., 2003. The effect of feeding elevated levels of tilapia (*Oreochromis niloticus*) by-product meal on broiler performance and carcass characteristics. *Int. J. Poult. Sci.* 2, 195–199. <https://doi.org/10.3923/ijps.2003.195.199>
- National Research Council. 1994. Nutrient requirements of poultry. 9th rev. ed. Natl. Acad. Press, Washington, DC.
- Pereira, L. F. P., Adeola O., 2016. Energy and phosphorus values of sunflower meal and rice bran for broiler chickens using the regression method. *Poult. Sci.* 95, 2081–2089. doi: <https://doi.org/10.3382/ps/pew089>
- Ponce, L. E., Gernat A. G., 2002. The effect of using different levels of tilapia by-product meal in broiler diets. *Poult. Sci.* 81, 1045–1049. <https://doi.org/10.1093/ps/81.7.1045>
- Ramos-Elorduy, J., González, E. A., Hernández, A. R., Pino, J. M., 2002. Use of *tenebrio molitor* (coleoptera: tenebrionidae) to recycle organic wastes and as feed for broiler Chickens. *J. Econ. Entomol.* 95, 214–220. <https://doi.org/10.1603/0022-0493-95.1.214>
- Ravindran, V., Hew, L. I., Ravindran, G., Bryden, W. L., 1999. A comparison of ileal digesta and excreta analysis for the determination of amino acid digestibility in food ingredients for poultry. *Br. Poult. Sci.* 40, 266–274. <https://doi.org/10.1080/00071669987692>
- Ravindran, V., Hew, L. I., Ravindran, G., Bryden, W. L., 2005. Apparent ileal digestibility of amino acids in dietary ingredients for broiler chickens. *Anim. Sci.* 81, 85–97. <https://doi.org/10.1079/ASC42240085>
- Rostagno, H. S., Albino, L. F. T., Hannas M. I., Donzele J. L., Sakomura N. K., Perazzo F. G., Saraiva A., Teixeira M. L., Rodrigues P. B., Oliveira R. F., Barreto S. L. T., Brito C. O.,

2017. Tabelas brasileiras para aves e suínos. Composição de alimentos e exigências nutricionais. 4rd ed. UFV, Viçosa, MG, Brazil.
- Rostagno, H. S., Albino, L. F. T., Donzele, J. L, Gomes, P. C., Oliveira, R. F., Lopes, D. C., Ferreira, A. S., Barreto, S. L. T., Euclides, P. F., 2011. Tabelas brasileiras para aves e suínos. Composição de alimentos e exigências nutricionais. 3rd ed. UFV, Viçosa, MG, Brazil.
- SAS Institute. SAS User's Guide: Statistics. Version 9.2. Cary, NC: SAS Institute, Inc. 2009.
- Stefanello, C., S. Vieira, L., Xue, P., Ajuwon, K. M., Adeola, O., 2016. Age-related energy values of bakery meal for broiler chickens determined using the regression method. *Poult. Sci.* 95, 1582–1590. <https://doi.org/10.3382/ps/pew046>
- Vogtmann, H., Pfirter, H. P., Prabucki, A. L., 1975. A new method of determining metabolisability of energy and digestibility of fatty acids in broiler diets. *Br. Poult. Sci.* 16, 531–534. <https://doi.org/10.1080/00071667508416222>
- Wang, M., Lu, M., 2016. Tilapia polyculture: a global review. *Aquac. Res.* 47, 2363–2374. <https://doi.org/10.1111/are.12708>
- Wu, Y. C., Kellems, R. O., Holmes, Z. A., Nakaue, H. S., 1984. The effect of feeding four fish hydrolyzate meals on broiler performance and carcass sensory characteristics. *Poult. Sci.* 63, 2414–2418. <https://doi.org/10.3382/ps.0632414>
- Zhang, F., Adeola, O., 2017. Energy values of canola meal, cottonseed meal, bakery meal, and peanut flour meal for broiler chickens determined using the regression method. *Poult. Sci.* 96, 397–404. <https://doi.org/10.3382/ps/pew239>

Table 1

Ingredient composition of starter diet fed from d 0 to 14 posthatch and experimental diets (reference and test diets) fed from d 14 to 21 posthatch.

| Item | Starter | Referenc | <i>Tenebrio molitor</i> | | Tilapia byproduct | |
|---|-----------|----------|-------------------------|----------|-------------------|----------|
| | diet | e | larvae meal | | meal | |
| | d 0 to 14 | 0 g/kg | 100 g/kg | 200 g/kg | 75 g/kg | 150 g/kg |
| Ingredients, g/kg | | | | | | |
| Maize | 534.4 | 536.1 | 479.7 | 423.2 | 493.8 | 451.5 |
| Soybean meal | 381.1 | 363.0 | 324.8 | 286.6 | 334.3 | 305.7 |
| Soybean oil | 41.0 | 50.9 | 45.5 | 40.2 | 46.9 | 42.9 |
| Dicalcium phosphate | 18.8 | 18.3 | 18.3 | 18.3 | 18.3 | 18.3 |
| Limestone | 10.9 | 9.7 | 9.7 | 9.7 | 9.7 | 9.7 |
| Salt | 3.7 | 5.1 | 5.1 | 5.1 | 5.1 | 5.1 |
| DL-Methionine | 3.3 | 2.9 | 2.9 | 2.9 | 2.9 | 2.9 |
| L-Lysine HCl | 3.1 | 1.6 | 1.6 | 1.6 | 1.6 | 1.6 |
| L-Threonine | 1.5 | 0.9 | 0.9 | 0.9 | 0.9 | 0.9 |
| Vit. and min. premix ¹ | 1.5 | 1.5 | 1.5 | 1.5 | 1.5 | 1.5 |
| Celite ² | 0.0 | 10.0 | 10.0 | 10.0 | 10.0 | 10.0 |
| Insect meal | 0.0 | 0.0 | 100.0 | 200.0 | 0.0 | 0.0 |
| Fish meal | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 75.0 | 150.0 |
| Calculated nutrient composition, g/kg or as shown | | | | | | |
| ME, MJ/kg | 12.85 | 12.98 | | | | |
| CP | 237.9 | 226.7 | | | | |
| Ca | 9.2 | 8.6 | | | | |
| P | 7.3 | 6.4 | | | | |
| Total amino acids | | | | | | |
| Arginine | 13.2 | 13.1 | | | | |
| Cysteine | 3.2 | 3.0 | | | | |
| Histidine | 6.7 | 5.9 | | | | |
| Isoleucine | 7.9 | 8.1 | | | | |
| Leucine | 18.9 | 16.2 | | | | |
| Lysine | 12.2 | 11.5 | | | | |
| Methionine | 6.1 | 5.7 | | | | |
| Phenylalanine | 12.0 | 9.8 | | | | |
| Threonine | 8.2 | 8.0 | | | | |
| Valine | 8.8 | 8.7 | | | | |
| Analyzed nutrient content | | | | | | |
| Crude protein, g/kg | - | 251.5 | 342.5 | 372.0 | 243.3 | 221.1 |
| GE, MJ/kg | - | 17.37 | 18.03 | 18.74 | 17.17 | 17.07 |

¹Composition per kilogram of feed: vitamin A, 9,000 IU; vitamin D₃, 2,500 UI; vitamin E, 20 IU; vitamin K₃, 2.5 mg; thiamine, 2 mg; riboflavin, 6 mg; pyridoxine, 3.8 mg; cyanocobalamin, 0.015mg, pantothenic acid, 12 mg; niacin, 35 mg; folic acid, 1.5 mg; biotin, 0.1 mg; iron, 40 mg; zinc, 80 mg; manganese, 80 mg; copper, 10 mg; iodine, 0.7 mg; selenium, 0.25 mg.

²Indigestible marker (Celite, Celite Corp., Lompoc, CA, US).

Table 2

Analyzed gross energy and chemical composition of insect meal and fish meal (as-is basis).

| Item, g/kg | <i>Tenebrio molitor</i> | Tilapia |
|---------------------------|-------------------------|----------------|
| | larvae meal | byproduct meal |
| DM | 959.0 | 962.0 |
| Gross energy, MJ/kg | 25.92 | 16.08 |
| Crude protein (N × 6.25) | 489.0 | 514.0 |
| Ether extract | 335.0 | 73.8 |
| Crude fiber | 66.5 | 0.3 |
| Ash | 40.4 | 320.0 |
| Calcium | 1.2 | 55.4 |
| Phosphorus | 6.3 | 41.0 |
| Indispensable amino acids | | |
| Histidine | 13.7 | 10.5 |
| Isoleucine | 27.3 | 19.5 |
| Leucine | 38.0 | 33.4 |
| Lysine | 28.9 | 31.1 |
| Methionine | 6.1 | 12.3 |
| Phenylalanine | 17.7 | 19.5 |
| Threonine | 19.1 | 21.4 |
| Valine | 29.6 | 23.3 |
| Dispensable amino acids | | |
| Alanine | 35.0 | 36.1 |
| Aspartic acid | 40.8 | 45.0 |
| Cysteine | 4.8 | 4.0 |
| Glutamic acid | 61.4 | 64.0 |
| Glycine | 23.2 | 55.3 |
| Proline | 28.7 | 35.0 |
| Serine | 20.3 | 20.7 |

1
2 **Table 3**
3 Growth performance of broiler chickens fed experimental diets containing insect meal or fish meal from d 14 to 21 posthatch.

| Item | Reference diet ^a | <i>Tenebrio molitor</i> larvae meal | | Tilapia byproduct meal | | SEM | <i>P</i> -value | | | |
|-----------------|-----------------------------|-------------------------------------|----------|------------------------|----------|------|-------------------------------------|------------------------|------------------------|-----------|
| | | 100 g/kg | 200 g/kg | 75 g/kg | 150 g/kg | | <i>Tenebrio molitor</i> larvae meal | | Tilapia byproduct meal | |
| | | | | | | | Linear ^b | Quadratic ^b | Linear | Quadratic |
| Initial BW, g | 555 | 553 | 552 | 551 | 553 | 0.84 | 0.3079 | 0.9014 | 0.3955 | 0.3928 |
| Final BW, g | 1,093 | 1,106 | 1,122 | 1,089 | 1,073 | 5.08 | 0.0225 | 0.9340 | 0.1307 | 0.5878 |
| Weight gain, g | 538 | 553 | 570 | 537 | 521 | 5.07 | 0.0138 | 0.9580 | 0.1757 | 0.4504 |
| Feed intake, g | 704 | 698 | 677 | 701 | 685 | 3.40 | 0.0125 | 0.3267 | 0.0961 | 0.4470 |
| Gain:Feed, g:kg | 765 | 792 | 842 | 766 | 760 | 7.54 | 0.0001 | 0.3849 | 0.8076 | 0.8249 |

4 ^aThe reference diet was isocaloric and isonitrogenous, however test diets used *Tenebrio molitor* larvae meal or tilapia byproduct meal to replace maize, soybean meal and
5 soybean oil at the same ratio.

6 ^bLinear and quadratic contrasts for insect meal and fish meal.
7

8 **Table 4**
 9 Ileal digestibility and total tract utilization of DM, nitrogen, and energy of broilers fed experimental diets containing insect meal or fish
 10 meal from d 14 to 21 posthatch.

| Item | Reference diet ^a | <i>Tenebrio molitor</i> larvae meal | | Tilapia byproduct meal | | SEM | <i>P</i> -value | | | |
|---------------------------------------|-----------------------------|-------------------------------------|----------|------------------------|----------|-------|-------------------------------------|------------------------|------------------------|-----------|
| | | 100 g/kg | 200 g/kg | 75 g/kg | 150 g/kg | | <i>Tenebrio molitor</i> larvae meal | | Tilapia byproduct meal | |
| | | | | | | | Linear ^b | Quadratic ^b | Linear | Quadratic |
| Ileal digestibility | | | | | | | | | | |
| Dry matter coefficient | 0.69 | 0.69 | 0.71 | 0.68 | 0.65 | 0.004 | 0.0341 | 0.2290 | 0.0147 | 0.5841 |
| Nitrogen coefficient | 0.82 | 0.82 | 0.83 | 0.78 | 0.79 | 0.004 | 0.0425 | 0.7081 | 0.0860 | 0.1522 |
| Energy coefficient | 0.73 | 0.74 | 0.75 | 0.73 | 0.72 | 0.030 | 0.1608 | 0.7108 | 0.1966 | 0.7535 |
| IDE, MJ/kg | 14.47 | 15.15 | 15.37 | 14.02 | 13.67 | 0.131 | 0.0287 | 0.4803 | 0.0132 | 0.8475 |
| Total tract metabolizability | | | | | | | | | | |
| Dry matter coefficient | 0.70 | 0.71 | 0.73 | 0.69 | 0.67 | 0.004 | 0.0002 | 0.1532 | 0.0165 | 0.8794 |
| Nitrogen coefficient | 0.61 | 0.64 | 0.65 | 0.61 | 0.61 | 0.007 | 0.0820 | 0.7385 | 0.7544 | 0.9424 |
| Energy coefficient | 0.76 | 0.77 | 0.78 | 0.75 | 0.74 | 0.003 | 0.0015 | 0.6239 | 0.3401 | 0.9738 |
| Nitrogen – correct energy coefficient | 0.71 | 0.71 | 0.73 | 0.70 | 0.69 | 0.003 | 0.0019 | 0.1976 | 0.0888 | 0.8617 |
| ME, MJ/kg DM | 14.91 | 15.70 | 15.97 | 14.47 | 14.27 | 0.127 | 0.0033 | 0.3384 | 0.0075 | 0.5306 |
| ME _n , MJ/kg DM | 13.98 | 14.62 | 14.89 | 13.50 | 13.18 | 0.126 | 0.0030 | 0.4347 | 0.0030 | 0.6786 |

11 ^aThe reference diet was isocaloric and isonitrogenous, however test diets used *Tenebrio molitor* larvae meal or tilapia byproduct meal to replace maize, soybean meal and
 12 soybean oil at the same ratio.

13 ^bLinear and quadratic contrasts for insect meal and fish meal

14

15 **Table 5**
 16 Ileal digestibility of amino acids of broilers fed experimental diets containing insect meal or tilapia meal from d 14 to 21 posthatch.

| Item | Reference diet ^a | <i>Tenebrio molitor</i> larvae meal | | Tilapia byproduct meal | | SEM | P-value | | | |
|---------------------------|-----------------------------|-------------------------------------|----------|------------------------|----------|-------|-------------------------------------|------------------------|------------------------|-----------|
| | | 100 g/kg | 200 g/kg | 75 g/kg | 150 g/kg | | <i>Tenebrio molitor</i> larvae meal | | Tilapia byproduct meal | |
| | | | | | | | Linear ^b | Quadratic ^b | Linear | Quadratic |
| Indispensable amino acids | | | | | | | | | | |
| Arginine | 0.915 | 0.909 | 0.932 | 0.865 | 0.823 | 0.083 | 0.0416 | 0.0624 | 0.0001 | 0.5911 |
| Histidine | 0.890 | 0.887 | 0.907 | 0.849 | 0.808 | 0.006 | 0.0252 | 0.0635 | 0.0001 | 0.9959 |
| Isoleucine | 0.859 | 0.849 | 0.875 | 0.815 | 0.760 | 0.007 | 0.1756 | 0.0869 | 0.0001 | 0.6074 |
| Leucine | 0.862 | 0.859 | 0.866 | 0.821 | 0.771 | 0.006 | 0.7080 | 0.1168 | 0.0001 | 0.6339 |
| Lysine | 0.901 | 0.897 | 0.923 | 0.846 | 0.806 | 0.007 | 0.0142 | 0.0395 | 0.0001 | 0.4624 |
| Methionine | 0.948 | 0.933 | 0.951 | 0.909 | 0.884 | 0.004 | 0.5371 | 0.0028 | 0.0001 | 0.3436 |
| Phenylalanine | 0.880 | 0.871 | 0.899 | 0.832 | 0.781 | 0.007 | 0.0590 | 0.0291 | 0.0001 | 0.9404 |
| Threonine | 0.839 | 0.828 | 0.863 | 0.792 | 0.749 | 0.007 | 0.0378 | 0.0217 | 0.0001 | 0.9036 |
| Valine | 0.857 | 0.862 | 0.894 | 0.814 | 0.767 | 0.007 | 0.0009 | 0.1031 | 0.0001 | 0.8864 |
| Dispensable amino acids | | | | | | | | | | |
| Alanine | 0.871 | 0.869 | 0.871 | 0.826 | 0.756 | 0.006 | 0.0011 | 0.0221 | 0.0001 | 0.8195 |
| Aspartic acid | 0.872 | 0.861 | 0.872 | 0.806 | 0.743 | 0.008 | 0.0733 | 0.0231 | 0.0001 | 0.9004 |
| Cysteine | 0.814 | 0.805 | 0.814 | 0.784 | 0.736 | 0.006 | 0.0483 | 0.0420 | 0.0001 | 0.4875 |
| Glutamic acid | 0.901 | 0.900 | 0.901 | 0.856 | 0.808 | 0.006 | 0.0855 | 0.0191 | 0.0001 | 0.7027 |
| Glycine | 0.844 | 0.837 | 0.844 | 0.800 | 0.758 | 0.006 | 0.0280 | 0.0351 | 0.0001 | 0.8806 |
| Proline | 0.867 | 0.866 | 0.867 | 0.825 | 0.777 | 0.006 | 0.0073 | 0.0797 | 0.0001 | 0.6668 |
| Serine | 0.866 | 0.852 | 0.866 | 0.824 | 0.779 | 0.006 | 0.1001 | 0.0176 | 0.0001 | 0.8530 |
| Total Amino acids | 0.880 | 0.868 | 0.895 | 0.829 | 0.780 | 0.006 | 0.0994 | 0.0143 | 0.0001 | 0.8175 |

17 ^aThe reference diet was isocaloric and isonitrogenous, however test diets used *Tenebrio molitor* larvae meal or tilapia byproduct meal to replace maize, soybean meal
 18 and soybean oil at the same ratio.

19 ^bLinear and quadratic contrasts for insect meal and fish meal.
 20

21 **Table 6**
 22 Regressions equations relating test ingredient-associated energy intake to intake of insect meal or fish meal.

| Item | Regression Equation | SE of Intercept ¹ | SE of Slope | P-value | r ² |
|-------------------------------------|-----------------------|------------------------------|-------------|---------|----------------|
| <i>Tenebrio molitor</i> larvae meal | | | | | |
| IDE ^a | $Y = 21.52x - 0.0234$ | 0.0771 | 0.6010 | 0.0001 | 0.981 |
| ME | $Y = 21.93x - 0.0189$ | 0.0795 | 0.6165 | 0.0001 | 0.980 |
| ME _n | $Y = 20.62x - 0.0241$ | 0.0936 | 0.7253 | 0.0001 | 0.970 |
| Tilapia byproduct meal | | | | | |
| IDE | $Y = 12.49x + 0.0264$ | 0.1129 | 0.1369 | 0.0001 | 0.781 |
| ME | $Y = 14.29x + 0.0152$ | 0.1006 | 0.1916 | 0.0001 | 0.855 |
| ME _n | $Y = 11.94x + 0.0109$ | 0.1140 | 0.1350 | 0.0001 | 0.763 |

23 ^aIDE = Ileal digestible energy.
 24

3 CONSIDERAÇÕES FINAIS

O uso de farinha de insetos na nutrição de aves pode ter um futuro promissor, devido a sua relação com a sustentabilidade das produções e por ser mais uma opção de ingrediente de fonte proteica. Esse é um ingrediente que pode ser utilizado quando necessário pela indústria e uma opção de obtenção interna de fontes proteicas para granjas de pequeno porte. A qualidade de uma farinha de larvas de inseto precisa ser estudada cada vez mais para atingirmos uma confiabilidade nas informações, como seus valores energéticos para frangos de corte, digestibilidade de seus nutrientes, e dos possíveis efeitos benéficos da quitina que ainda precisamos entender melhor, pois já sabemos que esse ingrediente é rico em proteína e gordura.

Ainda há um grande esforço necessário a ser realizado quanto à produção das larvas de *Tenebrio molitor*, que necessitam um sistema mais eficiente para produzir o inseto, mais informações são necessárias pois existe grande variabilidade delas, deixando incertezas no melhor método para obtenção da larva, os custos, a sistematização, e conseqüentemente sua composição e valor nutricional.

A farinha de subproduto de tilápia tem sua importância principalmente pelo crescimento do setor da aquicultura. Com a industrialização, parte desse processo cria matérias orgânicas que podem ser utilizadas na nutrição animal, reduzindo descarte ou processos para obtenção de um produto com boa qualidade, mas para isso devemos compreender que existem diferenças em cada espécie e procedimentos na obtenção da farinha. Necessitamos de uma padronização no processamento para manter os níveis nutricionais constantes da farinha, quais os níveis de inclusão e idade das aves para a utilização da farinha sem que haja redução do desempenho produtivo, quais os níveis que afetam os parâmetros sensoriais, e os efeitos de armazenamento desse ingrediente ao longo prazo.

A farinha de tilápia já é bastante utilizada em cooperativas e agroindústrias que são referências em produção de aves, suínos e peixes no Brasil, possui altos níveis de proteína e contribui com energia em dieta para frangos. Em geral, não afeta negativamente o desempenho das aves, porém ainda falta o conhecimento sobre sua digestibilidade, assim obtendo diferentes recursos na formulação, permitindo também indicar diferentes níveis de inclusão nas dietas para as diferentes fases de produção.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ABPA. **Associação Brasileira de proteína animal** – Relatório anual, 2020, Disponível em: http://abpa-br.org/wpcontent/uploads/2020/05/abpa_relatorio_anual_2020_portugues_web.pdf
Acesso em: 21 set. 2020 Brasil.
- Adámková, A., Mlček, J., Kouřimská, L., Borkovcová, M., Bušina, T., Adámek, M., ... Krajsa, J. (2017). Nutritional Potential of Selected Insect Species Reared on the Island of Sumatra. **International Journal of Environmental Research and Public Health**, 14(5), 521. doi:10.3390/ijerph14050521
- ALVES, A. V. et al. Food value of mealworm grown on *acrocomia aculeata* pulp flour. **PLoS ONE**, v. 11, n. 3, p. 1–11, 2016. doi: 10.1371/journal.pone.0151275
- BENZERTIHA, A. et al. Insect oil as an alternative to palm oil and poultry fat in broiler chicken nutrition. **Animals**, v. 9, n. 3, p. 1–18, 2019. doi: 10.3390/ani9030116
- BENZERTIHA, A. et al. *Tenebrio molitor* and *Zophobas morio* full-fat meals as functional feed additives affect broiler chickens' growth performance and immune system traits. **Poultry Science**, v. 99, n. 1, p. 196–206, 2020. doi: 10.3382/ps/pez450
- BIASATO, I. et al. Yellow mealworm larvae (*Tenebrio molitor*) inclusion in diets for male broiler chickens: Effects on growth performance, gut morphology, and histological findings. **Poultry Science**, v. 97, n. 2, p. 540–548, 2018. doi: 10.3382/ps/pe308
- BORRELLI, L. et al. Insect-based diet, a promising nutritional source, modulates gut microbiota composition and SCFAs production in laying hens. **Scientific Reports**, v. 7, n. 1, p. 1–11, 2017. Doi: 10.1038/s41598-017-16560-6
- BOVERA, F. et al. Yellow mealworm larvae (*Tenebrio molitor*, L.) as a possible alternative to soybean meal in broiler diets. **British Poultry Science**, v. 56, n. 5, p. 569–575, 2015. doi: 10.1080/00071668.2015.1080815
- COSTA, S. M. Proteínas de larvas de *Tenebrio molitor* : extração, caracterização e aplicação num produto alimentar (L.,1758). **Mestrado**, Lisboa, Portugal p. 1–79, 2017.
- DALE, N. M. et al. Nutrient value of tilapia meal. **Journal of Applied Poultry Research**, v. 13, n. 3, p. 370–372, 2004.
- DE MARCO, M. et al. Nutritional value of two insect larval meals (*Tenebrio molitor* and *Hermetia illucens*) for broiler chickens: Apparent nutrient digestibility, apparent ileal amino acid digestibility and apparent metabolizable energy. **Animal Feed Science and Technology**, v. 209, p. 211–218, 2015. doi: 10.1016/j.anifeedsci.2015.08.006
- EYNG, C. et al. Rendimento de carcaça e análise sensorial da carne de frangos alimentados com farinha de resíduo da filetagem de tilápia. **Ciencia e Agrotecnologia**, v. 37, n. 5, p. 451–456, 2013. Doi: 10.1590/S1413-70542013000500009.
- F. BOVERA, R. LOPONTE, S. MARONO, G. PICCOLO, G. PARISI, V. IACONISI, L.GASCO, A. N. ET AL. Use of *Tenebrio molitor* larvae meal as protein source in broiler

diet: Effect on growth performance, nutri. **Academic.Oup.Com**, v. 94, n. 2, p. 639–647, 2016. doi:10.2527/jas2015-9201

FAO. Insects as animal feed. *Magyar Allatorvosok Lapja*, v. 141, n. 2, p. 117–128, 2019.

FAO. The state of World Fisheries and Aquaculture (SOFIA): Contributing to food security and nutrition for all. Rome: **Food and Agriculture Organization**. 200 p. 2016.

FARSUL. **Federação gaúcha da agricultura do estado do Rio Grande do Sul**, Disponível em: <<https://www.farsul.org.br/farsul/custos-operacionais-totais-cresceram-mais-de-150p-em-dez-anos,373374.jhtml>> Acesso em: 21 set. 2020 Brasil.

GASCO, L. et al. Insect and fish by-products as sustainable alternatives to conventional animal proteins in animal nutrition. **Italian Journal of Animal Science**, v. 19, n. 1, p. 360–372, 2020. doi: 10.1080/1828051X.2020.1743209

HUSSAIN, I. et al. Meal worm (*Tenebrio molitor*) as potential alternative source of protein supplementation in broiler. **International Journal of Biosciences (IJB)**, v. 10, n. 04, p. 255–262, 2017. Doi: 10.12692/ijb/10.4.255-8

IDO, A. et al. Replacement of fish meal by defatted yellow mealworm (*Tenebrio molitor*) larvae in diet improves growth performance and disease resistance in red seabream (*Pargus major*). **Animals**, v. 9, n. 3, 2019. doi: 10.3390/ani9030100

ISLAM, M. M.; YANG, C. J. Efficacy of mealworm and super mealworm larvae probiotics as an alternative to antibiotics challenged orally with Salmonella and E. coli infection in broiler chicks. **Poultry Science**, v. 96, n. 1, p. 27–34, 2017. Doi: 10.3382/ps/pew220

JÓZEFIK, A. et al. Full-fat insect meals as feed additive – the effect on broiler chicken growth performance and gastrointestinal tract microbiota. **Journal of Animal and Feed Sciences**, v. 27, n. 2, p. 131–139, 2018. DOI: doi: 10.22358/jafs/91967/2018

JÓZEFIK, D. et al. Insects - A Natural Nutrient Source for Poultry - A Review. **Annals of Animal Science**, v. 16, n. 2, p. 297–313, 2016. Doi: <https://doi.org/10.1515/aoas-2016-0010>

KAR, S. K. et al. Protein, peptide, amino acid composition, and potential functional properties of existing and novel dietary protein sources for monogastrics. **Journal of Animal Science**, v. 94, n. 7, p. 30–39, 2016. doi: 10.2527/jas2015-9677

KARIMI, A. The effects of varying fishmeal inclusion levels (%) on performance of broiler chicks. **International Journal of Poultry Science**, v. 5, n. 3, p. 255–258, 2006. DOI: 10.3923/ijps.2006.255.258

KHEMPAKA, S. et al. Effect of Chitin in Shrimp Meal on Growth Performance and Digestibility in Growing Broilers. **Journal of Poultry Science**, v. 43, n. 4, p. 339–343, 2006. doi: 10.2141/jpsa.43.250

KOUTSOS, L.; MCCOMB, A.; FINKE, M. Insect Composition and Uses in Animal Feeding Applications: A Brief Review. **Annals of the Entomological Society of America**, v. 112, n. 6, p. 544–551, 2019. doi: 10.1093/aesa/saz033

LOPONTE, R. et al. Growth performance, blood profiles and carcass traits of Barbary partridge (*Alectoris barbara*) fed two different insect larvae meals (*Tenebrio molitor* and *Hermetia illucens*). **Research in Veterinary Science**, v. 115, p. 183–188, 2017. doi: 10.1016/j.rvsc.2017.04.017

MAIGUALEMA, M. A.; GERNAT, A. G. The effect of feeding elevated levels of tilapia (*Oreochromis niloticus*) by-product meal on broiler performance and carcass characteristics. **International Journal of Poultry Science**, v. 2, n. 3, p. 195–199, 2003. doi: 10.3923/ijps.2003.195.199

MARONO, S. et al. In vitro crude protein digestibility of *Tenebrio molitor* and *hermetia illucens* insect meals and its correlation with chemical composition traits. **Italian Journal of Animal Science**, v. 14, n. 3, p. 338–343, 2015. doi: 10.4081/ijas.2015.3889

MORALES-RAMOS, J. A. et al. Impact of Adult Weight, Density, and Age on Reproduction of *Tenebrio molitor* (Coleoptera: Tenebrionidae). **Journal of Entomological Science**, v. 47, n. 3, p. 208–220, 2012. doi: 10.18474/0749-8004-47.3.208

MOULA, N.; DETILLEUX, J. A meta-analysis of the effects of insects in feed on poultry growth performances. **Animals**, v. 9, n. 5, p. 1–13, 2019. doi: 10.3390/ani9050201

NOWAK, V. et al. Review of food composition data for edible insects. **Food Chemistry**, v. 193, p. 39–46, 2016. Doi: 10.1016/j.foodchem.2014.10.114

OONINCX, D. G. A. B. et al. An exploration on greenhouse gas and ammonia production by insect species suitable for animal or human consumption. **PLoS ONE**, v. 5, n. 12, p. 1–7, 2010. doi: 10.1371/journal.pone.0014445

LOPES, M. P. Farinha de insetos como fonte proteica em dietas para frangos de corte. 2019 (**Mestrado Ciência animal**) Universidade Federal do Piauí, Teresina, PI, 2019.

PEIXEBR. Anunário PeixeBr da Piscicultura. **Associação Brasileira de Piscicultura**, p. 138, 2019.

PONCE, L. E.; GERNAT, A. G. The effect of using different levels of tilapia by-product meal in broiler diets. **Poultry Science**, v. 81, n. 7, p. 1045–1049, 2002. doi: 10.1093/ps/81.7.1045

POSTE, L. M. A sensory perspective of effect of feeds on flavor in meats: poultry meats. **Journal of animal science**, v. 68, n. 12, p. 4414–4420, 1990. doi: 10.2527/1990.68124414x

ROSTAGNO, H. S., ALBINO, L. F. T., HANNAS, M. I., DONZELE, J. L., SAKOMURA, N. S., PERAZZO, F. G., SARAIVA, A., TEIXEIRA, M. L., RODRIGUES, P. B., OLIVEIRA, R. F., BARRETO, S. L. T., BRITO, C. O. Tabelas Brasileiras Para Aves e Suínos: Composição de Alimentos e Exigências Nutricionais. 4.ed. **Universidade Federal de Viçosa**: Departamento de Zootecnia. 488p. 2017

RUMSEY, G. L. Fish Meal and Alternate Sources of Protein in Fish Feeds Update 1993. **Fisheries**, v. 18, n. 7, p. 14–19, 1993.

SCHIAVONE, A. et al. Nutritional value of a partially defatted and a highly defatted black soldier fly larvae (*Hermetia illucens* L.) meal for broiler chickens: Apparent nutrient digestibility, apparent metabolizable energy and apparent ileal amino acid digestibility. **Journal of Animal Science and Biotechnology**, v. 8, n. 1, p. 1–9, 2017. doi: 10.1186/s40104-017-0181-5

WALDRUP et al., Effects of levels and sources on broiler growth rate and feed efficiency **Fish Meal Studies**. n. 1854, p. 1012–1016, 1964. doi: 10.3382/ps.0441012

SIERRA LOPERA, L. M. et al. Byproducts of aquaculture processes: Development and prospective uses. Review. **Vitae**, v. 25, n. 3, p. 128–140, 2018. Doi: 10.17533/udea.vitae.v25n3a03

SILVA, J. F. X. et al. Utilization of tilapia processing waste for the production of fish protein hydrolysate. **Animal Feed Science and Technology**, v. 196, p. 96–106, 2014. Doi: 10.1016/j.anifeedsci.2014.06.010

SINDIRAÇÕES. **Boletim informativo do setor** - Dezembro 2019. p. 1–4, 2019.

VAN BROEKHOVEN, S. et al. Growth performance and feed conversion efficiency of three edible mealworm species (Coleoptera: Tenebrionidae) on diets composed of organic by-products. **Journal of Insect Physiology**, v. 73, p. 1–10, 2015. doi: 10.1016/j.jinsphys.2014.12.005

WU, Y. C. et al. The Effect of Feeding Four Fish Hydrolyzate Meals on Broiler Performance and Carcass Sensory Characteristics. **Poultry Science**, v. 63, n. 12, p. 2414–2418, 1984. Doi: 10.3382/ps.0632414

WWF, Soya and the Cerrado: Brazil's forgotten jewel. 2011; Disponível em :< http://assets.wwf.org.uk/downloads/soya_and_the_cerrado.pdf > Acesso em: 24 mar. 2020 United Kingdom.

ZHAO, X. et al. Yellow mealworm protein for food purposes - Extraction and functional properties. **PLoS ONE**, v. 11, n. 2, p. 1–17, 2016. Doi: 10.1371/journal.pone.0147791

FAO. The State of World Fisheries and Aquaculture 2020. **Sustainability in action**. Rome. <https://doi.org/10.4060/ca9229en>

NRC. **National Research Council**, 1984. Nutrient Requirements of Poultry. 8th rev. ed. National Academy Press, Washington, DC.

NRC. **National Research Council**. 2012. Nutrient Requirements of Swine: Eleventh Revised Edition. Washington, DC: The National Academies Press. <https://doi.org/10.17226/13298>.

FEDNA. **Fundación Española para el desarrollo de la Nutrición Animal 2019**. Disponível em: < <http://www.fundacionfedna.org/tablas-fedna-composicion-alimentos-valor-nutritivo> > Acesso em 24 de março de 2020.