Universidade de São Paulo
Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz"

Energia metabolizável e digestibilidade de aminoácidos de coprodutos do etanol de milho para frangos de corte

Ana Beatriz Santos de Oliveira

Dissertação para obtenção do título de Mestra em Ciências. Área de concentração: Ciência Animal e Pastagens

Piracicaba
2019

Ana Beatriz Santos de Oliveira
Zootecnista

Energia metabolizável e digestibilidade de aminoácidos de coprodutos do etanol de milho para frangos de corte

versão revisada de acordo com a resolução CoPGr 6018 de 2011

Orientador:
Prof. Dr. **JOSÉ FERNANDO MACHADO MENTEN**

Dissertação apresentada para obtenção do título de Mestre em Ciências. Área de concentração: Ciência Animal e Pastagens

Piracicaba
2019

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação
DIVISÃO DE BIBLIOTECA – DIBD/ESALQ/USP

Oliveira, Ana Beatriz Santos de

Energia metabolizável e digestibilidade de aminoácidos de coprodutos do etanol de milho para frangos de corte/ Ana Beatriz Santos de Oliveira. - - versão revisada de acordo com a resolução CoPGr 6018 de 2011. - - Piracicaba, 2019.

59 p.

Dissertação (Mestrado) - - USP / Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz".

1. Aminoácido 2. Avicultura 3. DDG 4. DDGS 5. Energia 6. Nutrição I. Título

Agradecimentos

Primeiramente agradeço a Nossa Senhora, Deus e todos os anjos que sempre me iluminaram!

Agradeço a minha mãe, Maria de Lurdes, por ser tudo na minha vida. Ao meu pai, Paulo, por todos os momentos de carinho, apoio e compreensão. Aos meus avós, Luzia e José, por todo amor. E a toda minha família por todos os momentos de amor, paciência e descontração.

Ao meu orientador Profi José Fernando Machado Menten, que é uma pessoa na qual admiro muito, agradeço por ter dividido grande parte do seu tempo para me ouvir, ajudar e apoiar. Sempre com muita sabedoria, paciência e carinho!

Aos meus amigos Alvaro, Diana e Marcos, por tudooo!! Todo o apoio, carinho, brigas, parceria, motivação, conselhos, festas... Esses últimos anos vocês foram meu dia a dia, só tenho a gradecer!

As meninas de casa Beijin, Sté e Zê por toda a ajuda e suporte durante esses últimos anos. Aos amigos Vini, Shilton e Caio por todos os conselhos, almoços e festas. Ao pessoal da dança por todos os momentos de descontração. Aos velhos amigos Thales, Carla, Mel, Raissa, Natália, Cecis, Olavo, Min, Brunna, Bia, Dani, Grazi, Titi, Carlos e Paulo, pela amizade e por me acompanharem nessa caminhada a muitos anos.

Aos demais professores, colegas e funcionários do Departamento de Zootecnia que de forma direta ou indireta contribuíram para a conclusão deste trabalho.

SUMÁRIO

RESUMO 5
ABSTRACT 6
LISTA DE FIGURAS 7
LISTA DE TABELAS 8
1. INTRODUÇÃO 9
2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA 11
2.1. FRANGO DE CORTE 11
2.2. GRÃOS SECOS DE DESTILARIA COM SOLÚVEIS – DDGS 11
2.2.1. Importância e processamento 11
2.2.2. Interferência das características do grão de milho sobre a composição nutricional do DDGS 13
2.2.3. Nova tecnologia de biorefinamento e os coprodutos obtidos 15
2.2.4. Composição química dos diversos coprodutos e sua utilização em frangos de corte 18
2.3. ENERGIA METABOLIZÁVEL 20
2.4. DIGESTIBILIDADE DE AMINOÁCIDOS 22
3. OBJETIVOS 25
4. MATERIAL E MÉTODOS 27
4.1. LOCAL DOS EXPERIMENTOS 27
4.2. EXPERIMENTOS 27
4.2.1. Energia metabolizável aparente 27
4.2.2. Digestibilidade de aminoácidos 33
4.3. ANÁLISE ESTATÍSTICA 36
5. RESULTADOS E DISCUSSÃO 39
5.1. EXPERIMENTO DE ENERGIA METABOLIZÁVEL APARENTE DOS COPRODUTOS DA INDÚSTRIA DE ETANOL 39
5.2. EXPERIMENTO DE DIGESTIBILIDADE ILEAL ESTANDARDIZADA DE AMINOÁCIDOS DOS COPRODUTOS DA INDÚSTRIA DE ETANOL 42
6. CONCLUSÃO 51
REFERÊNCIAS 52

RESUMO

Energia metabolizável e digestibilidade de aminoácidos de coprodutos do etanol de milho para frangos de corte

A produção de etanol a partir do milho gera como coproduto o DDGS (*dried distillers grains with solubles*), que vem sendo usado na indústria de rações em muitos países. Esse coproduto corresponde a 30% dos grãos empregados na produção de etanol. Novos processos industriais resultaram em diferentes coprodutos. Partindo do fracionamento dos grãos antes da fermentação, são gerados os coprodutos DDG HP (alta proteína, sem solúveis) e FMS (farelo de milho, fração fibrosa com solúveis). Estes representam ingredientes de grande potencial para a dieta de frangos de corte, pois possuem elevada concentração energética, proteica e mineral. Para seu uso adequado na formulação de dietas, é necessária sua caracterização em composição química, valor energético e aminoácidos digestíveis. O objetivo do presente trabalho foi caracterizar o valor de energia metabolizável e de digestibilidade de aminoácidos de novos coprodutos da indústria de etanol produzidos no Brasil, comparando com coprodutos tradicionais de origem norte-americana. Para o ensaio de metabolismo foram utilizados 120 pintos de um dia, machos, da linhagem Ross AP95®. As aves foram alojadas em aviário convencional até 21 dias de idade, quando foram transferidas para gaiolas de metabolismo. O ensaio teve de um período de adaptação de sete dias, seguidos de quatro dias de coleta, segundo o método de coleta total de excretas. Foram utilizadas quatro dietas-teste e uma dieta referência, com quatro aves por gaiola e seis repetições, em delineamento inteiramente casualizado. As dietas-teste foram constituídas pela substituição parcial da dieta referência pelos ingredientes FMS, DDG HP brasileiro (DDG HPB), DDGS padrão americano (DDGS PA) e DDG HP padrão americano (DDG HPA). Foram calculados os valores de energia metabolizável aparente corrigida pela retenção de nitrogênio (EMAn) e do coeficiente de metabolizabilidade da energia (CM) de cada ingrediente. Para a determinação do coeficiente de digestibilidade ileal estandardizada de aminoácidos (CDIe) foram utilizados 360 pintos de um dia, machos, da linhagem Ross AP95®, alojados em 30 boxes contendo 10 aves por unidade experimental. O período experimental foi de seis dias, iniciando-se no 15º dia. Ao final deste período os frangos foram abatidos para a coleta do conteúdo ileal. Foram utilizados cinco tratamentos com seis repetições cada, consistindo de uma dieta livre de proteína e quatro dietas-teste contendo cada ingrediente como única fonte proteica. Todas as dietas continham 0,5% de óxido crômico como indicador. Os ingredientes foram analisados para os mesmos componentes, exceto o crômio. Para o cálculo dos CDIe foram utilizados os valores de perda endógena encontrados na dieta isenta de proteína. Foi utilizado o PROC GLM do SAS para análise estatística e comparação de médias pelo teste de Tukey-Kramer. Os produtos brasileiros têm composição distinta dos demais, sendo os teores de proteína bruta e fibra em detergente neutro de 13,3% e 38,9%, respectivamente, para o FMS e de 43,6% e 30,0%, respectivamente, para o DDG HPB na MS. Os ingredientes norte-americanos apresentaram valores intermediários de proteína bruta, sendo 25,6% para o DDGS PA e 35,0% para o DDG HPA. Os valores de EMAn do FMS, DDG HPB e DDG HPA foram semelhantes (2,550 – 2,590 kcal/g) e para o DDGS PA a EMAn foi de 2,260 kcal/g MS. O CM da energia do FMS foi superior ($p<0,05$) ao do DDGS PA, os outros ingredientes possuem valores intermediários. Comparando os CDIe dos aminoácidos essenciais dos ingredientes que contêm solúveis, os valores forem superiores ($p<0,05$) para Met, Thr, Val, Ile, Leu, Arg e Phe do DDGS PA em relação ao FMS. Para os DDG HP foram encontrados maiores CDIe para Thr, Val, Ile, Leu e Phe do DDG HPA em comparação ao DDG HPB. Os valores de CDIe dos aminoácidos do DDGS PA determinados neste estudo foram muito próximos da média encontrada na literatura. Conclui-se que para fins de formulação de rações, valores de EMAn na matéria natural de 2,439 kcal/g para o FMS e 2,530 kcal/g para o DDG HPB podem igualmente ser usados com segurança. Os coprodutos que contém solúveis em sua composição possuem um maior aporte de aminoácidos digestíveis quando comparados ao milho e os coprodutos de elevado teor proteico se destacam principalmente pela quantidade de metionina, mesmo este não sendo um aminoácido de destaque do grão de milho.

Palavras-chave: Aminoácidos, Avicultura, DDG, DDGS, Energia, Nutrição

ABSTRACT

Metabolizable energy and standardized ileal digestible amino acid contents of corn ethanol coproducts fed to broiler chicks

The production of ethanol from corn generates as a co-product DDGS (dried distillers grains with solubles), which has been used in the feed industry in many countries. This co-product corresponds to 30% of the grains used in ethanol production. The application of new industrial processes in ethanol production have originated different co-products. When the industry fractionates the grains before fermentation, the DDG HP (high protein, without solubles) and CBS (corn bran, fibrous fraction with solubles) co-products are generated. These represents ingredients of great potential for broiler diets, as they have high energy, protein and mineral concentration. For its proper use in diet formulation, its characterization regarding chemical composition, energy value and digestible amino acids is mandatory. The objective of the present study was to characterize the nutritional value of metabolizable energy and amino acid digestibility of the aforementioned new co-products from the ethanol industry produced in Brazil, compared with traditional North American co-products. For the metabolism assay, 120 male day-old Ross AP95® chicks were used. The birds were housed in conventional poultry house until 21 days old, when they were transferred to metabolism cages. The trial consisted of an adaptation period of seven days, followed by four days of collection, according to the total excreta collection method. Four test diets and one reference diet were used, with four birds per cage and six replications, in a completely randomized design. The test diets consisted of partial replacement of the reference diet by the ingredients CBS, Brazilian DDG HP (DDG-HPB), American Standard DDGS (DDGS-AS) and American Standard DDG (DDG-HPA). Apparent metabolizable energy corrected to nitrogen (AMEn) and energy metabolizability coefficient (CM) values of each ingredient were calculated. To determine the standardized ileal amino acid digestibility coefficient (SIDC), 360 male one-day Ross AP95® chicks were housed in 30 boxes containing 10 birds per experimental unit. The experimental period was six days, beginning on the 15th day. At the end of this period the chickens were euthanized to collect the ileal content. Five treatments with six replications each were used, consisting of a protein free diet and four test diets containing each ingredient as the sole protein source. All diets contained 0.5% chromic oxide as the indicator. The ingredients were analyzed for the same components except chromium. For the calculation of the SIDC, the endogenous loss values found in the protein-free diet was used. Generalized linear models (PROC GLM) of SAS was used for statistical analysis and Tukey-Kramer test was used for means comparison. Brazilian products have a different composition compared to traditional co-products, with crude protein and neutral detergent fiber content of 13.3% and 38.9%, respectively, for CBS and 43.6% and 30.0%, respectively, for DDG-HPB at MS. The US ingredients presented intermediate values of crude protein, being 25.6% for DDGS-AS and 35.0% for DDG-HPA. The CBS AMEn, DDG-HPB and DDG-HPA values were similar (2.550 - 2.590 kcal / g) and for DDGS-AS the AMEn was 2.260 kcal / g MS. The CBS energy CM was higher ($p < 0.05$) than DDGS-AS, the other ingredients have intermediate values. Comparing the SIDC of the essential amino acids of the solubles containing ingredients, the values are higher ($p < 0.05$) for DDGS-AS for Met, Thr, Val, Ile, Leu, Arg and Phe than CBS. For the HP DDG were higher SIDC for the DDG-HPA Thr, Val, Ile, Leu and Phe compared to the DDB-HPB. The SIDC values of DDGS-AS amino acids determined in this study were very close to the average found in the literature. In conclusion, co-products that contain solubles in their composition have a higher intake of digestible amino acids when compared to corn and the high protein co-products stand out mainly for the amount of methionine, even though this is not a prominent amino acid of corn grain. Furthermore, for feed formulation purposes, AMEn values as-fed basis of 2,439 kcal/g for CBS and 2,530 kcal/g for DDG-HPB can also be safely used.

Keywords: Amino acids, DDG, DDGS, Energy, Nutrition, Poultry

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Diagrama de fluxo do processo moagem seca para a produção de bioetanol de milho. Fonte: Adaptado de Chatzifragkou e Charalampopoulos, 2018. 12

Figura 2. Anatomia do milho e suas partes. Fonte: Paes (2006). 14

Figura 3. Tipos de milho e as relativas proporções de gérmen, endosperma vítreo e farináceo. Fonte: Paes (2006). 15

Figura 4. Anatomia do grão de milho. Fonte: US Grains Council, 2012. 16

Figura 5. Diagrama de fluxo do processo moagem seca com fracionamento frontal para a produção de bioetanol de milho. Fonte: FS Bioenergia 17

Figura 6. Diagrama de fluxo do aproveitamento da energia dos alimentos pelos os monogástricos (Sakomura e Rostagno, 2016). 21

Figura 7. Fracionamento da perda endógena Fonte: Adaptado de Adeola et al., 2016. 23

Figura 8. Alojamento de pintos de corte em aviário convencional no período de 1 a 21 dias (Fonte: Arquivo pessoal). 28

Figura 9. Sala de metabolismo com baterias metálicas e frangos alojados (Fonte: Arquivo pessoal). 29

Figura 10. Aves recebendo as dietas com adição de 1% de óxido de ferro (Fonte: Arquivo pessoal). 31

Figura 11. Limpeza das impurezas das bandejas (Fonte: Arquivo pessoal). 31

Figura 12. Preparação da amostra para a pré-secagem em estufas de circulação forçada de ar a 65 °C por 72 horas (Fonte: Arquivo pessoal). 32

Figura 13. Galpão de desempenho com as aves alojadas (Fonte: Arquivo pessoal). 34

Figura 14. Corte do intestino no segmento do terço distal do íleo até um centímetro da junção ileocecal e coleta do conteúdo ileal com o auxílio de água destilada (Fonte: Arquivo pessoal). 36

Figura 15. Valores de energia bruta e energia metabolizável aparente corrigida pelo balanço de nitrogênio na matéria seca, dos produtos estudados e para os valores médios encontrados na literatura. Fonte: DDGS Literatura, n= 33, Meloche et al., 2013, Meloche et al., 2014, Rochell et al., 2011, Adeola e Zhai, 2012; DDG HP Literatura, n=8, Meloche et al., 2014 e Rochell et al., 2011. 41

Figura 16. Valores médio, mínimo e máximo dos coeficientes de digestibilidade ileal estandardizada de DDGS da literatura. Fonte: DDGS Literatura, n= 17, Adedokun et al. (2009); Adedokun et al. (2015); Adedokun et al. (2008); Kim et al. (2011) e Kim et al. (2012). 48

LISTA DE TABELAS

Tabela 1. Valor estimado do etanol de milho – R$/ litro de etanol anidro, livre de impostos, com variação por demanda. 13

Tabela 2. Variação na composição química dos grãos de milho relacionados com os tipos de vitreosidade do milho brasileiro e americano. 15

Tabela 3. DDGS coproduto da fabricação de bioetanol e sua composição na matéria natural. 18

Tabela 4. Coproduto aprimorados da fabricação de bioetanol e sua composição na matéria natural. 19

Tabela 5. Composição da ração inicial (1 a 21 dias) 28

Tabela 6. Composição da dieta referência (21 a 32 dias) utilizada no experimento de energia metabolizável. 30

Tabela 7. Composição da ração inicial (1 a 15 dias) utilizada no experimento de digestibilidade de aminoácidos. 33

Tabela 8. Composição da dieta isenta de proteína e das dietas teste usadas no experimento de digestibilidade de aminoácidos. 35

Tabela 9. Desempenho dos frangos de corte no ensaio de metabolismo de 28 a 32 dias. Valores correspondentes a quatro aves por gaiola no período. 39

Tabela 10. Composição dos ingredientes – valores expressos na matéria natural. 40

Tabela 11. Energia metabolizável aparente corrigida pelo balanço de nitrogênio (EMAn) expressa na matéria seca (MS) e na matéria natural (MN) e coeficiente de metabolizabilidade da energia do FMS, do DDGS Padrão Americano, do DDG HP Brasileiro e do DDG HP Padrão Americano. Valores são média ± erro padrão da média (EPM). 40

Tabela 12. Composição dos aminoácidos dos ingredientes – valores expressos na matéria natural. 43

Tabela 13. Composição em aminoácidos das dietas utilizadas no experimento de digestibilidade ileal estandardizada de aminoácidos. Valores analisados, na matéria natural. 43

Tabela 14. Valor das perdas endógenas de aminoácidos encontrados pela técnica de digestibilidade ileal estandardizada, a partir da utilização da dieta isenta de proteína deste trabalho e da literatura 44

Tabela 15. Coeficientes de digestibilidade aparente dos aminoácidos (CDIa) e conteúdo de aminoácidos digestíveis aparente (AADA) dos ingredientes de estudo expresso na matéria seca (MS). 45

Tabela 16. Coeficientes de digestibilidade estandardizada dos aminoácidos (CDIe) e conteúdo de aminoácidos digestíveis estandardizados (AADE) dos ingredientes de estudo expresso na matéria seca (MS). 47

Tabela 17. Comparação do aporte de aminoácidos digestíveis em relação a soma dos aminoácidos do Farelo de milho com solúveis e o DDGS com o milho (7%) e conteúdo de aminoácidos digestíveis estandardizados (AADE), expresso na matéria seca (MS). 50

Tabela 18. Comparação do aporte de aminoácidos digestíveis em relação a soma dos aminoácidos dos DDG brasileiro e americano com o farelo de soja (45%) e conteúdo de aminoácidos digestíveis estandardizados (AADE), expresso na matéria seca (MS). 50

1. INTRODUÇÃO

A avicultura teve um grande avanço nas últimas décadas em função das melhorias nas áreas de genética, nutrição, sanidade, ambiência e manejo. Transformando-se em uma atividade de grande importância econômica e social. Devido a essa evolução, as aves se tornaram mais exigentes ao ponto de vista nutricional, requerendo continuo desenvolvimento e pesquisa na área, afim de permitir que as aves expressem todo o seu potencial produtivo (Cardoso e Tessari, 2015).

A alimentação representa 70% dos custos na produção avícola, assim medidas que aprimoram a formulação da ração, agregam lucro para o setor (Caetano et al., 2015). Com intuito de melhorar a eficiência da utilização dos alimentos, os nutricionistas têm a preocupação de formular rações para que as aves alcancem melhor desempenho de forma econômica, evitando deficiência ou excesso de nutrientes nas rações (Mello et al., 2009). Dessa maneira o conhecimento da composição química dos alimentos é essencial para a formulação da dieta (Scotta et al., 2016).

Utilizar alimentos alternativos na dieta de frangos de corte é uma prática comum, objetivando na redução do custo das rações (Frank et al., 2016), além de evitar a poluição ambiental que poderia ser causada caso esses remanescentes fossem descartados no meio ambiente (Scapim et al., 2003; Mazzuco, 2011).

Na produção do etanol a base de milho pela via seca, pode se obter um coproduto denominado grãos secos de destilaria com solúveis (Dried Distillers Grains with Solubles - DDGS) e quando não adicionado os solúveis em sua composição se tem os grãos secos de destilaria (Dried Distillers Grains – DDG). Estes coprodutos possuem concentração de proteína, lipídeo e fibra três a quatro vezes maiores que a do milho, o que pode ser atribuído pela maior parte do amido ser convertida em etanol durante o processo de fermentação (Salim et al. 2010).

Ambos os produtos possuem um grande potencial nutricional. Parâmetros como composição de nutrientes, digestibilidade e perfis de aminoácidos e minerais foram investigados por diversos grupos de pesquisa, que constataram ser um fator limitante na utilização destes coprodutos na alimentação animal a variação na sua composição nutricional (Noll et al., 2007; Dale e Batal, 2006). As variações ocorrem devido o tipo de matéria prima, processamento do biorefinamento e pela proporção de inclusão de solúveis ao DDGS (Spiehs et al., 2002; Shurson e Alghamdi, 2008). Assim para melhor utilizá-lo em dietas para animais de produção, surge o interesse de padronizar e melhorar a qualidade desse coproduto.

O valor nutritivo do alimento está diretamente relacionado com sua composição química e energética. O conhecimento dos valores energéticos e dos coeficientes de digestibilidade dos aminoácidos dos ingredientes utilizados nas dietas de frangos é indispensável para a formulação de rações com níveis nutricionais adequados, sem excessos ou deficiências, permitindo uma maior produtividade e rentabilidade para atividade avícola (Mello et al., 2009; Fernandes et al, 2015).

A energia é o componente mais caro na ração de frangos de corte, por isso, é fundamental se conhecer o valor energético dos alimentos que compõe a ração, favorecendo a formulação de dietas a um menor custo, sem prejudicar o desempenho (Penz et al.,1999). A ingestão de alimentos pelas aves é regulada pelo conteúdo de energia metabolizável aparente (EMA) da dieta, pois estes animais se alimentam para suprir suas exigências energéticas, isso ocorre principalmente em sistemas no qual a alimentação é *ad libitum* (Freitas et al., 2006). Assim para garantir uma dieta adequada é necessário fornecer energia em quantidade apropriada para as aves.

Os aminoácidos que compõem a proteína dos ingredientes não se encontram totalmente disponíveis para a absorção. Em função disso, estudos são realizados para verificar a digestibilidade dos aminoácidos nos ingredientes, para que estes tenham um melhor aproveitamento (Junqueira et al., 2009).

O equilíbrio entre os aminoácidos da dieta pode comprometer o desempenho dos frangos de corte quando não estão corretamente balanceados, pois em níveis baixos podem causar deficiência (Fernandes, 2012; Silvia et al., 2008) e níveis altos podem promover uma carga excessiva de aminoácidos na circulação sanguínea, exigindo um gasto extra de energia para serem metabolizados, sendo excretado ao invés de serem utilizado na deposição muscular, na forma de ácido úrico (Neto e Oliveira, 2009).

O objetivo do presente trabalho foi caracterizar o valor nutricional em termos de energia metabolizável (EMAn) e de digestibilidade de aminoácidos de novos coprodutos da indústria de etanol produzidos no Brasil, comparando com coprodutos tradicionais de origem norte americana.

2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1. FRANGO DE CORTE

No Brasil, as principais cadeias produtivas do setor de carne são as de carne avícola, bovina e suína. A carne de frango se consolidou como a de maior consumo no Brasil, além de um terço da produção nacional de frango ser exportado (OCDE - FAO, 2015). Segundo as Projeções do Ministério da Agricultura (2018), o setor de carnes do Brasil irá apresentar um grande crescimento nos próximos anos, liderado pela produção de carne de frango, com uma expectativa de crescimento de 2,6% ao ano no período 2017/18 a 2027/28, acarretando em um aumento de 28,8% no consumo para os próximos 10 anos.

O consumo de carne de frango projetado para 2027/28 no Brasil é de 12,2 milhões de toneladas, totalizando 56,7 kg per capita ao final desse período. Em relação a exportação existe expectativa de crescimento de 3% ao ano no período 2017/18 a 2027/28. Para a carne de frango o Brasil fica em primeiro lugar nas exportações, seguido pelos Estados Unidos e União Europeia (Ministério da Agricultura, 2018).

Com o cenário da produção brasileira de frangos de corte sendo um grande complexo agroindustrial (Nazareno et al., 2016), o fornecimento de proteína animal a baixo custo associado à melhoria genética das aves, tem gerado um moderno processo de criação e industrialização deste mercado (Richetti e Santos, 2011).

2.2. GRÃOS SECOS DE DESTILARIA COM SOLÚVEIS – DDGS

2.2.1. Importância e processamento

O milho é um ingrediente de elevada produtividade e com potencial de desenvolvimento de inúmeros novos produtos. Existindo diversos processos que são empregados para melhorar o seu uso alimentício e industrial. A utilização de milho para produção de bioetanol está em expansão, visto que nos últimos anos ampliou-se a demanda pela produção de combustíveis limpos e estes despertaram na indústria o interesse por novas tecnologias para atender esse mercado ascendente (Strazzi, Sueli 2015).

Segundo o departamento de energia dos EUA, os Estados Unidos e o Brasil foram responsáveis, respectivamente, por 59% e 26% da produção mundial de etanol no ano de 2017 (Renewable Fuels Association, 2019). O Brasil é referência mundial na produção sustentável e eficiente do etanol, entretanto a matéria prima utilizada é a cana-de-açúcar, diferente dos EUA que utilizam o milho (BNDES e CGEE, 2008). Porém, no Brasil já estão implantadas e em fase de implantação novas indústrias de produção de etanol à base de milho.

A produção do etanol à base de milho se dá a partir fermentação do amido presente no grão. A utilização do milho como matéria-prima para a produção de etanol requer um menor investimento e resulta em maior rendimento quando realizada a via seca, que é a via mais comum (82%), comparada à via úmida (18%) (Belyea et al., 2004; Cinelli, 2012). A diferença entre o processo da via úmida e seca é que a via úmida utiliza o acondicionamento, cuja finalidade é aumentar a eficiência da separação dos grânulos de amido, gérmen e fibra por meio da incorporação de água ao grão (Alves et al., 2012).

A via úmida resulta em variados coprodutos, tais como: proteínas, gás carbônico (CO_2) e óleo de milho. Nesse processo o óleo é o produto de maior importância, obtendo-se um total de 34-38 kg para cada tonelada de milho. O amido é a fração de maior volume e é utilizado principalmente na produção de bioetanol, cujo rendimento

é de 440 litros por tonelada seca de milho. Ademais, a via úmida requer equipamentos caros e um grande capital de investimento, além de uma área de implantação maior quando comparada à via seca (BNDE/CGEE, 2008).

O grão do milho contém grandes moléculas de polissacarídeos (amido), que são carboidratos constituídos de unidades de glicose, que interagem entre si e formam pacotes compactados de carboidrato com baixa solubilidade em água. Por isso, é preciso degradar o amido e transformá-lo em açúcares solúveis (glicose e maltose) que serão usados na fermentação para gerar o álcool. O processo de fermentação é feito em três etapas: preparo do substrato, fermentação e destilação (Figura 1) (Liu, 2011).

No preparo do substrato, o milho é tratado para que dele se obtenham os açúcares. Isso acontece através da adição de água para formar uma pasta, com auxílio das enzimas alfa-amilase (liquefação). Posteriormente, glicoamilases são adicionadas para clivar a glicose das cadeias de amilopectina (sacarificação) (Cinelli, 2012).

Na fermentação, os carboidratos são transformados em álcool e dióxido de carbono pela ação da levedura *Saccharomyces cerevisiae*. Após a fermentação, o produto passa por uma destilação e por peneiras moleculares que ajudam a remover a água, resultando no etanol (Bregendahl, K., 2008; Yu, 2011).

A água e os sólidos que foram separados do etanol são denominados vinhaça. A vinhaça é então centrifugada e separada em grãos úmidos e vinhaça fina. Os solúveis são resultado da vinhaça fina após a evaporação e posteriormente serão incorporados aos grãos úmidos, formando uma mistura úmida, que passará por uma secagem e dará origem aos grãos secos de destilaria com solúveis, o "DDGS" (Corassa et al., 2017; Chatzifragkou e Charalampopoulos, 2018).

O principal produto da via seca é o bioetanol, apresentando um rendimento de 460 litros de etanol anidro, e seu coproduto é o DDGS, com rendimento de 380 kg para cada tonelada seca desta matéria prima (Alves et al., 2012; Cinelli, 2012).

Figura 1. Diagrama de fluxo do processo moagem seca para a produção de bioetanol de milho. Fonte: Adaptado de Chatzifragkou e Charalampopoulos, 2018.

A Association of American Feed Control Officials (AAFCO) define o DDGS como o produto obtido após a fermentação de grãos (milho, sorgo, trigo e cevada) usando leveduras, neste processo o etanol é removido

logo após a destilação. Este produto contém todas as partes do grão que não retornam ao etanol durante a fermentação deste, correspondendo a aproximadamente 30% do cereal empregado. As concentrações dos solúveis aos grãos úmidos são variadas e com isso, também há uma variação no teor de nutrientes (Shurson e Alghamdi, 2008).

Com a produção de etanol em larga escala, a exploração de DDGS como ingrediente na ração animal é uma realidade para garantir a sustentabilidade e a viabilidade da indústria do bioetanol. Embora a indústria tenha um acréscimo no custo de energia devido ao processo de secagem do DDGS, para que seja alcançado 10% de umidade, este custo é diluído com a venda do coproduto, a qual reduz o custo da produção do etanol de milho (Tabela 1) (Chatzifragkou e Charalampopoulos, 2018).

Tabela 1. Valor estimado do etanol de milho – R$/ litro de etanol anidro, livre de impostos, com variação por demanda.

R$/saca	Custo (sem DDGS) R$/litro	Valor do DDGS R$/ton.	Custo (com DDGS) R$/litro
30,11	1,65	370,63	1,13
34,86	1,48	621,45	0,96
39,89	2,58	793,95	1,92

Fonte: Agricultural Marketing Resource Center, Weekly Ethanol, Distillers Grain and Corn Prices. Taxa de Câmbio: R$3,95/US$. https://www.ams.usda.gov/mnreports/sj_gr113.txt

Atualmente nos EUA o DDGS passou a ser um produto economicamente tão relevante quanto o etanol. Desde 2013 o DDGS se tornou um produto muito demandado para a formulação da dieta animal, pois a falta de proteína vegetal devido ao baixo estoque de soja fez a demanda pelo produto crescer. No mercado interno dos EUA o DDGS hoje é uma commodity que compõe 25% da ração de suínos e 20% da ração de bovinos no país, e a utilização deste produto vem crescendo ano após ano (Schöne, 2015).

2.2.2. Interferência das características do grão de milho sobre a composição nutricional do DDGS

O teor de nutrientes do DDGS se caracteriza por ter uma longa história de variabilidade e inconsistência. Para melhor utilizá-lo na dieta para os animais de produção é necessário de padronizar e melhorar a qualidade desse coproduto. Essa variabilidade e inconsistência podem ser causadas pela natureza da matéria prima, já que há diferenças de composição dos grãos, mas também ocorrem diferenças entre as usinas de produção ou mesmo entre lotes da mesma fábrica, pois não existe uma regulação quanto à proporção da mistura dos solúveis aos grãos úmidos (Belyea et al, 1998; Martinez-Amezcua et al, 2007; Kingsly et al, 2010; Liu et al., 2011; Loar II, 2011).

Em um estudo realizado por Jie et al. (2013) foi analisada a composição de 30 DDGS. As amostras selecionadas variaram em conteúdo (na base de matéria natural) de extrato etéreo de 1,43 a 15,08%, hemicelulose variou de 25,39 a 44,78%, fibra em detergente neutro (FDN) variou de 40,24 a 61,30% e a fibra em detergente ácido (FDA) variou de 10,32 a 26,04%, o teor de proteína bruta das amostras variou de 23,30 a 30,61% e o teor cinza variou de 1,98 a 7,72%.

A matéria prima mais utilizada na atualidade para obtenção do DDGS é o grão de milho. No entanto, algumas usinas de etanol usam outros tipos de grãos, como o sorgo, ou misturam milho com cevada, trigo ou sorgo para produzir etanol e seus coprodutos (Osho et al., 2018; Cinelli, 2012; Chatzifragkou e Charalampopoulos, 2018). O grão de milho é composto por quatro estruturas principais: endosperma, embrião ou gérmen, pericarpo e ponta

(Figura 2), os quais podem variar quanto à composição química e a organização no interior do grão (Borém e Rios, 2011).

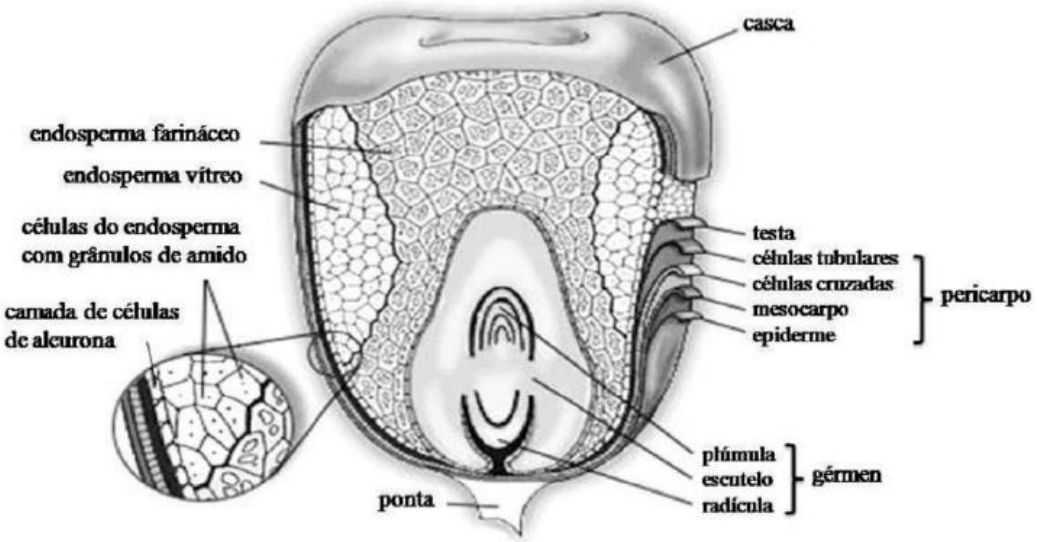


Figura 2. Anatomia do milho e suas partes. Fonte: Paes (2006).

Essas quatro estruturas podem ter sua concentração variada dependendo do tipo de milho. Um parâmetro importante para a classificação dos grãos de milho é a vitreosidade, que está relacionado com a sua textura. Essa classificação remete à aparência do grão, a qual é importante para produtores e beneficiadores de grãos de milho pelo fato da textura estar associada com a densidade, digestibilidade, suscetibilidade ao ataque de pragas e doenças e à quebra durante o processo de beneficiamento e armazenamento (Paes, 2006; Cantarelli et al., 2007; Borém e Rios 2011).

A avaliação da vitreosidade está relacionada com a proporção de endosperma vítreo e farináceo, e se obtém através da relação entre o endosperma vítreo e o total. A vitreosidade pode apresentar variações conforme a posição dos grãos na espiga. Assim, por meio dessa avaliação, o milho pode ser classificado em duro, dentado, semiduro e semidentado (Paes, 2006; Cantarelli et al., 2007).

No Brasil, a maior parte do milho utilizado é do tipo duro, enquanto que em países de clima temperado predomina o tipo dentado. O milho do tipo duro é caracterizado pelo volume contínuo de endosperma vítreo, resultando em grãos lisos e arredondados com aparência dura e vítrea. Este contém 82% de endosperma, 10,3% de gérmen e 7,7% de pericarpo e ponta (Komatsu, 2018).

Por outro lado, o milho dentado possui endosperma farináceo concentrado na região central do grão, entre a ponta e o extremo superior. Nas laterais dessa faixa e no verso do grão está localizado o endosperma vítreo. Durante a secagem do grão, o encolhimento do endosperma farináceo resulta na formação de uma indentação na parte superior do grão, caracterizando-o como dentado (Paes, 2006; Borém e Rios, 2011). Este possui 82,8% de endosperma, 9,8% de gérmen e 7,4% de pericarpo e ponta (Komatsu, 2018) (Figura 3).

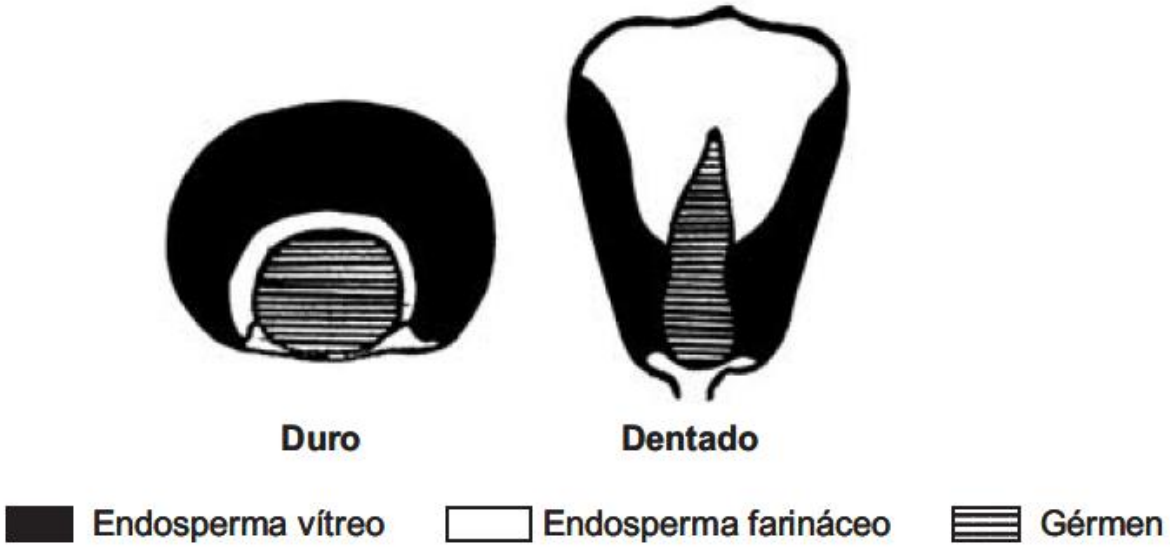


Figura 3. Tipos de milho e as relativas proporções de gérmen, endosperma vítreo e farináceo. Fonte: Paes (2006).

Quando comparamos o tipo de milho encontrado nos EUA com o do Brasil, é possível verificar uma variação na composição química dos grãos de milho (Tabela 2). Isso está relacionado com a características do material genético, solo, adubação, condições climáticas e estágio de maturação da planta, pois cada país adota uma prática de plantio. Essa mudança na composição química do material de partida afeta diretamente a composição do coproduto desejado (Kato, 2005; Troni et al., 2016).

Tabela 2. Variação na composição química dos grãos de milho relacionados com os tipos de vitreosidade do milho brasileiro e americano.

Parâmetros, % MN	Componente estrutural					
	Endosperma		Gérmen		Pericarpo e ponta	
	Duro	Dentado	Duro	Dentado	Duro	Dentado
Matéria seca	88,84	88,47	91,52	91,08	88,51	88,66
Proteína bruta	5,78	5,24	19,05	19,38	4,05	4,75
Extrato Etéreo	1,38	1,14	35,47	26,81	1,14	2,63
FDN	5,49	4,98	30,35	32,47	95,03	89,8
FDA	0,86	0,85	10,24	12,87	24,6	23,98
Fibra bruta	1,42	1,58	23,75	18,3	20,79	24,39
Cinza	0,2	0,41	8,66	9,49	1,08	1,21

Fonte: Adaptado de Komatsu (2018).

2.2.3. Nova tecnologia de biorefinamento e os coprodutos obtidos

A escolha do material de partida é um fator determinante para a composição final do DDGS. A variação no processo de produção de DDGS entre as usinas afeta diretamente a composição química do coproduto. A alteração do DDGS também pode acontecer dentro da usina, já que a proporção da adição de solúveis aos grãos úmidos pode variar. A taxa de adição de solúveis pode ser de 0, 12, 25 e 42 galões/min, sendo incluído em uma relação de 0, 30, 60 e 100% dos solúveis (Shurson e Alghamdi, 2008). Quanto mais solúveis, maior é a quantidade de óleo e minerais do produto, e o tamanho da partícula do DDGS. Outras variações são quanto ao processo de secagem térmica que ocorre na fase final da sua produção para reduzir o teor de umidade, a qual pode ser diferente

de usina para usina, além da temperatura de secagem, pois esta muda dependendo da quantidade de solúveis no coproduto (Noll et al., 2007).

Também há mudança no processo quanto ao avanço nas tecnologias de biorefinamento. A alteração no processamento para obtenção de etanol acontece com o intuito de melhorar a eficiência da utilização dos coprodutos na produção animal, e porque nos últimos anos se tornou de extrema importância a busca pela padronização do método de produção e da composição dos coprodutos (Shurson, 2009).

Um dos processos mais utilizados na intenção de melhorar esses coprodutos é denominado de fracionamento frontal, onde ocorre uma implantação do processo por via úmida ao processamento por via seca. Essa mudança está presente no início do processo, sendo incorporada uma etapa de cozimento e fracionamento do grão de milho em três componentes: endosperma, germe e farelo (ponta e pericarpo) (Figura 4). Essa mudança gera novos coprodutos e um maior rendimento de etanol (Chatzifragkou e Charalampopoulos, 2018).

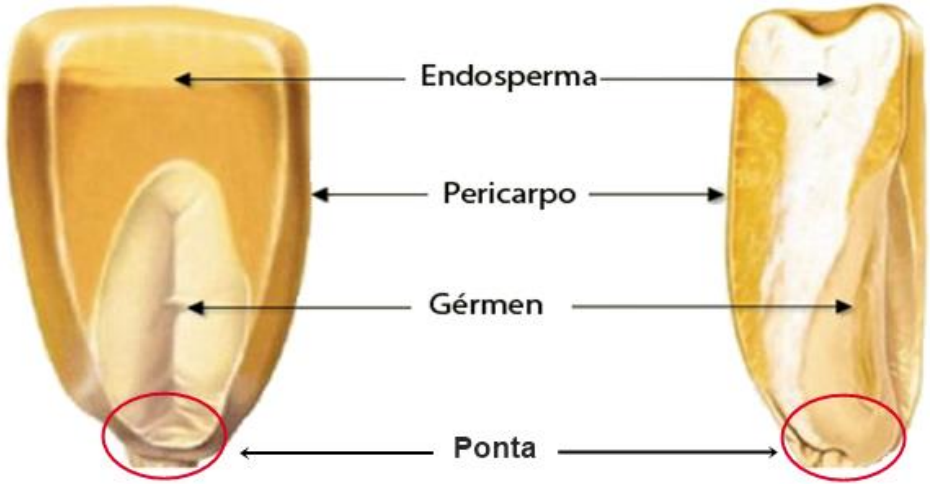


Figura 4. Anatomia do grão de milho. Fonte: US Grains Council, 2012.

O endosperma representa cerca de 83% do grão de milho e é composto principalmente por amido, enquanto o gérmen é cerca de 12% do núcleo e é rico em óleo, proteína, cinzas e carboidratos não fermentáveis. O farelo é a porção restante que é composta principalmente por fibra (Komatsu, 2018).

Nos EUA mais de 50% das usinas estão utilizando o fracionamento frontal, no qual após o fracionamento é retirado o farelo da linha de produção, resultando em um maior rendimento do bioetanol, uma vez que o endosperma está mais disponível. Estes processos tornam o DDGS um produto com um teor menor de fibra e um maior teor de proteína e cinzas, melhorando sua utilização para monogástricos. Ocorre também uma extração do óleo de milho da vinhaça fina, proveniente do gérmen. O óleo extraído surge como outra commodity para a indústria (Chatzifragkou e Charalampopoulos, 2018; US Grains Council, 2012).

Uma das desvantagens do processamento para a obtenção dos coprodutos é o aquecimento, pois pode ocorrer a reação de Maillard, o que afeta a utilização dos aminoácidos pelos animais, particularmente para lisina que é um dos aminoácidos mais importante para frangos de corte (Kim et al., 2010; Martinez-Amezcua et al., 2007). Carvalho et al. (2004) observaram que a temperatura de secagem exerce influência sobre os valores de energia metabolizável (EM) do grão de milho, com reduções de até 300 kcal/kg com a elevação da temperatura. Em contrapartida a secagem melhora a disponibilidade do fósforo do DDGS comparada com a disponibilidade que há no milho. Isso ocorre principalmente em fábricas modernas que buscam a padronização e a qualidade dos coprodutos (Kim et al., 2008).

O aquecimento é o principal fator que altera a coloração do DDGS, contudo o tamanho de partícula, teor de umidade, proporção de solúveis ao coproduto também estão correlacionados com a cor, mas o valor dessas relações é mais difícil de avaliar do ponto de vista de fabricação. Por isso a cor é considerada um indicador subjetivo de qualidade do DDGS (livros). Jie et al. (2013) obtiveram 28 fontes de DDGS de milho de várias usinas de etanol, mediram a luminosidade (L*), a vermelhidão (a*) e o amarelo (b *) da cor dessas amostras usando um colorímetro HunterLab. Esses pesquisadores observaram que L* e b* têm maiores correlações com a digestibilidade de lisina e aminoácidos do que a*.

Estudos em aves realizados por Ergul et al. (2003) e Batal e Dale (2006) avaliaram fontes DDGS representando uma ampla gama de valores L* e b* e confirmaram os resultados de Cromwell et al. (1993), mostrando que L* e b* estavam significativamente correlacionados com a digestibilidade da lisina e outros aminoácidos. Os resultados desses estudos indicam que L * e b *, mas não a *, podem ser indicadores gerais úteis da digestibilidade relativa da lisina se os valores de L * forem menores que 50, o mesmo não ocorre se os valores de L * forem maiores que 50.

Por outro lado, fontes DDGS de cores mais escuras podem ter concentrações mais altas para alguns nutrientes em comparação com fontes DDGS de cores mais claras. Por exemplo, adicionar níveis crescentes de solúveis à fração de grãos grossos ao produzir fontes de DDGS aumenta a energia, extrato etéreo e matéria mineral, inferindo que os aminoácidos são menos digestíveis, em comparação com fontes DDGS de cor mais clara que contêm menos solúveis (US Grains Council, 2019).

Outro produto de grande importância também são os grãos secos de destilaria (DDG), em cujo processamento foi alterado o destino dos grãos úmidos, os quais passam por um processo de secagem e não recebem os solúveis a sua composição, sendo um produto de alto teor proteico (Figura 5) (Loar II, 2011). Como o fracionamento é uma tecnologia nova e em ascensão na produção de bioetanol, existem dados limitados da composição de nutrientes para os coprodutos resultantes.

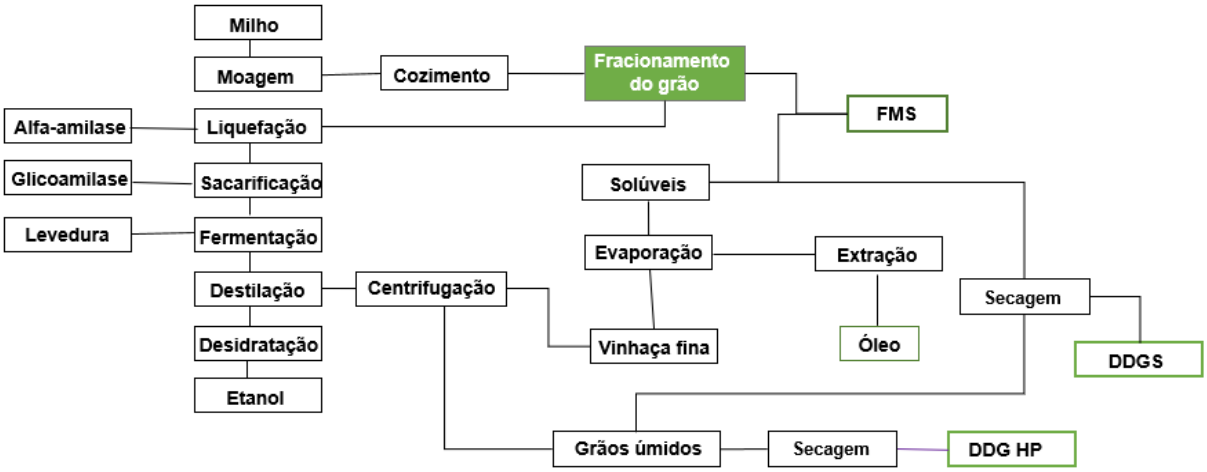


Figura 5. Diagrama de fluxo do processo moagem seca com fracionamento frontal para a produção de bioetanol de milho. Fonte: FS Bioenergia

Conforme supracitado, o Brasil está aumentando a produção de etanol à base de milho (RFA, 2019), pois há uma elevação do estoque de milho e com isso algumas usinas se transformaram em usinas "flex", pois são capazes de processar a cana-de-açúcar e o milho (Signorini et al., 2010; Freitas, 2018). Além dos investimentos em usinas que produzem etanol apenas à base de milho. Uma dessas empresas também está apostando em um produto diferente,

denominado farelo de milho com solúveis, que é o que sobra de fibra, depois da etapa de fracionamento do grão, mais os solúveis. O DDG deste processamento tem um elevado teor de proteína, pois existe uma maior concentração deste nutriente, já que outros componentes como a fibra e o óleo foram retirados anteriormente (FS Bioenergia, 2017).

Com intuito de melhorar a eficiência da utilização desses novos ingredientes na produção animal, é necessário o conhecimento do seu valor nutritivo, incluindo sua composição química, valor energético e digestibilidade dos nutrientes, especialmente dos aminoácidos.

2.2.4. Composição química dos diversos coprodutos e sua utilização em frangos de corte

A composição do DDGS é de grande interesse, particularmente em relação à nutrição animal. Para este fim, parâmetros como composição de nutrientes, digestibilidade e perfis de aminoácidos e minerais foram investigados por diversos grupos de pesquisa, primeiramente pelos nutricionistas de ruminantes. DDGS contém todos os nutrientes do grão de milho, exceto a maioria dos amidos, que foram fermentados em etanol e dióxido de carbono. Os nutrientes do grão de milho são concentrados cerca de três vezes em DDGS processados convencionalmente, que então tipicamente contém 90,05 de matéria seca, 27,15% de proteína bruta e 8,74% de óleo (Tabela 3).

Tabela 3. DDGS coproduto da fabricação de bioetanol e sua composição na matéria natural.

Parâmetros, % MN	Rochell[1] n = 6		Meloche [1] n = 15		Meloche [1] n = 15		Jie[1] n = 30		Média
	Média	DP[2]	Média	DP	Média	DP	Média	DP	
Matéria seca	89,72	2,54	89,07	1,65	89,32	1,00	NR	NR	89,37
Proteína bruta	27,14	1,99	26,96	1,94	27,98	1,50	26,93	2,12	27,25
Extrato Etéreo	8,80	3,04	8,44	2,52	8,44	2,50	8,81	3,94	8,62
FDN	33,83	6,48	31,84	5,80	31,36	3,62	50,00	6,29	36,76
FDA	10,78	1,95	10,57	2,12	9,35	1,72	14,87	3,99	11,39
Fibra bruta	6,87	0,44	NR[3]	NR	8,21	0,78	NR	NR	7,54
Cinza	4,20	0,39	4,36	0,28	4,62	0,39	4,97	1,08	4,54

[1]Rochell et al., 2011; Meloche et al., 2013; Meloche et al., 2014; Jie et al., 2013.
[2]Desvio padrão
[3]Não reportado

Conjuntamente com a concentração de nutrientes, a concentração de micotoxinas pode aumentar em três vezes no DDGS em relação ao grão de milho (Shaafsma et al.,2009; Shurson et al., 2009). Esse fator depende se o grão de milho destinado para a produção de etanol estiver contaminado por esses metabólitos, já que as micotoxinas não são destruídas durante o processamento. Deve-se cuidar com o armazenamento deste coproduto e do grão, pois é durante esse período que pode ocorrer a contaminação por fungos e micotoxinas. As principais micotoxinas relatadas no DDGS são deoxinivalenol (DON) e fumonisinas (FBs) (Zhang et al., 2009; Khatibi et al., 2014).

O DDGS tradicional possui um maior teor de extrato etéreo do que o DDG, pois os solúveis contem três vezes mais óleo do que os grãos úmidos. Porém com a extração de 2 a 6% do óleo da vinhaça fina, o DDGS tem seu

teor de extrato etéreo alterado, acarretando na redução da energia do mesmo e criando uma nova fonte de gordura para se utilizar nas dietas (Dozier et al., 2017; Kerr et al., 2016). Essas melhorias realizadas em relação ao processamento trouxeram novos coprodutos, os quais podem ter altas quantidades de proteína (DDG High Protein – DDG HP), fibra e com níveis de 5, 8, 10 a 15% de gordura (DDGS Low Oil e DDGS High Oil) (NRC. 2012) (Tabela 4). Os coprodutos melhorados são mais eficientes para serem utilizados como ingrediente na produção de monogástricos.

Tabela 4. Coproduto aprimorados da fabricação de bioetanol e sua composição na matéria natural.

Composição Nutricional, %	DDGS HO[1]	DDGS LO-1[1]	DDGS LO-2[1]	DDG HP[1]
Umidade	13,5	13,8	12,4	12,3
Proteína Bruta	27,7	27,8	28,8	39,9
Extrato Etéreo	12,5	7,5	6,7	6,9
Fibra Bruta	6,1	6,3	7,4	7,9
Cinzas	5,6	7,2	6,6	2,1
Energia Bruta (kcal/g)	4,86	4,52	4,48	5,46

[1]DDG HO: DDGS High Oil; DDG LO: DDGS Low Oil; DDG HP: DDG High Protein.
Fonte: Guney et al., 2013 e NRC, 2012

O DDGS e o DDG são ingredientes de grande potencial para a dieta de frangos de corte (Ruan et al., 2017; Alizadeh et al, 2016), pois possuem elevada concentração energética, proteica e mineral. Nos EUA, onde se produz uma quantidade elevada de DDGS, este produto tem sido incluído de forma econômica em rações de frangos (Dozier et al., 2017).

Lumpkins et al. (2004) realizaram um experimento com inclusão de 0, 6, 12 e 18% de DDGS em uma ração isoenergética e isoproteica, para as fases inicial, crescimento e final. Neste estudo não foram encontradas diferenças entre os animais para o consumo de ração e conversão alimentar no período de 1 a 42 dias entre as dietas, porém os que consumiram o tratamento com 18% de inclusão tiveram um menor ganho de peso quando comparado aos demais. O mesmo aconteceu na pesquisa de Foltyn et al. (2013), que ao testarem níveis de inclusão de DDGS com objetivo de verificar o efeito na carne, observaram que 18% de inclusão aumentou a quantidade de gordura muscular em frangos de corte quando comparado a dieta controle.

Mais recentemente, Cuevas et al. (2015) realizaram um experimento com substituição de 6 e 12% na concentração de farelo de soja, de dois tipos de DDGS, um com 6% e outro com 5% de extrato etéreo. Não encontraram diferença estatística no desempenho e na deposição de gordura abdominal, em nenhum nível de inclusão e tipo de DDGS, no período de 1 a 42 dias. Houve apenas diferença quanto a coloração da pele entre os tipos de DDGS, apresentando o DDGS com 5% de gordura uma melhor coloração quando comparado ao de 6% de gordura. Por outro lado, Krysten Fries e Elizabeth Bobeck (2018), utilizando níveis de 5, 10, 15 e 20% de inclusão de DDG HP em dietas isoproteicas e isoenergéticas, em que a dieta basal continha 5% de inclusão de DDGS, encontraram os melhores resultados para desempenho no nível de 10% de inclusão, durante o período de 1 a 42 dias das aves. Os autores concluíram que para os níveis maiores não se obtiveram resultados favoráveis em razão das dietas estarem desbalanceadas quanto à digestibilidade dos aminoácidos, já que se trata de um ingrediente rico em proteína bruta.

Com a elevada capacidade instalada de produção de etanol de milho, o adequado destino dos coprodutos é fundamental para a sustentabilidade da indústria, sendo que o descarte incorreto pode causar problemas ambientais, sanitários e econômicos. Assim a utilização deste coproduto na produção animal diminui esses impactos

e seu uso na produção de rações é uma estratégia interessante por reduzir os custos da alimentação e consequentemente o preço do produto final (Schöne et al., 2017).

É necessário que pesquisas sejam realizadas para medir o valor nutricional destes coprodutos, pois a variabilidade dos componentes nutricionais é maior quando comparada à do alimento convencional. Neste contexto, buscar por fontes alimentares alternativas e de qualidade podem permitir, além de reduzir os custos de produção, o aumento da produtividade, tornando-se uma realidade cada vez maior em um sistema de produção qualificado, globalizado e competitivo.

2.3. ENERGIA METABOLIZÁVEL

O NRC (1994) define a energia dos alimentos não como nutriente, mas como o resultado da oxidação dos nutrientes. Essa oxidação dos nutrientes libera energia como calor, a qual é usada nos processos metabólicos dos animais, tanto para a manutenção quanto para a produção, porém nem todo a energia dos ingredientes é aproveitada pelos animais, como demonstrado na Figura 6.

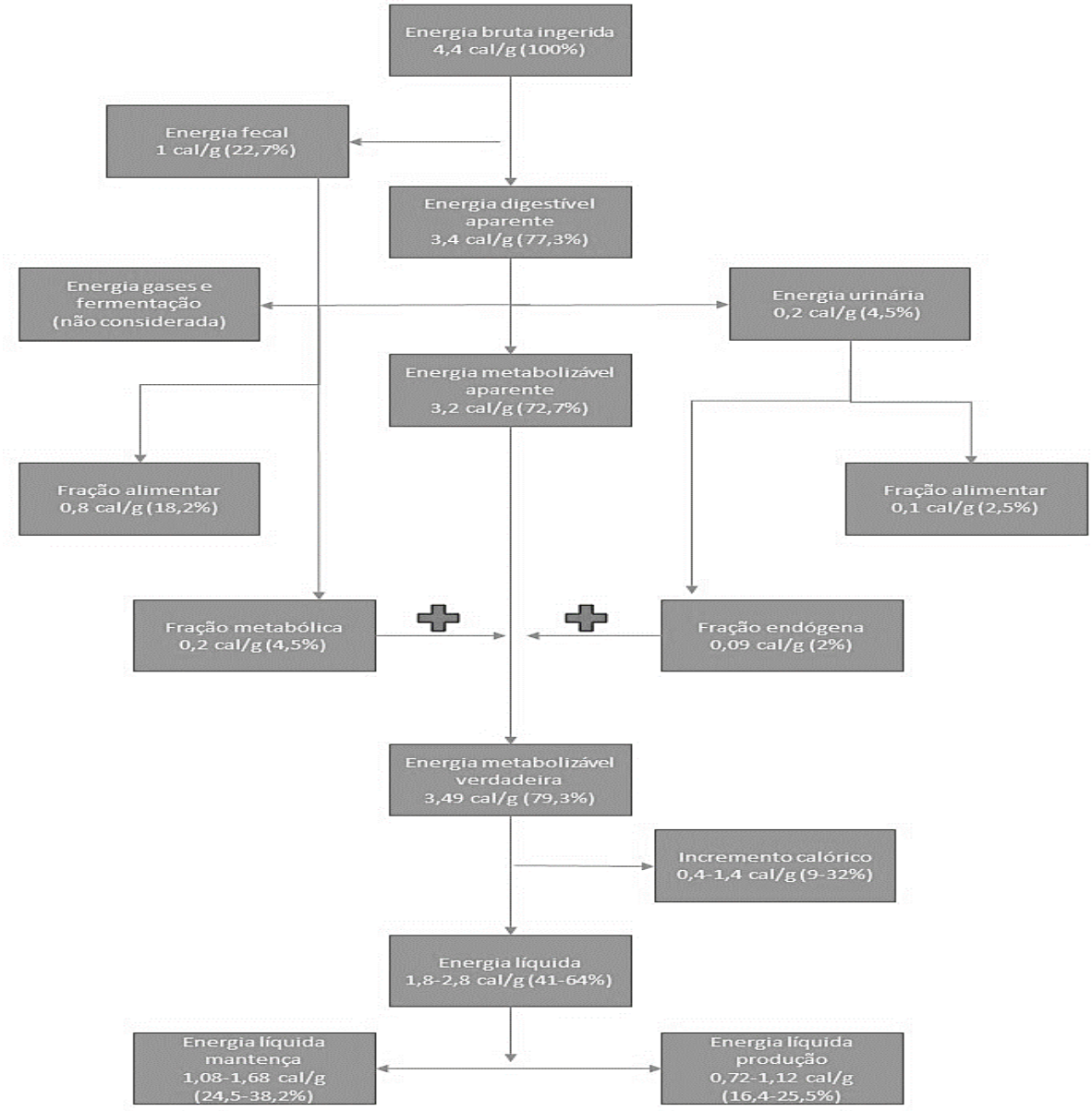


Figura 6. Diagrama de fluxo do aproveitamento da energia dos alimentos pelos os monogástricos (Sakomura e Rostagno, 2016).

A energia é fracionada em energia bruta (EB), que é a energia produzida pela oxidação total da matéria orgânica do alimento e medida em bomba calorimétrica, na qual os carboidratos fornecem 3,7 kcal/g (glicose) e 4,2 kcal/g (amido), já as proteínas e gorduras fornecem 5,6 kcal/g e 9,4 kcal/g de EB, respectivamente. Energia digestível é a diferença entre a energia consumida e a energia bruta contida nas fezes. Como nas aves a fezes e a urina são excretadas conjuntamente, a utilização dessa energia se torna inviável (Sakomura e Rostagno, 2016; Penz et al., 1999).

A energia metabolizável aparente (EMA) é a forma normalmente utilizada na formulação para aves, sendo obtida pela diferença da energia bruta consumida e a energia bruta das excretas (fezes e urina) e dos gases oriundos da digestão. Contudo a energia perdida na forma de gases pelos monogástricos é insignificante, por isso é desprezada nos cálculos da energia metabolizável (EM) (Silva, 2010; Albino, 1992).

Quando se consideram as perdas de energia provindas da porção endógena do animal, se obtém a energia metabolizável verdadeira (EMV). Tanto os valores de energia metabolizável aparente quanto de energia metabolizável verdadeira podem ser corrigidos em função do balanço de nitrogênio (BN) possibilitando uma

correção quanto a retenção ou perda de nitrogênio pelo animal, já que o nitrogênio pode ser retido no organismo e não catabolizado até os produtos de excreção de nitrogênio. Assim, o balanço de nitrogênio é a EMA em situação zero de retenção de nitrogênio (Nascimento, 2014).

Para os frangos de corte, a energia interfere diretamente no seu desempenho, pois a energia presente na dieta influencia o consumo, além de ser um dos fatores que mais encarece o custo das rações (Andrade et al., 2016).

O conhecimento detalhado dos valores energéticos dos alimentos e também das exigências nutricionais dos animais ajuda a maximizar a produtividade, eficiência e a rentabilidade na cadeia de frango de corte (Scottá et al., 2012). As aves devem receber na sua dieta todos os nutrientes necessários, equilibrados conforme a idade, sexo e a finalidade da criação, pois qualquer carência pode se tornar em transtornos que prejudicam sua saúde e desenvolvimento (Cardoso e Tessari, 2015).

A composição do ingrediente pode ser alterada por vários fatores como qualidade do solo, técnicas de manejo, adubação, variação genética das culturas vegetais, processamento e o surgimento de novas tecnologias de fabricação, entre outros. Por isso a determinação dos valores de composição química e energética dos alimentos deve ser sempre atualizada (Troni et al., 2016).

Além disso, existe uma preocupação de se utilizar ensaio de metabolismo específico para avaliar a metabolizabilidade da energia do alimento (Freitas et al., 2006). O método mais utilizado para se determinar a energia metabolizável aparente (EMA) dos alimentos para aves é o método proposto por Sibbald e Slinger (1963) de coleta total de excretas com frangos em crescimento (Calderano, 2008).

2.4. DIGESTIBILIDADE DE AMINOÁCIDOS

O desenvolvimento das aves é relacionado com a quantidade de aminoácidos obtidos da proteína da ração, pois estão envolvidos em várias funcionalidades, tais como constituintes primários dos tecidos estruturais e de proteção, penas, matriz óssea, ligamentos e tecidos dos órgãos e músculos, além de serem essenciais para rotas metabólicas (Albino et al., 1999).

Porém, os aminoácidos não estão totalmente disponíveis para a absorção, sendo necessário o conhecimento da composição química e sua digestibilidade nos alimentos (Junqueira et al., 2009). Dietas formuladas de forma inadequada aumentam o consumo de ração, reduzem o ganho de peso e pioram a conversão alimentar, promovendo um aumento do custo da produção (Caetano et al., 2015).

Os valores de aminoácidos digestíveis podem ser expressos como: digestibilidade aparente, digestibilidade padronizada e digestibilidade verdadeira. A digestibilidade aparente é definida como sendo a diferença entre a quantidade de aminoácidos ingerida pela quantidade de aminoácidos eliminada nas fezes ou digesta ileal. Já a digestibilidade verdadeira é o valor da diferença dos aminoácidos ingeridos menos os aminoácidos das fezes ou digesta ileal corrigido pelo valor da perda endógena total (perda basal e perda especifica). Enquanto a digestibilidade padronizada é apenas corrigido pelo valor da perda endógena basal (Figura 7) (Sakomura e Rostagno, 2016).

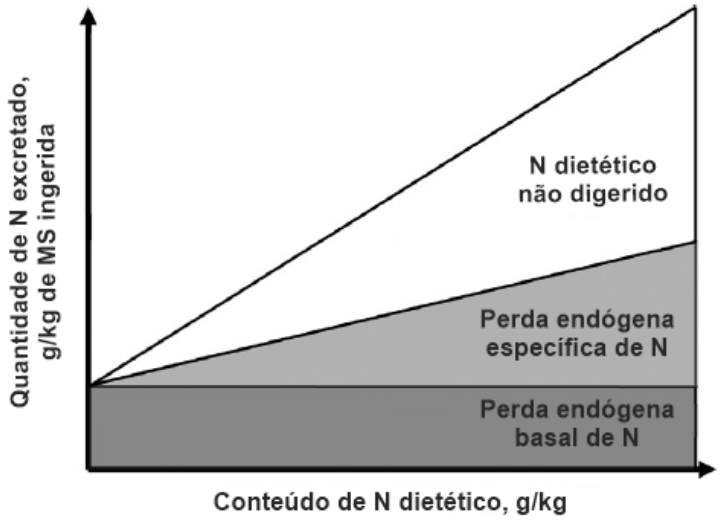


Figura 7. Fracionamento da perda endógena Fonte: Adaptado de Adeola et al., 2016.

Diversos fatores podem alterar a determinação da digestibilidade de aminoácidos. Existem diferentes métodos, como o de alimentação forçada com galos cecectomizados, coleta total com galos cecectomizados e coleta da digesta ileal com frangos em crescimento. O consenso atual é que os valores de aminoácidos digestíveis devem ser expressos em termos de digestibilidade ileal estandardizada (Sakomura e Rostagno, 2016), em que são levadas em conta as perdas endógenas de aminoácidos. O refinamento dos conjuntos de dados em relação a digestibilidade ileal, por meio de pesquisa e aplicação, fornecem vantagens econômicas e de sustentabilidade para as aves produção, por conta da crescente demanda global por carne.

No entanto, não existe um protocolo internacionalmente estabelecido para a determinação da digestibilidade ileal e também não há uma concordância quanto aos valores de aminoácidos endógenos a serem usados na conversão valores de digestibilidade ileal aparente para valores padronizados.

Há vários fatores que implicam na metodologia quanto à determinação do valor da digestibilidade ileal estandardizada, tais como idade das aves, o local de coleta da digesta, procedimentos de alimentação, dieta basal, nível de inclusão ingredientes de teste, método de eutanásia, marcador indigesto, etc (Ravindran e Bryden, 1999; Ravindran et al., 2009). Dificuldades associadas com a análise de aminoácidos também pode ser uma importante fonte de variação que é frequentemente negligenciada (Ravindran e Bryden, 1999). Por isso é necessário buscar na literatura qual será a melhor metodologia a se utilizar, tomando por base o tipo de produto, a fase e a aptidão da ave.

3. OBJETIVOS

O principal objetivo deste projeto é caracterizar o valor nutricional, em termos de energia metabolizável e de digestibilidade de aminoácidos para frangos de corte, de novos coprodutos da indústria de etanol comparando com os coprodutos tradicionais de origem norte americana.

4. MATERIAL E MÉTODOS

4.1. LOCAL DOS EXPERIMENTOS

Os experimentos com aves foram realizados no aviário experimental do Departamento de Zootecnia da ESALQ/USP, em Piracicaba – SP. O aviário é composto por um galpão de desempenho e uma sala de metabolismo.

O galpão de desempenho constitui de 42 boxes de quatro metros quadrados, dividido em duas fileiras com 21 boxes cada. O aviário tem as laterais fechadas por tela, sendo provido de cortinas externa e interna, forro e ventiladores e nebulizadores automatizados. Todos os boxes são equipados com sistema de aquecimento com lâmpadas de luz infra-vermelha, comedouros tubulares (infantil e adulto) e bebedouros do tipo nipple.

A sala de metabolismo possui duas baterias de gaiolas para frangos, com 12 gaiolas cada, de 0,70 m de comprimento, por 0,66 m de largura e 0,34 m de altura, com piso em tela, comedouro e bebedouro de aço inoxidável tipo calha e uma bandeja inferior removível para coleta de excretas. Os pintos de corte utilizados no experimento de metabolismo foram criados em um aviário convencional de apoio até os 21 dias de idade, seguindo as recomendações de manejo.

O projeto foi dividido em dois experimentos, sendo um de energia metabolizável aparente e o outro de digestibilidade de aminoácidos de novos ingredientes para frangos de corte.

4.2. EXPERIMENTOS

4.2.1. Energia metabolizável aparente

Foi conduzido um ensaio de metabolismo para determinar os valores de energia metabolizável de quatro coprodutos da produção de etanol de milho. O ensaio para determinação da energia metabolizável aparente corrigida pelo balanço de nitrogênio (EMAn) foi realizado através do método de coleta total de excretas, de acordo com os procedimentos descritos por Sakomura e Rostagno (2016).

Foi utilizado um total de 120 pintos de corte de um dia, machos, da linhagem Ross AP95®. As aves ficaram alojadas em aviário convencional, recebendo água e ração à vontade, até completarem 21 dias de idade (Figura 8), quando foram transferidas para gaiolas de estudos metabólicos para a realização do ensaio de metabolismo.

Figura 8. Alojamento de pintos de corte em aviário convencional no período de 1 a 21 dias (Fonte: Arquivo pessoal).

Durante o período de 1 a 21 dias as aves receberam uma única dieta à base de milho e farelo de soja, que foi formulada para atender as recomendações de Rostagno et al. (2017) para desempenho regular médio de frangos de corte nas fases pré-inicial e inicial (Tabela 5).

Tabela 5. Composição da ração inicial (1 a 21 dias)

Ingredientes	% na matéria natural
Milho (7.5% PB)	48,263
Farelo de soja (46% PB)	43,303
Óleo de soja	4,430
Fosfato bicálcico	1,782
Calcário calcítico	0,877
Sal	0,524
DL-Metionina (98%)	0,325
Premix vitamínico[1]	0,150
L-Lisina HCl (78%)	0,116
Cloreto de colina (60%)	0,080
L-Treonina (98%)	0,045
Salinomicina[2]	0,055
Premix mineral[3]	0,050
Total	100,00
Composição calculada	
Energia metabolizável (kcal/kg)	3.012
Proteína bruta (%)	23,7
Lisina digestível (%)	1,28
Metionina + cistina digestíveis (%)	0,94
Treonina digestível (%)	0,85
Cálcio (%)	0,92
Fósforo disponível (%)	0,44
Sódio	0,22

[1]DSM Nutritional Products, Composição por kg de ração: Vit. A – 13.500 UI; Vit. D3 -3.750 UI; Vit. E – 30 UI; Vit. K3 – 3,75 mg; Vit. B1 – 3 mg; Vit. B2 – 9 mg; Vit. B6 – 4,5 mg; Vit. B12 – 22,5 µg; Ácido Nicotínico – 52,5 mg; Ácido Pantotênico – 18 mg; Biotina – 0,15 mg; Ácido Fólico – 2,25 mg; Selênio –0,375 mg.
[2]Salinomicina 12%, 550g / ton (66 ppm de salinomicina).
[3]DSM Nutritional Products, Composição por kg de ração: Manganês – 96 mg; Ferro – 60 mg; Zinco – 60 mg; Cobre – 12 mg; Cobalto – 1,2 mg; Iodo – 1,2 mg.

Aos 21 dias de idade os frangos foram transferidos para gaiolas de metabolismo, para a determinação da energia metabolizável. As aves foram alojadas uniformemente em 30 gaiolas, com cinco tratamentos e seis repetições,

e quatro aves por unidade experimental (Figura 9). O ensaio de metabolismo teve um período de adaptação de sete dias ao ambiente e às dietas experimentais e quatro dias de coleta total de excretas.

Figura 9. Sala de metabolismo com baterias metálicas e frangos alojados (Fonte: Arquivo pessoal).

Os tratamentos consistiram de uma dieta referência à base de milho e farelo de soja para frangos na fase de crescimento (Tabela 6) e quatro dietas-teste contendo dois novos ingredientes produzidos no Brasil (farelo de milho com solúveis e um DDG HP) e dois ingredientes norte-americanos (DDGS e DDG HP). Os tratamentos foram:

• Dieta Referência - formulada de acordo com as recomendações das Tabelas Brasileiras (Rostagno et al., 2017);

• Dieta-Teste 1 - substituição de 30% da Dieta Referência pelo Farelo de Milho com Solúveis (FMS);

• Dieta-Teste 2 - substituição de 30% da Dieta Referência pelo DDG HP Brasileiro;

• Dieta-Teste 3 - substituição de 30% da Dieta Referência por DDGS Padrão Americano;

• Dieta-Teste 4 - substituição de 30% da Dieta Referência por DDG HP Padrão Americano.

Tabela 6. Composição da dieta referência (21 a 32 dias) utilizada no experimento de energia metabolizável.

Ingredientes	% na matéria natural
Milho (7.5% PB)	56,26
Farelo de soja (46% PB)	35,42
Óleo de soja	4,97
Fosfato bicálcico	1,48
Calcário calcítico	0,64
Sal	0,49
DL-Metionina (98%)	0,28
Premix vitamínico[1]	0,15
L-Lisina HCl (78%)	0.15
Cloreto de colina (60%)	0,06
L-Treonina (98%)	0,04
Premix mineral[2]	0,06
Total	100,00
Composição calculada	
Energia metabolizável (kcal/kg)	3.150
Proteína bruta (%)	20,83
Lisina digestível (%)	1,12
Metionina + cistina digestíveis (%)	0,83
Treonina digestível (%)	0,74
Cálcio (%)	0,76
Fósforo disponível (%)	0,37
Sódio	0,21

[1]DSM Nutritional Products, Composição por kg de ração: Vit. A – 13.500 UI; Vit. D_3 -3.750 UI; Vit. E – 30 UI; Vit. K_3 – 3,75 mg; Vit. B_1 – 3 mg; Vit. B_2 – 9 mg; Vit. B_6 – 4,5 mg; Vit. B_{12} – 22,5 µg; Ácido Nicotínico – 52,5 mg; Ácido Pantotênico – 18 mg; Biotina – 0,15 mg; Ácido Fólico – 2,25 mg; Selênio –0,375 mg.
[2]DSM Nutritional Products, Composição por kg de ração: Manganês – 96 mg; Ferro – 60 mg; Zinco – 60 mg; Cobre – 12 mg; Cobalto – 1,2 mg; Iodo – 1,2 mg.

Após o período de adaptação, os frangos foram pesados aos 28 dias, quando do início do período de coleta, e aos 32 dias, ao final do período de coleta, as aves foram pesadas novamente e determinado o consumo de ração por gaiola. Foram calculados os parâmetros de ganho de peso (GP), consumo de ração (CR) e conversão alimentar (CA) no período de 28 a 32 dias.

Foi adicionado 1% de óxido de ferro a todas as dietas para servir como marcador do início e final do período de coleta de excretas (Figura 10). A quantidade de excretas produzidas também foi registrada durante o período de coleta. As coletas foram realizadas duas vezes ao dia, às 8 e 17 horas, em bandejas revestidas com material plástico colocadas sob cada compartimento da gaiola, para evitar possível contaminação e fermentação das excretas (Figura 11).

Figura 10. Aves recebendo as dietas com adição de 1% de óxido de ferro (Fonte: Arquivo pessoal).

Figura 11. Limpeza das impurezas das bandejas (Fonte: Arquivo pessoal).

As excretas coletadas foram acondicionadas e identificadas, congeladas a -18 °C até o final do período de coleta. Em seguida, as excretas foram descongeladas, pesadas, homogeneizadas e uma amostra de cerca de 10% do total foi retirada e pesada (Figura 12), sendo submetida à pré-secagem em estufas de circulação forçada de ar a 65 °C por 72 horas. As amostras secas em estufa foram pesadas, moídas e acondicionadas em recipientes para as análises laboratoriais.

Figura 12. Preparação da amostra para a pré-secagem em estufas de circulação forçada de ar a 65 °C por 72 horas (Fonte: Arquivo pessoal).

Os teores de matéria seca foram determinados pelo método de umidade e voláteis a 105 °C, utilizando uma estufa de marca Marconi e do modelo MA 035/3BX-CAR, a proteína bruta pelo método de Dumas (Analíticos M., 2013) utilizando o equipamento LECO do modelo FP528 no laboratório do Departamento de Zootecnia da ESALQ/USP, e a energia bruta foi determinada seguindo a metodologia descrita na AOAC, 1995 através da bomba calorimétrica adiabática da marca Parr 6200 do modelo A1290DDEE pelo Laboratório de Nutrição Animal CENA/USP. Foram determinados nas excretas, nas rações e nos ingredientes.

Para a composição da matriz nutricional dos quatro ingredientes de estudo, também foram realizadas análises para determinação dos valores de fibra em detergente ácido e fibra em detergente neutro pelo digestor da marca Marconi do modelo MA-450, fibra bruta pelo digestor da marca Ankom do modelo A220, extrato etéreo pelo método Soxhlet pelo aparelho extrator do modelo XT15, matéria mineral utilizando a mufla da marca Provectro do modelo DGT 100 Plus, os minerais (cálcio, magnésio, sódio, potássio, cobre, ferro, manganês, zinco e enxofre) pelo método de espectrometria de absorção atômica no equipamento da marca Agilet do modelo 240FSAA e fósforo total pelo método colorimétrico utilizando o espectrofotômetro da marca Thermo do modelo Genesys 50 (Analíticos M., 2013). Essas análises dos ingredientes foram realizadas em laboratório particular (CBO Assessoria & Análise, em Campinas/SP).

Os dados obtidos nas análises, juntamente com o consumo de ração e a produção de excretas, foram utilizados no cálculo de energia metabolizável aparente (EMA) e energia metabolizável aparente corrigida para o balanço de nitrogênio (EMAn) (Sakomura e Rostagno, 2016).

As equações utilizadas no cálculo da EMA e EMAn foram:

$$\text{EMA dieta referência e dieta-teste (kcal/g)} = \frac{\text{(EB ingerida – EB excretada)}}{\text{MS ingerida}}$$

$$\text{EMA ingrediente (kcal/g)} = \text{EMADR} + \frac{\text{(EMADT– EMADR)}}{\text{g alimento /g ração}}$$

$$\text{EMAn dieta referência e dieta-teste (kcal/g)} = \frac{\text{(EB ingerida – EB excretada} - 8{,}22 \times \text{BN)}}{\text{MS ingerida}}$$

$$\text{EMAn ingrediente (kcal/g)} = \text{EMAnDR} + \frac{\text{EMAnDT} - \text{EMAnDR}}{\text{g alimento /g ração}}$$

onde, EB: Energia Bruta (kcal), MS: Matéria Seca (g); DR: Dieta Referência, DT: Dieta-Teste e BN: Balanço de Nitrogênio (g), sendo BN = N ingerido – N excretado.

4.2.2. Digestibilidade de aminoácidos

O ensaio para determinação da digestibilidade de aminoácidos foi realizado através do método de digestibilidade ileal estandardizada, de acordo com os procedimentos descritos por Sakomura e Rostagno (2016).

Foram utilizados para este ensaio 450 pintos de um dia, machos, da linhagem Ross AP95®. As aves foram alojadas no galpão de desempenho, recebendo água e ração à vontade. Quando completaram 15 dias de idade, as aves foram pesadas individualmente e separadas em 30 grupos homogêneos quanto ao peso, com 10 frangos cada, e distribuídos em 30 boxes no aviário, com a finalidade de ter um grupo de 300 aves uniformes, minimizando os erros experimentais.

No período de um a 15 dias as aves receberam uma única dieta (Tabela 7) formulada para desempenho médio regular conforme recomendados por Rostagno et al. (2017). As aves receberam as dietas experimentais durante seis dias. Depois deste período, os frangos foram abatidos para a coleta do conteúdo ileal.

Tabela 7. Composição da ração inicial (1 a 15 dias) utilizada no experimento de digestibilidade de aminoácidos.

Ingredientes	% na matéria natural
Milho (7.5% PB)	48,263
Farelo de soja (46% PB)	43,303
Óleo de soja	4.429
Fosfato bicálcico	1,783
Calcário calcítico	0,877
Sal	0,524
DL-Metionina (98%)	0,325
Premix vitamínico[1]	0,150
L-Lisina HCl (78%)	0.116
Cloreto de colina (60%)	0,080
L-Treonina (98%)	0,045
Salinomicina[2]	0,055
Premix mineral[3]	0,050
Total	100,00
Composição calculada	
Energia metabolizável (kcal/kg)	3.012
Proteína bruta (%)	23,7
Lisina digestível (%)	1,28
Metionina + cistina digestíveis (%)	0,94
Treonina digestível (%)	0,85
Cálcio (%)	0,92
Fósforo disponível (%)	0,44
Sódio	0,22

[1]DSM Nutritional Products, Composição por kg de ração: Vit. A – 13.500 UI; Vit. D_3 -3.750 UI; Vit. E – 30 UI; Vit. K_3 – 3,75 mg; Vit. B_1 – 3 mg; Vit. B_2 – 9 mg; Vit. B_6 – 4,5 mg; Vit. B_{12} – 22,5 µg; Ácido Nicotínico – 52,5 mg; Ácido Pantotênico – 18 mg; Biotina – 0,15 mg; Ácido Fólico – 2,25 mg; Selênio –0,375 mg.
[2]Salinomicina 12%, 550g / ton (66 ppm de salinomicina).
[3]DSM Nutritional Products, Composição por kg de ração: Manganês – 96 mg; Ferro – 60 mg; Zinco – 60 mg; Cobre – 12 mg; Cobalto – 1,2 mg; Iodo – 1,2 mg.

Figura 13. Galpão de desempenho com as aves alojadas (Fonte: Arquivo pessoal).

O ensaio foi composto por cinco tratamentos dietéticos, sendo uma dieta isenta de proteína e quatro dietas-teste, com seis repetições por tratamento. Os tratamentos foram:

- Dieta Isenta de Proteína (DIP);
- Dieta-Teste 1 - com 73,8% de Farelo de Milho com Solúveis (FMS);
- Dieta-Teste 2 - com 78,1% de DDGS Padrão Americano;
- Dieta-Teste 3 - com 57,1% de DDG HP Padrão Americano;
- Dieta-Teste 4 - com 45,9% de DDG HP Brasileiro.

A dieta isenta de proteína foi adaptada de Adeola et al. (2016). Com o uso desta dieta é possível calcular os valores da perda endógena de aminoácidos. A dieta isenta de proteína foi composta por amido, dextrose e óleo de soja que são fontes de energia; celulose que compõe a porção fibrosa da dieta na intenção de dar volume e textura à digesta, além da capacidade de absorver água, auxiliando na viscosidade e na taxa de passagem da digesta e os suplementos vitamínicos e minerais.

As dietas-teste foram formuladas para conter aproximadamente 20% de PB. A dieta que contém o ingrediente FMS teve somente 10% de PB em sua composição, pois o valor de PB do ingrediente é inferior a 20%. As dietas experimentais foram fornecidas após os 15 dias iniciais, sendo adicionados 0,5% de Óxido Crômico em todas as dietas para servir como indicador (Tabela 8).

Tabela 8. Composição da dieta isenta de proteína e das dietas teste usadas no experimento de digestibilidade de aminoácidos.

	% na Matéria natural				
Ingredientes	Dieta IP[1]	Dieta-Teste 1[1]	Dieta-Teste 2[1]	Dieta-Teste 3[1]	Dieta-Teste 4[1]
Amido	20,43	10,63	6,37	20,43	20,43
Dextrose	64,00	-	-	6,89	18,09
Farelo de Milho com Solúveis	-	73,80	-	-	-
DDGS Padrão Americano	-	-	78,06	-	-
DDG HP Padrão Americano	-	-	-	57,11	-
DDG HP Brasileiro	-	-	-	-	45,91
Óleo de soja	5,00	5,00	5,00	5,00	5,00
Celulose	5,00	5,00	5,00	5,00	5,00
Premix vitamínico[2]	0,15	0,15	0,15	0,15	0,15
Premix mineral[3]	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05
Fosfato bicálcico	2,26	2,26	2,26	2,26	2,26
Calcário calcítico	0,86	0,86	0,86	0,86	0,86
$NaHCO_3$	0,75	0,75	0,75	0,75	0,75
KCl	0,29	0,29	0,29	0,29	0,29
K_2CO_3	0,26	0,26	0,26	0,26	0,26
MgO	0,20	0,20	0,20	0,20	0,20
Cloreto de colina 60%	0,25	0,25	0,25	0,25	0,25
Indicador[4]	0,50	0,50	0,50	0,50	0,50
Total	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00
Composição calculada					
Energia metabolizável (kcal/kg)	3.331	2.614	2.268	2.754	2.935
Proteína bruta (%)	0,0	10,0	20,0	20,0	20,0
Cálcio (%)	0,88	0,94	0,90	0,89	0,89
Fósforo disponível (%)	0,42	1,67	1,14	0,75	0,68

[1]Dietas: Dieta Isenta de Proteína; Dieta-Teste 1 – contendo como única fonte de proteína FMS; Dieta-Teste 2 - contendo como única fonte de proteína DDGS Padrão Americano; Dieta-Teste 3 - contendo como única fonte de proteína DDG HP Padrão Americano; Dieta-Teste 4 - contendo como única fonte de proteína DDG-HP brasileiro.
[2]DSM Nutritional Products, Composição por kg de ração: Vit. A – 13.500 UI; Vit. D3 -3.750 UI; Vit. E – 30 UI; Vit. K3 – 3,75 mg; Vit. B1 – 3 mg; Vit. B2 – 9 mg; Vit. B6 – 4,5 mg; Vit. B12 – 22,5 µg; Ácido Nicotínico – 52,5 mg; Ácido Pantotênico – 18 mg; Biotina – 0,15 mg; Ácido Fólico – 2,25 mg; Selênio –0,375 mg.
[3]DSM Nutritional Products, Composição por kg de ração: Manganês – 96 mg; Ferro – 60 mg; Zinco – 60 mg; Cobre – 12 mg; Cobalto – 1,2 mg; Iodo – 1,2 mg.
[4]Indicador: Óxido de cromo III (Cr_2O_3).

Após o período de seis dias de consumo das dietas, os animais foram abatidos mediante deslocamento cervical. Para garantir que as aves possuíssem alimento no trato gastrointestinal, houve o estímulo do consumo de ração através da agitação dos comedouros duas horas antes do abate. O trato digestório foi removido da carcaça e o terço distal do íleo até um centímetro da junção ileocecal, foi retirado como recomendado por Sakomura e Rostagno (2016), para a coleta do conteúdo ileal com auxílio de água destilada (Figura 14). O conteúdo ileal de dez aves por unidade experimental foi reunido formando um "pool".

Figura 14. Corte do intestino no segmento do terço distal do íleo até um centímetro da junção ileocecal e coleta do conteúdo ileal com o auxílio de água destilada (Fonte: Arquivo pessoal).

As amostras da digesta ileal foram liofilizadas a vácuo, à temperatura de -40 ºC por 72 horas, e realizadas as análises laboratoriais para a determinação do teor dos aminoácidos por HPLC da marca Shimadzu. Também foram determinados os valores de matéria seca pelo método de umidade e voláteis a 105 °C, proteína bruta pelo método de Dumas (Analíticos M., 2013) utilizando o equipamento LECO do modelo Truspec N e de crômio pelo método de espectrometria de absorção atômica no equipamento da marca Agilet do modelo 240FSAA. Estas análises foram realizadas em laboratório particular (CBO Assessoria & Análise, em Campinas/SP).

A partir dos dados laboratoriais foram calculados o coeficiente de digestibilidade ileal aparente (CDIa) e o coeficiente de digestibilidade ileal estandardizada de aminoácidos (CDIe), de acordo com os cálculos descritos por Moughan et al. (1992).

$$CDIa\ (\%) = \left\{1 - \left[\frac{Cr\ dieta\ (MS,\%)}{Cr\ digesta(MS,\%)}\right] \times \left[\frac{AA\ digesta\ (MS,\%)}{AA\ dieta\ (MS,\%)}\right]\right\} \times 100$$

$$PEAA\ (mg/kg\ MSI) = AA\ digesta\ (mg/kg) \times \left[\frac{Cr\ dieta\ (mg/kg\ MS)}{Cr\ digesta\ (mg/kg\ MS)}\right]$$

$$CDIe\ (\%) = \{CDIa\ (\%) + \left[\frac{PEAA\ (mg/kg\ MSI)}{AA\ dieta\ (mg/kg\ MS)}\right]\} \times 100$$

onde, Cr dieta e Cr digesta são as concentrações de Crômio na dieta e digesta, respectivamente, AA dieta e AA digesta são as concentrações de cada um dos aminoácidos na dieta e na digesta, respectivamente, e PEAA (mg/kg MSI) é perda endógena de aminoácido em mg/kg de matéria seca ingerida obtida da dieta isenta de proteína.

4.3. ANÁLISE ESTATÍSTICA

Os dados referentes aos parâmetros de energia metabolizável aparente e digestibilidade de aminoácidos foram analisados quanto à normalidade dos resíduos e à homogeneidade das variâncias e então submetidos à análise

de variância a 5% de probabilidade. Quando significativas, as medias foram comparadas pelo teste de Tukey-Kramer, por meio do programa estatístico Statistical Analysis System (SAS 9.3).

5. RESULTADOS E DISCUSSÃO

5.1. EXPERIMENTO DE ENERGIA METABOLIZÁVEL APARENTE DOS COPRODUTOS DA INDÚSTRIA DE ETANOL

Embora não seja essencial para as determinações de EMA e EMAn dos ingredientes, foram calculados os parâmetros de ganho de peso (GP), consumo de ração (CR) e conversão alimentar (CA) no período experimental. É de extrema importância a escolha da porcentagem do ingrediente-teste que será utilizada em substituição à dieta referência, pois o alto nível de substituição reduz a variância para EMA e EMAn calculadas, porém pode afetar o consumo e a digestibilidade da dieta (Adeola e Zhai, 2012). Na Tabela 9 pode-se observar que o consumo de ração foi similar entre o as dietas; assim, pode-se afirmar que o valor de 30% de substituição da dieta referência pelos ingredientes-teste foi adequado para este ensaio de metabolismo.

Tabela 9. Desempenho dos frangos de corte no ensaio de metabolismo de 28 a 32 dias. Valores correspondentes a quatro aves por gaiola no período.

Tratamentos	GP (g)[1]	CR (g)[1]	CA[1]
Dieta referência	1861	2817	1,515
Dieta referência + Farelo de Milho com Solúveis	1732	3000	1,735
Dieta referência + DDG HP Brasileiro	1660	2727	1,640
Dieta referência + DDGS Padrão Americano	1743	3076	1,765
Dieta referência + DDG HP Padrão Americano	1646	2759	1,680

[1]Ganho de peso (GP); Consumo de ração (CR) e Conversão alimentar (CA).

Os valores da composição dos ingredientes submetidos à análise bromatológica estão descritos na Tabela 10. A energia bruta do DDG HP Brasileiro foi a maior entre os quatro ingredientes, em razão do seu elevado teor proteico e lipídico, bem como do maior teor de matéria seca. O farelo de milho com solúveis contém o menor teor de PB; esse coproduto é constituído pela porção mais fibrosa do grão de milho (pericarpo e ponta), cujo teor proteico é de cerca de 4% (Komatsu, 2018), porém sua proteína total é elevada pela inclusão dos solúveis, cujo teor proteico é de cerca de 21% (Han e Lui, 2010). O FMS e o DDG HP Brasileiro se destacam por terem mais de 10% de extrato etéreo, valor superior ao dos ingredientes americanos.

O FMS e o DDGS Padrão Americano possuem valores de MM, Ca e P_{total} superior quando comparados aos outros ingredientes. Isso é justificado pelo fato de terem solúveis em sua composição, pois esta porção é rica em minerais, o que explica a semelhança na matéria mineral dos dois produtos e superioridade quando comparados aos demais.

Um fato que foi constatado e que merece ser mais bem esclarecido é que o FMS tende a ter um valor mais alto de umidade. Aparentemente o teor de umidade logo após a produção é adequado, mas aumenta durante o armazenamento, dependendo das condições de ambiente. Essa higroscopicidade pode também ser atribuída à inclusão dos solúveis da produção de álcool no coproduto. Essa observação encontra respaldo no fato de o DDGS Padrão Americano também ter umidade mais elevada do que os DDG HP.

Tabela 10. Composição dos ingredientes – valores expressos na matéria natural.

Ingrediente		Farelo de Milho com Solúveis	DDG HP Brasileiro	DDGS Padrão Americano	DDG HP Padrão Americano
EB	kcal/g	4,498	5,274	4,523	4,873
MS	%	88,18	92,56	86,90	89,93
PB		13,55	43,56	25,62	35,02
FB		7,24	5,64	8,13	9,17
EE		10,49	10,99	7,94	8,74
MM		5,00	2,53	5,11	3,53
FDA		9,65	14,93	15,43	22,73
FDN		38,87	30,01	39,68	49,29
Hem		29,22	15,08	24,25	26,56
Ca		0,09	0,02	0,03	0,02
P_{total}		1,69	0,57	0,92	0,58
Mg		0,33	0,01	0,28	0,18
Na		0,24	0,09	0,44	0,47
K		1,50	0,41	1,09	0,63
Cu	mg/kg	7,14	7,10	14,26	7,87
Fe		87,32	112,50	59,56	52,08
Mn		16,81	6,97	12,72	8,99
Zn		61,26	75,55	63,39	56,38
S		3490,0	9400,0	893,0	1437,0

Energia bruta (EB); Matéria seca (MS); Proteína Bruta (PB); Fibra Bruta (FB); Extrato etéreo (EE); Matéria mineral (MM); Fibra em detergente ácido (FDA); Fibra em detergente neutro (FDN); Hemicelulose (Hem); Cálcio (Ca); Fósforo total (Ptotal); Magnésio (Mg); Sódio (Na); Potássio (K); Cobre (Cu); Ferro (Fe); Manganês (Mn); Zinco (Zn) e Enxofre (S).

Os valores de energia metabolizável aparente corrigida para retenção de nitrogênio (EMAn) e do coeficiente de metabolizabilidade dos ingredientes, cujas médias foram determinadas no ensaio de metabolismo, constam da Tabela 11.

Tabela 11. Energia metabolizável aparente corrigida pelo balanço de nitrogênio (EMAn) expressa na matéria seca (MS) e na matéria natural (MN) e coeficiente de metabolizabilidade da energia do FMS, do DDGS Padrão Americano, do DDG HP Brasileiro e do DDG HP Padrão Americano. Valores são média ± erro padrão da média (EPM).

	EMAn kcal/g MS ± EPM	EMAn kcal/g MN ± EPM	Coeficiente de metabolizabilidade da energia[1]	Coeficiente de metabolizabilidade da energia da literatura[2]
Farelo de Milho com Solúveis	2,590 ± 0,122	2,284 ± 0,108	0,51± 0,026 a	0,60
DDGS Padrão Americano	2,268 ± 0,136	1,971 ± 0,118	0,43 ± 0,024 b	0,50 ± 0,028
DDG HP Brasileiro	2,546 ± 0,155	2,357 ± 0,143	0,44 ± 0,027 ab	0,50
DDG HP Padrão Americano	2,594 ± 0,119	2,333 ± 0,107	0,48 ± 0,025 ab	0,49 ± 0,028

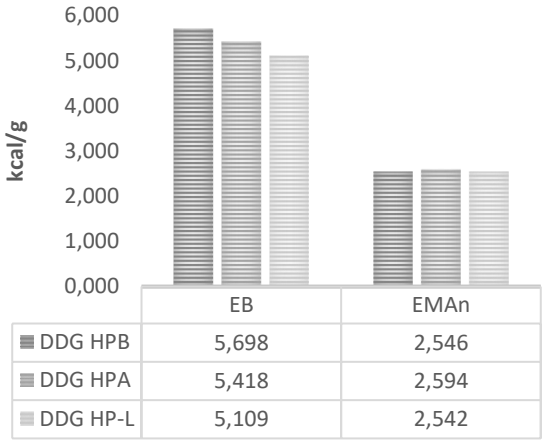
[1]Médias seguidas por letras diferentes, na mesma coluna, diferem entre si a 5% de significância pelo teste de Tukey-Kramer
[2] Valores da literatura para Farelo de Milho com Solúveis (n=1): Rochell et al. (2011); DDGS Padrão Americano (n= 33): Meloche et al. (2013), Meloche et al. (2014), Rochell et al. (2011), Adeola e Zhai (2012); DDG HP Brasileiro (n=1), Rochell et al. (2011); DDG HP Padrão Americano (n=8), Meloche et al. (2014) e Rochell et al. (2011).

O valor médio de AMEn como uma porcentagem de EB foi de 46,5%, indicando que os frangos não usam eficientemente o DDGS como fonte de energia. Essa baixa metabolizabilidade é um resultado padrão encontrado para os coprodutos do etanol de milho na literatura, conforme consta na Tabela 11. (Rochell et al., 2011; Meloche et al., 2013, Meloche et al., 2014, Adeola e Zhai, 2012). Entretanto, dentre os resultados dos coeficientes de metabolizabilidade se destaca o valor encontrado para o FMS, já que se trata de um ingrediente de melhor coeficiente quando comparado ao DDGS e de valores estatisticamente iguais aos ingredientes de alto teor proteico. No trabalho de Rochell et al. (2011) também foi determinada a EMAn de um farelo de milho com solúveis. O produto continha, com base na matéria natural, 4,524 kcal/g de energia bruta, 13,77% de proteína bruta, 8,79% de extrato etéreo e foi

encontrado o valor de 2,752 kcal/g de EMAn. Quando comparados o FMS aqui estudado com o produto da literatura mencionado acima, pode-se constatar que os produtos diferem em composição apenas quanto ao teor de extrato etéreo. No entanto, o valor da EMAn foi superior para o FMS da literatura, o que resultou em uma maior metabolizabilidade para aquele produto.

O DDGS utilizado neste estudo teve seu coeficiente de metabolizabilidade inferior à média encontrada na literatura, entretanto se encontra entre os valores máximo e mínimo. O DDG HP Padrão Americano teve o valor do seu coeficiente de metabolizabilidade próximo ao da média encontrada na literatura para esse produto. Quando comparamos o DDG HP Padrão Americano com DDG HP Brasileiro, não encontramos diferença estatística entre os coeficientes de metabolizabilidade, demonstrando que a metodologia foi bem aplicada e que os produtos podem ser utilizados com segurança na alimentação de frangos de corte.

Os valores de EMAn do DDGS e do DDG HP de origem norte americana ficaram próximos aos relatados na literatura (Figura 15). O DDG HP brasileiro apresentou valor de EMAn semelhante aos valores de DDG HP obtidos em outros ensaios com esses ingredientes. O valor de EMAn do FMS foi maior que do DDGS Padrão Americano.



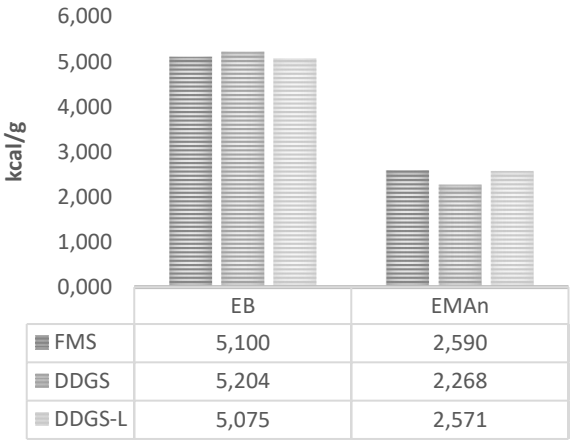


Figura 15. Valores de energia bruta e energia metabolizável aparente corrigida pelo balanço de nitrogênio na matéria seca, dos produtos estudados e para os valores médios encontrados na literatura. Fonte: DDGS Literatura, n= 33, Meloche et al., 2013, Meloche et al., 2014, Rochell et al., 2011, Adeola e Zhai, 2012; DDG HP Literatura, n=8, Meloche et al., 2014 e Rochell et al., 2011.

No trabalho de Rochell e colaboradores (2011), foi determinada a correlação entre os componentes de 15 coprodutos de diferentes usinas de etanol de milho com a EMAn para frangos de corte. Foi encontrada uma forte correlação positiva da porcentagem de hemicelulose com a EMAn. O valor de hemicelulose é determinado pela subtração da fibra em detergente neutro pela fibra em detergente ácido. Assim temos os valores de hemicelulose para os produtos deste estudo sendo 29,22% para o FMS, 24,25% para o DDGS Padrão Americano, 15,08% para o DDG HP Brasileiro e 26,56% para o DDG HP Padrão Americano. Nos produtos aqui estudados não foi encontrada essa associação entre teores mais elevados de hemicelulose e maior EMAn, esse contraste também aconteceu no estudo de Meloche et al., 2013.

Neste mesmo trabalho, Rochell et al. (2011) citam que existe uma baixa correlação entre a EMAn e a energia bruta, porém há controvérsias. Meloche e colaboradores em (2013) encontraram uma correlação de 69% entre esses fatores. Em ambos os trabalhos citados anteriormente existe uma baixa correlação entre proteína bruta e extrato etéreo com a EMAn. Isso acontece porque a digestibilidade dos aminoácidos é prejudicada pelo processamento e o perfil lipídico tem grande interferência quanto ao aproveitamento deste nutriente. Neste presente trabalho, o ingrediente de maior energia bruta e proteína bruta, que é o DDG HP Brasileiro, tem o valor de EMAn

estatisticamente igual ao do FMS, o qual possui o menor teor de energia bruta e proteína bruta, e ambos apresentam quantidade próximas de gordura.

5.2. EXPERIMENTO DE DIGESTIBILIDADE ILEAL ESTANDARDIZADA DE AMINOÁCIDOS DOS COPRODUTOS DA INDÚSTRIA DE ETANOL

Na Tabela 12 está apresentado o valor de aminoácidos dos ingredientes utilizados no estudo; o teor de proteína bruta (%N x 6,25) e o valor da soma dos aminoácidos (com exceção de triptofano) foram também inseridos. O DDG HP Brasileiro se destaca pelo seu maior teor de PB e consequentemente tem uma porcentagem maior de aminoácidos em sua composição, seguido do DDG HP Americano, DDGS Padrão Americano e o FMS. Essa maior proporção de aminoácidos do DDG HP Brasileiro ocorre porque a quantidade de fibra é reduzida, pois esta é retirada no início do processo.

O FMS é composto pela fibra que foi removida no início do processo mais a adição de solúveis; conforme mencionado anteriormente, a proteína deste produto vem principalmente pela adição dos solúveis. Esta proporção proteica que provém mais da levedura do processo fermentativo altera o perfil de aminoácidos do FMS quando se compara com o perfil de aminoácidos do milho.

No milho com 7,86% de proteína (Rostagno et al., 2017), os teores de aminoácidos essenciais com base na proteína bruta de maior proporção são leucina (12,1%), arginina (4,7%) e fenilalanina (4,7%) e os de menor proporção são triptofano (0,7%), metionina (2,0%) e lisina (2,9%); já a levedura íntegra possui para os aminoácidos essenciais uma maior concentração de lisina (8,8%), leucina (8,6%) e valina (7,8%), porém é mais pobre em metionina (1,3%), histidina (2,4%) e arginina (5,0%) (Hisano et al., 2008). Esta participação da levedura influencia positivamente o perfil de aminoácidos dos solúveis, o qual possui em maior concentração os aminoácidos leucina (8,4%), valina (6,3%) e lisina e fenilalanina (5,0%), e em menor proporção metionina (2,9%), histidina (3,1%) e isoleucina (3,5%) (Han e Liu, 2010).

Tabela 12. Composição dos aminoácidos dos ingredientes – valores expressos na matéria natural.

Parâmetros, %	Farelo de Milho com Solúveis	DDGS Padrão Americano	DDG HP Brasileiro	DDG HP Padrão Americano
Proteína bruta	14,86	25,42	43,27	34,14
Matéria seca	85,23	87,50	92,55	90,28
Ácido aspártico	1,04	1,83	2,83	2,15
Ácido glutâmico	2,29	4,27	7,56	5,99
Alanina	1,10	1,93	3,37	2,73
Arginina	0,93	1,20	2,19	1,55
Cistina	0,36	0,44	0,79	0,50
Fenilalanina	0,64	1,29	2,29	1,80
Glicina	0,75	1,13	1,84	1,43
Histidina	0,47	0,72	1,39	0,98
Isoleucina	0,48	0,98	1,70	1,34
Leucina	1,28	2,99	5,38	4,44
Lisina	0,69	0,88	1,63	1,01
Metionina	0,23	0,43	0,94	0,67
Prolina	1,27	2,24	4,12	3,20
Serina	0,66	1,26	2,14	1,77
Tirosina	0,55	1,05	1,91	1,39
Treonina	0,59	1,03	1,80	1,45
Valina	0,69	1,28	2,35	1,79
Soma dos aminoácidos	14,02	24,95	44,23	34,19

As dietas-teste foram formuladas para conter 20% de proteína bruta, conforme se recomenda na literatura (Adedokun et al., 2008). A dieta que contém o FMS como única fonte de proteína foi formulada com apenas 10% de proteína em razão de este ingrediente conter um baixo teor proteico. Os valores analisados das dietas-teste estão apresentados na Tabela 13. Na dieta isenta de proteína foram encontrados valores mínimos de alguns aminoácidos, o que é normal segundo a literatura.

Tabela 13. Composição em aminoácidos das dietas utilizadas no experimento de digestibilidade ileal estandardizada de aminoácidos. Valores analisados, na matéria natural.

Parâmetros, %	Dieta IP[1]	Dieta-Teste 1[1]	Dieta-Teste 2[1]	Dieta-Teste 3[1]	Dieta-Teste 4[1]
Proteína bruta	1,50	11,18	19,82	20,31	19,57
Matéria seca	90,96	88,53	89,05	91,09	91,95
Ácido aspártico	-	0,76	1,37	1,18	1,11
Ácido glutâmico	-	1,79	3,36	3,31	3,31
Alanina	0,03	0,82	1,55	1,56	1,56
Arginina	-	0,70	0,94	0,84	0,98
Cistina	0,06	0,21	0,49	0,42	0,44
Fenilalanina	0,02	0,48	1,04	1,08	1,03
Glicina	-	0,56	0,87	0,79	0,80
Histidina	-	0,34	0,56	0,53	0,60
Isoleucina	0,01	0,37	0,79	0,80	0,76
Leucina	0,01	0,95	2,36	2,49	2,41
Lisina	0,05	0,48	0,69	0,65	0,75
Metionina	0,01	0,17	0,39	0,43	0,46
Prolina	-	0,93	1,72	1,79	1,80
Serina	-	0,51	0,95	0,95	0,95
Tirosina	0,01	0,40	0,87	0,89	0,85
Treonina	-	0,45	0,80	0,76	0,79
Valina	-	0,52	1,05	1,05	1,07
Soma dos aminoácidos	0,20	10,44	19,80	19,52	19,67

[1]Dietas: Dieta Isenta de Proteína; Dieta-Teste 1 – contendo FMS como única fonte de proteína; Dieta-Teste 2 – contendo DDGS Padrão Americano como única fonte de proteína; Dieta-Teste 3 - contendo DDG HP Padrão Americano como única fonte de proteína; Dieta-Teste 4 – contendo DDG HP Brasileiro como única fonte de proteína.
[2] Valores na matéria natural.

A dieta isenta de proteína é utilizada para determinar o valor da perda endógena de aminoácidos, cujos resultados estão apresentados na Tabela 14, medidos no final do íleo e expressos em mg/kg de matéria seca ingerida.

Blok et al. (2017) publicaram um compilado de informações sobre os aminoácidos presentes na perda endógena. Nesta publicação houve a junção de 23 a 29 trabalhos determinando a perda endógena de aminoácidos e assim formou-se um valor médio e o desvio padrão para cada aminoácido. Esses valores também são apresentados na Tabela 14 para fins de comparação com as determinações feitas neste estudo.

Tabela 14. Valor das perdas endógenas de aminoácidos encontrados pela técnica de digestibilidade ileal estandardizada, a partir da utilização da dieta isenta de proteína deste trabalho e da literatura

Aminoácidos	Perda endógena (mg/kg)	Perda endógena (mg/kg), literatura. [1]
Ácido Aspártico	224	563±212,5
Ácido Glutâmico	407	697±249,0
Alanina	321	293±110,6
Arginina	227	295±133,4
Cistina	207	176±65,1
Fenilalanina	250	310±128,8
Glicina	382	358±158,1
Histidina	118	150±56,1
Isoleucina	331	318±128,5
Leucina	496	417±124,9
Lisina	194	274±105,6
Metionina	90	95±44,1
Prolina	482	391±149,7
Serina	508	440±161,0
Tirosina	257	266±114,2
Treonina	497	491±164,2
Valina	410	398±144,0
Soma dos Aminoácidos	7129	6804±3179,8

[1] Blok et al. (2017)

A maioria dos valores de perda endógena de aminoácido encontrados neste estudo estão dentro dos valores listados na literatura como demonstrado na tabela anterior, apenas ácido aspártico e glutâmico estão abaixo do intervalo médio da literatura. Os valores de metionina, tirosina, treonina e valina estão bem próximos da média; já arginina, fenilalanina, histidina e lisina possuem valores menores do que a média, contudo estão dentro do intervalo e os demais aminoácidos possuem valores maiores quando comparados com a média, mas estão dentro da faixa média.

Tabela 15. Coeficientes de digestibilidade aparente dos aminoácidos (CDIa) e conteúdo de aminoácidos digestíveis aparente (AADA) dos ingredientes de estudo expresso na matéria seca (MS).

Ingredientes	Asp[1]	Glu[1]	Ala[1]	Arg[1]	Cys[1]	Phe[1]	Gly[1]	His[1]	Ile[1]	Leu[1]	Lys[1]	Met[1]	Pro[1]	Ser[1]	Tyr[1]	Thr[1]	Val[1]	Soma dos Aminoácidos
	Aminoácidos digestíveis (%)																	
DDGS PA	1,27	3,25	1,45	0,93	0,32	0,98	0,60	0,42	0,66	2,28	0,48	0,34	1,58	0,81	0,83	0,65	0,85	17,60
FMS	0,62	1,78	0,76	0,69	0,23	0,44	0,34	0,27	0,28	0,90	0,43	0,16	0,85	0,35	0,38	0,31	0,39	8,83
DDG HPA	1,47	4,69	2,04	1,14	0,32	1,39	0,67	0,55	0,89	3,54	0,54	0,54	2,30	1,14	1,09	0,86	1,18	24,00
DDG HPB	1,60	5,26	2,23	1,61	0,49	1,56	0,82	0,75	0,96	3,63	0,90	0,72	2,73	1,22	1,36	0,94	1,34	27,53
	CDIa (%)																	
DDGS PA	69,45a	76,14	75,06a	77,92a	72,20a	75,95a	53,32a	58,74	67,81a	76,35a	54,83b	79,73a	70,60a	64,31a	78,89a	62,77a	66,27a	70,53a
FMS	59,33b	77,87	68,80b	74,03b	63,18b	68,36b	44,82b	57,39	58,17b	70,29b	62,05a	71,55b	66,93b	52,68b	68,32b	52,33b	55,86b	62,97b
p-Valor	0,009	0,540	0,005	0,016	0,011	0,004	0,002	0,706	0,001	0,001	0,037	0,003	0,012	<,0001	0,001	0,006	0,001	0,001
DDG HPA	68,47a	78,26a	74,55a	73,38	63,63	77,09a	47,19	56,21	66,66a	79,72a	53,07	80,77	71,94a	64,40a	78,21a	59,37	65,74a	70,19a
DDG HPB	56,71b	69,56b	66,32b	73,41	61,76	68,09b	44,43	53,71	56,49b	67,38b	55,17	77,12	66,25b	57,21b	71,36b	52,38	57,10b	62,24b
p-Valor	0,005	0,002	0,001	0,980	0,634	0,001	0,171	0,167	0,001	<,0001	0,513	0,088	0,001	0,004	0,015	0,302	0,001	<,0001

[1] Ácido aspártico, Ácido glutâmico, Alanina, Arginina, Cistina, Fenilalanina, Glicina, Histidina, Isoleucina, Leucina, Lisina, Metionina, Prolina, Serina, Tirosina, Treonina e Valina.
a,b Médias seguidas por letras diferentes, na mesma coluna, diferem entre si a 5% de significância pelo teste de Tukey-Kramer.

Na Tabela 15 estão apresentados os valores dos coeficientes de digestibilidade aparente dos aminoácidos (CDIa) e conteúdo de aminoácidos digestíveis aparente (AADA) dos ingredientes de estudo. Os valores dos coeficientes de digestibilidade aparente mostram que existe uma diferença para a maioria dos aminoácidos quando comparamos os produtos FMS e DDGS, estes apenas não diferem para ácido glutâmico e histidina. Para os demais aminoácidos o CDIa foi maior para o DDGS PA do que para o FMS. Conforme apontado anteriormente, uma porção significativa da proteína do FMS tem como fonte a levedura do processo fermentativo e outros compostos presentes nos solúveis, podendo-se inferir que esses componentes contribuem para reduzir a digestibilidade de aminoácidos.

A cor do DDGS é reportada com um fator de qualidade (Fastinger et al., 2006), sendo o DDGS claro melhor do que o DDGS escuro, pois este último provavelmente ficou tempo demais na secagem, fato que possibilita a reação de Maillard, o que afeta a digestibilidade dos AA, particularmente para lisina que é um dos aminoácidos mais importante para frangos de corte. Adedokun et al. (2009) compararam um DDGS do tipo claro com um do tipo escuro. Quando comparado o DDGS do presente estudo com o DDGS escuro do estudo, observa-se uma superioridade do DDGS estudado quanto aos coeficientes de digestibilidade ileal estandardizada para ácido aspártico (59%), arginina (73%), cistina (64%), lisina (48%), metionina (78%), tirosina (75%) e treonina (60%). Já quando se compara com o DDGS claro, o DDGS de estudo possui valores de CDIa inferiores.

Os coeficientes de digestibilidade ileal aparente também foram verificados em outros estudos (Rochell et al., 2012; Dozier III et al., 2015 e Foltyn et al., 2015), contudo o DDGS deste estudo possui valores iguais ou superiores de CDIa quando comparados com o DDGS da literatura para ácido aspártico (62%), arginina (76%), cistina (58%), lisina (53%), metionina (79%), tirosina (77%) e treonina (60%); o valor médio do CDIa para a lisina encontrados na literatura é inferior ao do DDGS deste trabalho, indicando que este produto provavelmente não teve problemas na secagem. O valor do CDIa do FMS também é superior em relação à digestibilidade da lisina, que é o segundo aminoácido limitante para frangos de corte, demonstrando uma melhor qualidade de produto.

Os valores dos coeficientes de digestibilidade aparente para os ingredientes DDG HP mostraram que estes apenas não diferiram para arginina, cistina, glicina, histidina, lisina, metionina e treonina. Apesar dos DDG HP diferirem para a maioria dos aminoácidos, mostrando uma melhor digestibilidade para o produto americano, o DDG HPB contribui com um maior aporte de AA. Na literatura Applegate et al. (2009), com apenas um produto, demonstraram ter um maior coeficiente de digestibilidade para a maioria dos AA, sendo os produtos de estudo superior apenas para ácido aspártico (68%) e ácido glutâmico (78%).

Tabela 16. Coeficientes de digestibilidade estandardizada dos aminoácidos (CDIe) e conteúdo de aminoácidos digestíveis estandardizados (AADE) dos ingredientes de estudo expresso na matéria seca (MS).

Ingredientes	Asp[1]	Glu[1]	Ala[1]	Arg[1]	Cys[1]	Phe[1]	Gly[1]	His[1]	Ile[1]	Leu[1]	Lys[1]	Met[1]	Pro[1]	Ser[1]	Tyr[1]	Thr[1]	Val[1]	Soma dos Aminoácidos
	Aminoácidos digestíveis (%) [2]																	
DDGS PA	1,30	3,31	1,48	0,96	0,33	1,01	0,65	0,43	0,70	2,34	0,52	0,35	1,64	0,87	0,86	0,70	0,89	18,34
FMS	0,64	1,83	0,78	0,72	0,26	0,47	0,38	0,28	0,31	0,96	0,45	0,18	0,91	0,41	0,40	0,34	0,43	9,75
DDG HPA	1,51	4,76	2,09	1,18	0,34	1,43	0,74	0,57	0,95	3,63	0,57	0,56	2,39	1,23	1,13	0,96	1,25	25,29
DDG HPB	1,64	5,36	2,29	1,65	0,51	1,61	0,88	0,76	1,02	3,72	0,93	0,74	2,81	1,31	1,41	1,02	1,41	29,07
	CDIe (%)																	
DDGS PA	70,90a	77,57	76,90a	80,06a	75,98	78,16a	57,23a	60,12	71,54a	78,34a	58,64	81,78a	73,10	69,07a	81,51a	68,28a	69,75a	73,73a
FMS	61,93b	79,88	70,52b	76,89b	70,89	72,96b	50,86b	60,50	63,92b	74,88b	65,68	76,24b	71,51	61,50b	72,05b	58,22b	62,84b	69,01b
p-Valor	0,017	0,310	<,0001	0,040	0,136	0,035	0,009	0,863	<,0001	0,044	0,058	0,026	0,224	0,003	<,0001	0,001	0,007	0,012
DDG HPA	70,37a	79,49a	76,60a	76,07	68,12	79,40a	52,03	58,42	70,80a	81,70a	56,05	82,86	74,63a	69,75a	81,09a	65,91a	69,64a	73,84a
DDG HPB	58,12b	70,85b	67,92b	75,20	64,90	70,13b	48,03	54,59	60,02b	69,12b	57,05	78,74	68,27b	61,14b	73,66b	56,76b	60,04b	64,92b
p-Valor	0,004	0,001	<,0001	0,537	0,294	0,001	0,062	0,086	<,0001	<,0001	0,742	0,058	<,0001	0,001	0,001	0,001	<,0001	<,0001

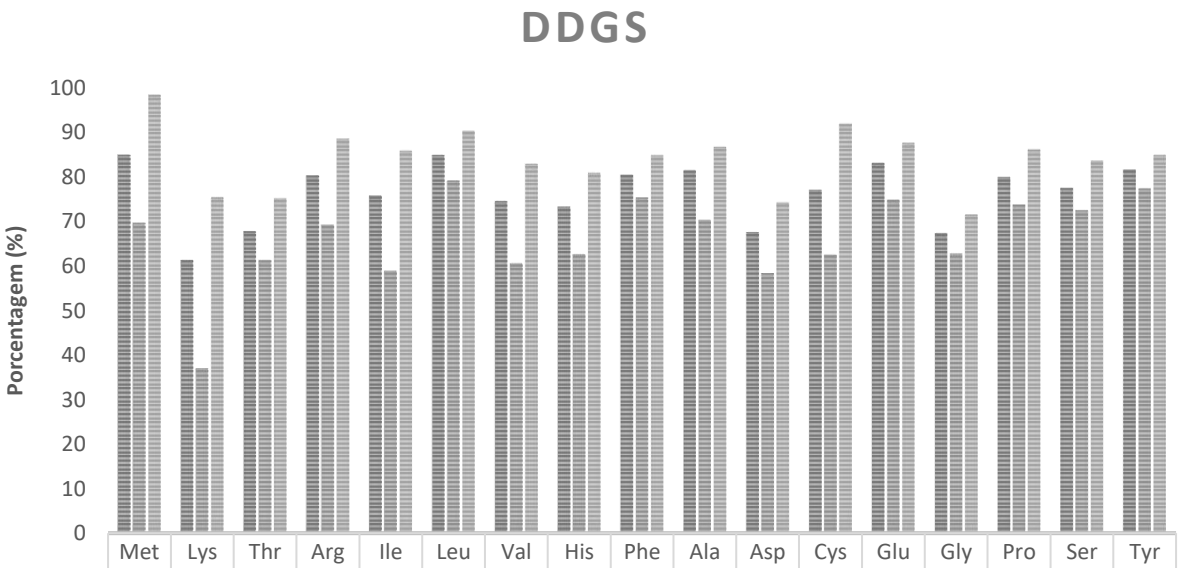
[1] Ácido aspártico, Ácido glutâmico, Alanina, Arginina, Cistina, Fenilalanina, Glicina, Histidina, Isoleucina, Leucina, Lisina, Metionina, Prolina, Serina, Tirosina, Treonina e Valina.

[2] Valores na matéria seca.

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

Na Tabela 16 estão apresentados os valores dos coeficientes de digestibilidade ileal estandardizada dos aminoácidos (CDIe) e conteúdo de aminoácidos digestíveis estandardizados (AADE) dos ingredientes de estudo. Na tabela pode-se observar que o FMS possui diferença ($p < 0,05$) para a maioria dos aminoácidos quando se compara DDGS. Os ingredientes apenas não diferiram para ácido glutâmico, cistina, histidina, lisina e prolina. Em relação aos AA disgestíveis o DDGS tem uma concentração de AA em torno de 50% a mais do que os FMS para a maioria dos aminoácidos. Os únicos AA que o DDGS fornece um valor inferior a 50% são: lisina, arginina, histidina e cistina, na qual o valor fornecido é de 14, 25, 35 e 22%, respectivamente. Contudo, a quantidade de aminoácidos digestíveis do FMS ainda é superior quando comparados aos aminoácidos digestíveis do grão de milho.

Apesar da diferença no CDIe do FMS com o DDGS, ambos os ingredientes estão com a maioria dos CDIe dentro do intervalo médio reportado na literatura (Figura 16). Os aminoácidos leucina, histidina, glicina e serina, possuem valores inferiores ao intervalo de análises anteriores.



	Met	Lys	Thr	Arg	Ile	Leu	Val	His	Phe	Ala	Asp	Cys	Glu	Gly	Pro	Ser	Tyr
Média	85,0	61,3	67,7	80,3	75,8	84,9	74,5	73,3	80,4	81,4	67,6	77,1	83,1	67,3	80,0	77,5	81,6
Mín	69,7	37,0	61,3	69,3	58,9	79,2	60,6	62,7	75,4	70,4	58,4	62,5	74,9	62,8	73,8	72,5	77,4
Máx	98,4	75,4	75,1	88,6	85,8	90,3	82,9	80,9	84,8	86,7	74,2	91,9	87,6	71,5	86,1	83,6	84,9

Figura 16. Valores médio, mínimo e máximo dos coeficientes de digestibilidade ileal estandardizada de DDGS da literatura. Fonte: DDGS Literatura, n= 17, Adedokun et al. (2009); Adedokun et al. (2015); Adedokun et al. (2008); Kim et al. (2011) e Kim et al. (2012).

Considerando-se a média dos valores de CDIe dos aminoácidos, pode-se observar que os ingredientes norte-americanos possuem valores próximos entre si deste coeficiente e superiores quando comparados aos ingredientes brasileiros. Isso pode estar relacionado principalmente ao tipo de milho utilizado no processo, pois o milho americano possui uma proporção maior de endosperma farináceo, e os grânulos de amido são circundados por uma matriz proteica esparsa e fragmentada, deixando a proteína mais disponível.

Para os DDG HP não houve diferença no CDIe para arginina, cistina, lisina e metionina; para os outros aminoácidos os valores foram superiores para o produto americano em relação ao brasileiro. A digestibilidade da lisina normalmente é pior para os DDGs HP, isso acontece porque o processo de secagem afeta mais os AA ja que se trata de um produto muito proteico, e o principal aminoacido prejudicado é a lisina, pois ocorre a reação de Maillard.

Na literatura, Applegate et al. (2009) encontraram valores superiores de CDIe quando determinaram a digestibilidade ileal estandardizada para um DDG HP, porém esta é a única referência na literatura com o CDIe de um DDG HP. Assim esses valores superiores podem ser devido ao tipo de processamento, grão, secagem, entre outros fatores.

Na Tabela 17 e 18 estão apresentados os valores de digestibilidade ileal estandardizada dos aminoácidos (CDIe) e conteúdo de aminoácidos digestíveis estandardizados (AADE) dos ingredientes de estudo em relação a soma dos aminoácidos comparando com milho com 7% de PB e farelo de soja com 45% de PB.

O FMS é um produto com nível de aminoácidos inferior aos demais produtos de estudo, em razão seu teor mais baixo de proteína, contudo verifica-se que este tem composição aminoacídica melhor balanceada do que o do milho grão, principalmente pelo fato deste produto ter um aporte maior em relação a soma de aminoácidos de lisina. O perfil de aminoácidos do FMS difere do perfil da proteína do milho que lhe deu origem, indicando que isso ocorre devido à adição de solúveis ao produto.

Para os aminoácidos digestíveis o DDGS possui uma quantidade superior quando comparado ao milho e ao FMS, isso se deve ao maior aporte proteico deste ingrediente. Quando comparado a soma de aminoácidos, sem o triptofano, dos ingredientes que possuem solúveis em sua composição com o milho grão, observa-se que para os aminoácidos alanina, leucina, serina e valina, existe uma superioridade do aporte de aminoácidos maior para o grão de milho, e menor para o FMS, contudo o DDGS não difere desses dois ingredientes. O mesmo acontece para a treonina, prolina e metionina, percebe-se um maior aporte para o milho em relação aos aminoácidos totais, do que o DDGS e FMS. Porem a lisina e a arginina tem uma contribuição maior na soma dos aminoácidos do FMS, do que o grão de milho e DDGS. Os coprodutos tem uma maior contribuição de ácido aspártico e glutâmico na soma dos aminoácidos quando comparados ao grão de milho.

Quando comparamos os aminoácidos digestíveis do farelo de soja com os coprodutos DDG, observa-se que o farelo de soja possui uma maior quantidade de aminoácidos digestíveis para a maioria dos aminoácidos isso apenas não acontece para ácido glutâmico, alanina, leucina e prolina, que são os aminoácidos de principais aporte no grão de milho e para a metionina, que foi um grande destaque para o DDG brasileiro, já que o DDG americano contém a mesma quantidade do que um farelo de soja. O mesmo efeito é verificado na proporção de aminoácidos em relação a soma de aminoácidos, o DDG brasileiro tem um maior aporte do que o DDG americano e o farelo de soja. Para o ácido glutâmico, alanina, leucina e prolina se observa uma maior quantidade para os DDGs em comparação ao farelo de soja. E para os demais aminoácidos o farelo de soja possui uma maior concentração em comparação aos coprodutos de alto teor proteico.

Tabela 17. Comparação do aporte de aminoácidos digestíveis em relação a soma dos aminoácidos do Farelo de milho com solúveis e o DDGS com o milho (7%) e conteúdo de aminoácidos digestíveis estandardizados (AADE), expresso na matéria seca (MS).

Ingredientes	Asp[1]	Glu[1]	Ala[1]	Arg[1]	Cys[1]	Phe[1]	Gly[1]	His[1]	Ile[1]	Leu[1]	Lys[1]	Met[1]	Pro[1]	Ser[1]	Tyr[1]	Thr[1]	Val[1]	Soma dos Aminoácidos[2]
	% de aminoácidos digestíveis																	
DDGS PA	7,09	18,05	8,07	5,23	1,80	5,51	3,54	2,34	3,82	12,76	2,84	1,91	8,94	4,74	4,69	3,82	4,85	100
FMS	6,56	18,77	8,00	7,38	2,67	4,82	3,90	2,87	3,18	9,85	4,62	1,85	9,33	4,21	4,10	3,49	4,41	100
Milho	4,16	9,32	8,15	5,66	2,33	5,49	3,99	3,66	3,99	15,14	3,16	2,50	12,65	5,32	4,49	4,83	5,16	100
	Aminoácidos digestíveis (%)																	
DDGS PA	1,30	3,31	1,48	0,96	0,33	1,01	0,65	0,43	0,70	2,34	0,52	0,35	1,64	0,87	0,86	0,70	0,89	18,34
FMS	0,64	1,83	0,78	0,72	0,26	0,47	0,38	0,28	0,31	0,96	0,45	0,18	0,91	0,41	0,40	0,34	0,43	9,75
Milho	0,25	0,56	0,49	0,34	0,14	0,33	0,24	0,22	0,24	0,91	0,19	0,15	0,76	0,32	0,27	0,29	0,31	6,01

[1] Ácido aspártico, Ácido glutâmico, Alanina, Arginina, Cistina, Fenilalanina, Glicina, Histidina, Isoleucina, Leucina, Lisina, Metionina, Prolina, Serina, Tirosina, Treonina e Valina.

[2]Soma dos aminoácidos sem o triptofano.

Tabela 18. Comparação do aporte de aminoácidos digestíveis em relação a soma dos aminoácidos dos DDG brasileiro e americano com o farelo de soja (45%) e conteúdo de aminoácidos digestíveis estandardizados (AADE), expresso na matéria seca (MS).

Ingredientes	Asp[1]	Glu[1]	Ala[1]	Arg[1]	Cys[1]	Phe[1]	Gly[1]	His[1]	Ile[1]	Leu[1]	Lys[1]	Met[1]	Pro[1]	Ser[1]	Tyr[1]	Thr[1]	Val[1]	Soma dos Aminoácidos[2]
	% de aminoácidos digestíveis																	
DDG HPA	5,97	18,82	8,26	4,67	1,34	5,65	2,93	2,25	3,76	14,35	2,25	2,21	9,45	4,86	4,47	3,80	4,94	100
DDG HPB	5,64	18,44	7,88	5,68	1,75	5,54	3,03	2,61	3,51	12,80	3,20	2,55	9,67	4,51	4,85	3,51	4,85	100
Farelo de soja	8,26	11,81	4,97	8,98	1,65	6,12	4,68	3,09	5,46	9,04	7,34	1,62	5,95	6,33	4,65	4,42	5,63	100
	Aminoácidos digestíveis (%)																	
DDG HPA	1,51	4,76	2,09	1,18	0,34	1,43	0,74	0,57	0,95	3,63	0,57	0,56	2,39	1,23	1,13	0,96	1,25	25,29
DDG HPB	1,64	5,36	2,29	1,65	0,51	1,61	0,88	0,76	1,02	3,72	0,93	0,74	2,81	1,31	1,41	1,02	1,41	29,07
Farelo de soja	2,86	4,09	1,72	3,11	0,57	2,12	1,62	1,07	1,89	3,13	2,54	0,56	2,06	2,19	1,61	1,53	1,95	34,62

[1] Ácido aspártico, Ácido glutâmico, Alanina, Arginina, Cistina, Fenilalanina, Glicina, Histidina, Isoleucina, Leucina, Lisina, Metionina, Prolina, Serina, Tirosina, Treonina e Valina.

[2]Soma dos aminoácidos sem o triptofano.

6. CONCLUSÃO

Os valores de EMAn na matéria natural, para fins de formulação de rações para frangos de corte, foram de 2,284 kcal/g para o FMS e 2,357 kcal/g para o DDG HPB, sendo mais elevada para o FMS em relação ao DDGS PA e semelhante para os DDG HP. Os valores de Met, Lys, Thr e Val estandardizados digestíveis com base na matéria natural no DDG HP brasileiro foram 6 a 63% superiores em comparação ao norte-americano. Os coprodutos que contém solúveis em sua composição possuem um maior aporte de aminoácidos digestíveis quando comparados ao milho e os coprodutos de elevado teor proteico se destacam principalmente pela quantidade de metionina, mesmo este não sendo um aminoácido de destaque do grão de milho.

REFERÊNCIAS

Adedokun, S. A., Adeola, O., Parsons, C. M., Lilburn, M. S., & Applegate, T. J. 2008. Standardized ileal amino acid digestibility of plant feedstuffs in broiler chickens and turkey poults using a nitrogen-free or casein diet. Poultry science, 87(12), 2535-2548.

Adedokun, S. A., Jaynes, P., Payne, R. L., & Applegate, T. J. 2015. Standardized ileal amino acid digestibility of corn, corn distillers' dried grains with solubles, wheat middlings, and bakery by-products in broilers and laying hens. Poultry science, 94(10), 2480-2487.

Adedokun, S. A., Utterback, P., Parsons, C. M., Adeola, O., Lilburn, M. S., & Applegate, T. J. 2009. Comparison of amino acid digestibility of feed ingredients in broilers, laying hens and caecectomised roosters. British poultry science, 50(3), 350-358.

Adeola, O., e Zhai, H. 2012. Metabolizable energy value of dried corn distillers grains and corn distillers grains with solubles for 6-week-old broiler chickens. Poultry science, 91(3), 712-718.

Adeola, O., Xue, P. C., Cowieson, A. J., & Ajuwon, K. M. 2016. Basal endogenous losses of amino acids in protein nutrition research for swine and poultry. Animal Feed Science and Technology, 221, 274-283.

Agricultural Marketing Resource Center, Weekly Ethanol, Distillers Grain and Corn Prices, 2019. Disponível em https://www.agmrc.org/renewable-energy/ethanol/ethanol-prices-trends-and-markets. [Acesso em: 01 jun 2019].

Albino, L. F. T.; Silva, S. H. M.; Vargas Jr, J. G.; Rostagno, H. S.; Silva, M. A. 1999. Níveis de metionina mais cistina para frangos de corte de 1 a 21 e 22 a 42 dias de idade. Revista Brasileira de Zootecnia. 28(3):519-525.

Albino, L.F.T.; Rostagno, H.S.; Tafuri, M.L.; Silva, M.A. 1992. Determinação dos valores de energia metabolizável aparente e verdadeira de alguns alimentos para aves, usando diferentes métodos. Revista da Sociedade Brasileira de Zootecnia, v.21, p.1047-1058.

Alizadeh, M., Rodriguez-Lecompte, J. C., Rogiewicz, A., Patterson, R., Slominski, B. A. 2016. Effect of yeast-derived products and distillers dried grains with solubles (DDGS) on growth performance, gut morphology, and gene expression of pattern recognition receptors and cytokines in broiler chickens. Poultry science, 95(3), 507-517.

Alves, J. O.; Zhuo, C.; Levendis, Y. A.; Tenório, J. A. S. 2012. Síntese de nanomateriais de carbono a partir do resíduo de milho (DDGS). Química Nova. 35(8):1534-1537.

Analíticos, M. (2013). Compêndio Brasileiro de Alimentação Animal.

Andrade, R. C.; Lara, L. J. C.; Pompeu, M. A.; Cardeal, P. C.; Miranda, D. J. A.; Baião, N. C. 2016. Avaliação da correção da energia pelo balanço de nitrogênio em alimentos para frangos de corte. Arquivo Brasileiro de Medicina Veterinária e Zootecnia. 497-505.

Applegate, T. J., Troche, C., Jiang, Z., & Johnson, T. 2009. The nutritional value of high-protein corn distillers dried grains for broiler chickens and its effect on nutrient excretion. Poultry science, 88(2), 354-359.

Association of American Feed Control Officials Incorporated. 2004. Official Publication. Oxford, Ind.

Association of Official Analitical Chemists - AOAC. Official methods of analysis. 16.ed. Washington, D.C.: 1995. 1094p.

Belyea, R. L., Rausch, K. D., Tumbleson, M. E. 2004. Composition of corn and distillers dried grains with solubles from dry grind ethanol processing. Bioresource technology, 94(3), 293-298.

Belyea, R., Eckhoff, S., Wallig, M., Tumbleson, M., 1998. Variability in the nutritional quality of distillers solubles. Bioresour. Technol. 66, 207–212.

Blok, M. C., Jansman, A. J. M., & Makkink, C. A. 2017. Amount and amino acid composition of basal endogenous protein losses at the terminal ileum of broilers (No. 60). Wageningen Livestock Research.

BNDES e CGEE. 2008. Cana-de-açúcar: energia para o desenvolvimento sustentável.

Borém, A.; Rios, S.A. Milho biofortificado. Viçosa: SUPREMA, 2011. 211p.

Bregendahl, K. 2008. Use of distillers co-products in diets fed to poultry. Using Distillers Grains in the US and International Livestock and Poultry Industries. MATRIC Iowa State University, Ames, Iowa, USA, 99-133.

Caetano, V. C.; Faria, D. E.; Caniatto, A. R. M.; Faria Filho, D. E.; Nakagi, V. S. 2015. Performance and carcass yield of broilers from 1 to 46 days fed diets containing different levels of valine and reduced protein content. Arquivo Brasileiro de Medicina Veterinária e Zootecnia, 67(6): 1721-1728.

Calderano, A. A. 2008. Determinação de valores de energia metabolizável de alimentos para aves. Revista Eletrônica Nutritime. 5: 626-637.

Cantarelli, V.S.; Fialho, E.T.; Sousa, R.V.; Freitas, R.T.F.; Lima, J.A.F. 2007. Composição química, vitreosidade e digestibilidade de diferentes híbridos de milho para suínos. Ciência e Agrotecnologia, v. 31, n. 3, p. 860-864.

Cardoso, A. L. S. P. e Tessari, E. N. C. 2015. Interação entre imunidade e nutrição das aves: revisão de literatura. Revista Científica de Medicina Veterinária, 24.

Cardoso, A.; Tessari, E. 2015. Interação entre imunidade e nutrição das aves: revisão de literatura. Revista Científica Eletrônica de Medicina Veterinária. 24:1-20.

Carvalho, D. C. D. O., Albino, L. F. T., Rostagno, H. S., Oliveira, J. E. D., Vargas Júnior, J. G. D., Toledo, R. S., ... Souza, R. M. D. 2004. Composição química e energética de amostras de milho submetidas a diferentes temperaturas de secagem e períodos de armazenamento. Revista Brasileira de Zootecnia.

Chatzifragkou, A., Charalampopoulos, D. 2018. Distiller's dried grains with solubles (DDGS) and intermediate products as starting materials in biorefinery strategies. In Sustainable Recovery and Reutilization of Cereal Processing By-Products (pp. 63-86). Woodhead Publishing.

Cinelli, A. 2012. Produção de etanol a partir da fermentação simultânea à hidrólise do amido granular de resíduo agroindustrial. Bernardo Alves Cinelli. Rio de Janeiro: UFRJ/COPPE.

Corassa, A., da Silva Lautert, I. P. A., da Silva, L. L., de Souza, C. 2017. Uso de DDGS de milho para suínos: uma breve revisão. Scientia Agraria Paranaensis, 17(2), 157.

Cortes-Cuevas, A., Ramírez-Estrada, S., Arce-Menocal, J., Avila-González, E., López-Coello, C. 2015. Effect of feeding low-oil DDGS to laying hens and broiler chickens on performance and egg yolk and skin pigmentation. Brazilian Journal of Poultry Science, 17(2), 247-254.

Cromwell, G.L., K.L. Herkelman, and T.S. Stahly. 1993. Physical, chemical, and nutritional characteristics of distillers dried grains with solubles for chicks and pigs. J. Anim. Sci. 71:679-686.

Dale, N., Batal, A. 2003. Nutritional value of distillers dried grains and solubles for poultry. In 19th Annu. Carolina Nutr. Conf., Research Triangle, NC (pp. 1-6).

Dozier III, W. A., Perryman, K. R., & Hess, J. B. 2015. Apparent ileal amino acid digestibility of reduced-oil distillers dried grains with solubles fed to broilers from 23 to 31 days of age. Poultry science, 94(3), 379-383.

Dozier, W. A., McCafferty, K., & Hess, J. B. 2017. Growth and meat yield responses of Ross× Ross 708 male broilers fed diets formulated with distillers dried grains with solubles varying in ether extract content and inclusion rate from 1 to 49 days of age. The Journal of Applied Poultry Research, 26(1), 23-37.

Ergul, T., C. Martinez-Amezcua, C. Parsons, B. Walters, J. Brannon and S.L. Noll. 2003. Amino acid digestibility in corn distillers dried grains with solubles. Presented at the 2003 Poultry Science Association Mtg., Madison, WI, July 2003. Disponível em: www.ddgs.umn.edu/info-poultry.html.

Fastinger, N. D., Latshaw, J. D., & Mahan, D. C. 2006. Amino acid availability and true metabolizable energy content of corn distillers dried grains with solubles in adult cecectomized roosters. Poultry science, 85(7), 1212-1216.

Fernandes, M. N. S. 2012. Aminoácidos digestíveis na nutrição de frangos de corte. Revista eletrônica nutritime, Artigo 185 – vol 9- N° 06-p. 2135-2153.

Fernandes, R. T. V., de Arruda, A. M. V., de Araújo, M. S., da Silva Melo, A., Marinho, J. B. M., Vasconcelos, N. V. B., ... de Holanda, J. S. 2015. Valores energéticos e coeficientes de digestibilidade de uma ração tradicional para aves Label Rouge em diferentes idades. Acta Veterinaria Brasilica, 9(2), 108-113.

Foltyn, M., Lichovnikova, M., Rada, V., & Musilová, A. 2015. Apparent ileal digestibility of protein and amino acids in protein feedstuffs and trypsin activity in the small intestine in broiler chickens. Czech J. Anim. Sci, 60, 375-382.

Foltyn, M., Rada, V., Lichovníková, M., & Dračková, E. 2013. Effect of corn DDGS on broilers performance and meat quality. Acta Universitatis Agriculturae et Silviculturae Mendelianae Brunensis, 61(1), 59-64.

Frank, R., Nunes, R. V., Schone, R. A., Pires Filho, I. C., Silva, I. M., Castilha, L. D. 2016. Determinação dos valores energéticos e aminoacídicos da silagem de grãos úmidos de milho para frangos de corte. Archivos de zootecnia, 65(249), 103-106.

Freitas, E. R., Sakomura, N. K., Ezequiel, J. M. B., Neme, R., & de Oliveira Mendonça, M. 2006. Energia metabolizável de alimentos na formulação de ração para frangos de corte. Pesquisa Agropecuária Brasileira, 41(1), 107-115.

Freitas, E. R., Sakomura, N. K., Ezequiel, J. M. B., Neme, R., de Oliveira Mendonça, M. 2006. Energia metabolizável de alimentos na formulação de ração para frangos de corte. Pesquisa Agropecuária Brasileira, 41(1), 107-115.

Freitas, E. R.; Sakomura, N. K.; Neme, R.; Santos, A. L. D.; Fernandes, J. B. K. 2005. Efeito do processamento da soja integral sobre a energia metabolizável e a digestibilidade dos aminoácidos para aves. Revista Brasileira de Zootecnia. 34(6):1938-1949.

Freitas, S. M. 2018. Situação Atual e Perspectivas da Produção Brasileira de Etanol de Milho. Disponível em http://www.iea.sp.gov.br/out/verTexto.php?codTexto=14464. [Acesso em: 025 jun 2019].

Fries, K., & Bobeck, E. 2018. Evaluation of a High Protein DDGS Product on Broiler Performance. Animal Industry Report, 664(1), 56.

FS Bioenergia, Guia dos Produtos (http://www.fsbioenergia.com.br/pt-br) Acesso: 28/07/2017.

Guney, A. C., Shim, M. Y., Batal, A. B., Dale, N. M., Pesti, G. M. 2013. Effect of feeding low-oil distillers dried grains with solubles on the performance of broilers. Poultry science, 92(8), 2070-2076.

Han, J., e Liu, K. 2010. Changes in composition and amino acid profile during dry grind ethanol processing from corn and estimation of yeast contribution toward DDGS proteins. Journal of agricultural and food chemistry, 58(6), 3430-3437.

Hisano, H., Sampaio, F. G., Barros, M. M., & Pezzato, L. E. 2008. Composição nutricional e digestibilidade aparente da levedura íntegra, da levedura autolisada e da parede celular pela Tilápia-do-Nilo. Embrapa Agropecuária Oeste-Artigo em periódico indexado (ALICE).

Jie, Y. Z., Zhang, J. Y., Zhao, L. H., Ma, Q. G., Ji, C. 2013. The correlationship between the metabolizable energy content, chemical composition and color score in different sources of corn DDGS. Journal of animal science and biotechnology, 4(1), 38.

Junqueira, O. M.; Duarte, K. F.; Cancherini, L. C.; Araújo, L. F.; Oliveira, M. C. D.; Garcia, E. A. 2009. Composição química, valores de energia metabolizável e aminoácidos digestíveis de subprodutos do arroz para frangos de corte. Ciência Rural. 39(8): 2497-2503.

Kato, R.K. 2005. Energia metabolizável de alguns ingredientes para frangos de corte em diferentes idades. 2005. 96f. Tese (Doutorado em Zootecnia) - Universidade Federal de Lavras, Lavras.

Kerr, B. J., Dozier III, W. A., & Shurson, G. C. 2016. Lipid digestibility and energy content of distillers' corn oil in swine and poultry. Journal of animal science, 94(7), 2900-2908.

Khatibi, P., McMaster, N., Musser, R. 2014. Survey of mycotoxins in corn distillers' dried grains with solubles from seventy-eight ethanol plants in twelve states in the US in 2011. Toxins, 6(4), 1155-1168.

Kim, E. J., Amezcua, C. M., Utterback, P. L., Parsons, C. M. 2008. Phosphorus bioavailability, true metabolizable energy, and amino acid digestibilities of high protein corn distillers dried grains and dehydrated corn germ. Poultry science, 87(4), 700-705.

Kim, E. J., Parsons, C. M., Srinivasan, R., Singh, V. 2010. Nutritional composition, nitrogen-corrected true metabolizable energy, and amino acid digestibilities of new corn distillers dried grains with solubles produced by new fractionation processes. Poultry science, 89(1), 44-51.

Kim, E. J., Utterback, P. L., & Parsons, C. M. 2012. Comparison of amino acid digestibility coefficients for corn, corn gluten meal, and corn distillers dried grains with solubles among 3 different bioassays. Poultry science, 91(12), 3141-3147.

Kim, E. J., Utterback, P. L., Applegate, T. J., & Parsons, C. M. 2011. Comparison of amino acid digestibility of feedstuffs determined with the precision-fed cecectomized rooster assay and the standardized ileal amino acid digestibility assay. Poultry science, 90(11), 2511-2519.

Kingsly, A. R. P., Ileleji, K. E., Clementson, C. L., Garcia, A., Maier, D. E., Stroshine, R. L., Radcliff, S. 2010. The effect of process variables during drying on the physical and chemical characteristics of corn dried distillers grains with solubles (DDGS)–Plant scale experiments. Bioresource Technology, 101(1), 193-199.

Komatsu, G. S. N. 2018. Características químicas e físicas de diferentes tipos de milho segregados em mesa densimétrica e sua influência sobre o valor nutricional para frangos de corte (Doctoral dissertation, Universidade de São Paulo).

Liu, K. 2011. Chemical composition of distillers grains, a review. Journal of agricultural and food chemistry, 59(5), 1508-1526.

Loar II, R. E. 2011. The evaluation of distiller's dried grains with solubles (DDGS) as an alternative feed ingredient in poultry diets. Mississippi State University.

Lumpkins, B. S., Batal, A. B., & Dale, N. M. 2004. Evaluation of distillers dried grains with solubles as a feed ingredient for broilers. Poultry science, 83(11), 1891-1896.

Martinez-Amezcua, C., Parsons, C. M., Singh, V., Srinivasan, R., Murthy, G. S. 2007. Nutritional characteristics of corn distillers dried grains with solubles as affected by the amounts of grains versus solubles and different processing techniques. Poultry science, 86(12), 2624-2630.

Mazzuco, H. 2011. Questões legais e voluntárias no manejo ambiental na avicultura. Embrapa Suínos e Aves-Capítulo em livro científico (ALICE).

Mello, H. H. C.; Gomes, P. C.; Rostagno, H. S.; Albino, L. F. T.; de Souza, R. M.; Calderano, A. A. 2009. Valores de energia metabolizável de alguns alimentos obtidos com aves de diferentes idades. Revista Brasileira de Zootecnia, 38(5), 863-868.

Meloche, K. J., Kerr, B. J., Billor, N., Shurson, G. C., & Dozier III, W. A. 2014. Validation of prediction equations for apparent metabolizable energy of corn distillers dried grains with solubles in broiler chicks. Poultry science, 93(6), 1428-1439.

Meloche, K. J., Kerr, B. J., Shurson, G. C., & Dozier III, W. A. 2013. Apparent metabolizable energy and prediction equations for reduced-oil corn distillers dried grains with solubles in broiler chicks from 10 to 18 days of age. Poultry science, 92(12), 3176-3183.

Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. 2018. Projeções do Agronegócio: Brasil 2017/18 a 2027/28 – Projeções de longo prazo. MAPA/SPA, 59-64.

Moughan PJ, Schuttert G e Leenaars M. 1992. Endogenous amino acid flow in the stomach and small intestine of the young growing pig. J Sci Food Agric 60, 437–442.

Nascimento, R. S. 2014. Determinação de energia e metabolizabilidade de nutrientes da farinha de resíduo de camarão em frangos caipiras. 59f. Dissertação (mestrado em Zootecnia) – Universidade Federal de Sergipe.

Nazareno, A. C.; Pandorfi, H.; Guiselini, C.; Vigoderis, R. B.; Pedrosa, E. M. R. 2016. Bem-estar na produção de frango de corte em diferentes sistemas de criação. Engenharia Agrícola. 31(1).

Neto, A. R. O., de Oliveira, W. P. 2009. Aminoácidos para frangos de corte. Revista Brasileira de Zootecnia, 38, 205-208.

Noll, S., Parsons, C., Dozier III, W. 2007. Formulating poultry diets with ddgs–how far can we go? In Proceedings of the 5th Mid-Atlantic Nutrition Conference (p. 91).

NRC - National Research Council. 1994. Nutrient requirements of poultry.

NRC - National Research Council. 2012. Nutrient requirements of swine. National Academies Press.

OCDE – FAO. 2015. Perspectivas Agrícolas no Brasil: desafios da agricultura brasileira 2015-2024. Disponível em: www.fao.org.br/download/PA20142015CB.pdf. [Acesso em: 01jun.2017].

Osho, S. O., Babatunde, O. O., Adeola, O. 2018. Additivity of apparent and standardized ileal digestibility of amino acids in wheat, canola meal, and sorghum distillers dried grains with solubles in mixed diets fed to broiler chickens. Poultry science, 98(3), 1333-1340.

Paes, M.C.D. 2006. Aspectos físicos, químicos e tecnológicos do grão de milho. Sete Lagoas: EMBRAPA, CNPMS. 6p. (Circular Técnico, 75).

Penz Jr, A. M., Kessler, A. M., Brugalli, I. 1999. Novos conceitos de energia para aves. Simpósio Internacional sobre Nutrição de Aves, 1-24.

Ravindran, V., & Bryden, W. L. 1999. Amino acid availability in poultry—In vitro and in vivo measurements. Australian Journal of Agricultural Research, 50(5), 889-908.

Ravindran, V., P.C.H. Morel, S.M. Rutherford & D.V. Thomas; 2009. Endogenous flow of amino acids in the avian ileum as influenced by increasing dietary peptide concentrations. British Journal of Nutrition 101:822-828

Renewable Fuels Association, 2019. Disponível em https://afdc.energy.gov/data/10331. [Acesso em: 01 jun 2019].

RFA – Renewable Fuels Association. [https://ethanolrfa.org/statistics/annual-ethanol-production/, acessado dia 05/11/2019]

Richetti, A.; Santos, A. C. 2011. O sistema integrado de produção de frango de corte em Minas Gerais: uma análise sob a ótica da ECT. Organizações Rurais & Agroindustriais. 2(2).

Rochell, S. J., Applegate, T. J., Kim, E. J., & Dozier III, W. A. 2012. Effects of diet type and ingredient composition on rate of passage and apparent ileal amino acid digestibility in broiler chicks. Poultry science, 91(7), 1647-1653.

Rochell, S. J., Kerr, B. J., & Dozier III, W. A. 2011. Energy determination of corn co-products fed to broiler chicks from 15 to 24 days of age, and use of composition analysis to predict nitrogen-corrected apparent metabolizable energy. Poultry science, 90(9), 1999-2007.

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. Tabelas brasileiras para aves e suínos: composição de alimentos e exigências nutricionais. 4. ed. Viçosa: Universidade Federal de Viçosa, 2017.

Ruan, D.; Jiang, S. Q.; Hu, Y. J.; Ding, F. Y.; Fan, Q. L.; Chen, F.; Wang, Y. 2017. Effects of corn distillers dried grains with solubles on performance, oxidative status, intestinal immunity and meat quality of Chinese Yellow broilers. Journal of Animal Physiology and Animal Nutrition.

Sakomura, N.; Rostagno, H. 2016. Métodos de pesquisa em nutrição de monogástricos. 41-71.

Salim, H. M., Kruk, Z. A., Lee, B. D. 2010. Nutritive value of corn distillers dried grains with solubles as an ingredient of poultry diets: A review. World's poultry science journal, 66(3), 411-432.

Scapim, M. R. S., Loures, E. G., Rostagno, H., Cecon, P. R., & Scapim, C. R. 2003. Avaliação nutricional da farinha de penas e de sangue para frangos de corte submetida a diferentes tratamentos térmicos. Acta Scientiarum. Animal Sciences, 25(1), 91-98.

Schaafsma, A. W., Limay-Rios, V., Paul, D. E., & Miller, J. D. 2009. Mycotoxins in fuel ethanol co-products derived from maize: a mass balance for deoxynivalenol. Journal of the Science of Food and Agriculture, 89(9), 1574-1580.

Schöne, R. 2015. Resíduo seco de destilaria com solúveis (DDGS) na alimentação de frangos de corte. 57f, Doctoral dissertation, Dissertação (Mestre em Nutrição e Produção Animal), Programa de Pós Graduação em Zootecnia–Universidade Estadual do Oeste do Paraná, Marechal Candido Rondon.

Schöne, R. A.; Nunes, R. V.; Frank, R.; Eyng, C.; Castilha, L. D. 2017. Resíduo seco de destilaria com solúveis (DDGS) na alimentação de frangos de corte (22-42 dias). Revista Ciência Agronômica 48(3):548.

Scottá, B. A., Albino, L. F. T., Brustolini, P. C., Gomide, A. P. C., Campos, P. F., & Rodrigues, V. V. 2016. Determinação da composição química e dos valores de energia metabolizável de alguns alimentos proteicos para frangos de corte. Ciência Animal Brasileira, 17(4), 501-508.

Scottá, B.; Pereira, C.; Bernardino, V. 2012. Energia Metabolizável e Aminoácidos Digestíveis dos Alimentos para Frangos de Corte. Revista Nutritime. 9(4):1861-1874.

Shurson, J. 2009. A Scientific Assessment of the Role of Distiller's Grains (DGS) and Predictions of the Impact of Corn Co-Products Produced by Front-End Fractionation and Back-End Oil Extraction Technologies on Indirect Land Use Change. University of Minnesota for the Renewable Fuels Association Annual Report.

Shurson, J., Alhamdi, A. S. 2008. Quality and new technologies to create corn co-products from ethanol production. Using Distillers Grains in the US and International Livestock and Poultry Industries, 231-256.

Shurson, J., Johnston L., Baidoo S., e Whitney M. 2009. Use of dried distillers grains with solubles (DDGS) in swine diets.

Sibbald, I. R.; Slinger, S. J. 1963. A biological assay for metabolizable energy in poultry feed ingredients together with findings which demonstrate some of the problems associated with the evaluation of fats. Poultry Science. 42(2):313-325.

Signorini, G., Gow, H. R., & Peterson, H. C. 2010. The Development of the Brazilian Bio-electricity Market: An Historical Analysis of the Institutional Changes in the Sugarcane and Electricity Markets (No. 320-2016-10257).

Silva, C. S.; Couto H. P.; Ferreira R. A.; Fonseca J. B.; Gomes A. V. C.; Soares R. T. R. 2008. Valores nutricionais de milho de diferentes qualidades para frangos de corte. Revista Brasileira de Zootecnia v.37, n.5, p.883-889

Silva, D. J. e Queiroz, A. C. 2002. Análise de alimentos: métodos químicos e biológicos. 3.ed. Viçosa, MG: Universidade Federal de Viçosa. 235p.

Silva, E. A. 2010. Valores de energia metabolizável e de aminoácidos digestíveis de alguns alimentos. 67f, Teses e dissertações defendidas no Programa de Pós-Graduação em Zootecnia. Universidade Federal de Viçosa.

Spiehs, M. J., Whitney, M. H., Shurson, G. C. 2002. Nutrient database for distiller's dried grains with solubles produced from new ethanol plants in Minnesota and South Dakota. Journal of animal science, 80(10), 2639-2645.

Strazzi, S. 2015. Derivados do milho são usados em mais de 150 diferentes produtos industriais. Revista Visão Agrícola–USP/ESALQ, (13), 146-150.

Troni, A. R.; Gomes, P. C.; Mello, H. H. C.; Albino, L. F.; Rocha, T. C. 2016. Composição química e energética de alimentos para frangos de corte. Revista Ciência Agronômica. 47(4):755.

US Grains Council 2012. A guide to distiller's dried grains with solubles (DDGS). Disponível em: http://www. ddgs. umn. edu/prod/groups/cfans/@ pub/@ cfans/@ ansci/documents/ass et/cfans_asset_417244. pdf, 25(04), 2013.

US Grains Council 2018. A guide to distiller's dried grains with solubles (DDGS). Disponível em: https://grains.org/buying-selling/ddgs/user-handbook/, 2019.

Yu, P. 2011. Study the sensitivity of molecular functional groups to bioethanol processing in lipid biopolymer of co-products using DRIFT molecular spectroscopy. Spectrochimica Acta Part A: Molecular and Biomolecular Spectroscopy, 82(1), 1-7.

Zhang, Y.; Caupert, J.; Richard, J.; Imerman, P. & Shurson, J. 2009. Scientific overview of mycotoxins in DDGS. Journal of Agricultural and Food Chemistry