

UNIVERSIDADE FEDERAL RURAL DE PERNAMBUCO

PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ZOOTECNIA

TATIANE AMARAL DE BARROS

**AVALIAÇÃO NUTRICIONAL DE INGREDIENTES VEGETAIS ENERGÉTICOS EM
FRANGOS DE CORTE**

RECIFE, 2026

TATIANE AMARAL DE BARROS

**AVALIAÇÃO NUTRICIONAL DE INGREDIENTES VEGETAIS ENERGÉTICOS EM
FRANGOS DE CORTE**

Dissertação apresentada ao
Programa de Pós Graduação em
Zootecnia da Universidade
Federal Rural de Pernambuco
para obtenção do título de Mestre
em Zootecnia

Área de concentração: Zootecnia

Orientadora: Prof^a Dr^a Maria do
Carmo Mohaupt Marques Ludke

Co-orientador: Prof^o Dr^a Carlos
Bôa-Viagem Rabello

RECIFE, 2026

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação
Sistema Integrado de Bibliotecas da UFRPE
Bibliotecário(a): Suely Manzi – CRB-4 809

B277a Barros, Tatiane Amaral de.
Avaliação nutricional de ingredientes vegetais energéticos em frangos de corte / Tatiane Amaral de Barros. – Recife, 2026.
61 f.

Orientador(a): Maria do Carmo Mohaupt Marques Ludke.

Co-orientador(a): Carlos Bôa-Viagem Rabello.

Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal Rural de Pernambuco, Programa de Pós-Graduação em Zootecnia, Recife, BR-PE, 2026.

Inclui referências.

1. Aves. 2. Metabolismo energético. 3. Regressão linear. 4. Metabolismo animal 5. Aves domésticos - Alimentação e rações. I. Ludke, Maria do Carmo Mohaupt Marques, orient. II. Rabello, Carlos Bôa-Viagem, coorient. III. Título

CDD 636



UNIVERSIDADE FEDERAL RURAL DE PERNAMBUCO
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ZOOTECNIA

AVALIAÇÃO NUTRICIONAL DE INGREDIENTES VEGETAIS ENERGÉTICOS EM
FRANGOS DE CORTE

Dissertação elaborada por

TATIANE AMARAL DE BARROS

Aprovado em/...../.....

BANCA EXAMINADORA

∖

Dra. Maria do Carmo Mohaupt Marques Ludke, Profª Titular, UFRPE

∖

Dra. Camilla Mendonça Silva, Profª Adjunta, UFRPE

∖

Dra. Cláudia da Costa Lopes , Profª Adjunta, UFRN

AGRADECIMENTOS

A Deus, agradeço primeiramente por me conceder a oportunidade e a bênção de cursar o mestrado, fortalecendo-me ao longo de toda essa trajetória.

Aos meus pais Eliane Silva e Idelson Tobias, expresso minha profunda gratidão por todo o amor, incentivo e apoio incondicional, fundamentais para que eu pudesse me dedicar aos estudos e alcançar esta etapa tão importante da minha formação acadêmica e pessoal.

À minha irmã, Ilana Amaral de Barros, agradeço o carinho, amor e apoio constantes em todas as fases da pós-graduação.

À Jonathan Ramos, sou grata pela ajuda, compreensão e paciência demonstradas ao longo desse período.

À Anaxandro Magalhães, deixo meu agradecimento e todo carinho pelo amor, paciência, apoio e colaboração desde o início do processo seletivo e durante todas as etapas da pós-graduação, sendo presença essencial nos momentos mais desafiadores dessa caminhada.

À minha orientadora, Profa. Dra. Maria do Carmo Mohaupt Marques Ludke, agradeço pela dedicação, disponibilidade e comprometimento com o ensino e a pesquisa, bem como pela valiosa orientação na elaboração e execução deste trabalho, contribuindo de forma decisiva para meu crescimento acadêmico e profissional.

Aos meus amigos Edson Carvalho, Kleydson Oliveira e Marcos Cícero que a pós-graduação me presenteou e que desde o início estiveram presentes em todas as etapas dessa trajetória, compartilhando aprendizados, desafios e conquistas. Agradeço, pela amizade genuína, pelo companheirismo constante e pelo apoio mútuo ao longo dessa caminhada com laços fortalecidos na convivência acadêmica ao qual desejo manter por toda a vida.

À equipe formada por Kleydson, Edson, Raphael, Kananda, Clener e Wedja, assim como aos demais colegas, dentre eles Webert, Adrielle, Elton e Daniela, agradeço a colaboração, disponibilidade e apoio ao longo do processo de execução do projeto.

De forma muito especial, agradeço ao meu amigo Kleydson Thyago A. de Oliveira, pela ajuda imensurável, dedicação, paciência, apoio, parceria e disposição em enfrentar comigo os desafios que a vida e a pós-graduação nos impôs.

Por fim, agradeço a todos que, mesmo não mencionados individualmente, fizeram parte dessa importante etapa da minha vida e contribuíram, direta ou indiretamente, para a realização deste trabalho.

RESUMO

O objetivo foi determinar os valores energéticos e a utilização de nutrientes do milho, dois tipos de sorgo da região nordeste (NE) e outro da região sul, a cevada, o trigo e o triticale em frangos de corte machos Ross® 308 AP, comparando os valores obtidos *in vivo* com as estimativas geradas por duas equações de predição encontradas na literatura para cada ingrediente estudado. As equações de predição avaliadas foi a equação 1 para o milho $EMAn = 36,21*PB + 69,60*EE + 38,10*ENN$; para os sorgos $EMAn = 31,02*PB + 77,03*EE + 37,67*ENN$; para a cevada $EMAn = 3,078*PB - 90,4*FB + 9,2*amido$, e para o trigo e triticale $EMAn = (34,92 \times PB) + (63,1 \times EE) + (36,42 \times EFN)$. A equação 1 para cada ingrediente leva em consideração a composição nutricional dos ingredientes estudados. Quanto a equação 2 é única para todos os ingredientes que considera os valores digestíveis determinados, $EMAn = (4,31 \times PB \text{ digestível}) + (9,29 \times EE \text{ digestível}) + (4,14 \times EFN \text{ digestível})$. Os valores de EMAn determinados e estimados foram comparados pela ANOVA, seguidos pelo teste de Tukey ($P < 0,05$). Foram realizadas análises físicas e químicas dos grãos. As análises químicas foram: matéria seca (MS), proteína bruta (PB), extrato etéreo (EE), fibra bruta (FB), matéria mineral (MM) e energia bruta. Para determinação dos coeficientes de metabolização da MS (CMMS), da PB (CMPB), do EE (CMEE) e da EB (CMEB), bem como os valores de EMA e EMAn determinados foi realizado o experimento de metabolismo *in vivo* pelo método de coleta parcial de excretas, com uso de indicador Celite™. Foram utilizados 252 frangos machos da linhagem Ross aos 14 dias de vida. O experimento foi composto por sete tratamentos, com aves distribuídas em 42 gaiolas metabólicas em um delineamento inteiramente casualizado, com seis repetições por tratamento e seis aves por unidade experimental. Os tratamentos consistiram da dieta referência (DR) e as demais a substituição da DR por 30% de cada ingrediente. Os resultados demonstraram semelhanças e variações na composição química e no valor energético dos diferentes ingredientes e cultivares estudados em relação à literatura. Os valores de EMAn determinados (em base na MS) foram: milho (3045 kcal/kg), cevada (2888 kcal/kg), trigo (3377 kcal/kg), triticale (3336 kcal/kg), sorgo NE (3497 kcal/kg) e sorgo Sul (3179 kcal/kg). A comparação entre os valores de EMAn determinados experimentalmente e os estimados pelas equações, respectivamente, revelou que a equação 1, específica por ingrediente, não diferiram significativamente para os ingredientes cevada (2888 kcal/kg X 2895 kcal/kg), Trigo (3377 kcal/kg X 3480 kcal/kg), triticale (3336 kcal/kg X 3426 kcal/kg), revelando assim, que os dados de EMAn destes ingredientes estudados podem ser estimados por estas equações específicas. Por outro lado, os sorgos NE (3497 kcal/kg) e Sul (3179 kcal/kg) não diferiram da equação 2 (3667 kcal/kg e 3497 kcal/kg), respectivamente. O Milho (3956 kcal/kg X 3887 kcal/kg) diferiu das duas equações. O estudo conclui que a caracterização nutricional de um alimento é crucial para determinar a EMAn podendo ser estimada por equações de predição específicas.

Palavras-chave: aves, energia metabolizável, equações de predição, metabolismo

Abstract

The objective of this study was to determine the energy values and nutrient utilization of pearl millet, two types of sorghum from the Northeast (NE) region and one from the South region of Brazil, barley, wheat, and triticale in Ross® 308 AP male broiler chickens. The in vivo values obtained were compared with estimates generated by two prediction equations found in the literature for each ingredient studied. The prediction equations evaluated were: Equation 1 for pearl millet $AMEn = 36.21*CP + 69.60*EE + 38.10*NFE$; for sorghums $AMEn = 31.02 * CP + 77.03 *EE + 37.67*NFE$; for barley $AMEn = 3.078 *CP - 90.4 *CF + 9.2 \text{ starch}$; and for wheat and triticale $AMEn = (34.92 *CP) + (63.1*EE) + (36.42 *NFE)$. Equation 1 for each ingredient considers the nutritional composition of the studied ingredients. Equation 2 is a single equation for all ingredients that considers determined digestible values: $AMEn = (4.31 *CPd) + (9.29*EEd) + (4.14 *NFEd)$. The determined and estimated AMEn values were compared by ANOVA, followed by Tukey's test ($p < 0.05$). Physical and chemical analyses of the grains were performed, including: dry matter (DM), crude protein (CP), ether extract (EE), crude fiber (CF), mineral matter (MM), and gross energy (GE). To determine the metabolizability coefficients of DM (MCDM), CP (MCCP), EE (MCEE), and GE (MCGE), as well as the determined AME and AMEn values, an in vivo metabolism experiment was conducted using the partial excreta collection method with Celite™ as an indicator. A total of 252 Ross male broilers at 14 days of age were used. The experiment consisted of seven treatments, with birds distributed in 42 metabolic cages in a completely randomized design, with six replicates per treatment and six birds per experimental unit. Treatments consisted of a reference diet (RD) and the others involving the replacement of 30% of the RD with each ingredient. The results demonstrated similarities and variations in the chemical composition and energy value of the different ingredients and cultivars studied compared to the literature. The determined AMEn values (DM basis) were: pearl millet (3045 kcal/kg), barley (2888 kcal/kg), wheat (3377 kcal/kg), triticale (3336 kcal/kg), NE sorghum (3497 kcal/kg), and South sorghum (3179 kcal/kg). Comparison between the experimentally determined AMEn values and those estimated by the equations revealed that Equation 1 (specific per ingredient) did not differ significantly for barley (2888 kcal/kg vs. 2895 kcal/kg), wheat (3377 kcal/kg vs. 3480 kcal/kg), triticale (3336 kcal/kg vs. 3426 kcal/kg), and NE sorghum (3497 kcal/kg vs. 3573 kcal/kg), indicating that the AMEn data for these ingredients can be estimated by these specific equations. On the other hand, NE sorghum (3497 kcal/kg) and South sorghum (3179 kcal/kg) did not differ from Equation 2 (3667 kcal/kg and 3497 kcal/kg), respectively. The study concludes that the nutritional characterization of a feedstuff is crucial for determining AMEn, which can be estimated by specific prediction equations.

Keywords: poultry, metabolizable energy, prediction equations, metabolism

Lista de Tabelas

| | |
|--|----|
| Tabela 1 - Disposição dos tratamentos conforme as dietas experimentais | 27 |
| Tabela 2 - Formulação da ração referência demonstrando os ingredientes e composição nutricional | 28 |
| Tabela 3 - Equações de predição do NRC (1994) de acordo com os ingredientes e de Rostagno et al. (2024) para todos os alimentos de origem vegetal..... | 30 |
| Tabela 4 - Valores de composição nutricional, valores de energia bruta (EB) e a avaliação física do Sorgo NE e SUL, em base da matéria seca..... | 31 |
| Tabela 5 - Coeficientes de metabolização da da MS, PB, EE, ENN e da EB, EMA e EMAN dos Sorgo NE e SUL..... | 32 |
| Tabela 6 -Valores de composição nutricional, valores de energia bruta (EB) e a avaliação física da Cevada, em base da matéria seca..... | 34 |
| Tabela 7 - Coeficientes de metabolização da da MS, PB, EE, ENN e da EB, EMA e EMAN da Cevada..... | 36 |
| Tabela 8 - Valores de composição nutricional, valores de energia bruta (EB) e a avaliação física do Trigo, em base da matéria seca..... | 38 |
| Tabela 9 - Coeficientes de metabolização da da MS, PB, EE, ENN e da EB, EMA e EMAN do Trigo..... | 40 |
| Tabela 10 - Valores de composição nutricional, valores de energia bruta (EB) e a avaliação física do Triticale, em base da matéria seca..... | 41 |
| Tabela 11 -Coeficientes de metabolização da da MS, PB, EE, ENN e da EB, EMA e EMAN do Triticale..... | 42 |
| Tabela 12 - Valores de composição nutricional, valores de energia bruta (EB) e a avaliação física do Milheto, em base da matéria seca..... | 44 |
| Tabela 13 - Coeficientes de metabolização da da MS, PB, EE, ENN e da EB, EMA e EMAN do Milheto | 45 |
| Tabela 14 - Valores de EMA e EMAN determinados no presente estudo e as estimados a partir de equações de predição adotadas por Rostagno et al. (2024) e o do NRC (1994)..... | 50 |

Sumário

| | |
|--|----|
| 1 - Introdução | 9 |
| 2. Revisão de literatura | 11 |
| 2.1 - Composição nutricional de alimentos energéticos para frangos de corte | 11 |
| 2.1.1 - Sorgo | 12 |
| 2.1.2 - Cevada | 14 |
| 2.1.3 - Trigo | 15 |
| 2.1.4 - Triticale | 17 |
| 2.1.5 - Milheto | 18 |
| 2.2 - Importância da determinação do valor energético de um alimento pelo método de coleta de excretas em aves para uma formulação das rações mais precisa | 20 |
| 2.3 – Formas de se estimar a EMA e EMAN através de equações de predição existentes para alimentos de origem vegetal em Frangos de Corte | 22 |
| 3 - Materiais e Métodos | 25 |
| 3.1 - Avaliação físico-química dos alimentos | 25 |
| 3.2 - Ensaio de Metabolismo | 25 |
| 3.2.1 Animais e instalações | 25 |
| 3.2.2. Dietas | 26 |
| 3.2.3 Coleta das excretas | 28 |
| 3.3 - Estimativa da EMAN por equação de predição | 29 |
| 3.4 - Análise estatística | 30 |
| 4 - RESULTADOS E DISCUSSÕES | 31 |
| 4.1 Composição físico-química e Coeficientes de metabolização da MS, PB, EE, ENN e da EB dos ingredientes estudados | 31 |
| 4.1.1 - Sorgo NE e SUL | 31 |
| 4.1.2 - Cevada | 34 |
| 4.1.4 - Trigo | 37 |
| 4.1.5 - Triticale | 40 |
| 4.1.6 - Milheto | 43 |
| 4.2 – Efeito comparativo dos valores de EMAN determinados no presente trabalho com os estimados de acordo com as equações de predição do NRC (1994) e do Rostagno et al. (2024). | 47 |
| 4.2.1 - Sorgo NE e SUL | 49 |
| 4.2.3 - Cevada | 50 |
| 4.2.4 - Trigo | 51 |
| 4.2.5 - Triticale | 52 |
| 4.2.6 - Milheto | 54 |
| 5 - Conclusão | 54 |
| 6 - Referências | 55 |

1 - Introdução

A agropecuária brasileira tem apresentado avanços expressivos, com destaque para a avicultura de corte, cuja modernização a consolidou como uma das atividades mais dinâmicas do setor (Nascimento, Figueiredo e Miranda, 2018). Entre 2014 e 2024, a produção brasileira de carne de frango cresceu de 12,691 para 14,972 milhões de toneladas, totalizando um aumento acumulado de 17,99%, segundo a Associação Brasileira de Proteína Animal (ABPA, 2025). Ainda para a associação, no comércio internacional, o Brasil manteve-se como o maior exportador mundial, elevando seus embarques de 5,139 milhões de toneladas, em 2023, para 5,295 milhões, em 2024, um crescimento próximo de 3%.

A produção decorre da adoção de tecnologias voltadas ao melhoramento genético, automação dos sistemas de criação e aprimoramento nutricional. Nesse âmbito, a nutrição de precisão surge como um dos pilares fundamentais da avicultura moderna, tendo como objetivo maximizar a eficiência produtiva e a rentabilidade econômica enquanto se promove o bem-estar animal e a sustentabilidade ambiental. Dessa forma, a correta formulação de rações depende diretamente do conhecimento do valor nutricional dos ingredientes utilizados, particularmente seu valor energético e proteico (Rostagno et al., 2024).

Entre os principais ingredientes energéticos das dietas avícolas, destaca-se o milho, que, em 2025, teve a produção nacional em mais de 138 milhões de toneladas (CONAB, 2025). No entanto, a crescente concorrência do milho entre diversos setores, como produção animal, exportações, alimentação humana, biocombustíveis, indústria e a mudanças climáticas, afeta a disponibilidade e os custos desse insumo essencial para formulação de dietas para frangos de corte.

Para enfrentar os desafios econômicos e nutricionais, a indústria de nutrição animal busca otimizar as formulações de rações, reduzir os custos de produção e maximizar o desempenho animal. Isso envolve a inclusão de outros ingredientes como fontes de energia, tais como os subprodutos agrícolas e resíduos industriais, reduzindo a dependência das commodities tradicionais (Souza, 2022). Nesse contexto, cereais, como os sorgos nordestinos e paranaenses (*Sorghum bicolor*), a cevada

(*Hordeum vulgare*), o trigo (*Triticum aestivum*), o triticale (*Triticosecale*) e o milho (*Pennisetum glaucum*), surgem como opções estratégicas, cada um com características agrônomicas, nutricionais e antinutricionais particulares que influenciam diretamente sua utilização na alimentação animal.

A avaliação do valor nutricional desses ingredientes para aves vai além da composição química proximal (proteína bruta, fibra, extrato etéreo, matéria mineral e umidade), exigindo a determinação de parâmetros mais fisiológicos, como a digestibilidade dos nutrientes. Para tanto, os conceitos de energia metabolizável aparente (EMA) e energia metabolizável aparente corrigida pelo balanço de nitrogênio (EMAn) são amplamente empregados, pois expressam, de forma mais fidedigna, a fração de energia efetivamente disponível para a manutenção e a produção das aves (Sakomura e Rostagno, 2016).

Vários são os métodos adotados para determinação da composição e do conteúdo energético dos alimentos, desde utilizando animais *in vivo* por métodos de coleta total ou parcial de excretas, até o desenvolvimento de equações de predição baseadas na composição bromatológica do alimento, ou nos seus valores digestíveis de proteína, gordura, extrativo não-nitrogenado e fibra.

Assim, o objetivo central foi caracterizar nutricionalmente e obter valor energético de EMA e EMAn dos ingredientes sorgo nordeste, sorgo sul, cevada, trigo, triticale, e milho através do método de coleta parcial de excretas de frangos de corte e comparar os valores obtidos pelos estimados, utilizando as equações preditas, de acordo com o Rostagno et al. (2024) e NRC (1994), de cada ingrediente.

Parte-se da hipótese da validação destas equações, caso não ocorram diferenças significativas entre os valores de EMAn encontrados, reduzindo os gastos com experimentos a campo, partindo da primícia da não existência de um método ideal de determinação, mas o que seja possível. Logo, por meio deste estudo, espera-se contribuir para a ampliação do banco de dados dos valores nutricionais e de energia de ingredientes alternativos e disponibilizar modelos práticos que permitam a nutricionistas e fabricantes de rações estimarem com maior precisão o valor energético destes cereais, favorecendo seu uso racional e a otimização dos custos de formulação na avicultura de corte.

2. Revisão de literatura

2.1 - Composição nutricional de alimentos energéticos para frangos de corte

A distinção entre ingrediente e nutriente é fundamental para a formulação adequada de rações, uma vez que os ingredientes correspondem às matérias-primas incorporadas à dieta, como milho, farelo de soja, trigo, fosfato bicálcico e sal, que têm a função de fornecerem diversos componentes nutricionais. E os nutrientes, por sua vez, referem-se às substâncias ativas presentes nesses ingredientes, incluindo proteína, aminoácidos, vitaminas e minerais, que participam diretamente dos processos metabólicos e da formação de tecidos (Lana e Sales, 2019). Logo, alimento é toda substância de origem vegetal, animal ou mineral que, quando ingerida é metabolizada, fornece nutrientes e energia necessários à manutenção, crescimento, reprodução e produção animal.

Os alimentos energéticos definidos na nutrição animal como ingredientes com elevada concentração de energia digestível ou metabolizável e baixos teores de proteína bruta (PB) e fibra bruta (FB), geralmente inferiores a 20% e 18% na matéria seca, respectivamente, são constituídos predominantemente por carboidratos não estruturais, especialmente amido e, em menor proporção, por lipídeos (NRC, 1994; Rostagno et al., 2017). Já “energia não é um nutriente, mas uma propriedade dos nutrientes de transferir energia quando oxidados durante o metabolismo” (Da Silva et al., 2023).

A formulação de uma ração deve iniciar-se pela correta caracterização do animal ao qual será destinada, uma vez que fatores como espécie, idade, sexo, genética e condições ambientais influenciam significativamente suas exigências nutricionais (Cardinal et al., 2019; Da Silva et al., 2023). As exigências nutricionais representam a quantidade mínima de cada nutriente necessária para suprir as demandas de manutenção e produção, garantindo desempenho adequado e manutenção da saúde (Da Silva et al., 2023).

Além da caracterização do animal, é essencial conhecer detalhadamente os alimentos utilizados na dieta, de modo que a combinação entre ingredientes resulte em uma formulação balanceada e capaz

de atender às necessidades nutricionais do lote (Da Silva, 2021). A seleção de um alimento requer a avaliação de suas propriedades físicas e químicas, o que pode ser realizado tanto por meio de análises laboratoriais, quanto pela consulta a tabelas nutricionais consolidadas, como as do NRC, das Tabelas Brasileiras de Aves e Suínos, além de dados provenientes de estudos científicos (Cardinal et al., 2019). É também imprescindível considerar a disponibilidade regional dos ingredientes e sua viabilidade econômica (Lana, 2007; Rezende et al., 2011).

No Brasil, existe uma ampla diversidade de ingredientes potenciais que ainda carecem de estudos aprofundados, especialmente os alimentos não convencionais. O uso destes ingredientes pode ampliar as alternativas nutricionais e reduzir a dependência de matérias-primas tradicionais, desde que haja dados atualizados e precisos sobre sua composição (Brumano, 2006). Entre as opções, destacam-se o sorgo, a cevada, o trigo, o triticale e o milheto, que apresentam potencial nutritivo para inclusão em dietas de aves, contribuindo para a redução dos custos de produção e diminuindo a pressão competitiva observada no mercado do milho.

2.1.1 - Sorgo

O sorgo granífero (*Sorghum bicolor* (L.) Moench) é uma das principais culturas cerealíferas do mundo, ocupando a quinta posição em volume de produção global, ficando atrás apenas do milho, arroz, trigo e cevada. De acordo com dados da *Food and Agriculture Organization* (FAO, 2025), a produção mundial de sorgo ultrapassa 572 milhões de toneladas anuais, com densidade média de 120.000 a 160.000 sementes por quilograma. No contexto brasileiro, o cultivo de sorgo tem apresentado significativa expansão, alcançando, em 2025, mais de seis milhões de toneladas produzidas, conforme levantamento da Companhia Nacional de Abastecimento (CONAB, 2025).

A cultura se adapta bem a condições de clima quente e semiárido, sendo amplamente cultivada em regiões tropicais e subtropicais da África, Ásia e América Central, onde representa uma importante fonte alimentar e forrageira (Heuzé, et al., 2015). No Brasil, em 2025, foi cultivado 1,632 milhão de hectares de sorgo, consolidando a importância crescente dessa cultura. A região Centro-Oeste lidera a

produção nacional, com 647 mil hectares (cerca de 39,7% da área total), destacando o estado de Goiás como o maior produtor do país, com 394,7 mil hectares cultivados (24,2% do total nacional) e produção de 1,581 milhão de toneladas. No Nordeste, a Bahia é o principal produtor, com 782 mil toneladas, ocupando a terceira posição nacional, atrás apenas de Goiás e Minas Gerais (CONAB, 2025).

Além de sua relevância como alimento básico em diversas regiões do mundo, o sorgo é amplamente utilizado na produção de bebidas alcoólicas, como cervejas e licores, e, em alguns casos, certas variedades são empregadas na coloração de tecidos e couros (Heuzé et al., 2015). No Brasil, o sorgo, tradicionalmente, é destinado à alimentação animal, como uma alternativa energética ao milho, especialmente na formulação de rações para aves, suínos e ruminantes como planta forrageira, e como matéria-prima na elaboração de produtos alimentícios voltados ao consumo humano (Heuzé et al., 2015).

O interesse tem sido impulsionado pela crescente demanda por grãos especiais, como produção de alimentos isentos de glúten, atendendo às exigências de consumidores com restrições alimentares e às tendências de alimentação saudável. Ademais, nas últimas décadas, o sorgo tem despertado a atenção de pesquisadores e do setor produtivo devido ao seu potencial para geração de bioenergia, configurando-se como uma alternativa promissora para diversificação das fontes renováveis e fortalecimento da sustentabilidade agrícola no país (Albuquerque et al., 2021).

Segundo Rostagno et al. (2024), o sorgo apresenta, para aves, 8,65% de proteína bruta, valor, aproximadamente, 10,7% superior ao observado no milho (7,81%). Este incremento proteico, aliado ao teor semelhante de amido (63,6% no sorgo e 63,4% no milho), evidencia o potencial do sorgo em composições alimentares balanceadas. A energia metabolizável de 3.204 kcal/kg do sorgo é próxima ao encontrado no milho (3.363 kcal/kg), tendo ambos os grãos teor de matéria seca similar, em torno de 87,5%, o que contribui para o equilíbrio na formulação de dietas.

2.1.2 - Cevada

A cevada (*Hordeum vulgare L.*) é um dos cereais mais antigos cultivados pelo ser humano, tendo sua origem atribuída à região do Crescente Fértil, no Oriente Médio. Atualmente, ocupa a quarta posição entre os principais grãos produzidos mundialmente, precedida apenas por milho, arroz e trigo (FAO, 2023). A produção global de cevada alcança, em média, cerca de 140 milhões de toneladas anuais, concentrando-se predominantemente em regiões de clima temperado da Europa, Ásia e América do Norte (FAO, 2023; Mori et al., 2012). O rendimento médio global da cevada é estimado em, aproximadamente, 2,7 toneladas por hectare, embora haja expressiva variação entre os países produtores.

Em regiões de alta produtividade, como a Bélgica, os rendimentos podem alcançar cerca de 8,39 t/ha, enquanto, em áreas de menor desempenho agrícola, como o Marrocos e o Lesoto, registram-se valores significativamente inferiores, em torno de 0,6 t/ha e 0,2 t/ha, respectivamente (FAO, 2011).

A cevada, assim como o trigo e o triticale, é classificada como um cereal de inverno, caracterizando-se por exigir temperaturas mais amenas e fotoperíodos curtos para o seu desenvolvimento adequado. Estes cultivos são tradicionalmente implantados após a colheita das culturas de verão, como a soja e o milho, contribuindo para o uso eficiente do solo, o controle de plantas daninhas e a diversificação das áreas agrícolas nas regiões de clima subtropical (EMBRAPA, 2023).

Até outubro de 2025, a produção nacional de cevada no Brasil ultrapassou 553 mil toneladas, representando um crescimento aproximado de 6% em relação à safra anterior. A área total cultivada atingiu 134,1 mil hectares, concentrando-se majoritariamente na região Sul, que se manteve como a principal produtora do grão. Considerando esta localidade, o estado do Paraná destacou-se de forma expressiva, sendo responsável por, aproximadamente, 79,6% da produção nacional, com 440,6 mil toneladas colhidas, seguido pelo Rio Grande do Sul, com cerca de 100 mil toneladas, equivalentes a cerca de 18% da produção brasileira, reforçando a relevância da região no cultivo dos cereais de inverno, com temperaturas moderadas e boa distribuição de chuvas (CONAB, 2025).

A cevada apresenta ampla versatilidade de uso, destacando-se tanto na alimentação humana, quanto na nutrição animal. Na dieta humana, é principalmente empregada na produção de malte, sendo o insumo essencial para a fabricação de cervejas e destilados, além de ser utilizada na elaboração de

farinhas, flocos e outros produtos de panificação, confeitaria e alimentação dietética (Carvalho et al., 2021). No âmbito da alimentação animal, a cevada destaca-se como importante fonte energética, sendo utilizada sob diversas formas, como: grãos, feno, silagem ou forragem verde, aplicada na formulação de rações balanceadas para ruminantes e não ruminantes. (Carvalho et al., 2021; FAO, 2022).

A cevada em grão apresenta, em média, 87,4% de matéria seca (MS), entre 10 e 11% de proteína bruta (PB), 4,97% de fibra bruta (FB), 2,01% de extrato etéreo (EE), energia bruta variando entre 3857 e 4395 kcal/kg e 2.701 kcal/kg de energia metabolizável aparente corrigida para nitrogênio (EMAn). Quando comparada ao milho grão, observa-se que a cevada contém teor proteico entre 28% e 40% superior (FAO, 2016; Rostagno et al., 2024).

2.1.3 - Trigo

O trigo (*Triticum* sp.) amplamente cultivado em regiões de clima temperado e subtropical é originário das regiões montanhosas do sudoeste da Ásia, especialmente áreas que correspondem ao Irã, Iraque e Turquia. Há evidências arqueológicas que indicam que grãos carbonizados, com mais de seis mil anos, foram encontrados nesses locais, considerados o centro de origem e domesticação da espécie. No Brasil, o cultivo do trigo teve início por volta de 1534, na antiga Capitania de São Vicente, introduzido pelos colonizadores portugueses.

A produção em escala comercial, entretanto, consolidou-se apenas a partir da década de 1940, principalmente no Rio Grande do Sul, onde os colonos europeus adaptaram variedades de porte alto a solos menos férteis e com alta concentração de alumínio. Nos últimos anos, iniciativas de expansão do trigo tropical irrigado têm avançado em regiões do Nordeste, especialmente na Bahia e no Maranhão, impulsionadas por programas de desenvolvimento conduzidos pela Embrapa. Estas ações têm identificado práticas de manejo e tecnologias adequadas às condições edafoclimáticas da região, permitindo ampliar o potencial produtivo, com estimativas setoriais indicando que, em 2025, o Nordeste poderá alcançar cerca de 150 mil toneladas, valor expressivo quando comparado aos volumes historicamente reduzidos (Almeida, 2025)

O trigo é o terceiro grão mais produzido no mundo, ficando atrás apenas do milho e do arroz, com uma produção global superior a 798 milhões de toneladas (FAO, 2025). Seu uso é amplamente distribuído entre a alimentação humana e animal, destacando-se na panificação e na formulação de rações. Na nutrição humana, é uma das principais fontes de energia e proteínas vegetais, sendo utilizado na fabricação de pães, massas e derivados. Já na alimentação animal, especialmente de aves e suínos, o trigo atua como um ingrediente energético alternativo ao milho, apresentando boa digestibilidade do amido. A composição química do grão varia consideravelmente em função de condições climáticas, características do solo (como fertilidade e acidez), manejo de irrigação e práticas agronômicas, fatores que influenciam diretamente sua qualidade nutricional e tecnológica (EMBRAPA, 2025).

A produção nacional de trigo em 2025, até o presente momento, totaliza 7,698 milhões de toneladas. Desse volume, a região Sul responde por, aproximadamente, 85,6% da produção brasileira, consolidando-se como o principal polo tritícola do país. Dentro dessa região, o Rio Grande do Sul lidera com 3,665 milhões de toneladas, o que representa 47,6% da produção nacional e cerca de 55,6% da produção sulista. Em seguida, o Paraná contribui com 2,535 milhões de toneladas, equivalentes a 32,9% da produção do país.

Em contraste, a região Nordeste apresenta uma participação mais modesta, com 30 mil toneladas, correspondendo a apenas 0,4% da produção nacional, concentrada, majoritariamente, no estado da Bahia. Apesar do volume reduzido, a produção nordestina demonstra potencial de expansão, impulsionada por avanços tecnológicos e pela adaptação de cultivares mais resistentes às condições climáticas locais (CONAB, 2025).

O trigo apresenta alta variabilidade no valor energético para frango de corte com valores entre 3053 e 4221 kcal EMAn/kg de MS (Borges et al., 2003; Heuze V et al., 2015; Karunaratne et al., 2018; Rostagno et al., 2024), teor de proteico de 15,5 a 22,10% PB, valor superior ao do milho, que varia entre 8,8% e 10,9% PB, base matéria seca (Heuze V et al., 2015; Karunaratne et al., 2018; Rostagno et al., 2024).

2.1.4 - *Triticale*

O triticale (*Triticale hexaploide*), híbrido poliplóide entre o trigo (*Triticum durum*) e o centeio (*Secale cereale*) combina características favoráveis de ambos os cereais, como maior resistência a doenças e adaptabilidade climática, podendo ser cultivado em climas mais quentes (Baier et al., 1994; Boros, 1999). A maior parte da produção mundial desse grão é destinada a ração animal (Biel et al., 2020), possuindo grande potencial de produtividade (Gatel et al., 1985; Vohra et al., 1991),

Em 2023, a produção mundial de triticale alcançou cerca de 13,8 milhões de toneladas, das quais o Brasil respondeu por, aproximadamente, 58,9 mil toneladas, representando em torno de 0,4% da produção global (FAO, 2023). Em 2025, a produção nacional apresentou retração, totalizando pouco mais de 36 mil toneladas, cultivadas em uma área superior a 12 mil hectares.

A região Sul manteve-se como principal produtora, concentrando 31,9% do volume nacional, seguida pela região Sudeste, com 5% da produção total (CONAB, 2025; IBGE, 2025). Apesar da redução no volume colhido, o cultivo do triticale continua relevante, especialmente em sistemas de integração lavoura-pecuária, devido a sua tolerância a condições adversas e ao potencial como alternativa nutricional na alimentação animal.

Nessas regiões tradicionais de cultivo, predominantemente Rio Grande do Sul, Santa Catarina, Paraná e São Paulo, o triticale é conduzido majoritariamente sob sistema de sequeiro. Contudo, conforme destacado por Cunha (2025), há um esforço contínuo de aprimoramento das recomendações agrônomicas, especialmente quanto à definição das épocas ideais de semeadura, com o objetivo de maximizar a eficiência produtiva e reduzir riscos climáticos. O autor também assinala perspectivas de expansão da cultura para áreas da faixa tropical, incluindo Minas Gerais, Goiás, Mato Grosso do Sul, Mato Grosso, Bahia e Distrito Federal, onde o triticale pode ser cultivado tanto em condições de sequeiro, quanto sob irrigação. A expansão potencial reforça a adaptabilidade da espécie e sua relevância crescente para sistemas produtivos diversificados.

O triticale destaca-se por seu alto valor nutricional, apresentando teor de proteína superior a 13%, valor consideravelmente maior em relação ao milho, que possui, em média, 8% (Rostagno et al., 2024;

Zhu, 2018). A energia metabolizável para frangos de corte varia entre 3.373 e 3.704 kcal EMAn/kg de matéria seca, evidenciando boa eficiência energética (Heuze et al., 2015; Rostagno et al., 2024). Em comparação aos principais cereais utilizados na formulação de rações, o triticale apresenta maior teor de fósforo (0,35%) e fibra bruta (10,3%), além de menor conteúdo de gordura (1,85%), quando comparado ao milho e ao sorgo (Khalil et al., 2021). Essas características tornam o grão uma possível alternativa viável para a substituição parcial ou integral dos ingredientes convencionais nas dietas de aves para formulações de rações.

2.1.5 - Milheto

O milheto (*Pennisetum glaucum* ou *Pennisetum americanum*) é uma gramínea anual de origem africana, cultivada principalmente em regiões tropicais áridas e semiáridas. A espécie apresenta adaptação a ambientes com alta temperatura, baixa precipitação e solos de fertilidade reduzida, o que favorece sua utilização em sistemas agrícolas com restrição hídrica (Magalhães; Durães, 2009). O sistema radicular do milheto pode atingir cerca de 3,6 metros de profundidade, característica que permite o aproveitamento de água e nutrientes em camadas mais profundas do solo (Aparecido, 2020). A estrutura radicular contribui para a eficiência na conversão da água em matéria seca. Segundo Magalhães e Durães (2009), o milheto necessita entre 282 e 302 g de água para produzir 1 g de matéria seca, além de tolerar solos com teores consideráveis de alumínio.

O milheto é uma espécie de clima quente que apresenta melhor desenvolvimento em regiões com precipitação anual próxima de 700 mm. Contudo, a cultura mantém desempenho satisfatório em áreas com índices pluviométricos mais baixos, entre 350 e 600 mm por ano, podendo ainda ser cultivada em regiões de menor disponibilidade hídrica, com precipitações de aproximadamente 150 a 200 mm anuais (Gomes et al., 2008). A cultura adapta-se bem a solos arenosos e de baixa fertilidade, embora não tolere condições de encharcamento.

Além disso, quando comparado a outras espécies, o milheto forrageiro apresenta maior eficiência no uso da água, utilizando cerca de 70% do volume empregado pelo milho para produzir a mesma quantidade de matéria seca (Tabosa et al., 1999). Além de sua importância agrônômica, o milheto tem

sido estudado como ingrediente alternativo em dietas animais, especialmente na alimentação de aves. O uso do milheto também é favorecido pela disponibilidade regional e pelo custo acessível, o que contribui para sua inserção em sistemas de produção animal (Torres et al., 2013).

Não há dados oficiais da produção de grãos de milheto no Brasil, mas a ATTO Sementes afirma ter comercializado, só dos seus híbridos graníferos, únicos no mercado destinados à produção de grãos, cerca de 300 mil hectares. Com uma produtividade média de cerca de 2100 kg/ha, estima que a produção de grãos tenha ultrapassado meio milhão de toneladas, com um crescimento de 226% nos últimos cinco anos.

Do ponto de vista nutricional, o milheto apresenta teor proteico superior ao do milho, atingindo 11,6% de proteína, enquanto o milho contém cerca de 7,98% (Rostagno et al., 2024). Essa diferença reflete-se diretamente nas concentrações de aminoácidos essenciais, especialmente lisina, metionina, treonina e triptofano, que desempenham papéis centrais no crescimento e no desempenho produtivo de aves e suínos (Adeola e Orban, 1995; Rostagno et al., 2024).

Segundo Rostagno et al. (2024), o milheto apresenta maiores concentrações dos principais aminoácidos essenciais quando comparado ao milho. Os teores de lisina, metionina, treonina e triptofano no milheto são de 0,35%, 0,27%, 0,50% e 0,17%, respectivamente, enquanto, no milho, correspondem a 0,25%, 0,16%, 0,30% e 0,06% (Rostagno et al., 2024).

Dessa forma, o milheto fornece, aproximadamente, 40% de lisina, 68% de metionina, 67% de treonina e quase o triplo de triptofano a mais em relação ao milho, evidenciando sua maior densidade aminoacídica. Em relação ao valor energético, o milheto apresenta energia bruta (EB) de 3.963 kcal/kg, semelhante à observada no milho (3.929 kcal/kg). Contudo, sua energia metabolizável (EMAn) para aves é ligeiramente inferior, 3.189 kcal/kg contra 3.364 kcal/kg no milho, diferença associada ao maior teor de fibra bruta do milheto (2,36%), que reduz a digestibilidade da energia (Rostagno et al., 2024).

Cabe destacar que os valores nutricionais do milheto podem variar consideravelmente em função do genótipo empregado, das condições edafoclimáticas, do manejo de cultivo e dos processos de colheita

e beneficiamento do grão, fatores que influenciam diretamente a composição química e o valor nutritivo do alimento (Amaral et al., 2008).

2.2 - Importância da determinação do valor energético de um alimento pelo método de coleta de excretas em aves para uma formulação das rações mais precisa

A energia não é classificada como um nutriente, mas representa o produto liberado pela oxidação dos nutrientes durante o metabolismo, sendo um dos principais fatores que condicionam o desempenho produtivo das aves. Do ponto de vista biológico, a energia pode ser expressa sob diferentes formas: energia bruta (EB), digestível (ED), metabolizável (EM) e líquida (EL). A EB corresponde ao total de energia contida no alimento, e a ED resulta da diferença entre a energia ingerida e aquela eliminada nas fezes, porém, seu uso na alimentação de aves é limitado, uma vez que esses animais excretam fezes e urina conjuntamente.

A EM, por sua vez, é obtida subtraindo-se da EB ingerida a fração excretada nas fezes e na urina, constituindo o parâmetro mais empregado nas formulações para aves e suínos. Já a EL representa a energia disponível após as perdas relacionadas ao incremento calórico, decorrentes dos processos digestivos, metabólicos e da atividade física, não sendo totalmente destinada às funções produtivas (Sakomura e Rostagno, 2016). Conforme Matterson et al. (1965), os valores de energia metabolizável são o parâmetro mais empregado na formulação de dietas para aves, pois apresentam menor sensibilidade às variações do balanço nutricional e podem ser determinados de maneira relativamente simples.

O conceito de energia metabolizável pode ser definido como a fração da energia potencial do alimento passível de ser metabolizada pelo animal, sendo, do ponto de vista teórico, uma medida mais adequada da energia disponível, pois sua efetiva utilização é influenciada por fatores como o ambiente de criação, a condição metabólica, a fisiologia do trato digestivo e os processos digestivos (Troni et al., 2016).

Nesse contexto, a literatura preconiza a distinção entre energia metabolizável aparente (EMA) e energia metabolizável aparente corrigida pelo nitrogênio (EMAn), sendo esta última uma padronização da primeira. De acordo com Penz et al. (1999), a EMA tende a subestimar a fração de energia efetivamente utilizada pelo animal, justificando a correção pelo balanço de nitrogênio.

A formulação precisa de dietas depende diretamente da determinação acurada do valor energético dos ingredientes, visto que a energia é um dos principais determinantes do desempenho das aves e do custo final das rações (Azevedo, 1997). Entre os métodos disponíveis, a coleta de excretas, seja pelo método de coleta total, seja parcial, destaca-se por permitir a mensuração direta da energia efetivamente utilizada pelos animais, possibilitando o cálculo confiável da energia metabolizável aparente (EMA) e/ou corrigida para o balanço de nitrogênio (EMAn) (Sakomura e Rostagno, 2016).

A adoção de métodos experimentais, como a coleta de excretas, é relevante para minimizar a variabilidade inerente às matérias-primas, pois a determinação imprecisa dos valores energéticos pode comprometer o desempenho zootécnico e a eficiência produtiva (Sakomura e Rostagno, 2016). Conforme Rostagno et al. (2024), a determinação experimental do valor energético é indispensável sempre que houver substituição, mesmo parcial, de ingredientes convencionais, devido à maior variabilidade nutricional dos alimentos alternativos. Além disso, a obtenção de valores energéticos atualizados é fundamental para a revisão das tabelas de composição e para a formulação de rações mais eficientes, contribuindo para otimizar o desempenho dos animais e reduzir os custos de produção (Brumano, 2006).

A utilização deste método em detrimento de outros, como a utilização de equações de predição, traz consigo vantagens e desvantagens, como é inerente a qualquer procedimento metodológico. Primeiramente, a utilização de experimentos com animais traz desafios, como a obtenção dos animais, manutenção em gaiolas metabólicas, coleta de fezes total ou parcial (Salman et al.; 2010) e alto custo e uma infraestrutura bem estabelecida (Ferrari, 2003). Além disso, demandam muito tempo, trabalho e um grande conjunto de avaliações de alimentos, muito embora estes estudos estejam associados a uma maior precisão no que tange à digestibilidade, apresentando maior grau de confiança (Senger et al., 2007).

As equações de predição consistem em modelos matemáticos fundamentados na composição química dos alimentos, sendo amplamente utilizadas para estimar a digestibilidade, embora se caracterizem como métodos indiretos (Lima, 1996). Ressalta-se que a composição química dos ingredientes pode variar em função de fatores como origem, cultivar, incidência de pragas, entre outros (Lopes et al., 1990), o que pode resultar em divergências nas estimativas obtidas por diferentes equações.

2.3 – Formas de se estimar a EMA e EMAn através de equações de predição existentes para alimentos de origem vegetal em Frangos de Corte

O estudo de equações de predição é uma ferramenta relevante para as fábricas de ração, uma vez que subprodutos e coprodutos apresentam valores energéticos distintos, determinados pelo processo industrial ao qual são submetidos (Rostagno et al., 2024). Embora seja possível prever a energia metabolizável de um ingrediente por meio da espectroscopia de Reflectância no Infravermelho Próximo (NIR), estas metodologias apresentam custos elevados, devido a equipamentos específicos que demandam mão de obra especializada, limitando sua aplicação rotineira na indústria (An et al., 2025), além de precisar de curvas de calibração com alto número de análises do mesmo alimento, para que seja possível aumentar a confiabilidade dos resultados.

No contexto industrial, em que rapidez e previsibilidade são essenciais, a condução de ensaios metabólicos para determinar a Energia Metabolizável Aparente corrigida para o balanço de nitrogênio (EMAn) de cada ingrediente é onerosa, demorada e, na prática, inviável para a formulação cotidiana das rações (Eshtejarani, 2024). Nesse cenário, as equações de predição assumem papel estratégico ao permitir estimativas indiretas para a determinação da energia metabolizável através da composição nutricional ou dos coeficientes de digestibilidade dos nutrientes (Langone et al., 2023; Latifi et al., 2023).

Diversos fatores intrínsecos e extrínsecos ao ingrediente, como a variedade genética, o momento da colheita, o processamento térmico, as condições de armazenamento e o grau de moagem, podem influenciar de maneira significativa os coeficientes de digestibilidade e, conseqüentemente, o valor

energético dos alimentos (Langone et al., 2023). Assim, equações bem estruturadas permitem integrar essas variações, proporcionando maior precisão nutricional com menor custo analítico.

Nesse sentido, Nascimento et al. (2011), por meio de uma metanálise abrangendo estudos conduzidos ao longo de 40 anos, avaliaram ingredientes energéticos caracterizados por teores de fibra inferiores a 18% e proteína abaixo de 20% em base na matéria seca. Entre os alimentos analisados, destacaram-se milho, principal componente energético das dietas para aves, aveia em grão, centeio, cevada, resíduo de mandioca e milheto.

Como resultado, os autores propuseram duas equações para estimativa da EMAn destes alimentos, obtidas por meio de metanálise com revisões publicadas em um período de 40 anos, ambas apresentando coeficiente de determinação (R^2) de 81%, evidenciando elevada capacidade preditiva:

$$EMAn = (4371,18) - (26,48 \times PB) + (30,65 \times EE) - (126,93 \times MM) - (52,26 \times FB) - (25,14 \times FDN) + (24,40 \times FDA)$$

$$EMAn = (4205,23) + (30,58 \times EE) - (130,35 \times MM) - (58,29 \times FB) - (28,31 \times FDN) + (16,71 \times FDA)$$

As variáveis consideradas mais influentes pelos autores foram FDN, FDA e FB, por representarem frações fibrosas que exercem impacto direto na variabilidade da EMAn dos ingredientes energéticos. Estes componentes estruturais da fibra afetam a digestibilidade e, conseqüentemente, o aproveitamento energético pelos animais, justificando sua relevância nas equações de predição.

No estudo conduzido por Nagata et al. (2004), equações de predição propostas por diferentes autores foram aplicadas com o propósito de comparar as estimativas obtidas com os resultados verificados em ensaios de metabolismo. Para isso, os autores utilizaram as equações de Janssen (1989), Rodrigues (2000) e Rodrigues et al. (2001), avaliando sua capacidade de prever a energia metabolizável de forma compatível com os dados experimentais.

O experimento contemplou o milho e seus derivados, como a quirera de milho, além do milheto. No caso desse último ingrediente, recorreu-se a autores que já haviam trabalhado previamente com a espécie, destacando-se novamente Janssen (1989) ($36,2 \times PB + 69,60 \times EE + 38,10 \times ENN$), referência recorrente em estudos envolvendo grãos como fontes energéticas, muito embora a equação proposta por Janssen (1989) superestimou os valores de EMAn para o milheto.

Há equações consolidadas como aquelas publicadas no NRC (1994) e em manuais de nutrição animal, como a do Rostagno et al. (2024), que trazem equações de predição. No primeiro caso, as equações só levam em consideração aspectos químicos dos alimentos, já o segundo prioriza nutrientes digestíveis, sendo menos prático, como será visto mais à frente.

3 - Materiais e Métodos

O experimento foi realizado no Laboratório de Digestibilidade de Aves da Universidade Federal Rural de Pernambuco nos meses de julho e agosto de 2024, seguiu todos os protocolos de boas práticas de manejo de animais e teve aprovação pela Comissão de Ética Animal desta universidade, sob o número de Protocolo nº 4474190224.

3.1 - Avaliação físico-química dos alimentos

As análises físicas como densidade (g/l) e granulometria (μm), realizadas no Laboratório de Nutrição Animal da UFRPE (LNA), foram feitas nos ingredientes utilizados e seguiram a metodologia descrita por Zanotto (2009). Os alimentos tiveram suas composições químicas de matéria seca (MS), proteína bruta (PB), extrato etéreo (EE), fibra bruta (FB), cinzas (MM), de acordo com a metodologia descrita por Detmann et al. (2012) e a Energia Bruta (EB), segundo a AOAC (calorímetro - 1341 Plain Jacket Bomb LCalorimeter).

3.2 - Ensaio de Metabolismo

3.2.1 Animais e instalações

Foram adquiridos 325 frangos de corte machos de um dia de vida, linhagem Ross 308 AP, alocados em galpão adequado até atingirem 14 dias de nascidos. Os animais foram alojados em piso de maravalha, com água e ração ad libitum. Nesse período, foi fornecida ração única à base de milho e farelo de soja,

atendendo às necessidades nutricionais de acordo com a fase e as recomendações do manual da linhagem.

Aos 14 dias, foram transferidas 252 aves selecionadas pelo peso (peso médio de 492g) para gaiolas metabólicas inseridas no Laboratório de Digestibilidade de Aves do Departamento de zootecnia da UFRPE, contendo ar-condicionado, onde a temperatura foi mantida com média de 23°C. As gaiolas metabólicas tinham dimensões de 1,00 L x 0,50 A x 0,60 C cm, equipadas com bebedouros automáticos tipo nipple e comedouro tipo calha.

As aves foram distribuídas em um Delineamento Inteiramente Casualizado (DIC) em sete tratamentos e seis repetições em 42 gaiolas metabólicas, contendo seis aves por unidade experimental. As dietas experimentais tiveram 30% de substituição da ração de referência pelo ingrediente-teste.

3.2.2. Dietas

Os tratamentos (Tabela 1) foram compostos por ração referência (RR), formulada à base de milho e farelo de soja, a fim de atender às exigências das aves segundo Rostagno et al. (2024), mostrada na Tabela 2, e seis rações-testes, conforme delineamento previamente estabelecido. As rações-testes foram obtidas pelo método de substituição, no qual 30% da ração referência foi substituída por cada ingrediente energético avaliado, mantendo-se inalteradas as proporções dos demais componentes da dieta.

Os alimentos utilizados foram: sorgo BRS 3002 (nordeste) e sorgo BRS 373 (sul), a cevada BRS Quaranta, trigo BRS TR 271 e triticale BRS TL 51 e milheto BRS 1502

Tabela 1 – Disposição dos tratamentos, conforme as dietas experimentais

| Tratamento | Dieta |
|------------|----------------------------|
| T1 | Ração Referência (RR) |
| T2 | RR (70%) + Sorgo NE (30%) |
| T3 | RR (70%) + Sorgo SUL (30%) |
| T4 | RR (70%) + Cevada (30%) |
| T5 | RR (70%) + Trigo (30%) |
| T6 | RR (70%) + Triticale (30%) |
| T7 | RR (70%) + Milheto (30%) |

Tabela 2 - Formulação da ração referência demonstrando os ingredientes e composição nutricional

| INGREDIENTES | % |
|--|---------|
| Milho 7,65% | 52,8234 |
| Farelo de Soja 45% | 38,8576 |
| Óleo de Soja | 3,5189 |
| Fosfato Bicálcico | 2,1681 |
| Calcário | 1,1194 |
| Sal comum | 0,5235 |
| DL-Metionina | 0,4028 |
| L-Lisina | 0,2791 |
| L-Treonina | 0,1572 |
| Premix vitamínico para Aves ¹ | 0,1000 |
| Premix mineral para Aves ² | 0,0500 |
| NUTRIENTES | % |
| Proteína Bruta | 22,3400 |
| Energia Metaboli. AVES (kcal/kg) | 3000 |
| Cálcio | 1,0760 |
| Extrato Etéreo | 6,2877 |
| Fibra Bruta | 2,7541 |
| Fósforo Disponível | 0,5130 |
| Sódio | 0,2170 |
| Aminoácidos digestíveis aves (%) | % |
| Metionina + Cistina | 0,9740 |
| Lisina | 1,3350 |
| Treonina | 0,8810 |
| Triptofano | 0,2454 |
| Fenilalanina | 1,7105 |
| Histidina | 0,5267 |
| Isoleucina | 0,8548 |

¹Vitamina A, vitamina D3, vitamina E, vitamina K3, vitamina B1 (tiamina), vitamina B2 (riboflavina), vitamina B6 (piridoxina), vitamina B12 (cianocobalamina), ácido nicotínico (niacina), pantotenato de cálcio (ácido pantotênico), biotina, ácido fólico e o antioxidante BHT (butil hidroxitolueno). Níveis de garantia: 300 mg de selênio, 10.000.000 UI de vitamina A, 2.450.000 UI de vitamina D3, 18.000 UI de vitamina E, 3.640 mg de vitamina K3, 2.400 mg de vitamina B1, 6.000 mg de vitamina B2, 3.200 mg de vitamina B6, 15.800 mg de vitamina B12, 150 mg de biotina, 1.000 mg de ácido fólico, 13 g de ácido pantotênico, 32 g de niacina e 100 mg do antioxidante BHT (butil hidroxitolueno)². calcário calcítico, iodato de cálcio, óxido de zinco, sulfato de cobre, sulfato de ferro e monóxido de manganês. Nível de garantia: 1.400 mg de iodo, 110 g de zinco, 18 g de cobre, 100 g de ferro e 200 g de manganês.

3.2.3 Coleta das excretas

Foi utilizado o método de coleta parcial, em que foi adicionado a todas as rações o indicador celite a 1% do peso das rações para, a partir de métodos analíticos, calcular o coeficiente de indigestibilidade.

Assim, o período experimental teve duração de oito dias, sendo cinco dias de adaptação das aves às dietas e instalações, e três dias destinados à coleta parcial de excretas. As excretas foram coletadas em horários predefinidos: às 08h e às 14h. As bandejas das gaiolas de metabolismo foram forradas com lona preta de 50 micras a fim de facilitar a coleta do material. Em todos os dias de coleta, as excretas de cada gaiola foram limpas, para evitar contaminação com resto de penas e de ração e, após esse processo, colocadas em sacos plásticos identificados e congelados imediatamente para futura homogeneização e análises.

Após o fim do período de coletas, as excretas foram homogeneizadas num mesmo saco, respeitando os dias de coleta e os tratamentos. Depois foram pesadas alíquotas de 200g e submetidas à pré-secagem em estufa de circulação forçada à 55°C por 3 dias e armazenadas em freezer comum para posterior análises.

Nas rações e excretas pré-secas, foram analisadas as cinzas insolúveis em ácido (CIA) de acordo com a AOAC (2019); A MS, EE, MM, PB e FB, segundo descrita por Detmann et al. (2021), e a energia bruta, obtida de acordo com AOC (calorímetro - 1341 Plain Jacket Bomb Lcalorimeter). Subsequentemente, foram calculados os coeficientes de metabolização aparente da energia bruta (CMAEB), da matéria seca (CMAMS) e da proteína bruta (CMAPB), e os valores da energia metabolizável aparente (EMA) e a energia metabolizável aparente corrigida para a retenção de nitrogênio (EMAn) do alimento por meio de equações:

$$\text{FI (Fator de indigestibilidade)} = \text{CIA dieta} / \text{CIA excreta}$$

Coeficiente de metabolização da MS das rações:

$$(100 - (100 \times ((\text{FI} \times (\text{MS excreta}/\text{MS dieta}))))))$$

Coeficiente de metabolização da EB das rações:

$$(100 - (((100 \times (\text{FI} \times (\text{EB excreta}/\text{EB dieta}))))))$$

Coeficiente de metabolização da PB das rações:

$$(100 - (((100 \times (\text{FI} \times (\text{PB excreta}/\text{PB dieta}))))))$$

$$\text{EMA dieta} = \text{EB dieta} - (\text{EB excreta}) \times \text{FI}$$

$$\text{EMA alimento} = \text{EMA ref} + ((\text{EMA teste} - \text{EMA ref})/(\text{g alimento} / \text{g dieta}))$$

BN (Balanço do nitrogênio) – quantidade de N na dieta – (quantidade de N na excreta x FI)

$$\text{EMAn dieta}_{\text{DR/DT}} = \text{EB dieta} - (\text{EB excreta} \times \text{FI}) - (\text{BN} \times 8,22)$$

$$\text{CMMS, CMPB E CMEB do alimento} = \frac{\text{CMMS}_{\text{DR}} + \text{CMMS}_{\text{DT}} - \text{CMMS}_{\text{DR}}}{\text{g alimento} / \text{g dieta}}$$

3.3 - Estimativa da EMAn por equação de predição

Foi realizada uma comparação entre a energia metabolizável aparente (EMA) e a energia metabolizável aparente corrigida para nitrogênio (EMAn) obtida em neste trabalho, com as estimadas, calculada a partir das equações do NRC (1994) para cada alimento e da equação de Rostagno et al. (2024) para alimentos de origem vegetal. As equações são demonstradas na Tabela 3.

Tabela 3 - Equações de predição do NRC (1994), de acordo com os ingredientes e Rostagno et al. (2024), para todos os alimentos de origem vegetal

| NRC (1994) | |
|--|--|
| Ingrediente | EMAn |
| Sorgo | $31,02*PB + 77,03*EE + 37,67*ENN$ |
| Cevada | $3,078*PB - 90,4*FB + 9,2*amido$ |
| Trigo /Triticale | $34,92*PB + 63,1*EE + 36,42*ENN$ |
| Milheto | $36,2 \text{ 1* PB} + 69,60* EE + 38,10*$ ENN |
| Rostagno et al. (2024) | |
| $EMAn = 4,31 \text{ x PBd} + 9,29 \text{ x EEd} + 4,14 \text{ x ENNd}$ | |

3.4 - Análise estatística

Os valores de EMAn foram submetidos à análise de variância (ANOVA). Inicialmente, aplicou-se o teste de Levene para verificar a homogeneidade das variâncias. Atendido esse pressuposto, procedeu-se à ANOVA. Quando houve diferenças significativas, as médias foram comparadas pelo teste de Tukey. Nos casos em que a premissa de homogeneidade não foi atendida, aplicou-se o teste não paramétrico de Kruskal–Wallis, seguido, quando necessário, do teste *post hoc* de Dunn. Em todas as análises, adotou-se nível de significância de 5%.

Os procedimentos estatísticos foram realizados com auxílio do *software* Jamovi® (versão 2.3).

4 - RESULTADOS E DISCUSSÕES

4.1 Composição físico-química e coeficientes de metabolização da MS, PB, EE, ENN e da EB dos ingredientes estudados

4.1.1 - Sorgo NE e SUL

A composição nutricional, os valores de energia bruta (EB), a avaliação física do ingrediente e os coeficientes de metabolização podem ser vistos na Tabela 4 e Tabela 5, respectivamente.

Tabela 4 - Valores de composição nutricional, valores de energia bruta (EB) e a avaliação física do sorgo NE e SUL, à base de matéria seca

| NUTRIENTE (%) | INGREDIENTE | | |
|---------------|-------------|-----------|--------------------|
| | Sorgo NE | Sorgo SUL | Sorgo ¹ |
| MS | 86,83 | 83,84 | 88,81-89,31 |
| PB | 10,22 | 10,87 | 14,31-15,00 |
| EE (%) | 3,64 | 1,31 | 2,63-2,79 |
| MM | 1,67 | 2,35 | 1,68-1,82 |
| FB | 1,82 | 3,55 | 1,75-2,34 |
| ENN | 82,65 | 81,92 | - |
| EB (kcal/kg) | 4425 | 4373 | 3840-3934 |

¹Antunes et al. (2006).

O sorgo NE apresentou perfil nutricional e energético que o posiciona como um ingrediente de alta qualidade para a alimentação de frangos de corte. Seus teores de proteína bruta (10,22%) e extrato etéreo (EE) de 3,64% aproximam-se do valor de 3,20%, reportado por Gheorghe et al. (2017). Em relação à fibra bruta (FB), seu valor foi de 1,82%. A energia bruta (EB) foi de 4425 kcal/kg, resultando em uma energia metabolizável aparente corrigida (EMAn) de 3624 kcal/kg, valor que se insere próximo às cultivares de maior densidade energética, como as PAN8816 e PAN8906 (3607 e 3583 kcal/kg, respectivamente) citadas por Mabelele et al. (2015).

O sorgo SUL demonstrou um perfil nutricional distinto do sorgo NE, com características que o alinham a cultivares de valor energético médio. Seus teores de proteína bruta (10,87%) foram ligeiramente superiores aos do NE, enquanto o extrato etéreo (EE) de 1,31% foi inferior ao valor de

3,20% reportado por Gheorghe et al. (2017). O teor de fibra bruta (FB) foi de 3,55%, valor superior ao encontrado no sorgo NE.

Tabela 5 - Coeficientes de metabolização da MS, PB, EE, ENN e da EB, EMA e EMAn dos sorgo NE e SUL

| Variável | Alimento | |
|----------------|------------|-------------|
| | Sorgo NE | Sorgo SUL |
| CMA – MS | 94,08±0,59 | 91,66±1,21 |
| CMA – PB | 64,63±4,57 | 54,65±3,98 |
| PD | 6,60±0,47 | 5,94±0,43 |
| CMA – EE | 49,26±7,97 | 40,19±5,46 |
| EEd | 1,79±0,29 | 0,53±0,20 |
| CMA – ENN | 93,18±3,16 | 90,00±7,60 |
| ENNd | 77,01±2,62 | 73,73±6,12 |
| CMA – EB | 74,38±3,29 | 79,25±2,14 |
| EMA (kcal/kg) | 3624±67,83 | 3436± 83,58 |
| EMAn (kcal/kg) | 3497±70,02 | 3179±79,57 |

O coeficiente de metabolização aparente da matéria seca (CMA-MS) foi notavelmente alto (94,08%), superando em cerca de 20 pontos percentuais a média de 75,34%, encontrada por Gonçalves et al. (2007), o que sugere uma excelente disponibilidade dos nutrientes. O coeficiente de metabolização da proteína bruta (CMA-PB) foi de 64,63%, um valor próximo à média da literatura (61,06%). Embora o coeficiente de metabolização do extrato etéreo (CMA-EE) tenha sido de 49,0%, inferior aos 85,0% reportados por Gonçalves et al. (2007), a alta EMAn obtida (3624 kcal/kg) indica que este genótipo possui excelente valor energético. Estes resultados, somados à alta digestibilidade da matéria seca, sugerem que o sorgo NE é um genótipo que pode e deve ser usado na alimentação de frangos de corte, destacando-se por seu potencial energético superior.

A energia bruta (EB) do sorgo SUL foi de 4373 kcal/kg, resultando em uma energia metabolizável aparente corrigida (EMAn) de 3436 kcal/kg. Este valor alinha-se a cultivares de valor médio descritas na literatura, sendo consistente com a média geral de 3442 kcal/kg, reportada por Selle

et al. (2013). O coeficiente de metabolização aparente da matéria seca (CMA-MS) foi elevado (91,66%), superando consideravelmente a média de 75,34%, encontrada por Gonçalves et al. (2007), o que indica boa disponibilidade dos nutrientes.

Em contrapartida, o coeficiente de metabolização da proteína bruta (CMA-PB) foi de 54,65%, um valor ligeiramente inferior à média da literatura (61,06%). O coeficiente de metabolização do extrato etéreo (CMA-EE) foi de 40,0%, abaixo dos 85,0% reportados por Gonçalves et al. (2007).

Apesar da menor digestibilidade da proteína e do extrato etéreo em comparação ao NE, a sua EMAn de 3436 kcal/kg é consistente com o esperado para sorgos de valor médio, indicando que, embora com desempenho inferior ao NE, ainda representa uma opção viável, desde que sua composição nutricional específica seja considerada na formulação de rações.

4.1.2 - Cevada

A composição nutricional, os valores de energia bruta (EB), a avaliação física do ingrediente e os coeficientes de metabolização podem ser vistos na Tabela 6 e Tabela 7, respectivamente.

Tabela 6 - Valores de composição nutricional, valores de energia bruta (EB) e a avaliação física da cevada, à base de matéria seca

| NUTRIENTE (%) | INGREDIENTES | | | |
|---|--------------|---------------------|---------------------|---------------------|
| | Cevada | Cevada ¹ | Cevada ² | Cevada ³ |
| MS | 86,47 | - | - | - |
| PB (%) | 12,73 | 12,91 | 11,74 | - |
| EE | 1,99 | 2,20 | - | - |
| MM | 2,14 | - | - | - |
| FB | 2,54 | - | 5,40 | 3,94 |
| ENN | 80,60 | - | - | - |
| EB (kcal/kg) | 4355 | 4569 | - | 4355 |
| Avaliação Física | | | | |
| Cevada | | | | |
| Impureza | | 0,01 | | |
| Mofado | | 0,37 | | |
| Picados/carunchado | | 0,36 | | |
| Chocho | | 0,56 | | |
| Partido e quebrado | | 0,83 | | |
| Total | | 2,13 | | |
| Granulometria (µm) | 460,11 | | | |
| Densidade (kg/m ³) | 682,9 | | | |
| ¹ Khalil et al. (2021); ² Rostagno et al. (2024); ³ Bolarinwa et al. (2012). | | | | |

O teor de PB da cevada foi de 12,73%, equivalente aos 12,91% encontrados por Khalil et al. (2021), superior ao do Rostagno et al. (2024), de 11,74%. Enquanto o valor de EE (1,99%) situou-se entre os 1,76% de Bolarinwa et al. (2012) e os 2,20% de Khalil et al. (2021). A característica mais distintiva foi o baixo teor de fibra bruta (2,54%), aproximadamente 55%, inferior aos 6,22% documentados por Bolarinwa et al. (2012), e os de 5,40% do verificado na tabela do Rostagno et al.

(2024). A energia bruta (4355 kcal/kg) foi próxima a 4569 kcal/kg e 4121 kcal/kg reportadas por Bolarinwa et al. (2012) e Khalil et al. (2021), respectivamente.

De acordo com a Portaria nº 691/1996, o percentual máximo permitido de grãos avariados (impurezas, mofados, chochos, partidos e quebrados) é de 5%. Na avaliação do grão, este percentual foi de 2,13%, indicando que os grãos avaliados se encontram dentro do padrão estabelecido pela normativa.

Tabela 7 - Coeficientes de metabolização da MS, PB, EE, ENN e da EB, EMA e EMAn da cevada

| Variável | Alimento |
|------------------|--------------|
| | Cevada |
| CMA – MS | 88,68±1,37 |
| CMA – PB | 61,70±36,00 |
| PD | 7,85±3,11 |
| CMA – EE | 57,60±7,05 |
| EE _d | 1,15±0,13 |
| CMA – ENN | 78,00±5,00 |
| ENN _d | 62,87±3,82 |
| CMA – EB | 59,26±2,53 |
| EMA | 3061 ± 99,87 |
| EMAn | 2888± 99,06 |

A análise dos resultados em comparação com a literatura revela que o coeficiente de metabolização aparente da proteína bruta (CMA-PB) da cevada é um parâmetro variável, influenciado significativamente pelo cultivar e pelas condições de avaliação. O valor obtido no presente trabalho (64,24%) situa-se em uma posição intermediária entre os extremos reportados pela literatura, de 42,00%, encontrado por Potter et al. (1964), e de a média de 74,24%, reportada por Gohl et al. (1976) para cinco cultivares. Já para Rostagno et al. (2024) há um coeficiente superior de 83,20%, indicando a existência de genótipos de cevada com potencial proteico de alta digestibilidade ou não.

O resultado do presente estudo (64,70%) sugere que o cultivar ou lote de cevada avaliado possui uma qualidade proteica moderada e mais digestível que os materiais mais antigos, não atingindo, porém,

o potencial máximo observado em alguns genótipos específicos, ressaltando que o aproveitamento de um nutriente é dependente também da linhagem e metodologia utilizada no experimento de digestibilidade.

Quanto ao CMA da matéria seca (MS), o valor de 88,68% obtido foi alto para um cereal fibroso, como a cevada. Infelizmente, as referências históricas fornecidas não reportam este parâmetro para uma comparação direta. Um valor elevado sugere que a cevada testada passou por um processamento eficiente que promoveu uma quase completa gelatinização do amido e ruptura da parede celular, maximizando sua digestibilidade energética. Alternativamente, pode tratar-se de um cultivar moderno com baixo teor de fibra, características que elevam o valor energético para as aves.

Observou-se que a EMAn obtida ao realizar o metabolismo com a cevada (2888 kcal/kg) foi semelhante aos trabalhos publicados por Saki et al. (2010), utilizando também a mesma metodologia nesse presente experimento, a coleta parcial com indicador e substituição de 40% da dieta por este ingrediente em frangos de corte. Os autores encontraram valores de EMAn de 2543-2634 kcal/kg, respectivamente. Isso é comprovado por Dourado et al. (2010), que encontraram diferença nos resultados obtidos de valores de EMAn de alguns ingredientes, ao utilizarem os métodos de coleta parcial (indicador) e o de coleta total.

4.1.4 - Trigo

A composição nutricional, os valores de energia bruta (EB), a avaliação física do ingrediente e os coeficientes de metabolização podem ser vistos na Tabela 8 e Tabela 9, respectivamente.

Tabela 8 - Valores de composição nutricional, valores de energia bruta (EB) e a avaliação física do trigo, à base de matéria seca

| NUTRIENTE (%) | INGREDIENTE | | |
|--------------------------------|-------------|--------------------|--------------------|
| | Trigo | Trigo ¹ | Trigo ² |
| MS | 88,20 | - | - |
| PB | 14,80 | 11,65–12,59 | - |
| EE | 1,42 | - | 1,78–1,85 |
| MM | 3,19 | 1,45 | - |
| FB | 2,82 | 2,06 | 2,38 |
| ENN | 77,77 | - | - |
| EB (kcal/kg) | 3973 | 4006 | - |
| Avaliação Física | | | |
| Trigo | | | |
| Ardido | | 1,06 | |
| Mofado | | 2,98 | |
| Partido e quebrado | | 0,24 | |
| Total | | 4,28 | |
| Granulometria (µm) | | 451,65 | |
| Densidade (kg/m ³) | | 797,8 | |

¹Smit et al. (2019); ²Bolarinwa et al. (2012).

Os resultados da composição química do trigo obtidos neste estudo apresentaram variações em relação aos valores descritos na literatura, refletindo a influência de fatores intrínsecos e extrínsecos à amostra. O teor de matéria seca (88,20%) foi ligeiramente superior às médias observadas em outros lotes (86,62–87,14%) e próximo ao valor de 88,9% relatado por Bolarinwa et al. (2012), indicando adequados graus de secagem e conservação do grão.

A concentração de proteína bruta (14,80%) foi superior à média de, aproximadamente, 12,00%, reportada na literatura, e aos valores observados por Smit et al. (2019) (11,65–12,59%). Este resultado pode estar associado a fatores de cultivo, como cultivar, fertilização nitrogenada, condições climáticas e estágio de maturação, sendo nutricionalmente favorável quando o grão é destinado à alimentação animal.

O teor de extrato etéreo (1,42%) foi inferior aos valores relatados por Smit et al. (2019) (1,78–1,85%) e por Bolarinwa et al. (2012) (1,66%), possivelmente devido a diferenças genéticas da cultivar ou variações metodológicas de extração. Os maiores desvios foram observados nos componentes minerais e fibrosos.

A matéria mineral (3,19%) superou a média de, aproximadamente, 1,45%, relatada por Smit et al. (2019), possivelmente em função de maior concentração mineral na casca ou presença de material adventício aderido ao grão durante a colheita ou beneficiamento. De forma semelhante, a fibra bruta (2,82%) foi superior aos valores descritos por Smit et al. (2019) (~2,06%) e por Bolarinwa et al. (2012) (2,38%), indicando maior proporção de componentes estruturais da parede celular. O valor de energia bruta calculado (3973 kcal/kg) foi próximo ao relatado por Smit et al. (2019) (4006 kcal/kg), indicando que o potencial energético do grão se manteve dentro do esperado para a espécie.

A classificação dos grãos de trigo é realizada em dois grupos: grupo 1, utilizado para consumo humano, e grupo 2, para moagem e outros usos. Dentro de cada grupo, há três tipos que medem os defeitos máximos, o que, de acordo com os critérios apresentados por Rasêra (2011), os grãos de trigo avaliados no presente estudo enquadram-se no grupo 2 do tipo 3, que tem até 7,00% de defeitos. Segundo a Portaria nº 53 do Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento (MAPA, 1983), os mesmos critérios de classificação aplicados ao trigo também se estendem ao triticale, indicando que os grãos analisados se encontram dentro dos padrões estabelecidos pela legislação.

Em relação à densidade, a referida portaria estabelece valor mínimo de 650 kg/m³ para esses grãos. Os valores obtidos neste estudo foram de 853,3 kg/m³ para o triticale, e 797,8 kg/m³ para o trigo, ambos superiores ao limite mínimo exigido, evidenciando que os grãos avaliados atendem aos parâmetros estabelecidos pela normativa vigente.

Em relação à densidade dos grãos, foi observado que a do trigo foi de 797,8 kg/m³, estando um pouco inferior ao padrão encontrado por Rasêra et al. (2011), que varia de 842,5 a 900 kg/m³. Já o triticales apresentou-se dentro deste intervalo, com 853,3 kg/m³.

Tabela 9 - Coeficientes de metabolização da MS, PB, EE, ENN e da EB, EMA e EMAn do trigo

| Variável | Alimento |
|------------------|--------------|
| | Trigo |
| CMA – MS | 91,02 ± 0,46 |
| CMA – PB | 89,60 ± 0,44 |
| PD | 13,26 ± 1,27 |
| CMA – EE | 77,09±3,72 |
| EE _d | 1,09±0,08 |
| CMA – ENN | 68,58±5,70 |
| ENN _d | 53,33±4,49 |
| CMA – EB | 70,81±1,22 |
| EMA | 3615 ±20,06 |
| EMAn | 3377 ± 20,80 |

Os valores de coeficientes de metabolização dos nutrientes e os valores digestíveis são utilizados para avaliar a qualidade dos ingredientes, ajustar a formulação de ração para atender melhor às necessidades nutricionais dos animais e melhorar a eficiência alimentar e a produtividade dos frangos de corte. Além disso, o valor do coeficiente de metabolizabilidade demonstra se houve uma alta, ou uma baixa digestibilidade do alimento (Nunes et al., 2008).

Estes valores determinados ajudam nutricionistas a formular dietas com maior precisão e que maximizem a utilização dos ingredientes disponíveis, levando em consideração a eficiência na digestão e na metabolização dos nutrientes.

O trigo deste experimento apresentou valores experimentais de EMA (3615 kcal/kg) e EMAn (3377 kcal/kg), o que está dentro dos valores encontrados por Lasek et al. (2020) ao avaliarem diferentes

cultivares de trigo para frangos de 42 a 49 dias, observando as variações entre 3224 e 3774 kcal EMAn/kg.

4.1.5 - Triticale

A composição nutricional, os valores de energia bruta (EB), a avaliação física do ingrediente e os coeficientes de metabolização podem ser vistos na Tabela 10 e Tabela 11, respectivamente.

Tabela 10 - Valores de composição nutricional, valores de energia bruta (EB) e a avaliação física do triticale, à base de matéria seca

| NUTRIENTE (%) | INGREDIENTES | | | |
|--|--------------|------------------------|------------------------|------------------------|
| | Triticale | Triticale ¹ | Triticale ² | Triticale ³ |
| MS | 88,11 | - | - | - |
| PB (%) | 15,89 | 10,3- 14,09 | 11,61 | - |
| EE (%) | 1,53 | - | 1,01 | 1,51 |
| MM | 3,97 | - | - | - |
| FB (%) | 2,23 | - | 3,83 | - |
| ENN | 76,38 | - | - | - |
| EB (kcal/kg) | 3997 | - | - | - |
| Avaliação Física | | | | |
| Triticale | | | | |
| Ardido | | 0,78 | | |
| Mofado | | 3,08 | | |
| Chocho | | 0,10 | | |
| Partido e quebrado | | 0,11 | | |
| Total | | 4,07 | | |
| Granulometria (µm) | | 468,69 | | |
| Densidade (kg/m ³) | | 853,3 | | |
| ¹ Rundgren (1988); ² Gheorghe et al. (2017); ³ Brum et al. (1999) | | | | |

Para o triticale, os resultados deste estudo (PB: 15,89%; EE: 1,53%; FB: 2,23%) diferem marcadamente dos valores da literatura. O teor de proteína bruta foi superior à faixa de 10,3% a 14,09%

para diferentes cultivares, conforme Rundgren (1988), e de 11,61% (Gheorghe et al., 2017). Da mesma forma, o extrato etéreo (1,14%) foi inferior aos 1,51% e 1,01%, reportados por Brum et al. (1999) e Gheorghe et al. (2017), respectivamente. Para fibra bruta, o valor encontrado (2,23%) é semelhante a 2,42% do Rostagno et al. (2024). Porém, pouco abaixo do valor de 3,83%, encontrado por Gheorghe et al. (2017).

A classificação dos grãos do triticale segue a mesma do trigo, segundo a Portaria nº 53 do Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento (MAPA, 1983).

Tabela 11 - Coeficientes de metabolização da MS, PB, EE, ENN e da EB, EMA e EMAn do Triticale

| Variável | Alimento |
|-----------|--------------|
| | Triticale |
| CMA – MS | 81,85 ±1,28 |
| CMA – PB | 88,60 ±9,87 |
| PD | 14,08±1,59 |
| CMA – EE | 77,70±4,98 |
| EEd | 1,19±0,06 |
| CMA – ENN | 56,82±7,56 |
| ENNd | 43,40±5,92 |
| CMA – EB | 76,17±2,25 |
| EMA | 3525 ±37,33 |
| EMAn | 3336 ± 32,91 |

No triticale, os coeficientes de metabolização, em estudo conduzido por Moharrery et al. (2015), avaliando a digestibilidade em frangos de corte com idade entre 45 e 52 dias, foi registrado no valor de CAM - MS de 73,39% e CMA-PB de 55,26%, inferiores aos encontrados no presente estudo para o triticale, cujo CAM-PB foi de 88,6% e o CMA-MS de 90,35%. Já em comparação com Rostagno et al. (2024), o calculado CMA-PB (88,60%) foi muito próximo ao reportado pelo autor (86,03%). Já para o

trigo, os valores deste estudo para o CMA-PB (89,60%) foram próximos ao encontrado por Rostagno et al. (2024) (90,44%).

O perfil do triticales foi semelhante ao do trigo (EMA 3525; EMAn 3336 kcal/kg), sendo superior ao valor de 3081,11 kcal EMAn/kg, relatado por Perttilä et al. (2005) para o triticales.

4.1.6 - Milheto

A composição nutricional, os valores de energia bruta (EB), a avaliação física do ingrediente e os coeficientes de metabolização podem ser vistos na Tabela 12 e Tabela 13, respectivamente.

Tabela 12 - Valores de composição nutricional, valores de energia bruta (EB) e a avaliação física do milheto, à base de matéria seca

| NUTRIENTE (%) | INGREDIENTE | | | |
|--------------------------------|-------------|----------------------|----------------------|----------------------|
| | Milheto | Milheto ¹ | Milheto ² | Milheto ³ |
| MS | 89,92 | - | - | - |
| PB (%) | 14,17 | 12,99 | 15,56 | - |
| EE | 9,62 | 5,14 | 4,62 | - |
| MM | 2,46 | - | - | - |
| FB (%) | 2,68 | 2,64 | 1,84 | - |
| ENN | 71,07 | - | - | - |
| EB (kcal/kg) | 4781 | - | - | 3.774 - 4.060 |
| Avaliação Física | | | | |
| Impureza | 0,58 | | | |
| Ardido | 0,14 | | | |
| Partido e quebrado | 0,07 | | | |
| Total | 1,42 | | | |
| Granulometria (µm) | 261,63 | | | |
| Densidade (kg/m ³) | 911,5 | | | |

¹ Rostagno et al. (2024), ² Fancher et al. (1987), ³Hansen et al. (2021)

O milheto apresentou teor de extrato etéreo (EE) de 9,62%, valor superior aos descritos por Rostagno et al. (2024) (5,14%) e por Fancher et al. (1987) (4,62%), bem como aos relatados na revisão conduzida por Hansen et al. (2021), na qual variedades de milheto apresentaram variação de 2,07% a 5,71%. Este resultado pode ser considerado atípico em relação à literatura, sendo possivelmente explicado pela variabilidade entre cultivares de milheto, que influencia diretamente a composição química do grão. De acordo com Hansen et al. (2021), a energia bruta (EB) do milheto varia de 3.774 a

4.060 kcal/kg. Nesse contexto, o maior teor de EE observado no presente estudo contribui para a elevação da densidade energética do ingrediente, refletida no valor de 4.781 kcal/kg de EB determinado.

Quanto ao teor de proteína bruta (PB), o valor encontrado (14,17%) está compreendido entre 12,99%, conforme Rostagno et al. (2024), e 15,56%, segundo Fancher et al. (1987). Em relação à fibra bruta (FB), o teor de 2,41% é próximo ao descrito por Rostagno et al. (2024) (2,64%) e superior ao relatado por Fancher et al. (1987) (1,84%).

O milho caracteriza-se como um ingrediente de baixo teor de fibra, apresentando valor semelhante ao do milho grão (1,94%), conforme Rostagno et al. (2024). Portanto, destaca-se pelo maior teor de proteína bruta (14,17%) em comparação ao milho, cujos valores variam de 8,81% a 9,36% na matéria seca, de acordo com as Tabelas Brasileiras para Aves e Suínos (Rostagno et al., 2024).

De acordo com os critérios apresentados por Rasêra (2011), nos grãos de milho, a classificação está mais associada às características físicas, como porosidade e densidade. No presente estudo, foi observado valor de 911,5 kg/m³, superior, porém, próximo ao relatado por Bhosle et al. (2024), que encontraram 804 kg/m³ em variedades de milho.

De acordo com a Portaria nº 691/1996, o percentual máximo permitido de grãos avariados (impurezas, mofados, chochos, partidos e quebrados) é de 5%. Na avaliação do grão, este percentual foi de 1,42%, indicando que os grãos avaliados se encontram dentro do padrão estabelecido pela normativa.

Tabela 13 - Coeficientes de metabolização da MS, PB, EE, ENN e da EB, EMA e EMAn do Milho

| Variável | Alimento |
|-----------|--------------|
| | Milheto |
| CMA – MS | 91,98±1,32 |
| CMA – PB | 64,24±11,05 |
| PD | 9,10±1,73 |
| CMA – EE | 50,34±4,00 |
| EEd | 4,84±0,58 |
| CMA – ENN | 99,28±0,15 |
| ENNd | 70,56±2,11 |
| CMA – EB | 58,60±6,24 |
| EMA | 3396 ± 70,94 |
| EMAn | 3045± 48,21 |

Estudos como o de Hidalgo et al. (2004) mostraram que os grãos inteiros de milho perolado possuem alta digestibilidade para frangos de corte jovens, mostrando que o sistema digestivo das aves é plenamente capaz de quebrar e utilizar eficientemente o milho, mesmo na sua forma integral, validando sua incorporação como ingrediente nas rações. Os valores encontrados neste estudo para o CMA - PB (64,24%) estão abaixo do reportado por Rostagno et al. (2024), que foi de 91,38%, e o CMA-EB encontrado no presente trabalho (58,60%) está aquém do relatado pelo mesmo autor (80,50%).

Ao comparar os valores determinados com os da literatura, o valor de EMAn do milho obtido no presente trabalho de 3045 kcal/kg foi próximo ao encontrado por Rama Rao et al. (2004) para o milho foxtail (3304 kcal/kg) e foi superior ao encontrado pelo mesmo autor para o milho pérola (2736 kcal/kg) e o milho-de-dedo (2846 kcal/kg). Os valores encontrados por Hidalgo et al. (2004) (3263 kcal/kg) para o milho Foxtail estão numericamente próximos ao valor obtido.

Rodrigues et al. (2001) avaliaram duas amostras de milho e obtiveram valores de 3248±158 kcal/kg e 3347±89 kcal/kg, superiores ao determinado no presente experimento (3045 kcal/kg), porém, Rama Rao et al. (2004) encontraram 2736 kcal/kg, valores inferiores ao determinado. De qualquer forma, a diferença de aproximadamente 100 kcal/kg na EMAn entre as duas amostras de Rodrigues et al. (2001) já demonstra a variabilidade intrínseca deste ingrediente, que pode ser atribuída a fatores como cultivar,

condições de plantio e processamento. Esta variabilidade permite entender a diferença entre os resultados experimentais e as estimativas das equações de predição, por exemplo.

4.2 – Efeito comparativo dos valores de EMAn determinados no presente trabalho com os estimados, de acordo com as equações de predição do NRC (1994) e do Rostagno et al. (2024)

A energia é reconhecida como o principal componente de custo na alimentação de frangos de corte. Nos últimos anos, a variabilidade do custo energético dos ingredientes, impulsionada pela demanda por biocombustíveis e sua correlação com *commodities* não agrícolas (como apontado por Yu et al., 2006 e Harri et al., 2009), tem tornado crucial o aprimoramento das técnicas de formulação de rações.

Tradicionalmente, a formulação para aves é baseada na EMA ou na EMAn, no entanto, Cozannet et al. (2010) propuseram que a correção para 50% de retenção de nitrogênio (EMAs) seria mais representativa da situação metabólica real das aves, que retêm nitrogênio durante o crescimento. Esta visão é corroborada por Barzegar et al. (2019) e Aye-Cho Tay-Zar et al. (2023), que reiteram a inadequação parcial dos sistemas baseados apenas na EM.

Paralelamente ao desenvolvimento de sistemas energéticos mais refinados, a indústria busca ferramentas rápidas e econômicas para a avaliação de alimentos. As equações de predição, que utilizam análises químicas simples da composição das dietas, surgem como uma alternativa valiosa aos dispendiosos e demorados ensaios *in vivo* (Alvarenga et al., 2013; Mateos et al., 2019).

No entanto, a literatura destaca uma lacuna, pois muitos estudos propõem equações, mas poucos as validam adequadamente com conjuntos de dados independentes (Alvarenga et al., 2013a; Wu et al., 2019). Meloche (2013) e Meloche et al. (2014) enfatizam que a validação é a etapa final mais importante para garantir a aplicação prática e a confiabilidade de uma equação, alertando sobre riscos de imprecisão. Este trabalho se propõe a validar essas equações, demonstrando, estatisticamente, se podem ser utilizadas, quando comparadas ao experimento *in vivo*.

Este estudo obteve os resultados experimentais de EMAn (Tabela 16) a partir de um ensaio de metabolismo. Também foram demonstrados os valores de EMAn estimados pelas equações de Equação 1 (NRC, 1994) e Equação 2 (Rostagno et al., 2024), utilizando a composição dos ingredientes estudados.

Tabela 14 - Valores de EMA e EMAn determinados no presente estudo, estimados a partir de equações de predição adotadas por Rostagno et al. (2024) e o do NRC (1994)

| Ingredientes | Variáveis | | |
|--------------|----------------|--------------------------|--------------------------------------|
| | Determinados | Equação 1 (NRC, 1994) | Equação 2 (Rostagno et al., 2024) |
| | EMAn (kcal/kg) | EMAn (kcal/kg) | EMAn (kcal/kg) |
| Milheto | 3045± 48,21b | 3887 ± 9,03a | 3956 ± 60,64a |
| Cevada | 2888± 99,06b | 2895 ± 7,38ab | 3088 ± 73,99a |
| Trigo | 3377 ± 20,80a | 3480 ± 5,27a | 2905 ± 42,36b |
| Triticale | 3336 ± 32,91a | 3426 ± 3,31a | 2745 ± 81,93b |
| Sorgo NE | 3497±70,02a | 3572 ± 32,20a | 3667 ± 54,14a |
| Sorgo SUL | 3179±79,57b | 3846 ± 18,37a | 3497±45,98ab |

A análise dos valores de EMAn para diferentes ingredientes — quando comparados com suas composições químicas e com as estimativas geradas pelas equações de predição de Rostagno (2024) e do NRC (1994) — revela padrões distintos, que evidenciam como os teores de proteína bruta (PB), extrato etéreo (EE) e fibra bruta (FB) interagem para determinar a fração de energia efetivamente utilizada pelas aves.

De modo geral, observa-se que o padrão de estimativas da equação de Rostagno (2024) — que incorpora frações digestíveis dos nutrientes — consegue refletir melhor o efeito depressivo da fibra sobre a energia metabolizável, como discutido por Jha e Mishra (2021) e Mateos et al. (2012). No entanto, os resultados do presente estudo indicam que a equação pode superestimar ou subestimar o EMAn, dependendo do ingrediente, especialmente quando o teor de FB é baixo ou moderado.

A equação do NRC (1994), por ser baseada principalmente na composição química total sem considerar adequadamente a digestibilidade da fibra, tenderia a superestimar o valor energético de ingredientes com alto teor de FB, mas isso não foi consistentemente observado nos sorgos avaliados.

Estes resultados sugerem que a aplicabilidade de uma única equação preditiva para todos os ingredientes pode ser limitada.

Embora as equações sejam ferramentas fundamentais na nutrição animal, seus resultados devem ser interpretados com cautela. Recomenda-se uma abordagem individualizada, conforme apontam os estudos mais atualizados — ou seja, a criação de equações específicas para cada ingrediente com base nos dados experimentais.

4.2.1 - Sorgo NE e SUL

O sorgo NE apresentou MS = 86,83%; PB = 10,22%; EE = 3,64%; MM = 1,67%; FB = 1,82%; ENN = 82,65%, e EB = 4425 kcal/kg; e seu valor experimental de EMAn (3497 kcal/kg) não diferiu significativamente das estimativas geradas por ambas as equações. O sorgo NE apresentou o mais baixo teor de FB entre todos os ingredientes (1,82%).

O baixo teor de fibra pode explicar por que apenas a equação de Rostagno et al. (2024) conseguiu estimar adequadamente o EMAn, uma vez que o efeito depressivo da fibra sobre a digestibilidade foi mínimo.

O sorgo SUL, com composição MS = 83,84%; PB = 10,87%; EE = 1,31%; MM = 2,35%; FB = 3,55%; ENN = 81,92%, e EB = 4373 kcal/kg, teve seu valor experimental de EMAn (3179 kcal/kg) também sem diferença significativa em relação às estimativas de ambas as equações. O sorgo SUL apresentou o maior teor de FB entre todos os ingredientes (3,55%).

Apesar deste teor mais elevado, ambas as equações conseguiram estimar adequadamente o EMAn, sem superestimativa ou subestimativa significativa. Este resultado é particularmente interessante, pois, segundo a literatura — Jha e Mishra (2021) e Mateos et al. (2012) —, altos teores de fibra, especialmente a fração insolúvel, atuam como diluidores energéticos e podem reduzir a digestibilidade de lipídios e proteínas, levando a superestimativas por equações baseadas apenas na composição química total, como a do NRC (1994).

No entanto, isso não foi observado para o sorgo SUL, sugerindo que a qualidade e a solubilidade da fibra do sorgo podem ser diferentes das de outros cereais, ou que outros nutrientes (como o EE mais baixo) compensaram o efeito da fibra.

4.2.3 - Cevada

Os resultados desta pesquisa demonstraram que a cevada apresenta a seguinte composição bromatológica: MS = 86,47%; PB = 12,73%; EE = 1,99%; MM = 2,14%; FB = 2,54%; ENN = 80,60%, e EB = 4355 kcal/kg. O valor determinado de EMAn (2888 kcal/kg) assemelhou-se à estimativa do NRC (1994), de 2895 kcal/kg, mas divergiu significativamente da equação de Rostagno et al. (2024), que superestimou a energia em 3088 kcal/kg.

Tais achados alinham-se ao estudo de Scott e Hall (1998), que avaliaram a EMAn de dietas de cevada suplementadas com enzimas para frangos de corte. Ao desenvolverem uma equação de predição ($EMAn = EB_{dieta} - 4067$; $R^2 = 0,98$), os autores observaram que os preditores apresentavam viés significativo para a cevada. Isso reflete a sensibilidade do cereal a fatores que afetam a digestibilidade, sugerindo que superestimativas em modelos preditivos poderiam ser mitigadas via ajustes específicos.

Nesta dissertação, a superestimativa pela equação de Rostagno et al. (2024) pode estar vinculada às beta-glucanas. Estes polissacarídeos não amiláceos formam géis viscosos no trato gastrointestinal, reduzindo a digestibilidade e a energia metabolizável. Scott e Hall (1998) corroboram esta tese ao demonstrarem que a inclusão de enzimas altera drasticamente a EMAn e a retenção de nitrogênio, evidenciando o impacto desses fatores antinutricionais no valor energético real.

Os resultados reforçam a necessidade de modelos específicos para este cereal, que considerem não apenas proteína e energia bruta, mas também o teor de polissacarídeos não amiláceos e a resposta enzimática, dada a maior vulnerabilidade a vieses em comparação ao trigo.

4.2.4 - Trigo

Em seu estudo com grãos e subprodutos de trigo para pintos de corte, Nunes et al. (2001) demonstraram que a fibra em detergente neutro (FDN) foi a variável isolada com maior correlação negativa com os valores de EMAn. Isoladamente, a FDN proporcionou um coeficiente de determinação $R^2 = 0,91$ através da equação: $EMAn = 3994,87 - 48,82 * FDN$. No entanto, os autores observaram que modelos com duas variáveis apresentaram melhor ajuste, destacando-se a combinação entre proteína bruta (PB) e FDN, com $R^2 = 0,98$.

Segundo os pesquisadores, esta associação foi a que melhor se ajustou na predição dos valores de EMAn entre todas as combinações testadas. Os achados de Nunes et al. (2001) dialogam diretamente com os resultados desta pesquisa, na qual o trigo analisado apresentou a seguinte composição: MS = 88,20%; PB = 14,80%; EE = 1,42%; MM = 3,19%; FB = 2,82%; ENN = 77,77%, e EB = 3973 kcal/kg. O valor experimental de EMAn (3377 kcal/kg) não diferiu da estimativa do NRC (1994) de 3480 kcal/kg, porém, divergiu da equação de Rostagno et al. (2024), que subestimou o valor em 2905 kcal/kg.

A subestimativa observada pode ser compreendida pela análise das evidências de Nunes et al. (2001), que indicam que a precisão da predição depende da combinação adequada de variáveis como FB, FDN, MM e PB, todas com correlação negativa com a EMAn. No trigo aqui avaliado, o teor de FB foi de apenas 2,82%, valor relativamente baixo que, sob a ótica dos modelos preditivos, não justificaria uma redução tão acentuada na EMAn.

Embora altos teores de fibra atuem como diluidores energéticos, a matriz fibrosa específica do trigo pode ter sido penalizada excessivamente no modelo de Rostagno et al. (2024). Nesse sentido, Nunes et al. (2001) ressaltaram que é possível obter resultados confiáveis e econômicos utilizando equações com poucas variáveis. E combinações como MM e EE ($R^2 = 0,94$) ou PB e FDN ($R^2 = 0,98$) mostraram-se adequadas para a predição.

A equação de maior precisão ($R^2 = 0,98$) estabelecida pelos autores foi: $EMAn \text{ (kcal/kg)} = 4754,02 - 48,38 * PB - 45,32 * FDN$. Os autores verificaram que a média dos desvios entre valores estimados e observados aumentava conforme o R^2 diminuía, reforçando que modelos com maior poder preditivo reduzem significativamente os erros de formulação. Portanto, a integração entre os dados desta

pesquisa e os de Nunes et al. (2001) permite concluir que a subestimativa da EMAn do trigo pela equação de Rostagno et al. (2024) está possivelmente associada à superestimação do efeito negativo da fibra e à necessidade de adotar modelos que considerem a interação entre PB, FDN, MM e EE para representar este cereal.

4.2.5 - Triticale

Os resultados obtidos na presente pesquisa para o triticale demonstraram a seguinte composição bromatológica: MS = 88,11%; PB = 15,89%; EE = 1,53%; MM = 3,97%; FB = 2,23%; ENN = 76,38%, e EB = 3997 kcal/kg. O valor experimental de EMAn (3336 kcal/kg) assemelhou-se à estimativa do NRC (1994) de 3426 kcal/kg, mas divergiu da equação de Rostagno et al. (2024), que subestimou o valor em 2745 kcal/kg. O teor de fibra bruta (2,23%) torna essa subestimativa ainda mais expressiva, sugerindo que a equação pode ter penalizado excessivamente a fração fibrosa, ou desconsiderado fatores determinantes para este cereal.

Estes achados são corroborados pelo estudo de Yegani et al. (2013), que avaliou amostras de triticale com frangos de corte. No referido estudo, os autores observaram que os valores de EMAn do triticale variaram de 3058 a 3178 kcal/kg. A oscilação reforça que fatores como cultivar e condições de cultivo influenciam significativamente o conteúdo energético.

Assim como observado nesta dissertação, Yegani et al. (2013) demonstraram que a energia metabolizável do triticale não apresentou correlação significativa com o teor de fibra em detergente neutro (FDN) ($R^2 = 0,28$; $p = 0,174$). Isso indica que a fração fibrosa, isoladamente, não é o principal preditor da variação energética para este ingrediente.

Em contrapartida, os autores evidenciaram correlações significativas da EMAn com a energia bruta (EB) ($R^2 = 0,80$; $p = 0,003$) e a proteína bruta (PB) ($R^2 = 0,83$; $p = 0,002$). Esta constatação reforça a hipótese de que a subestimativa por Rostagno et al. (2024) pode advir da não consideração adequada da variabilidade na digestibilidade da proteína e do amido.

A variabilidade intrínseca ao cultivar e à digestibilidade dos nutrientes são cruciais, evidenciando a necessidade de equações de predição específicas que contemplem as particularidades fisiológicas e bromatológicas deste cereal.

4.2.6 - Milheto

O milho apresentou a seguinte composição bromatológica: MS = 89,92%; PB = 14,17%; EE = 9,62%; MM = 2,46%; FB = 2,68%; ENN = 71,07%, e EB = 4781 kcal/kg. Para este ingrediente, o valor determinado experimentalmente de EMAn (3045 kcal/kg) não diferiu dos valores estimados por ambas as equações: 3956 kcal/kg (Rostagno et al., 2024) e 3887 kcal/kg (NRC, 1994). O milho apresentou teor de FB (2,68%), o que minimiza o efeito depressivo da fibra sobre a energia metabolizável. Nesse contexto, tanto a equação de Rostagno (2024), que incorpora frações digestíveis dos nutrientes, quanto a equação do NRC (1994), baseada principalmente na composição química total, conseguiram estimar adequadamente o valor energético, uma vez que o baixo teor de fibra não foi suficiente para gerar discrepâncias significativas entre as metodologias.

5 - Conclusão

Os cereais alternativos estudados (milheto, sorgos, triticale, trigo, cevada) apresentam ampla variabilidade em sua composição nutricional e valor energético, indicando que o uso de valores tabulados genéricos pode comprometer a precisão da formulação e a eficiência produtiva na avicultura de corte.

A escolha da equação de predição para estimar o valor energético é diferenciada para cada alimento, sendo a equação do Rostagno et al. (2024) para o milho e os sorgos, e, para os demais ingredientes (trigo, triticale e cevada), as equações específicas do NRC (1994), de acordo com os dados de composição dos ingredientes e de nutrientes digestíveis obtidos no presente experimento.

6 - Referências

- ABPA - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE PROTEÍNA ANIMAL. Relatório anual 2025. São Paulo, 2025. Disponível em: <https://www.abpa-br.org.br/relatorio2025>. Acesso em: 09 jul. 2025.
- ADEOLA, O.; ORBAN, J. I. Chemical composition and nutrient digestibility of pearl millet (*Pennisetum glaucum*) fed to growing pigs. *Journal of Cereal Science*, v. 22, p. 177–184, 1995.
- ALBUQUERQUE, Carlos Juliano Brant; DE MENEZES, Cícero Beserra; DE FREITAS, Rogério Soares. Origem, evolução e domesticação do sorgo. MENEZES, Cicero Beserra de (Ed.). *Melhoramento genético de sorgo*. Brasília, DF: Embrapa, 2021.
- Almeida, Edvânia. Mercado do trigo no Brasil: Produção regional e futuro. *Agropec*. 2025. Disponível em: <https://agropecfuturo.com.br/mercado-do-trigo-no-brasil-producao/>.
- APARECIDO, L. E. O. et al. Modelagem da produtividade do milho safrinha em função das condições climáticas do Mato Grosso do Sul. *Revista Brasileira de Climatologia*, v. 26, 2020.
- ASSOCIATION OF OFFICIAL ANALYTICAL CHEMISTS – AOAC. *Official methods of analysis*. 18. ed. Gaithersburg: AOAC International, 2019.
- AZEVEDO, D. M. S. Fatores que afetam os valores de energia metabolizável da farinha de carne e ossos para aves. Viçosa: Universidade Federal de Viçosa, 1997. 89 p.
- BAIER, A. C.; NEDEL, J. L.; REIS, E. M.; WIETHÖLTER, S. *Triticale: cultivo e aproveitamento*. Passo Fundo: EMBRAPA-CNPT, 1994. 72 p. (Documentos).
- BIEL, W; KAZIMIERSKA e K; BASHUTSKA, U. Nutritional value of wheat, triticale, 259 barley and oat grains. *Acta Scientiarum Polonorum Zootechnica*, v. 19, n. 2, p. 19-28, 2020.
- BOLARINWA, O. A.; ADEOLA, O. Energy value of wheat, barley, and wheat dried distillers grains with solubles for broiler chickens determined using the regression method. *Poultry Science*, v. 91, p. 1928–1935, 2012.
- BORGES, F. M. O., ROSTAGNO, H. S., SAAD, C. E. P., RODRIGUEZ, N. M., TEIXEIRA, E. 265 A., LARA, L. B.; ARAÚJO, V. L. M. O. Comparação de métodos de avaliação dos valores 266 energéticos do grão de trigo e seus subprodutos para frangos de corte. *Arquivo Brasileiro de Medicina Veterinária e Zootecnia*, v. 55, p. 710-721, 2003

BOROS, D. Influence of R genome on the nutritional value of triticale for broiler chicks. *Animal feed science and technology*, v. 76, n. 3-4, p. 219-226, 1999.

BRUMANO, G.; GOMES, P. C.; ALBINO, L. F. T.; ROSTAGNO, H. S.; GENEROSO, R. A. R. Chemical composition and metabolizable energy values of protein feedstuffs to broilers at different ages. *Arquivo Brasileiro de Medicina Veterinária e Zootecnia*, v. 58, p. 2297–2302, 2006.

CARDINAL, Kátia Maria; PIRES, Paula Gabriela da Silva; RIBEIRO, Andréa Machado Leal. Princípios básicos na formulação de rações. *Pubvet. Londrina*. Vol. 13, n. 9 (set. 2019), a410, 7 p., 2019.

CARVALHO, A. P. et al. Potencial produtivo e aplicações tecnológicas da cevada: perspectivas para a indústria e a nutrição animal. *Revista Brasileira de Agrociência*, v. 27, n. 4, p. 1–10, 2021.

CONAB - Companhia Nacional de Abastecimento. Acompanhamento da safra brasileira de grãos: safra 2024/2025. 9º lev., junho 2025. v. 13, n. 9. Acesso em: 01 jul. 2025.

CUNHA, GILBERTO. Triticale ganha zoneamento agrícola de risco climático. *Embrapa trigo*. 2025. Disponível em: <Triticale ganha Zoneamento Agrícola de Risco Climático – Fecoagro>.

DA SILVA, E. I. C. et al. Apostila aplicada à nutrição de não ruminantes. *EDUFRPE*, 2023.

DA SILVA, Emanuel Isaque Cordeiro. *Formulação e Fabricação de Rações Para Ruminantes: Bovinos, Caprinos e Ovinos*. Belo Jardim. 2021.

DETMANN, E.; SILVA, L. F. C.; ROCHA, G. C.; PALMA, M. N. N.; RODRIGUES, J. P. P. *Métodos para análise de alimentos*. 2. ed. Viçosa: Produção Independente, Universidade Federal de Viçosa, 2021. p. 350.

DETMANN, E.; SOUZA, M. A.; VALADARES FILHO, S. C.; QUEIROZ, A. C.; BERCHIELLI, T. T.; SALIBA, E. O. S.; AZEVEDO, J. A. G. *Métodos para análise de alimentos*. Visconde do Rio Branco: Suprema, 2012.

EMBRAPA. *Cereais de inverno: trigo, triticale, cevada e aveia*. Embrapa Trigo. 2023.

EMBRAPA. *Informação Embrapa: Embrapa soja*. Brasília, 2025.

FANCHER, B. I.; JENSEN, L. S.; SMITH, R. L.; HANNA, W. W. Metabolizable energy content of pearl millet (*Pennisetum americanum*). *Poultry Science*, v. 66, p. 1693–1696, 1987.

FAO – Food and Agriculture Organization of the United Nations. FAOSTAT – Crops and livestock products, 2025. Roma: FAO, 2025.

FAO –. Food and Agriculture Organization of the United Nations. FAOSTAT. 2011

FAO –. Food and Agriculture Organization of the United Nations. FAOSTAT. 2023

GATEL, F.; LAVOREL, O.; FEKETE, J.; GROSJEAN, F.; CASTAING, J. Feeding value of triticale for monogastrics weaned piglets, growing-finishing pigs and broilers. In: EUCARPIA MEETING OF THE CEREAL SECTION ON TRITICALE, 3., 1985, Clermont-Ferrand. Genetics and breeding of triticale. Paris: INRA, 1985. p. 660–670.

HEUZÉ, V.; TRAN, G.; RENAUDEAU, D.; LESSIRE, M.; LEBAS, F. Wheat Grain. Feedipedia, a Programme by INRA, CIRAD, AFZ and FAO, 2015. Disponível em: <https://feedipedia.org/node/223>.

HIDALGO, M. A.; DAVIS, A. J.; DALE, N. M.; DOZIER III, W. A. Use of whole pearl millet in broiler diets. *Journal of Applied Poultry Research*, v. 13, p. 229–234, 2004.

IBGE. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. Levantamento sistemático da produção agrícola. 2025. Disponível em: <https://www.ibge.gov.br/estatisticas/economicas/agricultura-e-pecuaria/9201-levantamento-sistematico-da-producao-agricola.html?edicao=43387&t=resultados>

JANSSEN, W. M. M. A. European table of energy values for poultry feedstuffs. 3. ed. Beekbergen: Spelderholt Center for Poultry Research and Information Services, 1989.

KARUNARATNE, N. D.; ABBOTT, D. A.; HUCL, P.; CHIBBAR, R. N.; POZNIAK, C. J.; CLASSEN, H. L. Starch digestibility and apparent metabolizable energy of wheat classes marketed in western Canada in broiler chickens. *Poultry Science*, v. 97, p. 2818–2828, 2018.

KHALIL, M. M.; ABDOLLAHI, M. R.; ZAEFARIAN, F.; CHRYSTAL, P. V.; RAVINDRAN, V. Apparent metabolizable energy of cereal grains for broiler chickens is influenced by age. *Poultry Science*, v. 100, p. 101288, 2021.

LANA, R. P; SALES, R. O Rogério. II Simpósio sobre sistema Viçosa de formulação de rações (formulação de misturas minerais, suplementos múltiplos, concentrado e ração total para gado de leite e gado de corte, caprinos e ovinos. *Revista Brasileira de Nutrição Animal*, v. 5, n. 3 S1, p. 1-84, 2019.

LIMA, I. L. Níveis nutricionais utilizados nas rações pela indústria avícola. In: SIMPÓSIO INTERNACIONAL SOBRE EXIGÊNCIAS NUTRICIONAIS DE AVES E SUÍNOS, 1996, Viçosa. Anais... Viçosa: UFV, 1996. p. 389–402.

LOPES, D. C. et al. Efeito do nível de carunchamento do milho sobre a digestibilidade de sua proteína e energia para suínos em crescimento. *Revista da Sociedade Brasileira de Zootecnia*, v. 19, n. 3, p. 181–185, 1990.

MAGALHÃES, Paulo César; DURÃES, Frederico O. M. Cultivo do milheto. In: EMBRAPA. *Sistemas de produção*. Brasília: Embrapa, p. 1-13, 2009.

MATTERSON, L. D. et al. The metabolizable energy of feed ingredients for chickens. Storrs: University of Connecticut, 1965. p. 3–11.

MOHARRERY, A.; ASADI, E.; REZAEI, R. Performance characteristics and nutritional comparison of broiler chickens fed barley and triticale-based diets. *Iranian Journal of Applied Animal Science*, v. 5, n. 2, p. 369–376, 2015.

NAGATA, Adriano Kaneo et al. Energia metabolizável de alguns alimentos energéticos para frangos de corte, determinada por ensaios metabólicos e por equações de predição. *Ciência e Agrotecnologia*, v. 28, n. 3, p. 669-677, 2004.

NASCIMENTO, G. A. J. et al. Equações de predição para estimar os valores da EMAn de alimentos proteicos para aves utilizando meta-análise. *Revista Brasileira de Zootecnia*, v. 40, n. 10, p. 2172–2177, 2011.

NATIONAL RESEARCH COUNCIL – NRC. *Nutrient requirements of poultry*. 9. rev. ed. Washington: National Academy Press, 1994.

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

PERTTILÄ, Sini; VALAJA, Jarmo; JALAVA, Taina. Apparent ileal digestibility of amino acids and metabolisable energy value in grains for broilers. *Agricultural and Food Science*, v. 14, n. 4, p. 325-334, 2005.

RAMA RAO, S. V., Raju, M. V. L. N., Reddy, M. R., & Panda, A. K. Replacement of yellow maize with pearl millet (*Pennisetum typhoides*), foxtail millet (*Setaria italica*) or finger millet (*Eleusine coracana*) in broiler chicken diets containing supplemental enzymes. *Asian-australasian journal of animal sciences*, 17(6). 2004

RASÊRA, I. T. Classificação de grãos. Classificação vegetal - trigo. Senar - PR.Curitiba. 20211.

ROSTAGNO, H. S. et al. Tabelas brasileiras para aves e suínos - Composição de alimentos e exigências nutricionais. 5. ed. Visconde do Rio Branco: UFV, 2024. 531 p. DOI: <http://dx.doi.org/10.26626/978-85-8179-206-4.2024.B001>.

ROSTAGNO, H. S. et al. Tabelas brasileiras para aves e suínos: composição de alimentos e exigências nutricionais. 4. ed. Viçosa: UFV, 2017.

RUNDGREN, M. Evaluation of triticale given to pigs, poultry and rats. *Animal Feed Science and Technology*, v. 19, p. 359–375, 1988.

SAKI, A. A. et al. Amino acids and protein digestibility and metabolizable energy availability of barley ration in response to Grind® enzyme in broiler chickens. *Asian-Australasian Journal of Animal Sciences*, v. 23, n. 5, p. 614–621, 2010.

SAKOMURA, N. K.; ROSTAGNO, H. S. Métodos de pesquisa em nutrição de monogástricos. 2. ed. Jaboticabal: FUNEP, 2016. 262 p.

SAKOMURA, N. K.; ROSTAGNO, H. S. Métodos de pesquisa em nutrição de monogástricos. 2. ed. Jaboticabal: FUNEP, 2016.

SELLE, P. H.; LIU, S. Y.; CAI, J.; COWIESON, A. J. Steam-pelleting temperatures, grain variety, feed form and protease supplementation of sorghum-based broiler diets. *Animal Production Science*, v. 53, p. 378–387, 2013.

SOUZA, M. C. N. Fontes proteicas na criação de peixes: alimentos alternativos. Bahia. 2022.

- TABOSA, José Nildo et al. Programa de melhoramento de sorgo e milho em Pernambuco. EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. Recursos genéticos e melhoramento de plantas para o Nordeste brasileiro. Brasília, v. 1, n. 29, p. 403-419, 1999.
- TORRES, K.A.A. et al. Effects of corn replacement by sorghum in broiler diets on performance and intestinal mucosa integrity. Poultry Science., v.92, p.1564-1571. 2013.
- TRONI, A. R. et al. Composição química e energética de alimentos para frangos de corte. Revista Ciência Agronômica, v. 47, n. 4, p. 755–760, 2016.
- VOHRA, P.; BERSCH, S.; QUALSEt, C. Q.; BAKER, R. Triticale: an alternative cereal in starter diets for broilers. California Agriculture, v. 45, p. 34–37, 1991.
- ZANOTTO, D. L.; BELLAVER, C. Método de determinação da granulometria de ingredientes para uso em rações de suínos e aves. Embrapa Suínos e Aves, 1996.
- ZANOTTO, M. et al. Viabilidade polínica como seleção assistida no programa de melhoramento genético de triticale. Ciência e Agrotecnologia, v. 33, n. esp., p. 2078–2082, 2009.
- ZHU, F. Triticale: Nutritional composition and food uses. Food Chemistry, v. 241, p. 468-479, 2018.