

UNIVERSIDADE DO ESTADO DE SANTA CATARINA – UDESC
CENTRO DE CIÊNCIAS AGROVETERINÁRIAS – CAV
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO – PPGCA

MARCELO SUZUKI SUYAMA

**VALOR ENERGÉTICO E DIGESTIBILIDADE DE GRAMÍNEAS DE VERÃO E DE
INVERNO COM UTILIZAÇÃO DE ENZIMAS DIGESTIVAS PARA POEDEIRAS**

LAGES

2025

MARCELO SUZUKI SUYAMA

**VALOR ENERGÉTICO E DIGESTIBILIDADE DE GRAMÍNEAS DE VERÃO E DE
INVERNO COM UTILIZAÇÃO DE ENZIMAS DIGESTIVAS PARA POEDEIRAS**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-graduação em Ciência Animal, da Universidade do Estado de Santa Catarina, como requisito parcial à obtenção do título de Mestre em Ciência Animal, Área de Concentração: Produção Animal.

Orientador: Prof. Dr. Clóvis Eliseu Gewehr

LAGES

2025

**Ficha catalográfica elaborada pelo programa de geração automática da
Biblioteca Universitária Udesc,
com os dados fornecidos pelo(a) autor(a)**

Suzuki Suyama, Marcelo

Valor energético e digestibilidade de gramíneas de verão e de inverno com utilização de enzimas digestivas para poedeiras / Marcelo Suzuki Suyama. -- 2025.
95 p.

Orientador: Clóvis Eliseu Gewehr

Dissertação (mestrado) -- Universidade do Estado de Santa Catarina, Centro de Ciências Agroveterinárias, Programa de Pós-Graduação , Lages, 2025.

1. Azevém anual. 2. Capim-kikuyu. 3. Energia metabolizável. 4. Fibra. 5. Método de regressão . I. Eliseu Gewehr, Clóvis. II. Universidade do Estado de Santa Catarina, Centro de Ciências Agroveterinárias, Programa de Pós-Graduação . III. Título.

MARCELO SUZUKI SUYAMA

VALOR ENERGÉTICO E DIGESTIBILIDADE DE GRAMÍNEAS DE VERÃO E DE INVERNO COM UTILIZAÇÃO DE ENZIMAS DIGESTIVAS PARA POEDEIRAS

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-graduação em Ciência Animal, da Universidade do Estado de Santa Catarina, como requisito parcial à obtenção do título de Mestre em Ciência Animal, Área de Concentração: Produção Animal.

Orientador: Prof. Dr. Clóvis Eliseu Gewehr

BANCA EXAMINADORA

Dr. Clóvis Eliseu Gewehr

Universidade do Estado de Santa Catarina (UDESC)

Membros:

Dra. Aline Félix Schneider Bedin

Universidade Federal de Santa Catarina (UFSC)



Documento assinado digitalmente

Aline Felix Schneider

Data: 12/02/2025 11:15:20-0300

CPF: ***.703.859-**

Verifique as assinaturas em <https://v.ufsc.br>

Dr. Henrique Jorge de Freitas

Universidade Federal do Acre (UFAC)



Documento assinado digitalmente

HENRIQUE JORGE DE FREITAS

Data: 13/02/2025 12:05:14-0300

Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Lages/SC, 11 de Fevereiro de 2025

*Dedico este trabalho
às pessoas que me apoiam,
que me fazem querer evoluir
e me tornar uma pessoa melhor.
Obrigado!*

AGRADECIMENTOS

Agradeço à minha família, especialmente aos meus pais e irmãos, pelo apoio durante a realização do mestrado. Sem o suporte deles, a realização da pós-graduação não teria sido possível.

Aos meus amigos, que estiveram ao meu lado e me incentivaram ao longo de todo esse período, meu sincero agradecimento!

Agradeço também ao meu orientador, o Prof. Clóvis Eliseu Gewehr, pela confiança, pelas oportunidades e pelos ensinamentos que recebi tanto na graduação quanto no mestrado.

Agradeço aos bolsistas e pós-graduandos do Setor de Avicultura, em especial à Loirana e ao Marcos. Sem a ajuda de vocês, o experimento não teria sido realizado, e esta dissertação não teria sido concluída.

Sou grato ao Centro de Ciências Agroveterinárias e ao Programa de Pós-graduação em Ciência Animal (PPGCA) da Universidade do Estado de Santa Catarina (UDESC), que contribuíram na execução e realização do projeto.

Agradeço também aos professores do PPGCA, que contribuíram para a minha formação acadêmica, e ao Laboratório de Análises Bromatológicas, onde foram realizadas as análises químicas do experimento.

Por fim, agradeço à Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES) pela concessão da bolsa de estudo.

A todos que, de alguma forma, contribuíram para a realização desta dissertação, meu muito obrigado!

*“Mantenha seus pensamentos positivos,
pois seus pensamentos tornam-se suas palavras.*

*Mantenha suas palavras positivas,
pois suas palavras tornam-se suas atitudes.*

*Mantenha suas atitudes positivas,
pois suas atitudes tornam-se seus hábitos.*

*Mantenha seus hábitos positivos,
pois seus hábitos tornam-se seus valores.*

*Mantenha seus valores positivos,
pois seus valores... Tornam-se seu destino”*

- Mahatma Gandhi

RESUMO

Os raros estudos de digestibilidade de forragens podem ser atribuídos à sua composição química, com uma baixa concentração de carboidratos amiláceos e lipídios, que, associados a uma elevada proporção de fibra alimentar, transformam as forragens em um alimento de baixo potencial nutricional para as aves. Porém, a utilização das forragens na alimentação das aves de produção não deve ser desprezada, de modo que determinar o seu valor nutricional pode esclarecer a sua contribuição na alimentação das aves, ao invés de serem usadas apenas como enriquecimento ambiental e para alterar a qualidade dos ovos. Assim, o objetivo deste estudo foi determinar o valor energético e a digestibilidade do azevém anual (*Lolium multiflorum* L.) e do capim-kikuyu (*Pennisetum clandestinum* Hochst. ex Chiov.) com a utilização de enzimas digestivas exógenas (EDE) e propor equações de predição da energia metabolizável aparente (EMA) para estimar os valores energéticos das gramíneas para poedeiras. 144 poedeiras da linhagem Hisex Brown, em fase de postura, foram distribuídas em um delineamento inteiramente casualizado, em arranjo fatorial 4 x 2, com 4 níveis de substituição da gramínea: 0, 30, 60 e 90g/kg, e com e sem a utilização de EDE. Compreendendo 8 tratamentos, com 6 repetições e 3 aves por repetição. Foram realizados experimentos para a avaliação do capim-kikuyu e para o azevém anual. O período experimental teve duração de 8 dias, sendo os primeiros 4 dias para a adaptação das aves às dietas experimentais e os 4 dias seguintes para a coleta das excretas e mensuração do consumo de ração. Ocorreu uma redução linear nos valores de EMA e na digestibilidade da MS, energia e do FDN das dietas conforme se aumentou o nível de substituição das gramíneas. O tempo de passagem da digesta reduziu de modo linear pelo aumento do nível de substituição das gramíneas. A digestibilidade das cinzas aumentou nos tratamentos que receberam o capim-kikuyu e no nível de 60g/kg do azevém. Um aumento significativo da digestibilidade da PB foi verificado nas dietas com o azevém. A EDE aumentou a digestibilidade do FDN e da PB das dietas com o capim-kikuyu e da PB das dietas com o azevém. Os valores de EMA, EMAn e EMAp obtidos para o kikuyu e o azevém nos níveis de substituição (30, 60 e 90g/kg) apresentaram uma redução linear, com menores valores obtidos para o nível de 90g/kg em comparação a 30g/kg. A utilização da EDE melhorou a digestibilidade da energia do kikuyu. As equações de predição com dois preditores, formados por EB e FDA, ou EBd e MSd, aumentaram o valor de R^2 . O extrato etéreo possui alta correlação em predizer o conteúdo de energia das gramíneas. Os valores na matéria natural de EMAn do kikuyu foi de 261,5kcal/kg, e 339,3kcal/kg para o azevém, a EMAp do kikuyu foi de 267,6kcal/kg, e 341,1kcal/kg para o azevém. A EDE utilizada não é eficiente em melhorar a utilização da energia das gramíneas considerando o consumo na matéria natural. O capim-kikuyu e o azevém anual podem ser utilizadas na alimentação de poedeiras com acesso a áreas vegetadas fornecendo uma fonte alternativa de energia e proteína, porém o azevém anual apresenta maior valor energético e digestibilidade do que o capim-kikuyu.

Palavras-chave: Azevém anual. Capim-kikuyu. Energia metabolizável. Equações de predição. Fibra. Método de regressão. Tempo de passagem.

ABSTRACT

The rare studies on the digestibility of forage can be attributed to its chemical composition, with a low concentration of starchy carbohydrates and lipids, which, combined with a high proportion of dietary fiber, make forage a low nutritional potential food for birds. However, the use of forage in the feeding of production birds should not be overlooked. Determining its nutritional value can clarify its contribution to bird feeding, rather than being used solely for environmental enrichment and altering egg quality. Thus, the aim of this study was to determine the energy value and digestibility of annual ryegrass (*Lolium multiflorum* L.) and kikuyu grass (*Pennisetum clandestinum* Hochst. ex Chiov.) using exogenous digestive enzymes (EDE) and propose prediction equations of apparent metabolizable energy (AME) to estimate the energy values of grasses for laying hens. A total of 144 Hisex Brown laying hens, in the laying phase, were distributed in a completely randomized design, in a 4 x 2 factorial arrangement, with 4 levels of grass substitution: 0, 30, 60, and 90g/kg, and with and without the use of EDE. This comprised 8 treatments, with 6 replicates and 3 birds per replicate. Experiments were conducted for the evaluation of kikuyu-grass and annual ryegrass. The experimental period lasted 8 days, with the first 4 days for the adaptation of birds to the experimental diets and the following 4 days for the collection of excreta and measurement of feed consumption. There was a linear reduction in the AME values and in the digestibility of dry matter (DM), energy, and neutral detergent fiber (NDF) of the diets as the level of grass substitution increased. The passage time of the digesta decreased linearly with the increase in the level of grass substitution. Ash digestibility increased in treatments receiving kikuyu-grass and at the 60g/kg level of ryegrass. A significant increase in crude protein (CP) digestibility was observed in diets with ryegrass. EDE increased the digestibility of NDF and CP in diets with kikuyu-grass and CP in diets with ryegrass. The AME, AMEn, and AMEp values obtained for kikuyu and ryegrass at substitution levels (30, 60, and 90g/kg) showed a linear reduction, with the lowest values obtained for the 90g/kg level compared to the 30g/kg level. The use of EDE improved the energy digestibility of kikuyu-grass. Prediction equations with two predictors, consisting of gross energy and acid detergent fiber, or digestible gross energy and digestible dry matter, increased the R² value. The ether extract has a high correlation in predicting the energy content of grasses. The natural matter AMEn values of kikuyu were 261.5kcal/kg and 339.3kcal/kg for ryegrass, and the AMEp of kikuyu was 267.6kcal/kg and 341.1kcal/kg for ryegrass. The EDE used is not efficient in improving the energy utilization of grasses considering consumption in natural matter. Kikuyu grass and annual ryegrass can be used in the feeding of laying hens with access to vegetated areas, providing an alternative source of energy and protein, but annual ryegrass has a higher energy value and digestibility than kikuyu-grass.

KEYWORDS: Annual Ryegrass. Digestibility. Kikuyu Grass. Metabolizable Energy. Prediction Equations. Fiber. Regression Method. Passage Time.

LISTA DE TABELAS

Tabela 1. Composição química e energia bruta do capim-kikuyu e do azevém anual, com base na matéria seca.	66
Tabela 2. Composição alimentar das dietas experimentais dos experimentos.....	67
Tabela 3. Composição química e energia bruta das dietas experimentais com substituição do capim-kikuyu.....	69
Tabela 4. Composição química e energia bruta das dietas experimentais com substituição do azevém anual.	69
Tabela 5. Efeitos de níveis crescentes de substituição do capim-kikuyu com utilização de EDE na EMA, digestibilidade aparente dos nutrientes, da energia e na passagem da digesta na dieta de poedeiras.	72
Tabela 6. Valores de EMA e dos coeficientes de digestibilidade aparente dos nutrientes e da energia do capim-kikuyu obtidos em níveis crescentes de substituição com utilização de EDE para poedeiras.....	73
Tabela 7. Coeficientes angulares e interceptos das equações de regressão da EMA, EMAn e EMAp do capim-kikuyu com utilização de EDE para poedeiras.	74
Tabela 8. Efeitos de níveis crescentes de substituição do azevém anual com utilização de EDE na EMA, digestibilidade aparente dos nutrientes da energia e na passagem da digesta na dieta de poedeiras.	75
Tabela 9. Valores de EMA e dos coeficientes de digestibilidade aparente dos nutrientes e da energia do azevém anual obtidos em níveis crescentes de substituição com utilização de EDE para poedeiras.....	76
Tabela 10. Coeficientes angulares e interceptos das equações de regressão da EMA, EMAn e EMAp do azevém anual com utilização de EDE para poedeiras.	78
Tabela 11. Equações de regressão dos coeficientes de digestibilidade da energia e nutrientes do capim-kikuyu e do azevém anual para poedeiras com utilização de EDE.....	80
Tabela 12. Equações de regressão para EMAn e EMAp (kcal/kg, MS) a partir da energia bruta (kcal/kg, MS) e dos nutrientes (g/kg, MS) do capim-kikuyu e do azevém anual.	81

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Regressão da quantidade de energia consumida do capim-kikuyu (Y, kcal) contra a quantidade consumida (X, kg) na matéria seca. A) EMAn sem EDE = $1333,5x + 2,6$, $R^2 = 0,921$; EMAn com EDE = $1575,7x + 1,1$, $R^2 = 0,926$. B) EMAp sem EDE = $1332,7x + 2,6$, $R^2 = 0,913$; EMAp com EDE = $1638,2x + 1,3$, $R^2 = 0,924$.
.....73

Figura 2. Regressão da quantidade de energia consumida do azevém anual (Y, kcal) contra a quantidade consumida (X, kg) na matéria seca. A) EMAn sem EDE = $2376,9x + 0,1$, $R^2 = 0,995$; EMAn com EDE = $2215,4x + 2,1$, $R^2 = 0,981$. B) EMAp sem EDE = $2342,3x - 0,2$, $R^2 = 0,994$; EMAp com EDE = $2263,7x + 2,6$, $R^2 = 0,980$.
.....77

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

AGCC	Ácidos graxos de cadeia curta
CD	Coeficiente de digestibilidade
DR	Dieta referência
DT	Dieta teste
EM	Energia metabolizável
EMA	Energia metabolizável aparente
EMA _n	Energia metabolizável aparente corrigida pelo nitrogênio
EDE	Enzima digestiva exógena
EMA _p	Energia metabolizável aparente padronizada
EE	Extrato etéreo
FA	Fibra alimentar
FB	Fibra bruta
FDN	Fibra em detergente neutro
FDA	Fibra em detergente ácido
MO	Matéria orgânica
MS	Matéria seca
ND	Nutriente digerido
PNAs	Polissacarídeos não amiláceos
PB	Proteína bruta
TGI	Trato gastrointestinal

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	15
1.1	OBJETIVOS.....	17
1.1.1	Objetivo Geral	17
1.1.2	Objetivos Específicos	17
1.2	HIPÓTESES.....	18
2	REVISÃO DE LITERATURA	19
2.1	UTILIZAÇÃO DE FORRAGENS NA ALIMENTAÇÃO DE AVES	19
2.2	GRAMÍNEAS	23
2.2.1	Azevém Anual	25
2.2.2	Capim-kikuyu	25
2.3	FATORES QUE PODEM INFLUENCIAR NA DIGESTIBILIDADE DE GRAMÍNEAS PARA AVES	26
2.3.1	Fibra Alimentar	26
2.3.2	Altura de Corte das Gramíneas.....	37
2.3.3	Enzimas Digestivas Exógenas.....	39
2.3.3.1	Carboidrases	40
2.3.3.2	Protease	41
2.3.3.3	Fitase.....	42
2.4	METODOLOGIA UTILIZADA PARA AVALIAÇÃO NUTRICIONAL DE GRAMÍNEAS PARA AVES	43
2.4.1	Coleta Total de Excretas	43
2.4.2	Mensuração da Energia Metabolizável Aparente e Corrigida para o Balanço de Nitrogênio.....	46
2.4.2.1	Cálculos.....	47
2.4.3	Nutrientes Digeridos e Coeficientes de Digestibilidade.....	49
2.5	EQUAÇÕES DE PREDIÇÃO DA ENERGIA METABOLIZÁVEL.....	50
2.6	REFERÊNCIAS	51
3	VALOR ENERGÉTICO E DIGESTIBILIDADE DO CAPIM KICUIO E AZEVÉM COM ADIÇÃO DE ENZIMAS EXÓGENAS PARA POEDEIRAS COMERCIAIS	62
3.1	INTRODUÇÃO	63
3.2	MATERIAL E MÉTODOS.....	64
3.2.1	Aves e Delineamento Experimental.....	64
3.2.2	Alimentos Testes e Dietas	65
3.2.3	Tempo de Passagem da Digesta.....	68
3.2.4	Coleta das Amostras e Análises	68
3.2.5	Cálculos da Energia Metabolizável e dos Nutrientes Digeridos	69
3.2.6	Análise Estatística.....	70
3.3	RESULTADOS	71
3.3.1	Experimento com o capim-kikuyu	71
3.3.2	Experimento com o azevém anual.....	74
3.3.3	Coeficientes de Digestibilidade dos Nutrientes e da Energia	77
3.3.4	Equações de Predição da Energia Metabolizável	78

3.4	DISCUSSÃO	82
3.4.1	Efeitos da Fibra e das EDE na Digestibilidade da Energia e Nutrientes das Dietas 82	
3.4.2	Valor Energético e Digestibilidade do Capim-Kikuyu e do Azevém Anual.....	86
3.4.3	Coeficientes de Digestibilidade e Equações de Predição da EMA	89
3.5	CONCLUSÃO	90
3.6	REFERÊNCIAS	91

1 INTRODUÇÃO

A utilização de forragens na alimentação de poedeiras está ganhando a atenção dos pesquisadores a fim de se descobrir os impactos da sua inclusão na dieta das aves e nos aspectos referentes a produção e qualidade de ovos. As pesquisas envolvendo a utilização de forragens para poedeiras estão concentradas em estudos de desempenho zootécnico e de qualidade de ovos.

Alguns estudos indicam que o acesso a áreas com cultivo de forragens não gera efeitos negativos em relação ao desempenho das poedeiras (Tufarelli *et al.*, 2018) e nos parâmetros de qualidade de ovos (Hammershøj & Steenfeldt, 2015). Além disso, o tipo de forragem disponível pode alterar o perfil de ácidos graxos dos ovos, com aumento de ácidos graxos poli-insaturados do tipo ômega-3 (Hammershøj & Johansen, 2016).

Outro fator positivo do acesso a áreas vegetadas é a redução no consumo de ração devido a disponibilidade das forragens (Singh & Cowieson, 2013), sendo que as poedeiras possuem preferência por gramíneas próximas do solo, com uma altura média de 20 a 30cm de comprimento (Horsted, Hermansen & Hansen, 2007). Porém, pouco se sabe sobre a contribuição nutricional do consumo de forragens na alimentação de poedeiras, podendo ocasionar a diluição das dietas em consequência da diminuição do consumo de ração pela ingestão das espécies forrageiras (Singh & Cowieson, 2013).

Os raros estudos de digestibilidade de forragens podem ser atribuídos a sua composição química, com uma baixa concentração de carboidratos amiláceos e lipídeos que associado a elevada proporção de fibra alimentar transformam as forragens em um alimento de baixo potencial nutricional para as aves. Porém, a utilização das forragens na alimentação das aves de produção não deve ser desprezada, de modo que determinar o seu valor nutricional pode esclarecer a sua contribuição na alimentação das aves ao invés de serem usadas como enriquecimento ambiental e para alterar a qualidade dos ovos. Desse modo, as rações podem ser formuladas considerando os valores nutricionais das gramíneas, além de evitar a diluição das dietas que podem gerar deficiências nutricionais e prejuízos na produção de ovos.

Portanto, através deste estudo foi possível determinar o valor energético e a digestibilidade do azevém anual (*Lolium multiflorum* L.) e do capim-kikuyu

(*Pennisetum clandestinum* Hochst. ex Chiov.) com e sem a adição de enzimas digestivas exógenas para poedeiras. A partir dos resultados obtidos, a contribuição nutricional dessas espécies forrageiras na alimentação das poedeiras pôde ser esclarecida, podendo ser uma fonte alternativa de energia metabolizável e proteína na alimentação de poedeiras em sistemas de criação alternativos, com acesso a áreas cultivadas com gramíneas.

A partir das equações de predição da EMA e da EMAn é possível estimar os valores energéticos das gramíneas através dos seus nutrientes digeridos ou pela composição química das gramíneas, podendo-se obter valores referentes da gramínea utilizada sem a necessidade da realização de experimentos de digestibilidade. Pois, a composição química das gramíneas sofre alterações dependendo da qualidade do solo, adubação, estágio de desenvolvimento, altura de corte e o clima.

1.1 OBJETIVOS

1.1.1 Objetivo Geral

Determinar o valor energético e a digestibilidade dos nutrientes do azevém anual (*Lolium multiflorum* L.) e do capim-kikuyu (*Pennisetum clandestinum* Hochst. ex Chiov.) com diferentes níveis de substituição, com e sem a adição de enzimas digestivas exógenas. E propor equações de predição da energia metabolizável aparente corrigida pela retenção de nitrogênio e da energia metabolizável aparente padronizada de gramíneas para poedeiras.

1.1.2 Objetivos Específicos

- Determinar a composição bromatológica das gramíneas e os valores de energia metabolizável aparente (EMA) e EMA corrigido pelo balanço de nitrogênio (EMA_n) e EMA padronizada (EMA_p) das gramíneas com e sem a adição de enzimas digestivas exógenas (EDE) através do método de regressão;
- Determinar os coeficientes de digestibilidade aparente da matéria seca (MS), energia bruta (EB), proteína bruta (PB), fibra em detergente neutro (FDN), da fibra em detergente ácido (FDA) e das cinzas das gramíneas na alimentação de poedeiras com e sem a adição de EDE;
- Avaliar o efeito da adição das gramíneas em níveis crescentes de substituição e das EDE nos valores de EMA e digestibilidade dos nutrientes das dietas e o tempo de passagem da digesta;
- Avaliar o efeito da adição de EDE sobre a digestibilidade e o valor energético das gramíneas para poedeiras;
- Propor equações de predição da EMA_n e EMA_p com base na composição química e nos nutrientes digeridos das gramíneas.

1.2 HIPÓTESES

As gramíneas de verão ou de inverno podem ser utilizadas na alimentação de poedeiras em sistemas alternativos com acesso a áreas cultivadas, fornecendo uma fonte alternativa de proteína bruta e energia.

O valor da energia metabolizável terá valor reduzido devido aos elevados teores de fibra das gramíneas e baixos teores de amido e gordura, o que diminuiria a densidade energética associado aos teores de fibra, os quais podem afetar negativamente a sua digestibilidade.

Apesar das gramíneas de verão e de inverno possuírem características fisiológicas diferentes é possível que o valor energético e digestibilidade dos nutrientes seja semelhante.

A inclusão das gramíneas pode melhorar a digestibilidade da dieta devido ao desenvolvimento do trato gastrointestinal das aves provocados pela composição de fibras, principalmente insolúveis, do alimento.

A utilização de enzimas digestivas exógenas pode melhorar a utilização dos nutrientes, devido à maior degradação dos polissacarídeos não amiláceos presentes nas gramíneas reduzindo seus efeitos antinutricionais pela ação das carboidrases.

2 REVISÃO DE LITERATURA

2.1 UTILIZAÇÃO DE FORRAGENS NA ALIMENTAÇÃO DE AVES

Sistemas de criação livres de gaiolas possuem a vantagem de aumentar a diversidade de comportamentos e o movimento das aves, porém, há um maior gasto energético devido ao aumento da atividade física. Assim, as aves tendem a consumir quantidades maiores de ração em comparação às criações em gaiolas (Shimmura *et al.*, 2010). Apesar do aumento no consumo de ração os sistemas livres de gaiolas estão se tornando economicamente viáveis pela preferência do mercado consumidor por aves criadas soltas, já que tais sistemas permitem às aves expressarem seus comportamentos naturais e possuem acesso à área externa ao aviário, como demonstrado por Pettersson *et al.* (2016) em pesquisa realizada no Reino Unido com consumidores de ovos produzidos por poedeiras livres de gaiolas em sistema free-range.

Sistemas de criação com acesso à área externa permitem uma maior expressão do comportamento das aves e a possibilidade de pastejo pelo consumo de forragens e insetos (Englmaierová *et al.*, 2021). Entretanto, sistemas free-range não possuem, necessariamente, áreas com cultivo de forragens. De modo que, a Associação Americana de Produtores de Aves a Pasto (American Pastured Poultry Producers' Association) (APPPA, 2024) considera a criação a pasto quando as aves possuem acesso à uma extensa área cultivada com forragens.

As aves de produção criadas com acesso a áreas com cultivo de forragens podem consumir quantidades consideráveis das espécies forrageiras quando disponíveis, causando uma redução no consumo da ração (Singh & Cowieson, 2013; Mugnai *et al.*, 2014; Kop-Bozbay *et al.*, 2021), o que pode reduzir os custos decorrentes das dietas das aves (Walker & Gordon, 2003; Horsted *et al.*, 2007a; Englmaierová *et al.*, 2021).

Alguns fatores atuam no consumo de forragens, como: a densidade de lotação, a massa de forragem (kg/ha) disponível, as estações do ano, e em densidades de lotação menores o consumo é aumentado pela maior disponibilidade de forragens por ave (Mugnai *et al.*, 2014). As estações do ano podem exercer grande influência no consumo, já que o clima pode interferir no crescimento das forragens e

consequentemente na massa de forragem disponível. Em estudo desenvolvido por Mugnai *et al.* (2014) com poedeiras a pasto o maior consumo foi registrado na primavera com 59,2g de forragem na matéria natural, por ave ao dia, e o menor consumo foi no verão com 5,7g, por ave ao dia.

Outra característica que pode influenciar no consumo é o enriquecimento ambiental, exercendo influência no pastejo das aves de produção. A presença de árvores no pasto pode diminuir ataques de aves predadoras permitindo uma maior utilização da área em torno do aviário, o que aumenta o consumo de forragens em comparação às áreas de pastejo sem cobertura (Dal Bosco *et al.*, 2014).

Além disso, os valores nutricionais das dietas exercem grande influência na quantidade de forragem consumida pelas aves, como demonstrado por Horsted *et al.* (2007b), poedeiras alimentadas com uma dieta restrita em nutrientes a base de trigo, com 12% de proteína bruta e menos de 1% de cálcio, apresentaram maior consumo de forragens comparado às aves com uma dieta sem restrição de nutrientes.

Já em relação a preferência de consumo, as aves apresentam maior ingestão no período da tarde do que no período da manhã (Antell & Ciszuk, 2006; Horsted *et al.*, 2007b). Possuem maior preferência por forragens próximas do solo ou a uma altura média de 20 a 30cm de comprimento e pior seletividade para plantas mais altas (HORSTED *et al.*, 2007a). Além disso, ervas e gramíneas com folhas de consistência macia são mais atrativas para as aves (Breitsameter *et al.*, 2014).

Outra fonte de alimentos presente nas áreas com forragens são invertebrados como minhocas e insetos, que podem estimular as aves a pastarem e a cavar buracos (Lomu *et al.*, 2004). Dietas com baixo teor de proteína podem estimular as aves a buscarem e consumirem invertebrados a fim de suprir o déficit proteico (HORSTED *et al.*, 2007b), podendo ser uma fonte alternativa de proteína. Porém, é uma fonte alimentar de difícil mensuração devido à disponibilidade e diversidade de insetos na área, que pode ser alterada dependendo do clima e do tipo de vegetação.

O acesso ao pasto para poedeiras e frangos com alimentação *ad libitum* gera algumas alterações no desempenho produtivo das aves. A principal alteração é a redução no consumo de ração tanto em poedeiras (Iqbal *et al.*, 2018; Kop-Bozbay *et al.*, 2021), como em frangos de corte (Singh, Durali & Cowieson, 2015). Devido ao menor consumo de ração ocorre uma redução na conversão alimentar (Ponte *et al.*, 2008). Entretanto, ao considerar o consumo da forragem juntamente com a ração a

conversão alimentar sofre aumento, como observado por Singh, Durali & Cowieson (2015). Os autores estimaram um consumo médio de 6,56g de capim-kikuyu, na matéria natural, em frangos de corte por hora de acesso ao pasto, ao se considerar o consumo do capim a conversão alimentar sofreu aumento no valor de 2,30 para 2,54.

Iqbal *et al.* (2018) avaliaram o desempenho de poedeiras com acesso à festuca, as aves que consumiram o capim apresentaram maior peso e produziram ovos mais pesados em comparação às aves sem acesso à gramínea. Entretanto, Mugnai *et al.* (2014) e Kop-Bozbay *et al.* (2021) não observaram diferença no peso dos ovos e na taxa de postura em poedeiras com acesso às forragens. Porém, resultados semelhantes foram obtidos em relação ao aumento na coloração da gema das poedeiras que consomem forragens (Mugnai *et al.*, 2014; Skrivan & Englmaierová, 2014; Iqbal *et al.*, 2018), pela maior composição de pigmentos carotenoides nas forragens em comparação a dieta convencional das aves.

Além disso, o perfil de ácidos graxos dos ovos pode ser alterado pelo consumo das forragens, as quais apresentam uma maior concentração de ácidos graxos polinsaturados *n*-3 em comparação às rações que são ricas em ácidos graxos *n*-6. Dessa maneira - associado a uma redução no consumo de ração - o perfil lipídico dos ovos pode ser melhorado através da redução da proporção *n*-6/*n*-3 (Mugnai *et al.*, 2014). Da mesma forma, estudos com frangos de corte com acesso ao pasto demonstraram uma melhora na coloração da pele, aumento de antioxidantes (Englmaierová *et al.*, 2021) e de ácidos graxos polinsaturados *n*-3 (Ponte *et al.*, 2008) depositados na carne provenientes das forragens.

Ao se considerar que as aves consomem quantidades significativas de forragens reduzindo o consumo de ração, alguns autores avaliaram os efeitos gerados por modificações na dieta convencional das aves. Buchanan *et al.* (2007b) avaliaram uma dieta com valor de energia metabolizável (EM) recomendada e uma dieta com redução de 7% da EM para frangos de corte com acesso a pasto formado por gramíneas e leguminosas. Os frangos que consumiram a dieta com baixa EM apresentaram menor peso de carcaça em comparação às aves com valor de EM recomendada. Entretanto, a redução da EM da dieta não proporcionou aumento no consumo de forragens, o que pode indicar que as aves possuem capacidade limitada para consumir forragens e a EM proveniente da pastagem não foi suficiente para compensar a redução de energia da dieta.

Em outro estudo, Ponte *et al.* (2008) avaliaram o efeito da restrição alimentar em frangos criados com acesso à área com e sem trevo-subterrâneo (*Trifolium subterraneum*). As restrições foram de 0, 25 e 50% em relação a ingestão de referência diária. Os frangos com acesso ao pasto apresentaram uma proporção de consumo de 1,6, 2,8 e 4,9% da leguminosa, na matéria seca, em relação ao consumo de ração com 0, 25 e 50% de restrição, respectivamente. Apesar da proporção de consumo aumentar conforme se aumentou o nível de restrição, os autores não encontraram diferença no consumo acumulado da forragem entre os níveis de restrição. Porém, um importante resultado encontrado pelos autores foi de que o consumo da leguminosa conseguiu amenizar os efeitos da restrição de ração em comparação às aves que não tiveram acesso ao pasto, no ganho de peso e na eficiência de conversão alimentar. Isso indica que as aves podem ser capazes de aproveitar a EM e os nutrientes das forragens, mesmo que de forma limitada.

Apesar de poucos estudos terem sido feitos avaliando o desempenho produtivo de aves criadas com acesso a pasto é sabido que as aves podem consumir quantidades significativas de forragens ocasionando uma redução no consumo de ração. Ao se considerar que o valor nutricional fornecido pelas forragens é inferior ao da ração, o consumo das forragens ocasiona uma diluição de energia e nutrientes na dieta, já que as rações não são formuladas considerando o valor nutricional e a quantidade consumida de forragens (Singh, Durali & Cowieson, 2015). Desta maneira, o acesso ao pasto pode ocasionar efeitos negativos no consumo voluntário de ração o que, por sua vez, pode reduzir o consumo de energia e nutrientes provocando impactos no desempenho produtivo das aves (Iqbal *et al.*, 2018).

Uma forma de implementar a utilização de forragens para as aves são estudos envolvendo a determinação dos valores de energia metabolizável e da digestibilidade para aves, já que o valor nutricional das forragens é praticamente desconhecido e os estudos realizados são escassos e limitados. Como o estudo realizado por Buchanan *et al.* (2007a), com a avaliação de um mix de forragens formadas por grama azul do Kentuck, festuca, trevo vermelho e branco em galos cecectomizados. Os autores obtiveram valores na matéria natural de 365 e 285kcal/kg de EMAn com e sem a utilização de enzimas (β -glucanase, pentosanase e hemicelulase), respectivamente, e valores elevados para a digestibilidade da lisina (80 e 78,6%) e da metionina (88,3 e 87,4%). Neste estudo, o estágio de desenvolvimento das forragens e a proporção

de leguminosas e de gramíneas utilizada no experimento de digestibilidade não foram especificados.

Já Pleger *et al.* (2021) avaliaram a digestibilidade da proteína e de aminoácidos de folhas e silagens de trevo-vermelho e de alfafa para frangos de corte. A digestibilidade ileal da proteína bruta das folhas de trevo-vermelho e da alfafa, apresentaram resultados de 50% e 51%, respectivamente, sendo que os valores reduzidos podem ser explicados, segundo os autores, devido a elevada temperatura utilizada para a secagem das forragens. Já para as silagens a digestibilidade da proteína bruta foi de 88% para a alfafa e 70% para o trevo-vermelho, de modo que o aumento na digestibilidade da proteína pode ser atribuído a uma redução de fatores antinutricionais, como as saponinas, após o processo de ensilamento (Pleger *et al.*, 2021).

A criação a pasto introduz elementos pouco conhecidos na produção de aves, como a quantidade de forragens que as aves podem ingerir e o seu valor nutricional. A quantidade consumida pode variar conforme a linhagem das aves e a composição das rações (Englmaierová *et al.*, 2021). Porém, determinar o valor nutricional das forragens pode promover um melhor entendimento na nutrição de aves a pasto e proporcionar informações que tornam o sistema free-range com acesso a pasto mais previsível.

2.2 GRAMÍNEAS

As gramíneas podem ser divididas em espécies de estação quente ou fria, pois possuem condições de temperatura ideais para o seu crescimento, com temperaturas variando de 20 a 25°C para as espécies de clima frio ou de inverno e de 28 a 35°C para as gramíneas de verão adaptadas a climas quentes (Volenecc & Nelson, 2020). A divisão das gramíneas entre essas duas categorias é devido a diferenças existentes no processo de fotossíntese, de modo que as gramíneas de inverno possuem a via fotossintética C3 e as de verão a via C4 (Chapman *et al.*, 2014).

O processo de fotossíntese ocorre nos cloroplastos das células, os quais estão presentes nas folhas, e através da energia gerada pela absorção da radiação solar o CO₂ absorvido do ar pelos estômatos são convertidos em açúcares – que servem de substrato para a respiração e síntese de carboidratos estruturais – e outros produtos

essenciais para o desenvolvimento da planta (Volenec & Nelson, 2020). A via fotossintética C3 possui a enzima ribulose-1,5-bisfosfato carboxilase oxigenase (rubisco), responsável por fixar o CO₂ em duas moléculas de 3-fosfoglicerato. Porém, o O₂ atmosférico pode se ligar ao rubisco e produzir uma molécula estável de 3-fosfoglicerato e o ácido glicólico, o qual sofre oxidação e é liberado na forma de CO₂, este processo é denominado de fotorrespiração (Peterhansel & Maurino, 2011). Em baixas temperaturas (<10°C) a fotorrespiração é baixa, porém aumenta acentuadamente com o aumento da temperatura (Volenec & Nelson, 2020), além disso a fotorrespiração diminui a eficiência da fotossíntese (Peterhansel & Maurino, 2011) e energia é perdida durante o processo ao invés de ser utilizada para o crescimento da planta (Chapman *et al.*, 2014).

Diferentemente, as plantas C4 possuem maior eficiência na fixação do CO₂ e podem realizar a fotossíntese mesmo com baixa concentração do CO₂ nas folhas (Chapman *et al.*, 2014), devido à presença da enzima anidrase carbônica e da fosfoenolpiruvato carboxilase, que não reage com o O₂ (Volenec & Nelson, 2020). Outra adaptação é a presença de uma menor densidade e tamanho de estômatos, de modo que uma menor quantidade de água é perdida por evapotranspiração. As gramíneas C4 possuem maior eficiência no uso da água em comparação as espécies C3 (Taylor *et al.*, 2010). Por conta dessas adaptações as gramíneas C4 são adaptadas a climas quentes e com baixa pluviosidade, porém no inverno pode ocorrer a dormência ou baixo crescimento dessas gramíneas (Norton *et al.*, 2016).

Independentemente do tipo de gramínea, os intervalos de pastejo e a severidade da desfoliação irão exercer grande influência na longevidade e na própria qualidade nutricional da pastagem, de modo que manejos adequados na frequência de pastejo podem permitir o crescimento das gramíneas, com desenvolvimento de novos perfilhos, raízes e restaurar as reservas de carboidratos nos rizomas – os quais são consumidos durante as fases iniciais de rebrota -, e atingir alturas ideais de pós-pastejo pode reduzir a proporção de caule na pastagem (Chapman *et al.*, 2014). Ao se utilizar frequências de desfoliação elevadas – ou seja, vários cortes durante um curto período – a gramínea pode não possuir suficiente área residual de folha para a fotossíntese. Desse modo, as reservas de carboidratos podem se esgotar, diminuindo o vigor da planta. Além disso, as gramíneas podem possuir caules finos, poucas raízes

e rizomas, o que pode afetar a longevidade do pasto e a massa de forragem produzida (kg/ha) (Chaparro *et al.*, 1996).

2.2.1 Azevém Anual

O azevém anual (*Lolium multiflorum* L.) é nativa do noroeste da Itália (Jung *et al.*, 1996) e uma das principais gramíneas de clima temperado cultivada no Brasil, principalmente na região sul do país (Carvalho *et al.*, 2020).

O azevém anual é cultivado mundialmente e se caracteriza pelo seu rápido crescimento, alta produtividade e palatabilidade, além disso, pode ser cultivado em diversos tipos de solo e em temperaturas ideais de crescimento variando de 2 a 25°C (Carrasco-Chilón *et al.*, 2024). O azevém anual é utilizado principalmente para o outono, inverno e início do verão (Casler *et al.*, 2020).

O azevém anual possui elevado valor nutricional, podendo atingir concentrações maiores que 20% de PB na MS, através da adubação da gramínea com nitrogênio (Casler *et al.*, 2020), valores médios de FDN de 44,0%, FDA de 29,00% (Godlewska & Ciepiela, 2020) e 14,43% de MS (Wims *et al.*, 2014).

O azevém possui menor teor de FDN e maior digestibilidade *in vitro* em bovinos em comparação a outras gramíneas de inverno, devido a sua baixa concentração de FDN (Insua *et al.*, 2020). Um dos principais problemas das pastagens formadas pelo azevém é a baixa taxa de crescimento durante temperaturas mais elevadas e com baixa pluviosidade (Insua *et al.*, 2020). O azevém anual permite o pastejo contínuo, porém, melhores índices de produtividade são alcançados com outros métodos de pastejo (Casler *et al.*, 2020).

2.2.2 Capim-kikuyu

O capim-kikuyu (*Pennisetum clandestinum* Hochst. ex Chiov.) é uma das principais espécies forrageiras para o pastejo de regiões tropicais e subtropicais (Benvenuti *et al.*, 2020). Possui via fotossintética C4, sendo adaptado a climas

quentes e originado de elevadas altitudes das regiões central e leste da África (García *et al.*, 2014).

O capim Kikuyu apresenta características de crescimento rasteiro com estolões e rizomas, possuindo alta tolerância ao pastejo e pisoteio o que torna a gramínea ideal para a utilização como pastagem, além de poder ser utilizada para produção de feno, silagem e para paisagismo como grama (Sollenberger *et al.*, 2020). Porém, o kikuyu é dormente durante as baixas temperaturas do inverno (García *et al.*, 2014), mas apresenta grau de persistência superior, devido à sua capacidade de rebrotar a partir dos rizomas, em comparação a outras gramíneas que podem ser mortas pela geada (Nie *et al.*, 2008).

Possui maior resistência à secas devido ao desenvolvimento do seu sistema radicular, podendo absorver água de grandes profundidades através das suas raízes que podem atingir até dois metros de profundidade (Nie *et al.*, 2008). O kikuyu possui elevado potencial de produção de MS por hectare, podendo até ser maior que o rendimento do azevém perene (25,0 Vs. 21,1 ton de MS/ha/ano) (Neal *et al.*, 2009). Porém, o capim kikuyu, assim como as demais gramíneas C4, é caracterizado por possuir um valor nutricional relativamente menor, com um teor de proteína médio, alta proporção de fibra e hemicelulose, e digestibilidade moderada em comparação às gramíneas C3 (García *et al.*, 2014). O kikuyu apresenta composição bromatológica média, em relação à MS, de 17,8% de PB, 19,1% de FB, 58,3% de FDN, 27,0% de FDA, 10,8% de cinzas, 2,2% de extrato etéreo e 4,8% de amido (García *et al.*, 2014).

2.3 FATORES QUE PODEM INFLUENCIAR NA DIGESTIBILIDADE DE GRAMÍNEAS PARA AVES

2.3.1 Fibra Alimentar

A porção fibrosa dos alimentos é denominada de fibra alimentar (FA), a qual é formada por diversos polímeros de carboidratos associados a outros componentes não relacionados a carboidratos (Knudsen, 2001). A FA é encontrada principalmente na parede celular vegetal que é formada por polissacarídeos não-amiláceos (PNAs), lignina e outros componentes como proteínas e ácidos graxos (McDougall *et al.*, 1996). Os principais polissacarídeos que compõem a parede celular são a celulose, β -glucanos, ramnagalacturonanos, arabinogalactanos, xiloglucanos (Theander *et al.*,

1989), e a lignina, que apresenta importante função estrutural da parede celular (Liyama *et al.*, 1994).

O aumento na ingestão de fibra causa um incremento na quantidade de PNAs no trato gastrointestinal (TGI) das aves o que pode reduzir a digestibilidade e absorção dos nutrientes (Svihus & Hetland, 2001). Pois, as aves não são capazes de digerir completamente os PNAs, devido à falta de enzimas hidrolisantes endógenas (Zhang *et al.*, 2022). Devido à dificuldade na digestão da porção fibrosa dos alimentos a fibra alimentar é considerada um fator antinutricional e um diluente na dieta das aves (Rougière & Carré, 2010; Jha & Mishra, 2021), o que é confirmado pela correlação negativa entre o aumento do conteúdo de fibra e a digestibilidade da proteína, do amido e do extrato etéreo da dieta (Smits & Annison, 1996; Jha & Mishra, 2021). Porém, aves adultas possuem maior capacidade na extração de energia de alimentos ricos em fibra, em comparação a aves jovens, em consequência do desenvolvimento do trato gastrointestinal que pode sofrer adaptações para melhorar a digestão de alimentos fibrosos (Mateos *et al.*, 2019).

Os PNAs que compõe a fibra alimentar podem ser divididos em solúveis e insolúveis de acordo com a sua solubilidade em água (Choct, 1997). Estas duas frações produzem efeitos particulares no trato gastrointestinal das aves, de modo que o tipo de fibra ingerida pode apresentar resultados distintos no que se refere ao consumo de ração, motilidade e desenvolvimento do trato gastrointestinal, produção de enzimas e crescimento da microbiota intestinal e cecal (Mateos *et al.*, 2012).

Alimentos como a cevada e a aveia apresentam maiores proporções de β -glucanos, o trigo e centeio possuem arabinogalactanos (Jha & Mishra, 2021) e as pectinas estão presentes, principalmente, em frutas e na polpa de beterraba (González-Alvarado *et al.*, 2010), estes PNAs apresentam maior solubilidade em água. Por outro lado, alimentos ricos em fibras insolúveis possuem maior proporção de lignina e celulose como as cascas de soja, girassol e de outras sementes, farelo e palha de trigo (Slama *et al.*, 2019). As gramíneas possuem maior constituição de PNAs insolúveis, além disso, o estágio de desenvolvimento e altura de corte exercem grande influência na quantidade de fibras (García *et al.*, 2014).

Uma das metodologias mais utilizadas para a quantificação de fibra insolúvel em água é a metodologia desenvolvida por Van Soest (1991), na qual uma solução em ebulição de detergente com pH neutro é utilizada para a separação das fibras

insolúveis (celulose, hemicelulose e lignina) do alimento – obtendo-se a fração da fibra em detergente neutro (FDN) - as quais são retidas por filtração e a porção de fibra solúvel em água é descartada durante o processo. Ao se utilizar uma solução em detergente ácido a hemicelulose é solubilizada durante o procedimento, restando a porção denominada de fibra em detergente ácido (FDA), composta por celulose e lignina.

O principal efeito provocado pelos PNAs solúveis é o aumento da viscosidade da digesta no intestino delgado das aves, em decorrência da maior capacidade de retenção de água (Slama *et al.*, 2019) e das interações que ocorrem entre as moléculas de polissacarídeos, as quais se interligam com a formação de agregados que deixam a digesta mais viscosa (Choct *et al.*, 1996; Zhang *et al.*, 2022). O aumento da viscosidade resulta em uma redução da taxa de passagem da digesta e prejudica a interação entre enzima e substrato causando uma redução na digestibilidade e absorção dos nutrientes (Choct, 1997; Svihus and Hetland, 2001). Devido à alta capacidade de retenção de água dos PNAs solúveis as excretas apresentam um teor de umidade mais elevado (Langhout *et al.*, 1999).

Já os PNAs insolúveis apresentam efeito diferente no trato gastrointestinal das aves em comparação a fração solúvel, causam uma redução no tempo de passagem da digesta e um aumento no desenvolvimento e na capacidade de órgãos digestórios, em especial a moela (Hetland & Svihus, 2001). Podem diminuir a umidade das excretas, o que pode beneficiar a qualidade da cama dos aviários (Röhe *et al.*, 2020), e reduzir a incidência de pododermatite (Naeem *et al.*, 2023). Além de reduzir a umidade das excretas as fibras insolúveis podem reduzir a excreção de nitrogênio e consequentemente reduzir a emissão de amônia no ambiente (Naeem *et al.*, 2023).

Apesar da fibra alimentar não ser hidrolisada pelas enzimas endógenas, os PNAs podem ser fermentados pela microbiota do trato gastrointestinal. Porém, a degradação não é tão eficiente como em outros monogástricos, de modo que os PNAs podem ser fermentados e aproveitados pelas aves em uma baixa proporção (Jørgensen *et al.*, 1996). Os produtos da fermentação bacteriana dos PNAs são principalmente ácidos graxos de cadeia curta (AGCC) como o ácido acético, propiônico, butírico e o ácido láctico (Williams *et al.* 2017). Os produtos da fermentação causam uma redução do pH intestinal, o que favorece o desenvolvimento de bactérias

Lactobacillus spp. e uma redução de bactérias patogênicas, além de apresentar efeitos benéficos para as células intestinais (Williams *et al.* 2017).

Além disso, os AGCC produzidos podem contribuir com uma pequena fração de energia para as aves, como demonstrado pelo estudo desenvolvido por Jørgensen *et al.* (1996). Nesse estudo frangos de corte alimentados com dietas contendo diferentes níveis de fibra de ervilha, farelo de trigo ou farelo de aveia, a fermentação dos PNAs contribuiu com cerca de 3 – 4% da EM da dieta. Porém, o grau de fermentação depende do tipo de polissacarídeo, sendo que a fração insolúvel sofre baixa fermentação, por outro lado, a fibra solúvel é mais rapidamente fermentada e pode ocorrer tanto no intestino delgado como no ceco (Williams *et al.* 2017). A porção insolúvel permanece praticamente indigerida até atingir o ceco onde se processa a fermentação (Jørgensen *et al.*, 1996). Como os PNAs solúveis sofrem fermentação no intestino delgado um aumento na ingestão desses polissacarídeos ocasiona a proliferação de bactérias fermentativas, o que pode afetar negativamente a digestibilidade de nutrientes e reduzir a EMA da dieta (Choct *et al.*, 1996).

A adição de alimentos ricos em fibra na dieta causa diversas alterações no trato gastrointestinal das aves em decorrência dos efeitos provocados pelos PNAs solúveis e insolúveis, de modo que os órgãos digestórios sofrem adaptações quanto ao comprimento e peso para aprimorar a capacidade digestiva das FA, sendo que essas adaptações do TGI se processam de modo diferente dependendo do tipo de PNAs, como demonstrado por diversos estudos (Jørgensen *et al.*, 1996; Hetland & Svihus, 2001; Amerah *et al.*, 2009; González-Alvarado *et al.*, 2010; Li *et al.*, 2017; Abdollahi *et al.*, 2019; Röhe *et al.*, 2020; Naeem *et al.*, 2023).

O aumento de fibra na dieta causa um aumento nos órgãos digestivos, como demonstrado por Jørgensen *et al.* (1996), em que inclusões crescentes (0, 18,7 e 37,5%) de fibra de ervilha, farelo de trigo ou farelo de aveia para frangos de corte provocou aumento no comprimento e peso do ceco - devido ao aumento da atividade e do desenvolvimento da microbiota cecal. O comprimento do intestino delgado foi mais pronunciado com a utilização da fibra de ervilha que possui maior proporção de PNAs solúveis, os quais produzem uma maior distensão pela maior capacidade de retenção de água e redução da taxa de passagem da digesta.

Resultados semelhantes foram obtidos por González-Alvarado *et al.* (2010), com a utilização de casca de aveia (rico em fibras insolúveis) e polpa de beterraba

(rico em fibras solúveis) com uma inclusão de 3% para frangos de corte, as duas fontes de fibra foram capazes de aumentar o peso dos órgãos do TGI em comparação ao controle, porém o aumento dos órgãos e do conteúdo em seu interior foi maior para a polpa de beterraba, indicando uma maior distensão, associado a uma redução da taxa de passagem pela grande quantidade de pectinas neste alimento. Outra alteração encontrada pelos autores foi a adaptação da moela, que apresentou maior peso e tamanho com a dieta contendo casca de aveia em comparação a polpa de beterraba. Esta alteração sugere, segundo os autores, que as partículas da casca de aveia por apresentarem alto grau de lignificação foram mais eficientes em provocar o desenvolvimento da moela do que as fibras solúveis.

Entretanto, alimentos ricos em fibras insolúveis podem apresentar efeitos diferentes no desenvolvimento da moela dependendo da fonte utilizada. A adição de maravalha apresentou maior peso relativo da moela vazia (g/Kg de peso corporal) comparado aos tratamentos com celulose ou grão de trigo em frangos de corte, em trabalho feito por Amerah *et al.* (2009). Abdollahi *et al.* (2019) encontraram resultados semelhantes com maior peso relativo da moela vazia com a utilização de 3% de maravalha (25,1g) e casca de aveia (24,2g), em comparação a utilização de grão de trigo (18,7g), e a lignocelulose apresentou menor valor entre as fontes de fibra insolúvel (14,9g). Desse modo, partículas mais resistentes à trituração parecem permanecem retidas por um período de tempo maior na moela, favorecendo o seu desenvolvimento. Além disso, dietas com diâmetro geométrico maior também causam o desenvolvimento da moela, mas a adaptação provocada pela adição de fibras insolúveis é mais pronunciada (Abdollahi *et al.*, 2019).

O consumo de forragens por aves também causa adaptações do trato gastrointestinal. Ponte *et al.* (2008) observaram uma redução no rendimento de carcaça de frangos de corte com acesso ao pasto, pois ocorreu um maior desenvolvimento do trato gastrointestinal das aves em adaptação ao aumento da ingestão de fibra. Já Buchanan *et al.* (2007b), encontraram um aumento no peso relativo da moela em relação à carcaça de frangos a pasto, indicando que houve uma adaptação da moela por conta do consumo de forragens. Resultados semelhantes foram obtidos por Iqbal *et al.* (2018) em poedeiras com e sem acesso à gramínea festuca, o acesso ao pasto proporcionou aumento no peso da moela (34,3 vs 28,4g),

do fígado (45,7 vs 44,0g) e do pâncreas (3,88 vs 3,71g) em comparação às aves sem acesso ao pasto.

Outro órgão digestivo que sofre alteração como a inclusão de fibra é o proventrículo. O aumento de peso está relacionado com a maior capacidade de retenção de alimento pela moela e pela alteração na taxa de passagem da digesta pelo TGI (Li *et al.*, 2017; Röhe *et al.*, 2020). Porém, Abdollahi *et al.* (2019) não encontraram diferença de peso com a utilização de diferentes fontes de fibra insolúveis, entretanto a adição das fibras ocasionou um aumento na espessura da mucosa glandular do proventrículo. No proventrículo o ácido clorídrico e o pepsinogênio são secretados, e devido a pequena capacidade do órgão a digesta permanece por um curto período, de modo que a ação digestiva dessas secreções procede principalmente na moela (Svihus, 2011). Em ação às contrações dos músculos da moela ocorre o refluxo da digesta para o proventrículo, de modo que há estímulo para secreções adicionais de ácido clorídrico e do pepsinogênio (Duke, 1992).

A ingestão de fibra, principalmente a fração insolúvel, pode prevenir a adesão de bactérias patogênicas no epitélio intestinal das aves pelo efeito abrasivo que as partículas causam na mucosa (Jha & Mishra, 2021), o que pode proporcionar um aumento na produção de muco pelas células caliciformes - aumentando a camada de muco entre o lúmen intestinal e as microvilosidades - para proteger os enterócitos dos danos mecânicos da fibra (Langhout *et al.*, 1999). Mas apesar da camada mais espessa, a fibra pode ocasionar danos na mucosa e produzir uma resposta inflamatória no epitélio intestinal (Teirlynck *et al.*, 2009).

As fibras solúveis tendem a aumentar o comprimento do intestino delgado devido à alta solubilidade e redução do tempo de passagem (Jørgensen *et al.*, 1996; González-Alvarado *et al.*, 2010). Por outro lado, a fração insolúvel pode apresentar uma redução do comprimento intestinal devido ao efeito de diluição da dieta, de modo que uma menor área de absorção é necessária e a redução do comprimento é compensada por um maior diâmetro intestinal, o que aumenta a área de absorção intestinal (Amerah *et al.*, 2009). Como observado por Kalmendal *et al.* (2011), em que ocorreu uma redução linear da espessura da mucosa muscular do jejuno devido a distensão do intestino pela adição crescente de fibra insolúvel na dieta.

A morfologia intestinal também sofre alterações com a inclusão de fibra na dieta, como demonstrado por Tüzün *et al.* (2020) com a utilização de três níveis de fibra para frangos de corte na fase inicial e de crescimento, através da inclusão de farelo de girassol (com alta proporção de fibra insolúvel). O maior nível de fibra (5,1 – 5,9% FB) apresentou os piores resultados para altura e largura das vilosidades, e menor relação entre altura de vilosidade e profundidade de cripta em comparação às dietas de baixa (2,9 – 3,1% FB) e média fibra (4,0 – 4,5% FB). Já o nível intermediário de fibra foi o que apresentou melhora na morfologia intestinal, indicando que níveis moderados de fibra podem aprimorar a capacidade absorptiva do intestino delgado. Porém, outros estudos não encontraram diferenças com a inclusão de diferentes fontes ou níveis de fibra para aves (Langhout *et al.*, 1999; Abdollahi *et al.*, 2019). O acesso de poedeiras a áreas com gramíneas não resultou em diferenças significativas na morfologia intestinal em comparação às aves sem acesso, em estudo realizado por Iqbal *et al.* (2019).

A microbiota intestinal pode sofrer alterações com a inclusão de fibra na dieta das aves, como o trabalho realizado por Teirlynck *et al.* (2009) em que dietas compostas por centeio e/ou cevada provocaram maior alteração da microbiota do que a suplementação com bacitracina de zinco. Kalmendal *et al.* (2011) observaram uma redução significativa de colônias de *Clostridium spp.* através da adição de bolo de girassol com alta proporção de fibra insolúvel. Porém, a adição de 3% de pectina cítrica para frangos de corte, resultou em aumento na contagem total de bactérias aeróbicas e de bactérias do gênero *Enterococcus spp.*, *Bacteroidaceae*, *Clostridia spp.* e *E. coli* comparado ao controle, em trabalho desenvolvido por Langhout *et al.* (1999). Como o ingrediente utilizado apresenta alta solubilidade ocorre o aumento da viscosidade da digesta o que implica na redução da digestibilidade pelas enzimas endógenas da ave, dessa maneira uma maior quantidade de nutrientes não digeridos está disponível na parte distal do intestino delgado para o crescimento e a fermentação bacteriana.

Além do intestino delgado, a microbiota cecal é afetada pelo nível de fibra, de maneira que dietas com baixa fibra (2.5% de FB) podem diminuir a diversidade da microbiota cecal e reduzir o número de colônias benéficas do ceco comparado a dietas com alta fibra (6.1%), e impactar na digestibilidade da fibra e no desempenho zootécnico das aves. Tais resultados foram obtidos por Li *et al.* (2018) em gansos com

utilização de celulose. Um interessante resultado foi encontrado por Röhe *et al.* (2020) com a inclusão de 10% de lignocelulose em poedeiras, o tratamento controle (0% de lignocelulose) apresentou maior concentração dos produtos da fermentação bacteriana – AGCC e amônia – em comparação a inclusão de 10%. Entretanto, esses resultados não indicam que a fermentação da lignocelulose foi reduzida, pois as aves que consumiram a lignocelulose apresentaram maior área de superfície da mucosa intestinal pelo aumento das vilosidades e das criptas da região colorretal. Esses resultados demonstram que a inclusão da fibra foi capaz de melhorar a capacidade absorptiva dos metabólitos da fermentação bacteriana através do aumento da área de superfície.

Como discutido anteriormente a fibra causa diferentes adaptações e efeitos no trato gastrointestinal das aves, de modo que essas alterações refletem na digestibilidade dos nutrientes dependendo da composição dos PNAs do alimento. Os PNAs solúveis apresentam efeitos deletérios na digestibilidade dos nutrientes, ocasionados pelo aumento da viscosidade e da fermentação bacteriana no intestino delgado, principalmente no íleo, como demonstrado por estudos utilizando alimentos ricos em fibras solúveis (Angkanaporn *et al.*, 1994; Langhout *et al.*, 1999; González-Alvarado *et al.*, 2010).

Angkanaporn *et al.* (1994), realizaram estudo com frangos machos e avaliaram a digestibilidade e a perda endógena de aminoácidos, com a utilização de pentosanos (PNAs solúveis) extraídos do trigo em níveis de 1,5 e 3,5% e de fontes insolúveis de fibra com adição de 9,2% na dieta. Mesmo a adição do menor nível de pentosanos foi capaz de reduzir significativamente a digestibilidade e aumentar a perda endógena de aminoácidos em comparação ao controle e aos tratamentos com fibra insolúvel, já o efeito provocado pelas fibras insolúveis foi menor, apesar de serem adicionadas em níveis mais elevados. Os autores hipotetizam que os pentosanos por aumentarem a viscosidade da digesta podem interferir na passagem do alimento com uma maior resistência ao peristaltismo intestinal, interferindo na ação de hormônios peptídicos, os quais, podem aumentar a secreção de proteínas endógenas.

Outro efeito deletério é a influência que os PNAs solúveis causam na digestibilidade da gordura como demonstrado por Langhout *et al.* (1999). O fornecimento de pectinas de polpa cítrica causou uma redução da digestibilidade do extrato etéreo e conseqüentemente da EMAn em dietas de frangos de corte. A

redução da digestibilidade ocorreu de forma indireta através do aumento de bactérias fermentativas, pois algumas espécies de bactérias são capazes de desconjugar os ácidos biliares interferindo na digestibilidade da gordura. Os ácidos biliares são fundamentais na emulsificação da gordura das dietas, principalmente os ácidos graxos de cadeia longa ou saturados, facilitando a ação das lipases e consequentemente a formação de micelas que podem ser absorvidas pelas aves (Smits & Annison, 1996).

Estudos utilizando fibras insolúveis apresentam aumento na digestibilidade de alguns nutrientes como o amido (Hetland *et al.*, 2003; Svihus *et al.*, 2004; Amerah *et al.*, 2009; Abdollahi *et al.*, 2019), o cálcio (Abdollahi *et al.*, 2019) e resultados divergentes para a digestibilidade da MS, proteína, extrato etéreo e EMA (González-Alvarado *et al.*, 2010; Kalmendal *et al.*, 2011; Li *et al.*, 2017; Abdollahi *et al.*, 2019). Tais resultados se devem, principalmente, ao desenvolvimento da moela que desempenha diversas funções no trato gastrointestinal das aves como: a trituração e redução das partículas antes de serem liberadas para o duodeno, atuando na regulação da motilidade e no controle do fluxo da digesta e do refluxo gastroduodenal, além disso, a moela está relacionada com a secreção de enzimas digestivas, como os ácidos biliares, enzimas endógenas e o próprio ácido clorídrico (Mateos *et al.*, 2012).

Svihus *et al.* (2004), encontraram aumento na digestibilidade do amido e da EMAn na dieta de frangos com utilização de trigo em grão ao invés de trigo moído, e relacionado a estes resultados o aumento da atividade da amilase e dos ácidos biliares no jejuno foram responsáveis pela melhora do valor nutritivo da ração com o uso do trigo em grão. Hetland *et al.* (2003) também observaram aumento da digestibilidade do amido em frangos e poedeiras pela utilização de fibras insolúveis, com aumento da concentração de amilase e ácidos biliares no jejuno.

A colecistocinina, um hormônio gastrointestinal sintetizado e excretado pelas células endócrinas presentes principalmente no duodeno, apresenta importantes funções digestivas que estão relacionadas com a melhora do processo digestivo, como: a contração da vesícula biliar, secreção de enzimas pancreáticas, motilidade intestinal e regulação do consumo de ração (Wan *et al.*, 2022). A colecistocinina atua pela estimulação do nervo vago para a secreção das enzimas digestivas pelo pâncreas exócrino (Li & Owyang, 1993) e age no refluxo gastroduodenal (Duke, 1992).

As fibras insolúveis parecem modular a secreção de colecistocinina e o aumento da sua atividade pode estar relacionada com o desenvolvimento estrutural e funcional da moela, pois dietas que causaram a adaptação da moela como os trabalhos de Svihus *et al.* (2004) e Hetland *et al.* (2003), apresentaram maior secreção de enzimas pancreática e de ácidos biliares. Além disso, os autores observaram aumento de ácidos biliares na moela o que indica a ocorrência de refluxo gastroduodenal - já que a bile é liberada na porção posterior da alça duodenal - provocados pela maior secreção de colecistocinina. O aumento dos ácidos biliares na moela pode melhorar a emulsificação das gorduras da dieta e melhorar a solubilização de outros nutrientes, como o amido, e consequentemente a sua digestibilidade (Hetland *et al.*, 2003).

A utilização do cálcio da dieta das aves pode ser melhorada através da adição de fontes insolúveis de fibra como demonstrado por Abdollahi *et al.* (2019). Os autores utilizaram diferentes fontes de fibra como a lignocelulose, casca de aveia, maravalha e trigo em grão com uma substituição de 3% em relação a uma dieta controle com granulometria fina para frangos de corte. A inclusão das fibras aumentou significativamente a digestibilidade do cálcio em comparação à dieta controle, porém, não houve diferença estatística entre as fontes avaliadas, com digestibilidade variando de 44,4 a 47,0% e o controle apresentou digestibilidade de 29,2%. Além disso, os autores encontraram um aumento na espessura da mucosa glandular do proventrículo e um aumento relativo da moela com a inclusão das fontes de fibra. Essas duas adaptações do trato gastrointestinal podem explicar a melhora da utilização do cálcio pelas aves, pois, o proventrículo e a moela atuam em conjunto como uma única estrutura no processo de digestão gástrica.

A eficiência digestiva do ácido clorídrico e do pepsinogênio secretados pelo proventrículo está intimamente relacionada com a funcionalidade da moela, no que se refere a intensidade de contração, redução das partículas da digesta e principalmente do tempo de retenção, que é aumentada pela inclusão de fibras altamente lignificadas (Svihus, 2011). E como comprovado por Guinotte *et al.* (1995), as secreções gástricas possuem importante função na solubilização do cálcio, que é facilitada pela redução do pH e a consequente ativação do pepsinogênio, favorecendo assim a absorção intestinal deste mineral.

A adição de fibras insolúveis causa uma redução do pH, em especial na porção superior do trato gastrointestinal das aves (Gabriel *et al.*, 2003; Iqbal *et al.*, 2019; Tüzün *et al.*, 2020). O pH da moela pode variar de 1,9 a 4,5 (Svihus, 2011). Em estudo desenvolvido por Gabriel *et al.* (2003) com a utilização de trigo em grão para frangos, o pH da moela reduziu para 3,31 em comparação ao controle, sem adição do trigo, que apresentou valor de 3,99, e ocorreu uma redução da atividade do pepsinogênio no tecido do proventrículo das aves alimentadas com trigo em grão comparado ao controle (76 ± 13 vs. 96 ± 12 unidades/g de peso corporal). Estes resultados demonstram que ocorreu um maior estímulo para a secreção gástrica nas aves alimentadas com o trigo.

A redução do pH do conteúdo da moela associado a uma maior atividade da pepsina podem aumentar a desnaturação e a hidrólise das proteínas da dieta (Gabriel *et al.*, 2003). Desse modo, a digestibilidade da proteína pode ser melhorada pela utilização de fibras insolúveis na dieta das aves (González-Alvarado *et al.*, 2010; Kalmendal *et al.*, 2011; Li *et al.*, 2017) e aumentar a digestibilidade ileal de aminoácidos (Angkanaporn *et al.*, 1994; Naeem *et al.*, 2023). Outro benefício da redução do pH é o efeito bactericida, podendo causar uma redução de colônias de bactérias patogênicas (Svihus, 2011), além do efeito indireto através da melhora da utilização dos nutrientes pela maior secreção gástrica e atividade da moela, de modo que a absorção intestinal é aprimorada e uma menor quantidade de partículas indigeridas estão disponíveis para o crescimento de bactérias patogênicas (Gabriel *et al.*, 2003).

De um modo geral dietas com inclusão moderada de fibras pode melhorar a utilização dos nutrientes pelas aves, tanto fibras solúveis como insolúveis possuem efeitos positivos na digestibilidade de nutrientes como demonstrado por González-Alvarado *et al.* (2010). A inclusão de 3% de polpa de beterraba ou de casca de aveia para frangos aumentou a utilização da matéria seca (MS), matéria orgânica (MO), retenção de N, extrato etéreo (EE), EMAn e cinzas solúveis com a adição das fontes de fibra. Maiores valores foram obtidos para MS, MO e retenção de N com a utilização da casca de aveia. Dietas com baixa fibra (2,5%) estão relacionadas com uma subutilização da energia e da proteína bruta da dieta quando comparadas a dietas com níveis intermediários (4,3%) ou altos (6.1%) de fibra, o que pode impactar no desempenho zootécnico das aves (Li *et al.*, 2017). Porém, inclusões altas de

alimentos fibrosos (18,7 ou 37,5%) ricos em fibras solúveis ou insolúveis, podem reduzir a digestibilidade dos nutrientes da dieta como demonstrado por Jørgensen *et al.* (1996), pois as aves possuem capacidade limitada de digestão da fibra alimentar pela deficiência de enzimas digestivas endógenas e capacidade fermentativa reduzida.

Portanto, apesar da fibra ser considerada um fator antinutricional e diluidor da dieta, inclusões moderadas de fibra, principalmente de fontes insolúveis, podem causar adaptações do trato gastrointestinal das aves a fim de aprimorar a digestão da fibra através do aumento de secreções digestivas, da capacidade e funcionalidade da moela e aumento da atividade fermentativa de bactérias, o que pode resultar em melhora da utilização dos nutrientes das dietas fornecidas.

2.3.2 Altura de Corte das Gramíneas

Diversas características podem afetar o valor nutricional das gramíneas, como o estágio de desenvolvimento, a proporção das diferentes partes da planta utilizada na alimentação animal, as quais, possuem diferentes composições bromatológicas que podem afetar a sua digestibilidade (Chapman *et al.*, 2014).

Em um conjunto de 5 espécies diferentes de gramíneas avaliadas por Chaves *et al.* (2006), as folhas apresentaram maior proporção de PB, seguido pela inflorescência e o menor teor de proteína foi obtido nos caules, porém menor teor de FDN foi encontrado nas folhas em comparação aos caules, os quais possuem maior lignificação e menor conteúdo celular. Resultados semelhantes foram obtidos por Fulkerson *et al.* (2010), através da avaliação do capim kikuyu que apresentou maior teor de PB nas folhas (21%) em relação ao caule (17%), da mesma forma as folhas apresentaram maior valor de energia metabolizável (9,2MJ/kg MS) do que o caule (7,4MJ/kg MS) para bovinos. Desse modo, o aumento na proporção de caule e inflorescências causam uma redução no valor nutricional da gramínea e a digestibilidade tende a diminuir (Chapman *et al.*, 2014).

Outro fator que contribui para alterações na composição química das gramíneas é o processo de envelhecimento, que causa uma redução na digestibilidade por conta do aumento do conteúdo de fibra conforme o processo de maturação das folhas avança (Sun *et al.* 2010). O processo de crescimento das

gramíneas apresenta correlação positiva com o conteúdo de FDN e FDA, e uma relação negativa foi obtida com os valores de energia metabolizável e digestibilidade *in vitro* da matéria orgânica conforme a idade de corte aumentou de 14 para 28d, com a utilização do capim kikuyu para bovinos, em trabalho realizado por Márin Gómez *et al.* (2022).

O conteúdo de PB da gramínea sofre redução conforme aumenta a idade em que a planta é cortada (Liu *et al.*, 2011; Benvenuti *et al.*, 2020), assim como a concentração de carboidratos solúveis (Benvenuti *et al.*, 2020), cinzas e fósforo (Liu *et al.*, 2011). Porém, ocorre o aumento dos teores de MS, dos minerais: cálcio, potássio e sódio (Benvenuti *et al.*, 2020), e de FDN e FDA (Liu *et al.*, 2011; Chapman *et al.*, 2014; Benvenuti *et al.*, 2020; Gómez *et al.*, 2022).

Como demonstrado por Insua *et al.* (2020) com a utilização de gramíneas perenes de inverno, estágios de rebrota iniciais apresentam um maior valor nutricional e digestibilidade para bovinos em comparação a idades de crescimento mais avançadas. Porém, segundo os autores, o manejo das pastagens visando um maior aproveitamento nutricional através do pastejo ainda com baixas alturas de crescimento pode ocasionar a diminuição da produção de MS e prejudicar a persistência do pasto ao longo do tempo. Cortes consecutivos em curtos períodos podem reduzir a produção de forragem (kg MS/ha/ano) e esgotar as reservas de carboidratos utilizadas para o crescimento da planta, de modo que alturas ideais de pré e pós-pastejos podem proporcionar elevados valores nutricionais do pasto sem grandes impactos na sua persistência (Liu *et al.*, 2011).

Durante o desenvolvimento inicial das gramíneas os perfilhos consistem principalmente de folhas, mas com o avançar da idade de rebrota ocorre o alongamento do caule e o crescimento das folhas diminui causando uma redução da proporção de folhas em relação ao caule (Kenneth *et al.*, 2020). Uma das causas de redução do valor nutricional da gramínea é a redução da relação entre folha e caule, já que o caule possui maior proporção de fibra e menor conteúdo celular que as folhas (Chapman *et al.*, 2014).

Em estudo desenvolvido por Benvenuti *et al.* (2020) com a avaliação da composição e do valor nutricional do capim kikuyu com diferentes períodos de rebrota desde o corte inicial (9, 11, 14, 16 e 18 dias) e dividido em quatro estratos verticais (o estrato do topo era formada somente pelas folhas e a base somente pelo caule), os

resultados obtidos demonstram que ambos os fatores avaliados influenciaram na qualidade nutricional da forragem, mas o efeito do estrato vertical foi mais pronunciado do que o período de rebrota, tanto na composição bromatológica como nos valores de digestibilidade e energia metabolizável para bovinos.

Portanto, durante o manejo do pasto deve ser considerado a intensidade de desfoliação assim como o estágio de crescimento, pois, a maior proporção de caule está presente na metade inferior das gramíneas (Benvenuti *et al.*, 2020).

2.3.3 Enzimas Digestivas Exógenas

A utilização de enzimas digestivas exógenas (EDE) nas dietas das aves de produção se tornou prática usual e aplicada globalmente (Olukosi *et al.*, 2020), desempenhando duas importantes funções que incluem, a degradação de fatores antinutricionais presentes nos alimentos e na melhora da utilização dos nutrientes e da energia das dietas (Bedford & Apajalahti, 2022). Estas duas funções estão intimamente relacionadas, de modo que alimentos ricos em componentes antinutricionais, principalmente PNAs solúveis, podem prejudicar o processo digestivo e afetar a digestibilidade da dieta. Através da utilização das EDE é possível amenizar os efeitos deletérios dos PNAs solúveis, diminuir os custos com as dietas (Lee *et al.*, 2023), além de diminuir a excreção de nutrientes para o meio ambiente (Choct, 2006), já que as rações podem ser preparadas com menores níveis de energia e proteína associado a uma melhora na utilização dos seus componentes.

Os principais constituintes e que representam a maior parte dos gastos com as dietas são os alimentos fontes de energia e proteína, sendo comumente utilizado grãos, como milho, trigo e o sorgo, e os farelos de origem vegetal. Porém, os grãos que compõem estes ingredientes são utilizados por outras atividades industriais, como a produção de biocombustíveis, de maneira que a disponibilidade e o aumento do seu valor podem dificultar a sua utilização na alimentação animal (Raza *et al.*, 2019). Uma opção seria a utilização de alimentos alternativos que possuem preço inferior e ainda assim podem ser utilizados como fontes de energia e proteína. Entretanto estes alimentos normalmente apresentam elevadas proporções de PNAs que podem prejudicar a digestão. A fim de contornar este problema as EDE podem melhorar a

eficiência do processo digestivo e o aproveitamento energético de alimentos ricos em PNAs (Choct, 2006).

Apesar dos PNAs serem os principais fatores antinutricionais, outros componentes como o ácido fítico, o amido e a proteína são os principais substratos alvos das EDE utilizadas em aves (Bedford and Apajalahti, 2022).

2.3.3.1 Carboidrases

As carboidrases são produzidas por bactérias e fungos. Esses microrganismos são capazes de produzir enzimas como as celulases, beta-glucanases e as xilanases que são capazes de hidrolisar as ligações beta presentes nas cadeias dos PNAs (Raza *et al.*, 2019), permitindo uma maior degradação desses polissacarídeos, já que as aves não são capazes de sintetizar enzimas endógenas para hidrolisar as ligações beta (Zhang *et al.*, 2022).

Os principais PNAs que compõem a fibra alimentar nos alimentos são os beta-glucanos, a celulose e a hemicelulose (Knudsen, 1997). Beta-glucanos são formados por polímeros de glucose com ligações beta1-3 e beta1-4 e a celulose é formada por uma cadeia linear de glucose com ligações beta1-4 (Choct, 2006). A hemicelulose (arabinoxilanos) é formada por uma cadeia linear de xiloses unidas por ligações beta1-4 e cadeias laterais de outros açúcares, principalmente a arabinose (Raza *et al.*, 2019). Xilanases e beta-glucanases são as principais carboidrases utilizadas para a degradação da hemicelulose e dos beta-glucanos, respectivamente (Raza *et al.*, 2019). Já a celulose requer a combinação de três enzimas que exercerão atividade em diferentes porções da cadeia polimérica para a completa degradação da celulose, sendo as enzimas endo-glucanase, exo-glucanase e b-glucosidase (Choct, 2006; Raza *et al.*, 2019). Entretanto, as carboidrases não são capazes de degradar completamente os PNAs em açúcares simples, já que as aves possuem um curto tempo de passagem da digesta e um ceco relativamente curto, o que limita a capacidade de ação das carboidrase na digestão dos PNAs (De Vries *et al.*, 2012).

O amido pode não ser completamente digerido ao final do íleo e a porção não digerida é denominada de amido resistente, ao atingir o ceco essa porção é fermentada produzindo acetato e lactato. Porém, grandes quantidades de amido disponíveis para a fermentação podem ser prejudiciais para as aves. Assim a

utilização da enzima amilase pode aumentar a sua degradação no intestino delgado (Bedford & Apajalahti, 2022).

Diversos estudos demonstram os benefícios da utilização das carboidrases e há três principais mecanismos de ação no trato digestório das aves: (1) a degradação dos PNAs solúveis, causando uma redução da viscosidade da digesta no duodeno, jejuno e íleo (Choct *et al.*, 1996; Nguyen *et al.*, 2022); (2) redução da fermentação bacteriana no jejuno e íleo, devido a uma menor quantidade de polissacarídeos disponíveis para o desenvolvimento de bactérias (Choct *et al.*, 1996; Bedford & Apajalahti, 2022), além disso, podem degradar polissacarídeos complexos em formas mais simples que podem ser utilizadas pelas bactérias presentes no ceco resultando em maior produção de AGCC (Singh *et al.*, 2021); (3) podem degradar a parede celular vegetal, permitindo a ação das enzimas digestivas endógenas e/ou exógenas nos nutrientes presentes no interior da célula vegetal, como proteínas, amido e o fósforo (Singh *et al.*, 2019).

Em estudo desenvolvido por Meng *et al.* (2005), utilizado carboidrases de forma individual ou combinadas para frangos, os autores obtiveram melhores resultados de digestibilidade do amido, da proteína e da energia através da combinação das carboidrases, o que segundo os autores pode ser explicado pela maior degradação dos PNAs e redução da viscosidade. Tais resultados comprovam que a combinação de enzimas é mais eficiente em melhorar a utilização dos nutrientes das dietas, pois, cada enzima possui um substrato específico e através da sua combinação há um efeito sinérgico entre as enzimas utilizadas (Amerah *et al.*, 2017). E a combinação das carboidrases com proteases e/ou fitase, pode melhorar a digestibilidade da proteína e do fósforo, respectivamente, já que os efeitos deletérios dos PNAs podem ser amenizados associado a uma maior liberação de nutrientes do interior da célula vegetal (Amerah *et al.*, 2017; Olukosi *et al.*, 2020).

2.3.3.2 *Protease*

A digestão incompleta da proteína no intestino delgado possibilita a fermentação dos aminoácidos pelas bactérias presentes nos cecos, ocorrendo a formação de compostos tóxicos que causam danos na mucosa intestinal e perda da função absorptiva (Apajalahti & Vienola, 2016). Entretanto, as bactérias cecais utilizam

preferencialmente carboidratos como fontes de energia e somente na ausência de carboidratos fermentáveis, ou grandes concentrações de proteínas, que a fermentação proteica irá ocorrer (Bedford & Apajalahti, 2022). A utilização de proteases pode melhorar a digestibilidade e reduzir a quantidade de proteínas que atingem o ceco, já as carboidrases agem na degradação de polissacarídeos complexos em formas mais simples que podem ser fermentadas pelas bactérias cecais, desse modo a combinação de proteases com carboidrases pode reduzir a fermentação proteica e a putrefação intestinal (Bedford & Apajalahti, 2022).

A utilização de proteases pode aumentar a digestibilidade da proteína bruta e de aminoácidos essenciais como a metionina, podendo até reduzir os custos decorrentes das dietas das aves (Lee *et al.*, 2023). Entretanto, a utilização somente de proteases parece não melhorar a utilização de nutrientes e da energia das dietas (Lee *et al.*, 2023). Além disso, o tipo de dieta parece exercer influência na ação das proteases já que em estudo realizado por McCafferty *et al.* (2021) dietas a base de trigo apresentaram menor utilização da energia, do amido e da proteína bruta para frangos, com utilização de proteases, comparado a uma dieta a base de milho. Esses resultados demonstram que pelo fato de o trigo apresentar maior quantidade de PNAs em comparação ao milho a ação das proteases pode ser limitada.

Estudos utilizando combinações de proteases com carboidrases apresentam melhora na digestibilidade da energia bruta, da proteína bruta, do amido e dos aminoácidos - pela maior degradação dos PNAs (Amerah *et al.*, 2017; Singh *et al.*, 2019). Tais resultados comprovam o efeito sinérgico que a combinação de proteases com carboidrases pode proporcionar na utilização dos nutrientes e da energia das dietas (Singh *et al.*, 2019).

2.3.3.3 Fitase

Os grãos e seus subprodutos são os principais componentes utilizados na alimentação das aves, e possuem na sua composição o fósforo que possui relevância econômica e ambiental (Sommerfeld *et al.*, 2018). Entretanto, o fósforo presente nos grãos é parcialmente digestível para as aves, pois o fósforo está presente na forma de sal denominado de fitato. Para o aproveitamento do fósforo é necessário a defosforilação do fitato por fitases, produzindo isômeros de inositol fosfato, os quais

podem ser degradados a myo-inositol e aproveitado pelas aves (Bedford & Apajalahti, 2022).

A utilização de fitase na alimentação de aves pode aumentar a digestibilidade do fitato de 25% para até 50 a 70% (Choct, 2006). A fitase pode aumentar a concentração de myo-inositol nas porções do intestino delgado e no sangue, indicando um aumento na defosforilação do fitato através da utilização da enzima (Sommerfeld *et al.*, 2018).

2.4 METODOLOGIA UTILIZADA PARA AVALIAÇÃO NUTRICIONAL DE GRAMÍNEAS PARA AVES

2.4.1 Coleta Total de Excretas

A avaliação da energia disponível nos alimentos para as aves pode ser realizada através de ensaios *in vivo*, *in vitro* ou analisado através da Espectroscopia de Infravermelho Próximo (NIRS) (Zaefarian *et al.*, 2021; Noblet *et al.*, 2022). Os ensaios *in vitro* são mais baratos e mais rápidos em comparação ao método *in vivo*, porém, não são capazes de reproduzir os efeitos que a composição química do alimento pode provocar no trato gastrointestinal da ave (Zaefarian *et al.*, 2021), assim como a forma do alimento (farelada ou peletizada) e a utilização de enzimas exógenas podem diferir dos valores obtidos em ensaios com animais (Noblet *et al.*, 2022). O NIRS é uma ferramenta que pode fornecer rapidamente valores de energia de alimentos e da ração (Mateos *et al.*, 2019). Além de ser um equipamento de elevado custo deve ser calibrado corretamente para uma maior acurácia na predição da energia (Zaefarian *et al.*, 2021) e a calibragem do equipamento é feita com base em dados obtidos de experimentos *in vivo* (Noblet *et al.*, 2022).

Portanto, apesar de novas metodologias serem desenvolvidas, os experimentos de metabolismo *in vivo* são necessários para a determinação da energia dos alimentos (Alvarenga *et al.*, 2011; Noblet *et al.*, 2022), pois os resultados obtidos provêm as melhores informações acerca da utilização dos nutrientes (Zaefarian *et al.*, 2021) em especial para alimentos não convencionais (Mateos *et al.*, 2019) e podem ser obtidos os coeficientes de digestibilidade dos nutrientes do alimento em teste.

A avaliação dos alimentos é focada primariamente na energia e proteína, pois são os componentes que geram maior custos na formulação das dietas das aves,

porém a utilização de outros nutrientes, como o fósforo, estão sendo focos de estudo devido à questões ambientais e ao custo associado a esses nutrientes (Zaefarian *et al.*, 2021).

Há diferentes métodos *in vivo*, que envolvem a avaliação do alimento em diferentes tipos de aves (galos, frangos de corte, e aves de postura), com diferentes formas de alimentação (*ad libitum*, alimentação precisa, e alimentação forçada) e, diferentes metodologias (galos cectomizados, coleta total de excretas, e digestibilidade ileal) (Sakomura & Rostagno, 2016; Noblet *et al.*, 2022). Porém, a metodologia mais comumente utilizada atualmente envolve o método de coleta total de excretas com alimentação *ad libitum* (Noblet *et al.*, 2022), uma metodologia não invasiva, com maior respeito ao bem-estar das aves em comparação aos outros métodos de digestibilidade que estão enfrentando cada vez mais críticas por razões éticas (Zaefarian *et al.*, 2021).

No método de coleta total a avaliação da energia disponível no alimento e dos coeficientes de digestibilidade são obtidos a partir da coleta das excretas e da mensuração do consumo da ração (Sakomura & Rostagno, 2016; Noblet *et al.*, 2022). A realização dessa metodologia é caracterizada por um período de adaptação às dietas com o alimento a ser avaliado, com duração de 3 a 5 dias, sucedido pelo período de mensuração do consumo de ração e coleta das excretas de 2 a 5 dias (Bolarinwa & Adeola, 2012; Sakomura & Rostagno, 2016; Noblet *et al.*, 2022).

O método de substituição ou por diferença, se baseia na substituição da dieta basal por uma fração do alimento testado, obtendo-se a dieta teste (Sakomura & Rostagno, 2016), e assume-se que a diferença da energia bruta (EB) ou energia metabolizável aparente (EMA) mensuradas nas dietas basal e teste é devida somente pela adição do alimento testado. Porém, a diluição da dieta basal pelo alimento a ser avaliado causa alterações nas concentrações de minerais e vitaminas ocasionando deficiências nutricionais, além disso, como demonstrado por Noblet *et al.* (2022), a digestibilidade da energia e consequentemente o valor de EMA pode ser afetado pelo conteúdo de cinzas das dietas. Outro problema associado a este método é o modo como a EMA do alimento é calculada, em que é utilizado a proporção do alimento incluído na dieta teste na matéria natural (MN) para a realização do cálculo, porém, ao se corrigir a quantidade do alimento incluído na MS a proporção não se mantém a

mesma – a não ser que a dieta basal e o alimento teste possuam a mesma MS, o que é pouco provável.

O cálculo da EM do alimento teste ao se utilizar o método de substituição pode ser calculado a partir da Equação 2, e usualmente o valor de P_{at} utilizado no cálculo corresponde à proporção de substituição do alimento na dieta basal. Entretanto, o correto valor seria: $P_{at} = (\text{Proporção de substituição do alimento (\%, MN)} \times MS_{at}) / (100 \times MS_{dt})$, sendo MS_{at} a matéria seca do alimento testado e MS_{dt} a matéria seca da dieta teste, caso a MS da dieta basal e do alimento testado fossem a mesma então MS_{dt} seria igual a MS_{at} , portanto, nesta situação estaria correto assumir o valor de P_{at} como a proporção de substituição do alimento. E devido a essas inconsistências nos cálculos, os resultados obtidos podem ser pouco confiáveis e não representar corretamente o valor energético dos alimentos para as aves (Noblet *et al.*, 2022).

Uma metodologia alternativa ao método de substituição é o método de regressão, sendo derivada do método de substituição, porém as concentrações de minerais e vitaminas são mantidas constantes, evitando deficiências nutricionais, e são incluídos diferentes níveis do alimento a ser testado (Noblet *et al.*, 2022). O alimento teste é incluído em substituição aos alimentos fornecedores de energia e proteína (por exemplo: milho, óleo de soja e farelo de soja), de modo a se manter constante a proporção entre eles (Zhang & Adeola, 2017; Zhang *et al.*, 2022). Deste modo as variações entre as dietas basal e testes são atribuídas aos níveis de inclusão do alimento teste e pelos ingredientes fornecedores de energia e proteína - sendo considerado o fornecimento de energia pelos minerais e vitaminas como nulo -, logo, é possível obter a proporção da energia e dos nutrientes fornecidos pelos diferentes níveis de inclusão do alimento teste em relação às dietas testes (Zhang & Adeola, 2017; Noblet *et al.*, 2022; Zhang *et al.*, 2022), realizando as devidas correções para a matéria seca, o valor nutricional do alimento pode ser obtido.

Os coeficientes de digestibilidade e a EMA são obtidos a partir da regressão dos nutrientes digeridos ou da energia obtida, pela quantidade do nutriente ou do alimento consumido, respectivamente, de modo que o coeficiente angular se refere ao coeficiente de digestibilidade ou da EMA (Villamide *et al.*, 2003; Bolarinwa & Adeola, 2012; Berrocoso *et al.*, 2017; Zhang & Adeola, 2017; Zhang *et al.*, 2022).

Uma vantagem da utilização do método de regressão é que o valor obtido do coeficiente angular se refere à avaliação do alimento em diferentes níveis de inclusão,

sendo mais preciso do que um único nível de inclusão (Berrocoso *et al.*, 2017; Zhang *et al.*, 2022), já que a digestibilidade do alimento pode ser alterada conforme se inclui diferentes níveis do alimento (Villamide *et al.*, 2003). Alguns alimentos como o sorgo e o trigo podem ser avaliados pelo método direto, substituindo 100% a dieta basal, porém, a maioria dos alimentos podem ser avaliados somente por métodos indiretos (devido à sua composição química) e a avaliação pelo método de regressão se torna mais robusto e preciso do que a substituição única (Bolarinwa & Adeola, 2016).

2.4.2 Mensuração da Energia Metabolizável Aparente e Corrigida para o Balanço de Nitrogênio

A EMA é a principal forma de energia utilizada para mensurar o conteúdo energético dos alimentos e na formulação de dietas para as aves, sendo que a EMA é obtida pela diferença entre a EB do alimento e da EB das excretas e dos gases gerados pelo processo de digestão, porém, a energia perdida pelos gases é desprezível não sendo considerado no cálculo (Sakomura & Rostagno, 2016; Noblet *et al.*, 2022). Já a energia metabolizável verdadeira considera as perdas de origem endógena provenientes do intestino (bile, enzimas, células intestinais) e da urina (resíduos do metabolismo proteico), as quais não estão relacionadas ao alimento (Noblet *et al.*, 2022).

Outra forma de representar a EMA do alimento é através da correção do balanço de nitrogênio (N), sendo que a porção de N do alimento pode ser depositada pela ave na forma de tecido proteico ou então catabolizada para a geração de energia, e parte dos compostos nitrogenados catabolizados são excretados na forma de ácido úrico (Sibbald, 1986). O N excretado como o ácido úrico possui um conteúdo energético de 8,22 Kcal/g e este fator é usado na correção da EMA corrigida para a retenção de nitrogênio (EMAn) com retenção de N = 0 (Farrell, 1999). A correção da EMA para a retenção de N se torna importante pois a utilização da energia do alimento é influenciada por fatores como a idade, linhagem e a qualidade da proteína na dieta (Bolarinwa & Adeola, 2012), o que pode alterar a proporção de N retido ou excretado na forma de ácido úrico.

Entretanto a correção da EMA para a retenção de N = 0 possui algumas críticas, já que o valor de EMAn sofre alterações dependendo do balanço de N da ave. Aves com balanço negativo irão apresentar maior valor de EMAn, já que maior parte do N

ingerido a partir do alimento será retido, por outro lado o valor será menor se as aves estiverem em balanço positivo (Farrell, 1999). Além disso, os valores de EMAn podem subestimar a real contribuição energética, principalmente, de alimentos proteicos, pois, as dietas são formuladas baseando-se em aminoácidos digestíveis e na proteína ideal de modo que uma alta proporção da proteína ingerida é utilizada na síntese proteica e não metabolizada e armazenada como gordura (Mateos *et al.*, 2019). Desta maneira, a correção da EMA para a retenção de N = 0 não representa valores reais e práticos da EMA corrigida para a retenção de N, considerando que frangos, perus e poedeiras retêm cerca de 50% do N ingerido em dietas balanceadas (Cozannet *et al.*, 2010). Assim como determinado por Barzegar *et al.* (2019) em galinhas poedeiras em fase de postura, a maior parte do N ingerido é retido pelos ovos, retendo em média 1,22 g/ave/dia e apenas uma pequena fração do N de 0,1 g/ave/dia foi retida no corpo das aves, porém a retenção total de N, o N retido nos ovos e no corpo não foram afetados mesmo por diferentes níveis de proteína bruta na dieta (13 a 24% na MS).

2.4.2.1 Cálculos

O cálculo de EMA das dietas, pode ser determinado através dos resultados obtidos em ensaios de digestibilidade *in vivo*, de acordo com a equação proposta por Matterson *et al.* (1965) (Eq. 1):

$$EMA_d(kcal/kg, MS) = \frac{(Ra\tilde{c}\tilde{a}o\tilde{c}onsumida \times EB_d) - (Excretas\ produzidas \times EB_e)}{Ra\tilde{c}\tilde{a}o\tilde{c}onsumida} \quad (Eq. 1)$$

A EB_d e EB_e o valor de energia bruta da dieta e das excretas (kcal/kg de MS), respectivamente, e os valores referentes à ração consumida e produção de excretas são baseados no conteúdo de matéria seca das amostras, podendo-se calcular a EMA da dieta basal (EMA_{db}) e da dieta teste (EMA_{dt}).

A dieta teste é composta pela dieta basal e pela inclusão do alimento teste em substituição aos ingredientes fornecedores de energia da dieta, portanto, como ocorreu a alteração na quantidade dos ingredientes energéticos da dieta teste, deve ser realizado a correção com base na contribuição de EB proveniente da dieta basal (EB_{db}) e da inclusão do alimento testado (EB_{at}) na composição da dieta teste, realizando a correção para a MS, de modo que a EB da dieta teste é equivalente a soma da dieta basal e do alimento testado ($EB_{dt} = EB_{db} + EB_{at}$), sendo P_{db} e P_{at} a

proporção de EB na dieta teste proveniente da dieta basal e do alimento teste, respectivamente, tem-se $P_{db} + P_{at} = 1$ (Zhang & Adeola, 2017). Para calcular a EMA do alimento testado (EMA_{at}) presume-se que: $EMA_{dt} = (EMA_{db} \times P_{db}) + (EMA_{at} \times P_{at})$, fazendo $P_{db} = 1 - P_{at}$, obtêm-se a Equação 2:

$$EMA_{at}(kcal/kg, MS) = EMA_{db} + \left(\frac{EMA_{dt} - EMA_{db}}{P_{at}} \right) \quad (Eq. 2)$$

P_{at} pode ser calculado a partir da Equação 3, sendo MS_{at} a MS do alimento testado:

$$P_{at} = \frac{(Nível\ de\ inclusão\ alimento\ (\%) \times MS_{at} \div 100) \times EB_{at}}{EB_{dt}} \quad (Eq. 3)$$

A EMA pode ser corrigida para a retenção de N ingerido igual a zero utilizando o fator de correção de 8,22 kcal/g (Hill & Anderson, 1958) (Eq. 4):

$$EMAn_d(kcal/kg, MS) = EMA_d - (8,22 \times N_{ret}),$$

$$N_{ret} = N_{ing} - N_{exc} \quad (Eq. 4)$$

A $EMAn_d$ é a EMA corrigida para o balanço de nitrogênio da dieta, e N_{ret} é a quantidade de nitrogênio retido, obtido através da subtração da quantidade de nitrogênio ingerido pela dieta (N_{ing}) e a quantidade presente nas excretas (N_{exc}), corrigido para o conteúdo de MS. A $EMAn$ do alimento testado pode ser obtido utilizando a Equação 2, substituindo EMA por $EMAn$ das respectivas dietas basal e teste.

A EMA pode ser padronizada para o balanço de N positivo ($EMAp$), considerando uma retenção de 50% do N ingerido (Cozannet *et al.*, 2010) (Equação 5):

$$EMAp(kcal/kg, MS) = EMA_d - (8,22 \times (N_{ret} - 0,5 \times N_{ing})),$$

$$N_{ret} = N_{ing} - N_{exc} \quad (Eq. 5)$$

A EMA padronizada (EMAp) corresponde a uma medida mais lógica, já que a correção de N = 0 subestima os reais valores de energia do alimento, considerando que a retenção de 50% do N ingerido corresponde à quantidade retida em dietas balanceadas para frangos, perus e poedeiras (Cozannet *et al.*, 2010).

2.4.3 Nutrientes Digeridos e Coeficientes de Digestibilidade

Os nutrientes digeridos das dietas (ND_d) podem ser calculados a partir da Equação 6 (Potter *et al.*, 1962), sendo semelhante a Equação 1:

$$ND_d(g, MS) = \frac{(Ra\tilde{c}\tilde{a}o\tilde{c}o\tilde{c}u\tilde{m}i\tilde{d}a \times Nut_d) - (Excretas\ produzidas \times Nut_e)}{Ra\tilde{c}\tilde{a}o\tilde{c}o\tilde{c}u\tilde{m}i\tilde{d}a} \times 100 \quad (Eq. 6)$$

Nut_d refere-se à concentração do nutriente avaliado na dieta e Nut_e na excreta. Como a quantidade do nutriente na dieta teste é equivalente à inclusão do alimento na dieta basal ($Nut_{dt} = Nut_{at} + Nut_{db}$), então, a fim de se calcular os nutrientes digeridos do alimento teste, deve ser realizado a correção pela proporção do nutriente do alimento e da dieta basal que compõem a dieta teste, P_{Nat} e P_{Ndb} , respectivamente, logo $P_{Nat} + P_{Ndb} = 1$. Assim, o nutriente digerido do alimento (ND_{at}) pode ser calculado por:

$$ND_{at}(g, MS) = ND_{db} + \frac{ND_{dt} - ND_{db}}{P_{Nat}} \quad (Eq. 7)$$

Sendo que ND_{dt} e ND_{db} são os valores obtidos a partir da Eq. 6 do nutriente digerido da dieta teste e da basal, respectivamente. P_{Nat} pode ser calculado pela Eq. 3, substituindo EB_{at} e EB_{dt} por Nut_{at} e Nut_{dt} , respectivamente.

Os coeficientes de digestibilidade (CD) dos nutrientes ou da energia das dietas e do alimento podem ser calculados por:

$$CD (\%, MS) = \frac{A_d}{A_c} \times 100 \quad (Eq. 8)$$

Sendo A_d a porção do nutriente digerido (ND) ou energia (EMA e EMAn) obtida das dietas ou do alimento e A_c se refere à composição do nutriente ou energia bruta das dietas ou do alimento.

2.5 EQUAÇÕES DE PREDIÇÃO DA ENERGIA METABOLIZÁVEL

As equações de predição da EMA e EMAn são obtidas a partir do procedimento de regressão linear, utilizando como fatores preditores das equações a composição química do alimento e com base nos resultados obtidos da EMA e EMAn de ensaios *in vivo* ou *in vitro* (Dolz & De Blas, 1992; Losada *et al.*, 2010; Alvarenga *et al.*, 2011; Hall *et al.*, 2013; Xie *et al.*, 2021; Liang *et al.*, 2023).

As equações preditivas estão ganhando cada vez mais atenção e sendo usadas para a formulação de rações (Mateos *et al.*, 2019), já que diversos fatores podem afetar a composição química dos alimentos, como a fertilidade do solo, o clima, variedade genética da cultivar, o tipo de armazenamento e processamento, de modo que os valores nutricionais dos alimentos presentes em tabelas podem não condizer com o alimento utilizado (Alvarenga *et al.*, 2011). Desta maneira, as equações preditivas são atrativas para a determinação do conteúdo energético dos alimentos, sem a necessidade de realizar experimentos de digestibilidade *in vivo*, os quais demandam tempo e custo, necessitam de instalações adequadas para a sua execução, das aves e de pessoal capacitado (Zaefarian *et al.*, 2021).

Os valores estimados de energia a partir das equações podem ser similares aos obtidos em ensaios de digestibilidade com diferentes metodologias *in vivo* (Dolz & De Blas, 1992), porém as equações derivadas de experimentos *in vivo* possuem maior capacidade preditiva do que aquelas obtidas de experimentos *in vitro* (Alvarenga *et al.*, 2011). Além disso, equações com maior quantidade de preditores apresentam coeficientes de determinação (R^2) mais elevados (Losada *et al.*, 2010; Alvarenga *et al.*, 2011; Xie *et al.*, 2021; Liang *et al.*, 2023) e alguns componentes como a FB, FDN e FDA podem apresentar correlação negativa em prever o conteúdo de energia do alimento (Liang *et al.*, 2023), e o conteúdo de FDN, EB e EE apresentam elevada correlação e podem ser os melhores preditores das equações (Alvarenga *et al.*, 2011; Hall *et al.*, 2013; Xie *et al.*, 2021).

Um dos problemas dessas equações é que são obtidas em determinadas condições metodológicas e, em teoria, a sua utilização em situações que diferem das condições originais das quais foram geradas não é aconselhável (Noblet *et al.*, 2022). Pois, a forma das dietas (peletizada ou farelada), a espécie, a idade da ave (Mateos

et al., 2019; Noblet *et al.*, 2022) e a utilização de enzimas (Cerrate *et al.*, 2019) podem alterar a utilização dos nutrientes e, consequentemente, a EMA do alimento.

Uma das formas de melhorar a replicabilidade das equações é a utilização dos nutrientes digeridos ao invés da composição química dos alimentos (Zaefarian *et al.*, 2021). Pois, as equações derivadas da composição química assumem uma digestibilidade constante do alimento e possíveis interações entre nutrientes não são considerados (Cerrate *et al.*, 2019). Portanto, a criação de equações preditivas deve levar em consideração o coeficiente de digestibilidade dos nutrientes (Cerrate *et al.*, 2019), em especial de alimentos que possuem baixa digestibilidade, gerando equações com maior poder preditivo e mais adequadas para o uso prático (Cerrate *et al.*, 2019; Zaefarian *et al.*, 2021).

2.6 REFERÊNCIAS

ADEDOKUN, S. A.; ADEOLA, O. Calcium and phosphorus digestibility: Metabolic limits. **Journal of Applied Poultry Research**, v. 22, n. 3, p. 600-608, 2013.

ABDOLLAHI, M. R., ZAEFARIAN, F., HUNT, H., ANWAR, M. N., THOMAS, D. G., RAVINDRAN, V. Wheat particle size, insoluble fibre sources and whole wheat feeding influence gizzard musculature and nutrient utilisation to different extents in broiler chickens. **J Anim Physiol Anim Nutr**. 2019, 103: 146–161.

ABDOLLAHI, A.; KARIMI, A.; SADEGHI, A. A.; BEDFORD, M. R.; ASHENGROPH, M. The effects of the fiber source and xylanase supplementation on production, egg quality, digestibility, and intestinal morphology in the aged laying hen. **Poultry Science**, v. 100, n. 3, p. 100936, 2021.

ANGKANAPORN, K.; CHOCT, M.; BRYDEN, W. L.; ANNISON, E. F.; ANNISON, G. Effects of wheat pentosans on endogenous amino acid losses in chickens. **Journal of the Science of Food and Agriculture**, v. 66, p. 399–404, 1994.

ALVARENGA, R. R.; RODRIGUES, P. B.; ZANGERONIMO, M. G.; FREITAS, R. T. F.; LIMA, R. R.; BERTECHINI, A. G.; FASSANI, E. J. Energetic values of feedstuffs for broilers determined with in vivo assays and prediction equations. **Animal Feed Science and Technology**, v. 168, p. 257–266, 2011.

AMERAH, A. M.; RAVINDRAN, V.; LENTLE, R. G. Influence of insoluble fibre and whole wheat inclusion on the performance, digestive tract development and ileal microbiota profile of broiler chickens. **British Poultry Science**, v. 50, p. 366–375, 2009.

AMERICAN PASTURED POULTRY PRODUCERS ASSOCIATION (APPPA). American Pastured Poultry Producers Association (APPPA). 2019. Disponível em: <<https://apppa.org/Free-Range>>. Acesso em: jul. 2024.

ANTELL, S.; CISZUK, P. Forage consumption of laying hens - the crop content as an indicator of feed intake and AME content of ingested forage. **Archiv Fur Geflugelkunde**, v. 70, p. 154-160, 2006.

APAJALAHTI, J.; VIENOLA, K. Interaction between chicken intestinal microbiota and protein digestion. **Animal Feed Science and Technology**, v. 221, p. 323-330, 2016.

BARZEGAR, S.; WU, S.; NOBLET, J.; CHOCT, M.; SWICK, R. Energy efficiency and net energy prediction of feed in laying hens. **Poultry Science**, v. 98, p. 5746-5758, 2019.

BEDFORD, M.R. & APAJALAHTI, J.H. The role of feed enzymes in maintaining poultry intestinal health. **J Sci Food Agric**. 102: 1759-1770, 2022.

BENVENUTTI, M. A.; FINDSEN, C.; SAVIAN, J. V.; MAYER, D. G.; BARBER, D. G. The effect of stage of regrowth on the physical composition and nutritive value of the various vertical strata of kikuyu (*Cenchrus clandestinus*) pastures. **Tropical Grasslands - Forrajes Tropicales**, v. 8, n. 2, p. 141-146, 2020. Disponível em: [https://doi.org/10.17138/tgft\(8\)141-146](https://doi.org/10.17138/tgft(8)141-146).

BERROCOSO, J. D.; YADAV, S.; JHA, R. Nitrogen-corrected apparent metabolizable energy value of macadamia nut cake for broiler chickens determined by difference and regression methods. **Animal Feed Science and Technology**, v. 234, p. 65-71, 2017.

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, n. 8, p. 1928-1935, 2012. Disponível em: <https://doi.org/10.3382/ps.2012-02261>.

BOLARINWA, O. A.; ADEOLA, O. Regression and direct methods do not give different estimates of digestible and metabolizable energy values of barley, sorghum, and wheat for pigs. **Journal of Animal Science**, v. 94, n. 2, p. 610-618, 2016. Disponível em: <https://doi.org/10.2527/jas.2015-9766>.

BREITSAMETER, L.; GAULY, M.; ISSELSTEIN, J. Sward botanical composition and sward quality affect the foraging behaviour of free-range laying hens. **Applied Animal Behaviour Science**, v. 150, p. 27-36, 2014. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.applanim.2013.10.009>.

BUCHANAN, N. P.; HOTT, J. M.; KIMBLER, L. B.; MORITZ, J. S. Nutrient composition and digestibility of organic broiler diets and pasture forages. **Journal of Applied Poultry Research**, v. 16, p. 13-21, 2007a.

BUCHANAN, N. P.; KIMBLER, L. B.; PARSONS, A. S.; SEIDEL, G.; BRYAN, W. B.; FELTON, E. E.; MORITZ, J. S. The effects of nonstarch polysaccharide enzyme addition and dietary energy restriction on performance and carcass quality of organic broiler chickens. **Journal of Applied Poultry Research**, v. 16, p. 1-12, 2007b.

CASLER, M. D.; KALLENBACH, R. L.; BRINK, G. E. Cool-Season Grasses for Humid Areas. In: MOORE, K. J.; COLLINS, M.; NELSON, C. J.; REDFEARN, D. D. **Forages: The Science of Grassland Agriculture**. 7th ed. Chichester, 2020. p. 277-296.

CARVALHO, P. C. F. *et al.* Forrageiras de clima temperado. In: FONSECA, D. M.; SANTOS, M. E. R.; MARTUSCELLO, J. A. (eds.). **Plantas forrageiras**. Viçosa, MG: UFFV, 2020.

CARRASCO-CHILÓN, W.; CERVANTES-PERALTA, M.; MENDOZA, L.; MUÑOZ-VÍLCHEZ, Y.; QUILCATE, C.; NUÑEZ-MELGAR, D. C.; VÁSQUEZ, H.; ALVAREZ-GARCÍA, W. Y. Morphological differentiation, yield, and cutting time of *Lolium multiflorum* L. under acid soil conditions in highlands. **Plants**, v. 13, p. 2331, 2024. Disponível em: <https://doi.org/10.3390/plants13162331>.

CHAPARRO, C.J., L.E. SOLLENBERGER, AND K.H. QUESENBERRY. Light interception, reserve status, and persistence of clipped Mott elephantgrass swards. **Crop Sci.** 36:649–655, 1996.

CHAPMAN, D. F.; LEE, J. M.; WAGHORN, G. C. Interaction between plant physiology and pasture feeding value: a review. **Crop and Pasture Science**, v. 65, p. 721-734, 2014. Disponível em: <https://doi.org/10.1071/CP13379>.

CHAVES, A. V.; BURKE, J. L.; WAGHORN, G. C.; BROOKES, I. M. Digestion kinetics of leaf, stem and inflorescence from five species of mature grasses. **Journal of the Science of Food and Agriculture**, v. 86, p. 816–825, 2006. Disponível em: <https://doi.org/10.1002/jsfa.2420>.

CHOCT, M. Feed non-starch polysaccharides: chemical structures and nutritional significance. **Feed Milling International**, n. 191, p. 13–26, 1997.

CHOCT, M.; HUGHES, R. J.; WANG, J.; BEDFORD, M. R.; MORGAN, A. J.; ANNISON, G. Increased small intestinal fermentation is partly responsible for the anti-nutritive activity of non-starch polysaccharides in chickens. **British Poultry Science**, v. 37, p. 609-621, 1996.

CHOCT, M. Enzymes for the feed industry: past, present and future. **World's Poultry Science Journal**, v. 62, p. 5-16, 2006.

CERRATE, S.; EKMAY, R.; ENGLAND, J.; COON, C. Predicting nutrient digestibility and energy value for broilers. **Poultry Science**, v. 98, p. 3994-4007, 2019.

COZANNET, P.; LESSIRE, M.; GADY, C.; METAYER, J.; PRIMOT, Y.; SKIBA, F.; NOBLET, J. Energy value of wheat dried distillers grains with solubles in roosters, broilers, layers, and turkeys. **Poultry Science**, v. 89, p. 2230-2241, 2010.

DAL BOSCO, A.; MUGNAI, C.; ROSATI, A.; PAOLETTI, A.; CAPORALI, S.; CASTELLINI, C. Effect of range enrichment on performance, behavior and forage intake of free-range chickens. **J. Appl. Poult. Res.** 23 :137–145, 2014. <http://dx.doi.org/10.3382/japr.2013-00814>

DE VRIES, S.; PUSTJENS, A. M.; SCHOLS, H. A.; HENDRIKS, W. H.; GERRITS, W. J. J. Improving digestive utilization of fiber-rich feedstuffs in pigs and poultry by processing and enzyme technologies: a review. **Animal Feed Science and Technology**, v. 178, p. 123-138, 2012.

DOLZ, S.; DE BLAS, C. Metabolisable energy of meat and bone meal from Spanish rendering plants as influenced by level of substitution and method of determination. **Poultry Science**, v. 71, p. 316-322, 1992.

DUKE, G. E. Recent studies on regulation of gastric motility in turkeys. **Poultry Science**, v. 71, p. 1-8, 1992.

ENGLMAIEROVÁ, M.; SKRIVAN, M.; TAUBNER, T.; SKRRIVANOVÁ, V.; CERMÁK, L. Effect of housing system and feed restriction on meat quality of medium-growing chickens. **Poultry Science**, v. 100, p. 101223, 2021.

FARRELL, D. J. In vivo and in vitro techniques for the assessment of the energy content of feed grains for poultry: a review. **Australian Journal of Agricultural Research**, v. 50, n. 5, p. 881–888, 1999. Disponível em: <https://doi.org/10.1071/AR98173>.

FULKERSON, W. J.; GRIFFITHS, N.; SINCLAIR, K.; BEALE, P. N. Milk production from kikuyu grass based pastures. Primefact No. 1068. NSW Department of Primary Industries, Orange, NSW, Australia, 2010. Disponível em: <<https://bit.ly/39VFjOF>>. Acesso em: 10 jan. 2024.

GABRIEL, I.; MALLET, S.; LECONTE, M. Differences in the digestive tract characteristics of broiler chickens fed on complete pelleted diet or on whole wheat added to pelleted protein concentrate. **British Poultry Science**, v. 44, n. 2, p. 283–290, 2003. Disponível em: <https://doi.org/10.1080/0007166031000096470>.

GARCÍA, S. C.; ISLAM, M. R.; CLARK, C. E. F.; MARTIN, P. M. Kikuyu-based pasture for dairy production: a review. **Crop and Pasture Science**, v. 65, p. 787, 2014. Disponível em: <https://doi.org/10.1071/CP13414>.

GONZÁLEZ-ALVARADO, J. M.; JIMENEZ-MORENO, E.; GONZALEZ-SANCHEZ, D.; LAZARO, R. M.; MATEOS, G. G. Effect of inclusion of oat hulls and sugar beet pulp in the diet on productive performance and digestive traits of broilers from 1 to 42 days of age. **Animal Feed Science and Technology**, v. 162, p. 37–46, 2010.

GODLEWSKA, A.; CIEPIELA, G. A. Italian Ryegrass (*Lolium multiflorum* Lam.) fiber fraction content and dry matter digestibility following biostimulant application against the background of varied nitrogen regime. **Agronomy**, v. 11, p. 39, 2021. Disponível em: <https://doi.org/10.3390/agronomy11010039>.

GUINOTTE, F.; GAUTRON, J.; NYS, Y.; SOUMARMON, A. Calcium solubilization and retention in the gastrointestinal tract in chicks (*Gallus domesticus*) as a function of gastric acid secretion inhibition and of calcium carbonate particle size. **British Journal of Nutrition**, v. 73, n. 1, p. 125–139, 1995. Disponível em: <https://doi.org/10.1079/bjn19950014>.

HALL, J. A.; MELENDEZ, L. D.; JEWELL, D. E. Using gross energy improves metabolizable energy predictive equations for pet foods whereas undigested protein and fiber content predict stool quality. **PLoS ONE**, v. 8, n. 1, p. e54405, 2013. Disponível em: <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0054405>.

HAMMERSHØJ, M.; JOHANSEN, N.F. Review: The effect of grass and herbs in organic egg production on egg fatty acid composition, egg yolk colour and sensory properties. **Livest. Sci.** 2016, 194, 37–43.

HAMMERSHØJ, M.; STEENFELDT, S. Organic egg production. II: The quality of organic eggs is influenced by hen genotype, diet and forage material analyzed by physical parameters, functional properties and sensory evaluation. **Anim. Feed Sci. Technol.** 2015, 208, 182–197.

HETLAND, H.; SVIHUS, B. Effect of oat hulls on performance, gut capacity and feed passage time in broiler chickens. **British Poultry Science**, v. 42, p. 354–361, 2001.

HETLAND, H.; SVIHUS, B.; KRÖGDAHL, Å. Effects of oat hulls and wood shavings on digestion in broilers and layers fed diets based on whole or ground wheat. **British Poultry Science**, v. 44, p. 275–282, 2003.

HILL, F. W.; ANDERSON, D. L. Comparison of metabolizable energy and productive determinations with growing chicks. *Journal of Nutrition*, v. 64, p. 587–603, 1958.

HORSTED, K.; HERMANSEN, J. E.; HANSEN, H. Botanical composition of herbage intake of free-range laying hens determined by microhistological analysis of faeces. **Archiv fur Geflügelkunde**, v. 71, p. 145–151, 2007b.

HORSTED, K.; HERMANSEN, J. E.; RANVIG, H. Crop content in nutrient-restricted versus non-restricted organic laying hens with access to different forage vegetations. **British Poultry Science**, v. 48, n. 2, p. 177-184, 2007a. Disponível em: <https://doi.org/10.1080/00071660701227501>.

INSUA, J. R.; GARCIA, S. C.; BERONE, G. D.; BASSO, B.; UTSUMI, S. A. Field indicators of leaf nutritive value for perennial ryegrass and tall fescue pastures under different growing and management conditions. **Grass and Forage Science**, v. 75, p. 1–10, 2020. Disponível em: <https://doi.org/10.1111/gfs.12470>.

IQBAL, Z.; ROBERTS, J.; PEREZ-MALDONADO, R. A.; GOODARZI BOROOJENI, F.; SWICK, R. A.; RUHNKE, I. Pasture, multi-enzymes, benzoic acid and essential oils positively influence performance, intestinal organ weight and egg quality in free-range laying hens. **British Poultry Science**, v. 59, n. 2, p. 180-189, 2018. Disponível em: <https://doi.org/10.1080/00071668.2017.1403566>.

IQBAL, Z.; METZGER, F.; SINGH, M.; MORGAN, N.; SWICK, R. A.; PEREZ-MALDONADO, R. A.; M'SADEQ, S. A.; ZENTEK, J.; RUHNKE, I. Enzymes and/or combination of organic acid and essential oils supplementation in pasture-fed free-range laying hens increased the digestibility of nutrients and non-starch polysaccharides. **Poultry Science**, v. 98, p. 1410–1424, 2019.

JHA, R.; MISHRA, P. Dietary fiber in poultry nutrition and their effects on nutrient utilization, performance, gut health, and on the environment: a review. **Journal of Animal Science and Biotechnology**, v. 12, p. 51, 2021.

JØRGENSEN, H.; ZHAO, X. Q.; KNUDSEN, K. E.; EGGUM, B. O. The influence of dietary fibre source and level on the development of the gastrointestinal tract, digestibility and energy metabolism in broiler chickens. **British Journal of Nutrition**, v. 75, n. 3, p. 379–395, 1996. Disponível em: <https://doi.org/10.1079/bjn19960141>.

JUNG, G. A.; VAN WIJK, A. J. P.; HUNT, W. F.; WATSON, C. E. Ryegrasses. In: **Cool-Season Forage Grasses**. 1. ed. Madison, WI: ASA, CSSA, and SSSA, 1996. v. 34, p. 605–641.

KALMENDAL, R.; ELWINGER, K.; HOLM, L.; TAUSON, R. High-fibre sunflower cake affects small intestinal digestion and health in broiler chickens. **British Poultry Science**, v. 52, p. 86–96, 2011.

KENNETH, J. M.; ANDREW, W. L.; STEVEN, L. F.. Factors Affecting Forage Quality. In: Moore K.J; Collins M.; Nelson C.J; Redfearn D.D. **Forages: The Science of Grassland Agriculture, Volume II**. 7th Edition. Chichester, 2020. p. 701-717.

KNUDSEN, K. E. BACH. The nutritional significance of “dietary fibre” analysis. **Animal Feed Science and Technology**, v. 90, n. 1, p. 3–20, 2001.

KOP-BOZBAY, C.; AKDAG, A.; BOZKURT-KIRAZ, A.; GORE, M.; KURT, O.; OCAK, N. Laying performance, egg quality characteristics, and egg yolk fatty acids profile in layer hens housed with free access to chicory and/or white clover-vegetated or non-vegetated areas. **Animals**, v. 11, p. 1708, 2021.

LEE, J.; OH, H.; KIM, Y.; SONG, D.; AN, J.; CHANG, S.; GO, Y.; CHO, H.; LEE, B.; KIM, W. K.; CHO, J. Effects of exogenous protease on performance, economic evaluation, nutrient digestibility, fecal score, intestinal morphology, blood profile, carcass trait, and meat quality in broilers fed normal diets and diets considered with matrix value. **Poultry Science**, v. 102, p. 102565, 2023. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.psj.2023.102565>.

LI, Y. P.; WANG, Z. Y.; YANG, H. M.; XU, L.; XIE, Y. J.; JIN, S. L.; LI, ET AL. Effects of dietary fiber on growth performance, slaughter performance, serum biochemical parameters, and nutrient utilization in geese. **Poultry Science**, v. 96, n. 5, p. 1250–1256, 2017.

LI, Y.; YANG, H.; XU, L.; WANG, Z.; ZHAO, Y.; CHEN, X. Effects of dietary fiber levels on cecal microbiota composition in geese. **Asian-Australasian Journal of Animal Sciences**, v. 31, n. 8, p. 1285–1290, 2018. Disponível em: <https://doi.org/10.5713/ajas.17.0915>.

LIANG, Y.; HOU, Q.; YU, M.; CHANG, Y.; ZHAO, H.; LIU, G.; CHEN, X.; TIAN, G.; CAI, J.; JIA, G. Prediction of the net energy of wheat from chemical analysis for growing ducks. **Animals**, v. 13, p. 1097, 2023. Disponível em: <https://doi.org/10.3390/ani13061097>.

LI, Y.; OWYANG, C. Vagal afferent pathway mediates physiological action of cholecystokinin on pancreatic enzyme secretion. **The Journal of Clinical Investigation**, v. 92, n. 1, p. 418-424, 1993.

LIU, K.; SOLLENBERGER, L. E.; NEWMAN, Y. C.; VENDRAMINI, J. M. B.; INTERRANTE, S. M.; WHITE-LEECH, R. Grazing Management Effects on Productivity, Nutritive Value, and Persistence of ‘Tifton 85’ Bermudagrass. *Crop Science*, 51(1), 353–360, 2011.

LANGHOUT, D.; SCHUTTE, J.; VAN LEEUWEN, P.; WIEBENGA, J.; TAMMINGA, S. Effect of dietary high-and low-methylated citrus pectin on the activity of the ileal microflora and morphology of the small intestinal wall of broiler chicks. **British Poultry Science**, v. 40, p. 340–347, 1999.

LOMU, M. A.; GLATZ, P. C.; RU, Y. J. Metabolizable energy of crop contents in free-range hens. **International Journal of Poultry Science**, v. 3, p. 728–732, 2004. Disponível em: <https://doi.org/10.3923/ijps.2004.728.732>.

LIYAMA, K.; LAM, T. B.-T.; STONE, B. A. Covalent cross-links in the cell wall. **Plant Physiology**, v. 104, p. 315–320, 1994.

LOSADA, B.; GARCÍA-REBOLLAR, P.; ÁLVAREZ, C.; CACHALDORA, P.; IBÁÑEZ, M. A.; MÉNDEZ, J.; DE BLAS, J. C. The prediction of apparent metabolisable energy content of oil seeds and oil seed by-products for poultry from its chemical components, in vitro analysis or near-infrared reflectance spectroscopy. **Animal Feed Science and Technology**, v. 160, n. 1-2, p. 072, 2010. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.anifeedsci.2010.06.012>.

MARÍN GÓMEZ, A.; LACA, E. A.; BALDISSERA, T. C.; PINTO, C. E.; GARAGORRY, F. C.; ZUBIETA, A. S. Determining the pre-grazing sward height of Kikuyu grass (*Cenchrus clandestinus* - Hochst. ex Chiov.) for optimizing nutrient intake rate of dairy heifers. **PLoS ONE**, v. 17, n.7, p. e0269716, 2022. Disponível em: <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0269716>.

MATEOS, G. G.; CÁMARA, L.; FONDEVILA, G.; LÁZARO, R. P. Critical review of the procedures used for estimation of the energy content of diets and ingredients in poultry. **Journal of Applied Poultry Research**, v. 27, p. 1-20, 2019.

MATEOS, G. G.; JIMENEZ-MORENO, E.; SERRANO, M. P.; LAZARO, R. P. Poultry response to high levels of dietary fiber sources varying in physical and chemical characteristics. **Journal of Applied Poultry Research**, v. 21, p. 156–174, 2012.

MATTERSON, L. D.; POTTER, L. M.; STUTZ, M. W.; SINGSEN, E. P. The metabolizable energy of feed ingredients for chickens. **Poultry Science**, p. xx-xx, 1965.

MCDUGALL, G. J.; MORRISON, I. M.; STEWART, D.; HILLMAN, J. R. Plant cell walls as dietary fibre: range, structure, processing and function. **Journal of the Science of Food and Agriculture**, v. 70, p. 133–150, 1996.

MCCAFFERTY, K. W.; TOGHYANI, M.; MORGAN, N. K.; COWIESON, A. J.; CHOCT, M.; MOSS, A. F. Effects of protease supplementation and diet type on jejunal and ileal digestibility and total tract metabolisability of nitrogen, starch, and energy in broilers. **British Poultry Science**, 2021. Disponível em: <https://doi.org/10.1080/00071668.2021.1975260>.

MUGNAI, C.; SOSSIDOU, E. N.; DAL BOSCO, A.; RUGGERI, S.; MATTIOLI, S.; CASTELLINI, C. The effects of husbandry system on the grass intake and egg nutritive characteristics of laying hens. **Journal of the Science of Food and Agriculture**, v. 94, p. 459-467, 2014. Disponível em: <https://doi.org/10.1002/jsfa.6269>.

NAEEM, M.; BURTON, E.; SCHOLEY, D.; ALKHTIB, A.; BROADBERRY, S. Efficacy of oat hulls varying in particle size in mitigating performance deterioration in broilers fed low-density crude protein diets. **Poultry Science**, v. 102, 2023.

NEAL, J. S.; FULKERSON, W. J.; LAWRIE, R.; BARCHIA, I. M. Difference in yield and persistence among perennial forages used by the dairy industry under optimum and deficit irrigation. **Crop & Pasture Science**, v. 60, p. 1071–1087, 2009. Disponível em: <https://doi.org/10.1071/CP09059>.

NGUYEN, H. T., S.-B. WU, M. R. BEDFORD, X. H. NGUYEN & N. K. MORGAN. Dietary soluble non-starch polysaccharide level and xylanase influence the gastrointestinal environment and nutrient utilisation in laying hens. **British Poultry Science**, 63:3, 340-350, 2022.

- NIE, Z. N.; MILLER, S.; MOORE, G. A.; HACKNEY, B. F.; BOSCHMA, S. P.; REED, K. F. M.; MITCHELL, M.; ALBERTSEN, T. O.; CLARK, S. G.; CRAIG, A. D.; KEARNEY, G.; LI, G. D.; DEAR, B. S. Field evaluation of perennial grasses and herbs in southern Australia. 2. Persistence, root characteristics and summer activity. **Australian Journal of Experimental Agriculture**, v. 48, p. 424–435, 2008. Disponível em: <https://doi.org/10.1071/EA07136>.
- NOBLET, J.; FORTUNE, H.; SHI, X. S.; DUBOIS, S. Prediction of net energy value of feeds for growing pigs. **Journal of Animal Science**, v. 72, p. 344–354, 1994.
- NOBLET, J.; WU, S. B.; CHOCT, M. Methodologies for energy evaluation of pig and poultry feeds: a review. **Animal Nutrition**, v. 8, p. 185–203, 2022.
- NORTON, M. R.; MALINOWSKI, D. P.; VOLAIRE, F. Plant drought survival under climate change and strategies to improve perennial grasses. A review. **Agronomy for Sustainable Development**, v. 36, p. 29, 2016. Disponível em: <https://doi.org/10.1007/s13593-016-0362-1>.
- OLUKOSI, O. A.; GONZÁLEZ-ORTIZ, G.; WHITFIELD, H.; BEDFORD, M. R. Comparative aspects of phytase and xylanase effects on performance, mineral digestibility, and ileal phytate degradation in broilers and turkeys. **Poultry Science**, v. 99, p. 1528–1539, 2020.
- PETERHANSEL, C.; MAURINO, V. G. Photorespiration redesigned. **Plant Physiology**, v. 155, p. 49-55, 2011.
- PETTERSSON, I. C.; WEEKS, C. A.; WILSON, L. R. M.; NICOL, C. J. Consumer perceptions of free-range laying hen welfare. **British Food Journal**, v. 118, n. 8, p. 1999-2013, 2016. Disponível em: <https://doi.org/10.1108/BFJ-02-2016-0065>.
- PLEGER, L.; WEINDL, P. N.; WEINDL, P. A.; CARRASCO, L. S.; BELLOF, G.; ZHAO, M. J.; AULRICH, K.; BELLOF, G. Precaecal digestibility of crude protein and amino acids from alfalfa (*Medicago sativa*) and red clover (*Trifolium pratense*) leaves and silages in broilers. **Animal Feed Science and Technology**, v. 275, p. 114856, 2021.
- POTTER, L. M.; PUDELKIEWICZ, W. J.; WEBSTER, L.; MATTERSON, L. D. Metabolizable energy and digestibility evaluation of fish meal for chickens. **Poultry Science**, v. 41, n. 6, p. 1745-1752, 1962. Disponível em: <https://doi.org/10.3382/ps.0411745>.
- PONTE, P. I. P.; PRATES, J. A. M.; CRESPO, J. P.; CRESPO, D. G.; MOURÃO, J. L.; ALVES, S. P.; BESSA, R. J. B.; CHAVEIRO-SOARES, M. A.; GAMA, L. T.; FERREIRA, L. M. A.; FONTES, C. M. G. A. Restricting the intake of a cereal-based feed in free-range-pastured poultry: effects on performance and meat quality. **Poultry Science**, v. 87, p. 2032–2042, 2008. Disponível em: <https://doi.org/10.3382/ps.2007-00522>.
- RAZA, A.; BASHIR, S.; TABASSUM, R. An update on carbohydrases: growth performance and intestinal health of poultry. **Heliyon**, v. 5, n. 4, p. e01437, 2019. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2019.e01437>.
- RÖHE, I.; VAHJEN, W.; METZGER, F.; ZENTEK, J. Effect of a diluted diet containing 10% lignocellulose on the gastrointestinal tract, intestinal microbiota, and excreta characteristics of dual purpose laying hens. **Poultry Science**, v. 99, p. 310-319, 2020.

ROUGIÈRE, N.; CARRÉ, B. Comparison of gastrointestinal transit times between chickens from D+ and D- genetic lines selected for divergent digestion efficiency. **Animal**, v. 4, p. 1861–1872, 2010.

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

SIBBALD, I. R. The T. M. E. system of feed evaluation: methodology, feed composition data and bibliography. 1986. Disponível em: <https://doi.org/10.5962/BHL.TITLE.63031>.

SINGH, M.; COWIESON, A. J. Range use and pasture consumption in free-range poultry production. **Animal Production Science**, v. 53, p. 1202–1208, 2013.

SINGH, M.; DURALI, T.; COWIESON, A. Use of n-alkanes for determination of Kikuyu grass (*Pennisetum clandestinum*) intake in free-range broilers. **Animal Production Science**, v. 56, e. 10.1071/AN14778, 2015.

SINGH, A. K.; TIWARI, U. P.; BERROCOSO, J. D.; DERSJANT-LI, Y.; AWATI, A.; JHA, R. Effects of a combination of xylanase, amylase and protease, and probiotics on major nutrients including amino acids and non-starch polysaccharides utilization in broilers fed different levels of fibers. **Poultry Science**, v. 98, n. 11, p. 5571–5581, 2019. Disponível em: <https://doi.org/10.3382/ps/pez310>.

SINGH, A. K.; MANDAL, R. K.; BEDFORD, M. R.; JHA, R. Xylanase improves growth performance, enhances cecal short chain fatty acids production, and increases the relative abundance of fiber fermenting cecal microbiota in broilers. **Animal Feed Science and Technology**, v. 277, p. 114956, 2021.

SKRIVAN, M.; ENGLMAIEROVÁ, M. The deposition of carotenoids and -tocopherol in hen eggs produced under a combination of sequential feeding and grazing. **Animal Feed Science and Technology**, v. 190, p. 79–86, 2014. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1016/j.anifeedsci.2014.01.009>.

SHIMMURA, T.; HIRAHARA, S.; AZUMA, T.; SUZUKI, T.; EGUCHI, Y.; UETAKE, K.; TANAKA, T. Multi-factorial investigation of various housing systems for laying hens. **British Poultry Science**, v. 51, p. 31–42, 2010. Disponível em: <https://doi.org/10.1080/00071660903421167>.

SLAMA, J.; SCHEDULE, K.; WURZER, G. K.; GIERUS, M. Physicochemical properties to support fibre characterization in monogastric animal nutrition. **Journal of the Science of Food and Agriculture**, 2019, v. 99, p. 3895–3902.

SMITS, C. H. M.; ANNISON, G. Non-starch plant polysaccharides in broiler nutrition - towards a physiologically valid approach to their determination. **World's Poultry Science Journal**, v. 52, n. 2, p. 203–221, 1996. Disponível em: <https://doi.org/10.1079/wps19960016>.

VAN SOEST, P. J., J. B. ROBERTSON, AND B. A. LEWIS. Methods for dietary fiber, neutral detergent fiber, and nonstarch polysaccharides in relation to animal nutrition. **J. Dairy Sci.** 74:3583–3597, 1991.

Sollenberger, L. E.; Vendramini, J. M. B.; Pedreira, C. G. S.; Rios, E. F. Warm-Season Grasses for Humid Areas. In: MOORE, K. J.; COLLINS, M.; NELSON, C. J.;

REDFEARN, D. D. **Forages: The Science of Grassland Agriculture**. 7. ed. Chichester, 2020. p. 331-345.

SOMMERFELD, V.; SCHOLLENBERGER, M.; KÜHN, I.; RODEHUTSCORD, M. Interactive effects of phosphorus, calcium, and phytase supplements on products of phytate degradation in the digestive tract of broiler chickens. **Poultry Science**, v. 97, p. 1177–1188, 2018. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.3382/ps/pex404>.

SVIHUS, B.; HETLAND, H. Ileal starch digestibility in growing broiler chickens fed on a wheat-based diet is improved by mash feeding, dilution with cellulose or whole wheat inclusion. **British Poultry Science**, v. 42, p. 633–637, 2001.

SVIHUS, B.; JUVIK, I.; HETLAND, H.; KROGDAHL, A. Causes for improvement in nutritive value of broiler chicken diets with whole wheat instead of ground wheat. **British Poultry Science**, v. 45, p. 55–60, 2004.

SVIHUS, B. The gizzard: function, influence of diet structure and effects on nutrient availability. **World's Poultry Science Journal**, v. 67, n. 2, p. 207-224, 2011. Disponível em: <https://doi.org/10.1017/S0043933911000249>.

SUN, X. Z.; WAGHORN, G. C.; CLARK, H. Cultivar and age of regrowth effects on physical, chemical and in sacco degradation kinetics of vegetative perennial ryegrass (*Lolium perenne* L.). **Animal Feed Science and Technology**, v. 155, p. 172–185, 2010. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.anifeedsci.2009.12.004>.

TAYLOR, S. H.; HULME, S. P.; REES, M.; RIPLEY, B. S.; WOODWARD, F. I.; OSBORNE, C. P. Ecophysiological traits in C3 and C4 grasses: a phylogenetically controlled screening experiment. **New Phytologist**, v. 185, p. 780-791, 2010. Disponível em: <https://doi.org/10.1111/j.1469-8137.2009.03102.x>.

TEIRLYNCK, E.; BJERRUM, L.; EECKHAUT, V.; HUYGEBART, G.; PASMANS, F.; HAESBROUCK, F.; DEWULF, J.; DUCATELLE, R.; VAN IMMERSEEL, F. The cereal type in feed influences gut wall morphology and intestinal immune cell infiltration in broiler chickens. **British Journal of Nutrition**, v. 102, n. 10, p. 1453–1461, 2009. Disponível em: <https://doi.org/10.1017/S0007114509990407>.

THEANDER, O.; WESTERLUND, E.; ÅMAN, P.; GRAHAM, H. Plant cell walls and monogastric diets. **Animal Feed Science and Technology**, v. 23, p. 205–225, 1989.

TUFARELLI, V.; RAGNI, M.; LAUDADIO, V. Feeding forage in poultry: A promising alternative for the future of production systems. **Agriculture**, 2018, 8, 81.

TÜZÜN, A. E.; KOÇER, B.; EGE, G.; BOZKURT, M. Influence of sunflower meal utilization on growth performance and digestive tract traits of white strain pullets fed from 29 to 112 days of age. **British Poultry Science**, p. 1–8, 2020.

VILLAMIDE, M. J.; GARCIA, J.; CERVERA, C.; BLAS, E.; MAERTENS, L.; PEREZ, J. M. Comparison among methods of nutritional evaluation of dietary ingredients for rabbits. **Animal Feed Science and Technology**, v. 109, p. 195–207, 2003.

VOLENEC, J. J.; NELSON, C. J. Carbon metabolism in forage plants. In: MOORE, K. J.; COLLINS, M.; NELSON, C. J.; REDFEARN, D. D. **Forages: The Science of Grassland Agriculture**. 7. ed. Chichester, 2020. p. 65-84.

XIE, K.; HE, X.; HOU, D.-X.; ZHANG, B.; SONG, Z. Evaluation of nitrogen-corrected apparent metabolizable energy and standardized ileal amino acid digestibility of different sources of rice and rice milling byproducts in broilers. **Animals**, v. 11, p. 1894, 2021. Disponível em: <https://doi.org/10.3390/ani11071894>.

WALKER, A.; GORDON, S. Intake of nutrients from pasture by poultry. **The Proceedings of the Nutrition Society**, v. 62, p. 253–256, 2003. Disponível em: <https://doi.org/10.1079/PNS2002198>.

WAN, Y.; DENG, Q.; ZHOU, Z.; DENG, Y.; ZHANG, J.; LI, J. Cholecystokinin (CCK) and its receptors (CCK1R and CCK2R) in chickens: functional analysis and tissue expression. **Poultry Science**, v. 102, n. 1, p. 1–11, 2022. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.psj.2022.102273>.

WILLIAMS, B. A.; GRANT, L. J.; GIDLEY, M. J.; MIKKELSEN, D. Gut fermentation of dietary fibres: physico-chemistry of plant cell walls and implications for health. **International Journal of Molecular Sciences**, v. 18, n. 10, p. 2203, 2017. Disponível em: <https://doi.org/10.3390/ijms18102203>.

WIMS, C. M.; DELABY, L.; BOLAND, T. M.; O'DONOVAN, M. Effect of pre-grazing herbage mass on dairy cow performance, grass dry matter production and output from perennial ryegrass (*Lolium perenne* L.) pastures. **Animal**, v. 8, n. 1, p. 141–151, 2014. Disponível em: <https://doi.org/10.1017/S1751731113001973>.

ZAEFARIAN, F.; COWIESON, A. J.; PONTOPPIDAN, K.; ABDOLLAHI, M. R.; RAVINDRAN, V. Trends in feed evaluation for poultry with emphasis on in vitro techniques. **Animal Nutrition**, v. 7, n. 2, p. 268–281, 2021. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.aninu.2020.08.006>.

ZHANG, F.; ADEOLA, O. Energy values of canola meal, cottonseed meal, bakery meal, and peanut flour meal for broiler chickens determined using the regression method. **Poultry Science**, v. 96, p. 397–404, 2017. Disponível em: <https://doi.org/10.3382/ps/pew239>.

ZHANG, A. R.; WEI, M.; YAN, L.; ZHOU, G. L.; LI, Y.; WANG, H. M.; YANG, Y. Y.; YIN, W.; GUO, J. Q.; CAI, X. H.; LI, J. X.; ZHOU, H.; LIANG, Y. X. Effects of feeding solid-state fermented wheat bran on growth performance and nutrient digestibility in broiler chickens. **Poultry Science**, v. 101, p. 101402, 2022.

3 VALOR ENERGÉTICO E DIGESTIBILIDADE DO CAPIM KICUIO E AZEVÉM COM ADIÇÃO DE ENZIMAS EXÓGENAS PARA POEDEIRAS COMERCIAIS

Resumo

O objetivo do estudo foi determinar o valor energético, a digestibilidade do azevém anual (*Lolium multiflorum* L.) e do capim-kikuyu (*Pennisetum clandestinum* Hochst. ex Chiov.) com utilização de enzimas digestivas exógenas (EDE) e propor equações de predição da EMA para estimar os valores energéticos das gramíneas para poedeiras. 144 poedeiras da linhagem Hisex Brown em fase de postura foram distribuídas em um delineamento inteiramente casualizado em arranjo fatorial 4 X 2, com 4 níveis de substituição da gramínea: 0, 30, 60 e 90g/kg, e com e sem a utilização de enzimas digestiva exógenas. Compreendendo 8 tratamentos, 6 repetições cada com 3 aves por repetição. Foram avaliados o capim-kikuyu e o azevém anual. O período experimental teve duração de 8 dias, sendo os primeiros 4 dias para a adaptação das aves às dietas experimentais e os 4 dias seguintes para a coleta das excretas e mensuração do consumo de ração. A composição química das excretas e das dietas foram determinadas para os cálculos da EMA, EMA_n , EMA_p , e dos coeficientes de digestibilidade das dietas e das gramíneas. Ocorreu uma redução linear nos valores de EMA e na digestibilidade da MS, energia e do FDN das dietas conforme se aumentou o nível de substituição das gramíneas. O tempo de passagem da digesta reduziu de modo linear pelo aumento do nível de substituição das gramíneas. A digestibilidade das cinzas aumentou nos tratamentos que receberam o capim-kikuyu e no nível de 60g/kg do azevém. Um aumento significativo da digestibilidade da PB foi verificado nas dietas com o azevém. A EDE aumentou a digestibilidade do FDN e da PB das dietas com capim-kikuyu e da PB das dietas com azevém. Os valores de EMA, EMA_n e EMA_p obtidos para o kikuyu e o azevém nos níveis de substituição (30, 60 e 90g/kg) apresentaram uma redução linear, com menores valores obtidos para o nível de 90g/kg em comparação a 30g/kg. A utilização da EDE melhorou a digestibilidade da energia do kikuyu. As equações de predição com dois preditores, formados por EB e FDA, ou EBd e MSd, aumentaram o valor de R^2 . A extrato etéreo possui alta correlação em prever o conteúdo de energia das gramíneas. A EDE nos níveis recomendados não apresenta impacto na utilização da energia das gramíneas na matéria natural. Os valores na matéria natural de EMA_n do kikuyu foi de 261,5kcal/kg, e 339,3kcal/kg para o azevém, a EMA_p do kikuyu foi de 267,6kcal/kg, e 341,1kcal/kg para o azevém. A EDE utilizada não é eficiente em melhorar a utilização da energia das gramíneas considerando o consumo na matéria natural. O capim-kikuyu e o azevém anual podem ser utilizadas na alimentação de poedeiras com acesso a áreas vegetadas fornecendo uma fonte alternativa de energia e proteína, porém o azevém anual apresenta maior valor energético e maior digestibilidade.

Palavras-chave: Azevém anual. Capim-kikuyu. Digestibilidade. Energia metabolizável. Equações de predição. Fibra. Método de regressão. Tempo de passagem.

3.1 INTRODUÇÃO

O uso de forragens na alimentação de poedeiras tem ganhado a atenção dos pesquisadores devido aos potenciais impactos na dieta das aves e na produção e qualidade dos ovos. Pesquisas envolvendo forragens para poedeiras têm focado, principalmente, no desempenho zootécnico e na qualidade dos ovos. O consumo de gramíneas pode aumentar o peso dos ovos, intensificar a coloração da gema (Iqbal *et al.*, 2018) e elevar a concentração de ácidos graxos poli-insaturados n-3, melhorando o perfil lipídico dos ovos ao reduzir a proporção n-6/n-3 (Mugnai *et al.*, 2014; Kop-Bozbay *et al.*, 2021).

Contudo, pouco se sabe sobre a contribuição nutricional do consumo de gramíneas na alimentação de aves de produção. Sabe-se que o consumo de gramíneas pode ocasionar a diluição das dietas, considerando que seu valor nutricional é inferior ao da ração (Singh, Durali & Cowieson, 2015). Em poedeiras, o consumo de gramíneas pode afetar negativamente o consumo voluntário de ração, resultando em uma redução na ingestão de energia e nutrientes, o que pode impactar o desempenho produtivo das aves (Iqbal *et al.*, 2018). Devido ao alto teor de fibras, as gramíneas podem reduzir a digestibilidade da dieta.

Os estudos sobre a digestibilidade de forragens são escassos, envolvendo ensaios com frangos de corte utilizando trevo branco e alfafa (Pleger *et al.*, 2021), ou pastagens formadas por consórcios de gramíneas e leguminosas em galos (Buchanan *et al.*, 2007a). Em poedeiras, Iqbal *et al.* (2019) avaliaram a digestibilidade de dietas com acesso à festuca, sem, no entanto, examinar o valor nutricional da gramínea.

A inclusão de enzimas digestivas exógenas, como xilanase, beta-glucanase e protease, pode melhorar a digestibilidade dos nutrientes e a absorção intestinal, ao diminuir os efeitos negativos do aumento da ingestão de fibras em aves com acesso a áreas vegetadas (Iqbal *et al.*, 2019). Além disso, as carboidrases podem melhorar a utilização da energia das forragens pelas aves (Buchanan *et al.*, 2007a).

A escassez de estudos sobre a digestibilidade de gramíneas pode ser atribuída à sua composição química, caracterizada por baixa concentração de carboidratos amiláceos e lipídeos, e alta proporção de fibra, tornando-as um alimento de baixo

potencial nutricional para aves. No entanto, as gramíneas podem ser uma fonte alternativa de energia e proteína bruta na dieta de poedeiras com acesso a áreas vegetadas, além de serem usadas como enriquecimento ambiental e para melhorar a qualidade dos ovos.

O azevém anual (*Lolium multiflorum* L.) é uma das principais gramíneas de clima temperado cultivadas mundialmente, conhecida pelo rápido crescimento, alta produtividade e palatabilidade (Carrasco-Chilón *et al.*, 2024). O capim-kikuyu (*Pennisetum clandestinum* Hochst. ex Chiov.) é uma das principais espécies forrageiras para pastejo em regiões tropicais e subtropicais (Benvenuti *et al.*, 2020). Gramíneas de clima frio possuem menor teor de FDN e FDA e maior valor nutricional comparado às gramíneas de clima quente (Chapman *et al.*, 2014). As gramíneas apresentam grande variação em sua composição química, o que torna as equações de predição ferramentas úteis para estimar o valor energético com base em sua composição química ou nos nutrientes digeridos (Cerrate *et al.*, 2019).

Assim, o objetivo deste estudo foi determinar o valor energético e a digestibilidade do azevém anual (*Lolium multiflorum* L.) e do capim-kikuyu (*Pennisetum clandestinum* Hochst. ex Chiov.) utilizando enzimas digestivas exógenas, e propor equações de predição da EMA para estimar os valores energéticos das gramíneas para poedeiras.

3.2 MATERIAL E MÉTODOS

O experimento foi realizado no Setor experimental de Avicultura da Universidade do Estado de Santa Catarina no Centro de Ciências Agroveterinárias (UDESC – CAV), de acordo com as normas editadas pelo Conselho Nacional de Controle da Experimentação Animal (CONCEA), e aprovado pela Comissão de Ética no Uso de Animais da Universidade do Estado de Santa Catarina (CEUA/UDESC) e protocolado sob o CEUA nº 5750250424.

3.2.1 Aves e Delineamento Experimental

Um total de 144 poedeiras da linhagem Hisex Brown em fase de postura com variação de 5% em relação ao peso médio (95% de uniformidade) foram distribuídas

em um delineamento inteiramente casualizado em arranjo fatorial 4 X 2, consistindo em quatro níveis de substituição: 0, 30, 60, 90g/kg, com ou sem a utilização de EDE. Totalizando 8 tratamentos, cada um dos quais foi replicado 6 vezes com 3 aves por gaiola (unidade experimental) nos experimentos com o capim-kikuyu e com o azevém. No experimento com o capim-kikuyu, as aves tinham 72 semanas de idade e peso médio de 1,850. No experimento com o azevém anual, as aves tinham 95 semanas de idade e peso médio de 1,925. Os experimentos foram realizados com o mesmo lote de poedeiras.

Foi realizado o método de coleta total de excretas de acordo com metodologia descrita por Sakomura & Rostagno (2016). O período experimental teve duração de 8 dias, sendo os primeiros 4 dias para a adaptação das aves às dietas experimentais e os 4 dias seguintes para a coleta das excretas e mensuração do consumo de ração.

As aves foram alojadas em aviário experimental em gaiolas metabólicas com bandeja coletora de excretas e equipadas com comedouro do tipo calha e bebedouro nipple. Durante o período experimental as aves receberam ração farelada e água *ad libitum*, com um programa de luz de 16 horas de duração.

3.2.2 Alimentos Testes e Dietas

Os alimentos testes avaliados para determinar seu valor energético e os coeficientes de digestibilidade foram o capim-kikuyu (*Pennisetum clandestinum* Hochst. ex Chiov.) e o azevém anual (*Lolium multiflorum* L.). A composição analisada para a energia bruta e a composição química das gramíneas estão representadas na Tabela 1.

As gramíneas foram coletadas manualmente de áreas experimentais de forragens da UDESC – CAV. Somente as folhas foram selecionadas a fim de diminuir o conteúdo de fibra em detergente neutro e ácido proveniente dos caules. O capim-kikuyu apresentou altura média de 28 cm e o azevém anual de 22 cm, a altura das gramíneas foi realizada com bastão de medição de pasto (“sward stick technique”) (Bartham, 1985). As gramíneas foram secas em estufa de circulação forçada por 72h a 60 °C, em seguida foram moídas em moinho do tipo martelo com peneira de 2,5 mm para serem adicionadas nas dietas experimentais.

A composição das dietas experimentais utilizadas nos experimentos está representada na Tabela 2. A dieta referência (DR) foi formulada à base de milho e farelo de soja e 3 dietas testes (DT) com substituição do alimento nos níveis de 30, 60 e 90g/kg.

Tabela 1. Composição química e energia bruta do capim-kikuyu e do azevém anual, com base na matéria seca.

Item, %	Capim-kikuyu	Azevém anual
Matéria seca	95,3	96,1
Matéria seca total	17,8	14,8
Proteína bruta	24,2	20,9
Extrato etéreo	2,3	3,4
Fibra em detergente neutro	59,4	51,3
Fibra em detergente ácido	22,4	22,4
Cinzas	9,9	9,6
Energia bruta, kcal/kg	4519,5	4588,0

Foram utilizados como fonte de energia da DR o milho, o farelo de soja e o óleo de soja. A inclusão das gramíneas ocorreu em substituição aos alimentos fontes de energia da DR, de maneira que a proporção entre o milho:farelo de soja, milho:óleo de soja e farelo de soja:óleo de soja se manteve constante com valores de 2,41, 19,39 e 8,03, respectivamente, nas DT. As dietas experimentais foram formuladas com espaço de reserva pela adição de ingrediente inerte (caulim) para a utilização de enzimas digestivas exógenas (EDE) de composição: Alfa-Amilase 400U (IUB/EC 3.2.1.1); Beta-Glucanase 700U (IUB/EC 3.2.1.6); 6-Fitase 1.100 FTU (IUB/EC 3.1.3.26); Celulase 6.000U (IUB/EC 3.2.1.4); Xilanase 10.000U (IUB/EC 3.2.1.8) e Protease 700U (IUB/EC 3.4.21) por grama do produto, na concentração de 0,5g/kg (Endopower Gama; Uniquímica®).

As aves que receberam as dietas com as gramíneas foram pré-adaptadas por um período de 4 semanas, antecedendo os experimentos, para a adaptação do trato gastrointestinal (TGI) através da adição na dieta de 3% de gramíneas secas a 60°C e moídas.

Tabela 2. Composição alimentar das dietas experimentais dos experimentos.

Ingredientes, g/kg	Dieta referência (DR)	Dietas testes (DT)		
	0 g/kg	30 g/kg	60 g/kg	90 g/kg
Milho	595,4	574,9	554,5	534,0
Farelo de soja	246,6	238,1	229,6	221,2
Óleo de soja	30,7	29,6	28,6	27,5
Calcário calcítico (34% Ca)	109,4	109,4	109,4	109,4
Fosfato bicálcico	7,7	7,7	7,7	7,7
Cloreto de sódio	4,4	4,4	4,4	4,4
DL-metionina	1,3	1,3	1,3	1,3
Premix ¹	4,0	4,0	4,0	4,0
Caulim/EDE ²	0,5	0,5	0,5	0,5
Capim-kikuyu ³ /Azevém ⁴	0	30	60	90
Total, kg	1,0	1,0	1,0	1,0
Composição nutricional calculada				
EMA, kcal/kg	2.850	2.794 ³ /2.818 ⁴	2.738 ³ /2.786 ⁴	2.682 ³ /2.754 ⁴
Proteína bruta, g/kg	155,0	156,6 ³ /155,7 ⁴	158,2 ³ /156,4 ⁴	158,8 ³ /157,1 ⁴
Cálcio, g/kg	40,00	39,9	39,9	39,9
Sódio, g/kg	1,83	1,83	1,83	1,82
Fósforo disponível, g/kg	2,23	2,20	2,17	2,14
Lisina digestível, g/kg	7,46	7,21	6,95	6,70
Metionina digestível, g/kg	3,86	3,79	3,71	3,63
FDN, g/kg	114,5	127,5 ³ /125,3 ⁴	140,6 ³ /136,2 ⁴	153,6 ³ /147,0 ⁴
FDA, g/kg	39,3	44,3 ³ /44,4 ⁴	49,4 ³ /49,5 ⁴	54,4 ³ /54,6 ⁴

¹Suplemento vitamínico e mineral contendo por kg: Bacitracina de Zinco – 7000,00 mg, Fitase (*Aspergillus oryzae* DSM22594) – 75000,00 U, Metionina (mín.) – 182,50 g, Ác. Fólico (mín.) – 84,375 mg, Biotina (mín.) – 3,75 mg, Cobre (mín.) – 2.000,00 mg, Colina (mín.) – 63,00 g, Ferro (mín.) – 12,00 g, Iodo (mín.) – 225,00 mg, Ác. Pantotênico (mín.) – 1.687,50 mg, Manganês (mín.) – 16,25 g, Zinco (mín.) 12,50 g, Niacina (mín.) – 3.750,00 mg, Selênio (mín.) – 62,50 mg, Vit. A (mín.) – 1.875.000,00 UI, Vit. B1 (mín.) – 187,50 mg, Vit. B12 (mín.) – 1.875,00 mcg, Vit. B2 (mín.) – 562,50 mg, Vit. B6 (mín.) 243,75 mg, Vit. D3 (mín.) – 40.750,00 UI, Vit. E (mín.) – 1.800,00 UI, Vit. K3 (mín.) – 375,00 mg, B.H.T. 2.000,00 mg.

²EDE = enzimas digestivas exógenas de composição por grama: Alfa-Amilase 400U (IUB/EC 3.2.1.1); Beta-Glucanase 700U (IUB/EC 3.2.1.6); 6-Fitase 1.100 FTU (IUB/EC 3.1.3.26); Celulase 6.000U (IUB/EC 3.2.1.4); Xilanase 10.000U (IUB/EC 3.2.1.8) e Protease 700U (IUB/EC 3.4.21) (Endopower Gama; Uniquímica®).

³Capim-kikuyu: matéria seca (MS) = 953,0 g/kg; proteína bruta (PB) = 242,0 g/kg; fibra em detergente neutro (FDN) = 594,0 g/kg; fibra em detergente ácido (FDA) = 224,0 g/kg; EMAn = 1465,5 kcal/kg. Valores referentes aos resultados obtidos no experimento, com base na MS. ⁴Azevém: MS = 961,0 g/kg; PB = 209,0 g/kg; FDN = 513,0 g/kg; FDA = 224,0 g/kg; EMAn = 2289,4 kcal/kg. Valores referentes aos resultados obtidos no experimento, com base na MS.

3.2.3 Tempo de Passagem da Digesta

Antecedendo o início do período de coleta total de excretas, as aves foram mantidas em jejum por 3h e adicionado na ração óxido férrico a 0,1% (1g/Kg). O tempo de passagem da digesta foi contabilizado a partir do momento do fornecimento da ração até o aparecimento das excretas coradas de vermelho (Abdollahi *et al.*, 2019).

3.2.4 Coleta das Amostras e Análises

O início do período de coleta das excretas foi marcado pelo fornecimento da ração com adição do óxido férrico, ao final do período de coletas foi determinado consumo de ração. Para a coleta das excretas foram utilizadas bandejas de aço inoxidável revestidas com plástico colocadas abaixo das gaiolas. As coletas foram realizadas duas vezes ao dia às 8:00h e às 16:00h, para evitar fermentação e perdas de nutrientes. Durante os 4 dias do período de coleta, as amostras de excretas, de cada gaiola, foram armazenadas em freezer a temperatura de -20°C. Para as análises das excretas, as amostras foram descongeladas em temperatura ambiente, homogeneizadas e separada uma amostra de 300 gramas de cada unidade experimental para a pré-secagem em estufa de ventilação forçada a 60°C por 72 horas. Após a secagem, as amostras de excretas, das dietas experimentais e dos alimentos testes foram moídas em moinho faca tipo Wiley com peneira de 1,0 mm e mantidas refrigeradas a 4°C até as análises laboratoriais.

O capim-kikuyu, o azevém anual, as amostras de excretas e as dietas experimentais dos experimentos com o capim-kikuyu (Tabela 3) e com o azevém anual (Tabela 4) foram analisados de acordo com metodologias descritas pela AOAC (2023). A matéria seca (MS) foi realizada em estufa 105°C (método 930.15; AOAC, 2023). O nitrogênio (N) foi determinado pelo método de combustão através do analisador Leco AC500 (Leco Corp., St. Joseph, MI) usando EDTA para a calibração, a proteína bruta (PB) foi obtida pela multiplicação do teor de N por 6,25. A energia bruta (EB) foi determinada utilizando bomba calorimétrica (IKA® C200) calibrada com ácido benzóico. A fibra em detergente neutro (FDN) e ácido (FDA), foram determinadas com analisador de fibra ANKOM200 (método 973.18; AOAC, 2023). As amostras foram incineradas a 550°C por 4h para obtenção das cinzas (método 923.03; AOAC, 2023).

A análise de extrato etéreo (EE) foi realizada no capim-kikuyu e no azevém anual através de extração com éter de petróleo (método 920.39; AOAC, 2023).

Tabela 3. Composição química e energia bruta das dietas experimentais com substituição do capim-kikuyu.

Item, %	Dieta referência	Dietas testes		
	0 g/kg	30 g/kg	60 g/kg	90 g/kg
MS	89,1	89,5	89,8	90,0
PB	24,9	25,7	25,1	25,1
FDN	19,1	19,0	22,1	23,6
FDA	3,3	3,9	4,5	5,3
Cinzas	17,0	16,3	16,5	16,7
EB, kcal/kg	3924,0	4038,3	4041,3	4011,0

Tabela 4. Composição química e energia bruta das dietas experimentais com substituição do azevém anual.

Item, %	Dieta referência	Dietas testes		
	0 g/kg	30 g/kg	60 g/kg	90 g/kg
MS	90,5	90,7	90,9	91,4
PB	15,3	14,1	14,4	14,1
FDN	17,9	19,9	24,2	24,9
FDA	2,5	3,2	4,3	4,6
Cinzas	17,3	15,9	15,6	16,4
EB, kcal/kg	3965,3	4028,5	4081,8	4107,0

3.2.5 Cálculos da Energia Metabolizável e dos Nutrientes Digeridos

A EMA das dietas experimentais foram determinadas pela equação de Matterson *et al.* (1965) em que $EMA \text{ (kcal/kg, MS)} = (EB_{ing} - EB_{excr}) \div MS_{ing}$, sendo EB_{ing} o produto da matéria seca ingerida (MS_{ing}) pela EB da dieta e a EB_{excr} o produto da quantidade de excretas produzidas pela EB da excreta. O valor de EMA foi corrigido para a retenção de N igual a zero através do fator de correção de 8,22kcal/kg (Hill & Anderson, 1958), através da equação $EMA_n = EMA - (8.22 \times N_{ret})$, N_{ret} é a quantidade

de nitrogênio retido, obtido através da subtração da quantidade de nitrogênio ingerido pela dieta (N_{ing}) e a quantidade presente nas excretas (N_{exc}). A EMA pode ser padronizada para o balanço de N positivo (EMA_p), já que poedeiras retêm 50% do N ingerido (Cozannet *et al.*, 2010), sendo $EMA_p = EMA - [8,22 \times (N_{ing} - 0,5 \times N_{ing})]$.

A DT foi composta pela DR e pela inclusão do alimento teste em substituição aos ingredientes fornecedores de energia, de modo que a EB da DT é equivalente a soma da DR e do alimento teste ($EB_{dt} = EB_{dr} + EB_{at}$), sendo P_{dr} e P_{at} a proporção de EB na DT proveniente da DR e do alimento teste, respectivamente, tem-se $P_{dr} + P_{at} = 1$ (Zhang & Adeola, 2017). Para calcular a EMA do alimento teste (EMA_{at}) presume-se que: $EMA_{dt} = (EMA_{dr} \times P_{dr}) + (EMA_{at} \times P_{at})$ fazendo $P_{dr} = 1 - P_{at}$, obtêm-se: $EMA_{at} = EMA_{dr} + [(EMA_{dt} - EMA_{dr}) \div P_{at}]$. P_{at} foi obtido por: $P_{at} = [(Nível \ de \ substituição \ alimento \times MS_{at} \div 100) \times EB_{at}] \div EB_{dt}$. MS_{at} é a matéria seca do alimento, EB_{at} e EB_{dt} são a EB do alimento e da dieta teste, respectivamente. Os nutrientes digeridos (ND) foram calculados pela seguinte equação (Potter *et al.*, 1962): $ND \ (g, \ MS) = (Nut_{ing} - Nut_{excr}) \div MS_{ing}$, Nut_{ing} refere-se ao nutriente ingerido através da dieta e Nut_{excr} a quantidade do nutriente excretado, o nutriente digerido do alimento teste (ND_{at}) foi obtido por: $ND_{at} = ND_{dr} + [(ND_{dt} - ND_{dr}) \div P_{nat}]$, sendo P_{nat} a proporção do nutriente proveniente da inclusão do alimento na respectiva DT. Os coeficientes de digestibilidade (CD) dos nutrientes ou da energia foram calculados por: $CD \ (\%, \ MS) = (A_d \div A_c) \times 100$. Sendo A_d a porção do nutriente digerido ou energia obtida das dietas ou do alimento e A_c se refere à composição do nutriente ou EB das dietas ou do alimento.

3.2.6 Análise Estatística

Os resultados da EMA, EMA_n , EMA_p , dos coeficientes de digestibilidade das dietas experimentais, das gramíneas avaliadas e o tempo de passagem da digesta foram analisados por ANOVA de dois fatores, sendo os níveis de inclusão da gramínea e as EDE os fatores avaliados, as médias foram comparadas através do teste de comparação múltipla de Tukey. Os dados foram analisados por regressão polinomial para determinar se a inclusão crescente das gramíneas possui efeito linear ou quadrático. E os resíduos foram testados quanto a normalidade pelo teste de Shapiro-Wilk.

Os valores da EMA, EMA_n, EMA_p e dos coeficientes de digestibilidade das gramíneas com e sem as enzimas digestivas exógenas foram obtidas utilizando procedimento de regressão linear. A quantidade de EMA, EMA_n e EMA_p consumida dos alimentos avaliados (kcal) foram regredidas pela quantidade da gramínea consumida (kg) em cada unidade experimental. Os coeficientes de digestibilidade foram obtidos pela regressão do nutriente digerido (g) contra a quantidade do nutriente consumido (g) em cada unidade experimental. Foram calculados coeficientes de digestibilidade para o azevém anual, o capim-kikuyu e a combinação de ambos os alimentos. Termos cujos resíduos apresentaram 3 desvios padrões foram removidos do procedimento de regressão linear.

As equações de predição da EMA_n e EMA_p para o azevém anual, o capim-kikuyu e a combinação de ambos os alimentos foram determinadas por regressão linear múltipla pelo método *stepwise*, sendo os fatores preditores das equações os nutrientes e energia consumidos e digeridos das gramíneas. Termos cujos resíduos apresentaram 3 desvios padrões foram removidos do procedimento de regressão linear. Somente as equações de regressão que apresentaram nível significativo foram representadas.

Os procedimentos estatísticos foram realizados através do Software IBM SPSS Statistics (Version 27.0), considerado o nível de significância de $P < 0,05$.

3.3 RESULTADOS

3.3.1 Experimento com o capim-kikuyu

A inclusão em níveis crescente do capim-kikuyu nas DT causou uma redução linear nos valores de EMA, EMA_n e EMA_p (Tabela 5) e ocorreu diferença entre os 4 níveis de inclusão (0, 30, 60 e 90g/kg) ($p < 0,001$). Porém, as EDE não apresentaram efeito significativo no valor de energia metabolizável das dietas ($p > 0,05$).

Os coeficientes de digestibilidade das dietas experimentais para a MS, PB, energia, FDN e FDA apresentaram redução linear conforme se aumentou o nível de inclusão do kikuyu ($p < 0,001$), e os coeficientes de digestibilidade apresentaram diferença significativa em relação ao nível de substituição com maiores valores para a MS e PB nos níveis de 0 e 30g/kg, e energia, FDN e FDA na substituição de 0g/kg

em comparação aos demais níveis ($p < 0,001$). Mas o aumento no nível de inclusão do kikuyu causou um efeito linear crescente na digestibilidade das cinzas com maior digestibilidade nos tratamentos com substituição do alimento ($p < 0,05$). Já as EDE melhoraram a utilização da PB e do FDN das dietas ($p < 0,05$).

Tabela 5. Efeitos de níveis crescentes de substituição do capim-kikuyu com utilização de EDE na EMA, digestibilidade aparente dos nutrientes, da energia e na passagem da digesta na dieta de poedeiras.

Item	Substituição Capim-kikuyu g/kg (K)				EDE (E) ¹		EPM ²	Valor-P			
	0	30	60	90	Sem	Com		K	E	L ³	Q ³
EMA, kcal/kg	3105,6 ^a	3062,42 ^b	3012,52 ^c	2941,19 ^d	3030,70	3030,2	9,39	<,001	,925	<,001	,015
EMA _n , kcal/kg	3024,5 ^a	2984,0 ^b	2934,3 ^c	2871,1 ^d	3058,0	2953,9	9,23	<,001	,474	<,001	,266
EMA _p , kcal/kg	3091,1 ^a	3050,1 ^b	2999,9 ^c	2932,6 ^d	3020,2	3016,7	9,86	<,001	,727	<,001	,857
Digestibilidade, %											
MS	79,32 ^a	78,85 ^a	76,70 ^b	75,31 ^c	77,56	77,53	0,27	<,001	,897	<,001	,032
Energia	79,24 ^a	77,65 ^b	75,80 ^c	73,77 ^d	76,58	76,65	0,31	<,001	,700	<,001	,234
PB	56,69 ^{ab}	56,93 ^a	54,62 ^c	55,60 ^{bc}	55,57	56,34	0,21	<,001	,020	<,001	,257
Cinzas	37,79 ^b	39,84 ^a	39,17 ^a	39,61 ^a	38,80	39,41	0,21	,001	,084	,004	,023
FDN	60,56 ^a	58,59 ^b	54,10 ^c	51,01 ^d	54,79	57,37	0,65	<,001	<,001	<,001	,197
FDA	26,69 ^a	23,48 ^b	20,00 ^c	19,63 ^c	23,02	21,88	0,59	<,001	,160	<,001	,082
Passagem da digesta, min	192,7 ^a	182,8 ^{ab}	182,5 ^{ab}	164,5 ^b	183,9	177,3	3,34	,024	,300	,004	,518

^{a-d}As médias em cada linha para cada fator com sobrescritos diferentes diferem significativamente pelo teste de Tukey ($P < 0.05$).

¹EDE = Enzimas digestivas exógenas.

²EPM = Erro padrão da média.

³Contraste linear (L) e quadrático (Q) para o Capim-kikuyu.

O tempo de passagem da digesta sofreu redução linear com o aumento do nível de substituição do capim-kikuyu ($p = 0,004$) e a EDE não apresentou efeito significativo no tempo de passagem da digesta, sendo que houve diferença estatística entre 0 e 90g/kg de substituição ($p < 0,05$).

Na Tabela 6 está representado os valores calculados de EMA e dos coeficientes de digestibilidade para o capim-kikuyu. O aumento no nível de substituição do capim-kikuyu apresentou uma redução linear nos valores de EMA, EMA_n e EMA_p ($p < 0,05$), com maiores valores obtidos para a substituição de 30g/kg em comparação ao nível de 90g/kg ($p < 0,05$) e a utilização da EDE aumentou o valor da EMA ($p < 0,05$).

O aumento da substituição do capim-kikuyu causou uma redução linear nos coeficientes de digestibilidade da MS e da energia ($p < 0,001$) e menores valores dos coeficientes de digestibilidade foram obtidos para o maior nível de substituição ($p < 0,001$). Entretanto, os coeficientes de digestibilidade da PB, cinzas e FDN apresentaram aumento linear conforme se aumentou o nível de substituição, com aumento na utilização desses componentes do alimento ($p < 0,05$). A EDE melhorou a

utilização da energia e do FDN ($p<0,05$). Porém, a digestibilidade do FDA não sofreu efeito do nível de substituição e da EDE ($p<0,05$).

Tabela 6. Valores de EMA e dos coeficientes de digestibilidade aparente dos nutrientes e da energia do capim-kikuyu obtidos em níveis crescentes de substituição com utilização de EDE para poedeiras.

Item	Substituição Capim-kikuyu g/kg (K)			EDE (E) ¹			Valor - P			
	30	60	90	Sem	Com	EPM ²	K	E	L ³	Q ³
EMA, kcal/kg	2007,2 ^a	1770,9 ^a	1482,0 ^b	1642,8	1864,1	58,41	<,001	,015	<,001	,775
EMA _n , kcal/kg	1758,1 ^a	1614,3 ^{ab}	1438,8 ^b	1556,3	1651,2	49,60	,020	,286	,006	,866
EMA _p , kcal/kg	1807,7 ^a	1665,3 ^{ab}	1451,5 ^b	1553,8	1729,1	52,54	,009	,055	,002	,704
Digestibilidade, %										
MS	54,94 ^a	46,93 ^b	43,73 ^b	51,59	52,13	2,05	<,001	,868	<,001	,028
Energia	44,41 ^a	39,18 ^a	32,80 ^b	36,35	41,25	1,30	<,001	,015	<,001	,775
PB	43,01 ^b	53,32 ^a	58,90 ^a	49,94	53,55	2,00	,002	,278	<,001	,501
Cinzas	37,97 ^b	40,81 ^b	59,20 ^a	45,41	46,58	2,79	<,001	,780	<,001	,088
FDN	20,92 ^b	24,08 ^a	23,75 ^a	21,39	24,45	0,60	,011	,002	,013	,070
FDA	6,23	5,00	6,22	5,35	6,28	0,28	,125	,098	,980	,043

^{a-b}As médias em cada linha para cada fator com sobrescritos diferentes diferem significativamente pelo teste de Tukey ($P < 0,05$).

¹EDE = Enzimas digestivas exógenas.

²EPM = Erro padrão da média.

³Contraste linear (L) e quadrático (Q) para o Capim-kikuyu.

Na Figura 1 estão representados a regressão da quantidade de EMAn e EMAp consumida (kcal) pela quantidade do capim-kikuyu consumido (kg) em cada unidade experimental.

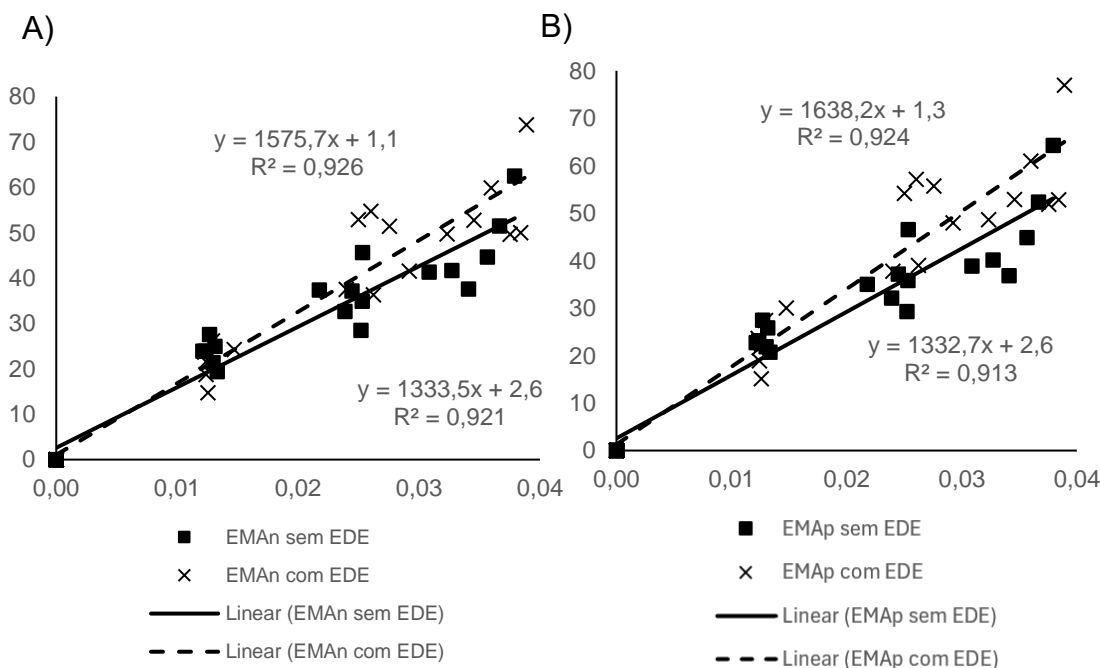


Figura 1. Regressão da quantidade de energia consumida do capim-kikuyu (Y, kcal) contra a quantidade consumida (X, kg) na matéria seca. A) EMAn sem EDE = $1333,5x + 2,6$, $R^2 = 0,921$; EMAn com EDE = $1575,7x + 1,1$, $R^2 = 0,926$. B) EMAp sem EDE = $1332,7x + 2,6$, $R^2 = 0,913$; EMAp com EDE = $1638,2x + 1,3$, $R^2 = 0,924$.

Tabela 7. Coeficientes angulares e interceptos das equações de regressão da EMA, EMAn e EMAp do capim-kikuyu com utilização de EDE para poedeiras.

Item	EDE ¹	Coeficiente angular, kcal/kg	Intercepto, kcal	N	R ²	DPR ²	Valor - P		
							Coeficiente angular	Intercepto	Regressão
EMA	Sem	1371,8 (98,7) ³	3,2 (2,2)	24	,898	6,15	<,001	,162	<,001
EMA	Com	1675,9 (109,58)	2,5 (2,56)	24	,914	7,24	<,001	,342	<,001
EMAn	Sem	1333,5 (83,54)	2,6 (1,85)	24	,921	6,02	<,001	,174	<,001
EMAn	Com	1575,7 (95,21)	1,06 (2,23)	24	,926	6,29	<,001	,639	<,001
EMAp	Sem	1332,7 (87,59)	2,57 (1,94)	24	,913	5,46	<,001	,200	<,001
EMAp	Com	1638,2 (99,99)	1,29 (2,34)	24	,924	6,60	<,001	,588	<,001
EMAn	Pool	1465,5 (66,59)	1,69 (1,52)	48	,913	6,12	<,001	,272	<,001
EMAp	Pool	1500,0 (72,98)	1,7 (1,66)	48	,902	6,71	<,001	,303	<,001

¹EDE = enzimas digestivas exógenas. ²DPR = desvio padrão do resíduo. ³Valores em parênteses são o erro padrão.

Os valores obtidos para a EMA, EMAn e EMAp foram obtidos por regressão e se referem aos coeficientes angulares das equações presentes na Tabela 7. Os valores da EMAn e EMAp obtidos sem a utilização da EDE foram de 1333,5 e 1332,7 kcal/kg, respectivamente, e com a utilização da EDE foi de 1575,7 e 1638,2 kcal/kg, respectivamente. Já os valores obtidos pela combinação dos resultados sem e com a EDE para a EMAn e EMAp foram de 1465,5 e 1500,0kcal/kg, respectivamente.

3.3.2 Experimento com o azevém anual

A inclusão em níveis crescente do azevém anual nas dietas testes causou uma redução linear nos valores de EMA, EMAn e EMAp ($p<0,001$) (Tabela 8) e ocorreu diferença entre os níveis de inclusão (0, 30, 60 e 90g/kg) com menores valores de EM obtidos para a substituição de 90g/kg, porém não houve diferença significativa entre a substituição de 0 e 30g/kg. A EDE apresentou efeito significativo, reduzindo a utilização da energia das dietas ($p>0,05$), entretanto a proporção de redução foi reduzida com 0,41, 0,42 e 0,36% para EMA, EMAn e EMAp, respectivamente.

Os coeficientes de digestibilidade das dietas experimentais para a MS, energia e FDN apresentaram redução linear conforme se aumentou o nível de inclusão do

azevém ($p<0,05$). Mas o aumento no nível de inclusão do azevém causou um efeito linear crescente na digestibilidade da PB ($p<0,05$).

Tabela 8. Efeitos de níveis crescentes de substituição do azevém anual com utilização de EDE na EMA, digestibilidade aparente dos nutrientes, da energia e na passagem da digesta na dieta de poedeiras.

Item	Substituição Azevém g/kg (K)				EDE (E) ¹			Valor-P			
	0	30	60	90	Sem	Com	EPM ²	A	E	L ³	Q ³
EMA, kcal/kg	3129,8 ^a	3112,9 ^a	3087,3 ^b	3053,2 ^c	3102,2	3089,4	5,09	<,001	,036	<,001	,155
EMA _n , kcal/kg	3097,2 ^a	3081,5 ^a	3058,6 ^b	3023,8 ^c	3071,7	3058,8	4,86	<,001	,023	<,001	,849
EMA _p , kcal/kg	3141,8 ^a	3120,8 ^a	3098,2 ^b	3060,8 ^c	3111,0	3099,8	5,14	<,001	,048	<,001	,587
Digestibilidade, %											
MS	78,73 ^a	78,03 ^{ab}	76,85 ^{bc}	75,64 ^c	77,41	77,21	0,24	<,001	,574	<,001	,468
Energia	78,93 ^a	77,81 ^b	76,65 ^c	75,31 ^d	77,41	76,95	0,21	<,001	,005	<,001	,470
PB	35,66 ^d	38,17 ^c	40,82 ^{ab}	42,81 ^a	38,70	40,03	0,51	<,001	,043	<,001	,674
Cinzas	44,10 ^b	46,99 ^{ab}	47,59 ^a	45,32 ^{ab}	45,52	46,49	0,37	,002	,141	,158	<,001
FDN	58,29	58,70	56,06	56,68	56,65	58,22	0,44	,069	,055	,041	,895
FDA	15,40	14,53	13,49	15,53	14,57	14,91	0,57	,581	,773	,898	,216
Passagem da digesta, min	206,8 ^a	179,8 ^{ab}	188,4 ^{ab}	170,9 ^b	187,0	186,0	3,98	,011	,885	,005	,528

^{a-d}As médias em cada linha para cada fator com sobrescritos diferentes diferem significativamente pelo teste de Tukey ($P < 0,05$).

¹EDE = Enzimas digestivas exógenas

²EPM = Erro padrão da média

³Contraste linear (L) e quadrático (Q) para o Azevém

Porém, a digestibilidade de cinzas das dietas apresentou efeito quadrático em relação ao nível de substituição ($p<0,05$), sendo que o maior valor de digestibilidade das cinzas foi obtido para o nível de 60g/kg em comparação a 0g/kg. Além disso, os coeficientes de digestibilidade apresentaram diferença significativa em relação ao nível de inclusão do alimento para a MS, energia, PB e cinzas ($p<0,05$). A MS apresentou menor digestibilidade com a substituição de 60 e 90g/kg em comparação ao nível de 0g/kg ($p<0,001$).

A utilização da energia apresentou diferença entre os 4 níveis de substituição, com maior valor de digestibilidade com 0g/kg de substituição ($p<0,001$). Já as EDE alteraram a utilização da energia e aumento na digestibilidade da PB das dietas ($p<0,05$). Os coeficientes de digestibilidade FDN e do FDA não sofreram efeitos do nível de substituição e da EDE ($p>0,05$).

O tempo de passagem da digesta sofreu redução linear com o aumento do nível de substituição do azevém ($p = 0,005$) e a EDE não apresentou efeito significativo no tempo de passagem da digesta. O maior nível de substituição apresenta menor tempo de passagem da digesta em comparação ao nível de 0g/kg ($p<0,05$).

Na Tabela 9 está representado os valores calculados de EMA e dos coeficientes de digestibilidade para o azevém anual. O aumento no nível de substituição do azevém apresentou uma redução linear nos valores de EMA, EMA_n e EMA_p ($p < 0,05$), com maiores valores obtidos para a substituição de 30g/kg em comparação ao nível de 90g/kg ($p < 0,05$), porém a EMA_p entre os níveis de substituição não apresentou diferença significativa pelo teste de Tukey ($p > 0,05$) e a utilização da EDE aumentou o valor da EMA_p ($p = 0,021$).

Tabela 9. Valores de EMA e dos coeficientes de digestibilidade aparente dos nutrientes e da energia do azevém anual obtidos em níveis crescentes de substituição com utilização de EDE para poedeiras.

Item	Substituição Azevém g/kg (A)			EDE (E) ¹			Valor - P			
	30	60	90	Sem	Com	EPM ²	A	E	L ³	Q ³
EMA, kcal/kg	2559,1 ^a	2446,5 ^{ab}	2319,9 ^b	2421,5	2462,2	29,24	,003	,431	<,001	,898
EMA _n , kcal/kg	2438,9 ^a	2412,6 ^{ab}	2280,4 ^b	2380,8	2373,9	28,31	,037	,893	,017	,337
EMA _p , kcal/kg	2444,8	2438,9	2284,3	2322,6	2456,1	33,75	,037	,021	,023	,211
Digestibilidade, %										
MS	59,67 ^a	48,79 ^{ab}	46,77 ^b	51,39	52,10	1,91	,012	,841	,006	,241
Energia	55,78 ^a	53,32 ^{ab}	50,56 ^b	52,78	53,67	0,64	,003	,431	<,001	,898
PB	43,66 ^{ab}	40,68 ^b	48,84 ^a	44,34	44,45	1,14	,042	,966	,107	,047
Cinzas	43,67 ^b	49,96 ^{ab}	57,60 ^a	47,42	53,40	1,65	,005	,074	,001	,846
FDN	62,66 ^a	55,14 ^b	54,63 ^b	53,85	61,11	1,59	,046	,014	,025	,235
FDA	3,59	4,55	4,40	3,99	4,37	0,26	,308	,492	,245	,337

^{a-b}As médias em cada linha para cada fator com sobrescritos diferentes diferem significativamente pelo teste de Tukey ($P < 0,05$).

¹EDE = Enzimas digestivas exógenas.

²EPM = Erro padrão da média.

³Contraste linear (L) e quadrático (Q) para o Azevém.

O aumento da substituição do azevém causou uma redução linear nos coeficientes de digestibilidade da MS, energia e FDN ($p < 0,05$) e menores valores dos coeficientes de digestibilidade foram obtidos para o maior nível de substituição em comparação ao menor ($p < 0,05$). Entretanto, o coeficiente de digestibilidade das cinzas apresentou aumento linear conforme se aumentou o nível de substituição ($p < 0,05$). A EDE apresentou efeito na digestibilidade do FDN ($p < 0,05$). Porém, os coeficientes de digestibilidade do FDA não sofreram efeito do nível de substituição e da EDE ($p < 0,05$) e a PB apresenta efeito quadrático do alimento, com menor valor de digestibilidade no nível de 60 em comparação a 90g/kg ($p < 0,05$).

Na Figura 2 estão representados a regressão da quantidade de EMA_n e EMA_p consumida (kcal) pela quantidade do azevém consumido (kg) em cada unidade experimental. Os valores obtidos para a EMA, EMA_n e EMA_p foram obtidos por

regressão e se referem aos coeficientes angulares das equações presentes na Tabela 10.

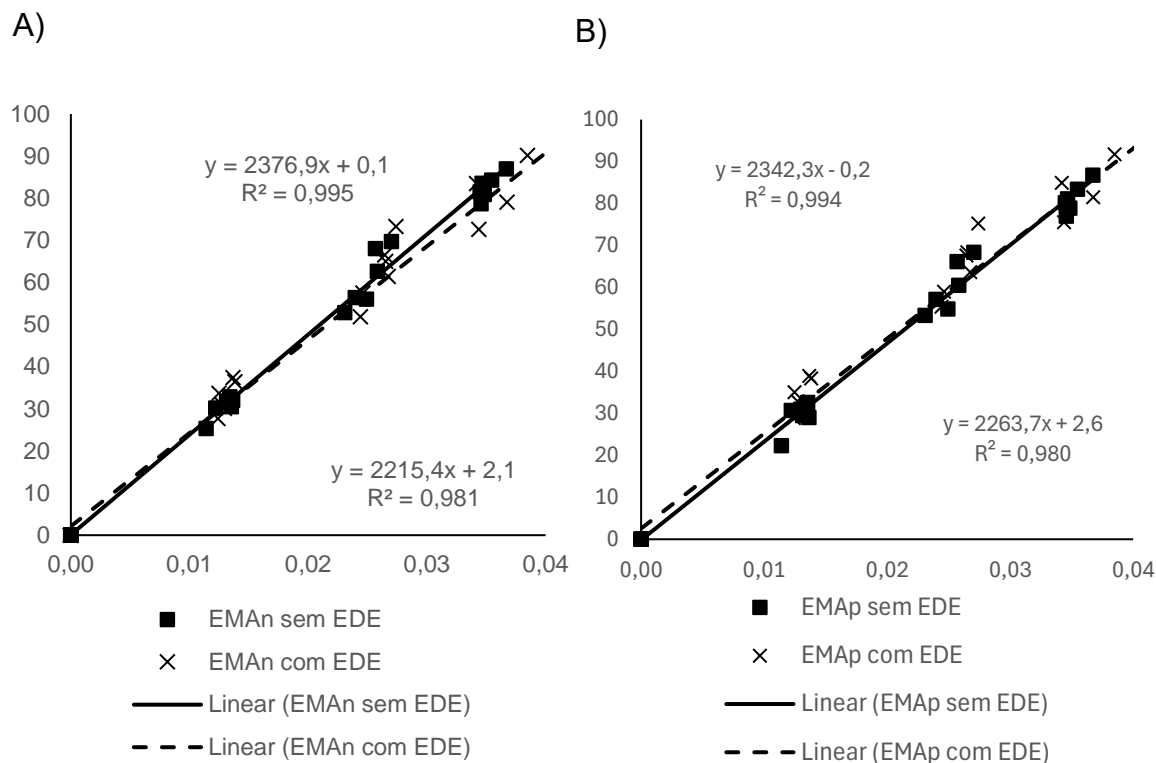


Figura 2. Regressão da quantidade de energia consumida do azevem anual (Y, kcal) contra a quantidade consumida (X, kg) na matéria seca. A) EMAn sem EDE = $2376,9x + 0,1$, $R^2 = 0,995$; EMAn com EDE = $2215,4x + 2,1$, $R^2 = 0,981$. B) EMAp sem EDE = $2342,3x - 0,2$, $R^2 = 0,994$; EMAp com EDE = $2263,7x + 2,6$, $R^2 = 0,980$.

Os valores de EMAn e EMAp obtidos sem a utilização da EDE foram de 2376,9 e 2324,3 kcal/kg, respectivamente, e com a utilização da EDE foi de 2215,4 e 2263,7 kcal/kg, respectivamente. Já os valores obtidos pela combinação dos resultados sem e com a EDE para a EMAn e EMAp foram de 2289,4 e 2301,7 kcal/kg, respectivamente.

3.3.3 Coeficientes de Digestibilidade dos Nutrientes e da Energia

Os coeficientes de digestibilidade do capim-kikuyu e do azevém anual foram calculados através de equações de regressão linear, sendo representado pelos coeficientes angulares (Tabela 11). O valor-p das regressões e dos coeficientes angulares foram $p < 0,001$. Foram realizadas regressões sem e com a utilização da EDE para energia (Eq. 1.1 e 1.2) e FDN (Eq. 10.1 e 10.2) do capim-kikuyu, e para o

FDN (Eq. 11.1 e 11.2) do azevém, pois, os seus coeficientes de digestibilidade apresentaram diferença significativa pela utilização da EDE. Foi realizado a combinação (pool) dos valores com e sem a enzima do capim-kikuyu e do azevém anual, assim como a combinação de ambas as gramíneas para obtenção dos coeficientes da energia, MS, PB, FDN, FDA e cinzas. Os valores dos coeficientes de digestibilidade do capim-kikuyu pelo pool da EDE foi de 0,423, 0,600, 0,059 e 0,582 para a MS, PB, FDA e cinzas, respectivamente, e o pool do azevém anual foi de 0,507, 0,482, 0,477, 0,045 e 0,577 para a energia, MS, PB, FDA e cinzas, respectivamente. Somente as equações 4 e 18 apresentaram intercepto com $p < 0,05$.

Tabela 10. Coeficientes angulares e interceptos das equações de regressão da EMA, EMAn e EMAp do azevém anual com utilização de EDE para poedeiras.

Item	EDE ¹	Coeficiente angular, Kcal/kg	Intercepto, Kcal	N	R ²	DPR ²	Valor - P		
							Coeficiente angular	Intercepto	Regressão
EMA	Sem	2337,2 (39,84) ³	1,0 (0,89)	24	,994	2,51	<,001	,258	<,001
EMA	Com	2316,1 (63,07)	1,9 (1,50)	24	,984	4,27	<,001	,211	<,001
EMAn	Sem	2376,9 (36,4)	0,1 (0,82)	24	,995	2,30	<,001	,911	<,001
EMAn	Com	2215,4 (65,49)	2,1 (1,56)	24	,981	4,44	<,001	,190	<,001
EMAp	Sem	2342,3 (38,26)	- 0,2 (0,86)	24	,994	2,41	<,001	,845	<,001
EMAp	Com	2263,7 (68,37)	2,56 (1,63)	24	,980	4,63	<,001	,130	<,001
EMAn	Pool	2289,4 (39,51)	1,2 (0,92)	48	,986	3,70	<,001	,199	<,001
EMAp	Pool	2301,7 (39,99)	1,2 (0,93)	48	,986	3,75	<,001	,202	<,001

¹EDE = enzimas digestivas exógenas. ²DPR = desvio padrão do resíduo. ³Valores em parênteses são o erro padrão (EP).

3.3.4 Equações de Predição da Energia Metabolizável

As equações de predição da EMAn e EMAp estão representadas na Tabela 12. As equações para o capim-kikuyu (nº 19, 20, 21 e 22) apresentaram menores valores de R², com valores de 0,771 e 0,744 para a EMAn e EMAp, respectivamente, e maiores desvios dos resíduos (DPR) em comparação as equações do azevém (nº 23, 24, 25 e 26), já que ocorreu maior variação nos valores de EMA do capim-kikuyu nos níveis de substituição avaliados (30, 60 e 90g/kg). Os preditores utilizados na regressão foram a energia e nutrientes consumidos e digeridos das gramíneas. Os nutrientes digeridos foram calculados a partir dos coeficientes e equações presentes na Tabela 11, através do produto do coeficiente angular da equação pela energia (kcal/kg) para

obtenção da EB digerida (EBd) ou pelo produto dos nutrientes das gramíneas (g/kg), com base na MS. As equações formadas pelo pool das duas gramíneas que apresentam dois preditores possuem maior valor de R^2 , como as equações 27.2 e 28.2 ($R^2 = 0,929$) para a EMAn e as equações 30.2 e 32.2 ($R^2 = 0,918$) para a EMAp. As equações 27.2 e 30.2 utilizam como preditores a EB da gramínea e a sua composição de FDA. Já as equações 28.2 e 32.2 utilizam a EBd que foi obtida pelo coeficiente da equação 3 ($0,459 \times EB$) e a MS digerida pelo coeficiente da equação 6 ($0,453 \times MS, 60^\circ C$). As equações 29.1 e 31, para a EMAn e EMAp, respectivamente, utilizam como preditor o EE. A equação 29.2 para o cálculo da EMAn possui o EE e as cinzas digeridas (Cinzasd) como preditores, a Cinzasd foi obtida pela equação 18, com base na concentração de cinzas das gramíneas.

Tabela 11. Equações de regressão dos coeficientes de digestibilidade da energia e nutrientes do capim-kikuyu e do azevém anual para poedeiras com utilização de EDE.

do capim kikuyu e do azevém andar para pastagens com utilização do EDE.										
Item	Alimento	EDE ¹	nº	Equação	N	R ²	DPR ²	Valor - P		
								Coeficiente angular	Intercepto	Regressão
Energia	Capim-kikuyu	Sem	1.1	Y = 0,304 [EB] + 31,7	24	,898	61,48	<,001	,162	<,001
		Com	1.2	Y = 0,371 [EB] + 24,9	24	,914	72,36	<,001	,342	<,001
	Pool	1.3	Y = 0,342 [EB] + 24,7	48	,893	73,13	<,001	,167	<,001	
	Azevém	Pool	2	Y = 0,507 [EB] + 14,9	48	,988	34,82	<,001	,091	<,001
	Pool	Pool ³	3	Y = 0,459 [EB] + 11,3	71	,901	93,90	<,001	,552	<,001
MS	Capim-kikuyu	Pool	4	Y = 0,423 [MS] + 1,4	48	,871	2,20	<,001	,016	<,001
	Azevém	Pool	5	Y = 0,482 [MS] + 0,3	48	,850	2,79	<,001	,632	<,001
	Pool	Pool	6	Y = 0,453 [MS] + 0,8	96	,855	2,54	<,001	,060	<,001
PB	Capim-kikuyu	Pool	7	Y = 0,600 [PB] - 0,3	48	,914	0,60	<,001	,104	<,001
	Azevém	Pool	8	Y = 0,477 [PB] - 0,1	48	,912	0,43	<,001	,362	<,001
	Pool	Pool	9	Y = 0,518 [PB] - 0,1	91	,921	0,45	<,001	,102	<,001
FDN	Capim-kikuyu	Sem	10.1	Y = 0,205 [FDN] + 0,7	24	,973	0,27	<,001	,458	<,001
		Com	10.2	Y = 0,274 [FDN] – 0,2	24	,960	0,47	<,001	,220	<,001
		Pool	10.3	Y = 0,242 [FDN] – 0,1	48	,933	0,52	<,001	,481	<,001
	Azevém	Sem	11.1	Y = 0,528 [FDN] – 0,1	24	,960	0,80	<,001	,881	<,001
		Com	11.2	Y = 0,607 [FDN] + 0,1	24	,944	1,02	<,001	,790	<,001
		Pool	11.3	Y = 0,563 [FDN] + 0,1	48	,935	1,05	<,001	,805	<,001
		Pool	Pool ⁴	12	Y = 0,356 [FDN] + 0,5	48	,599	2,60	<,001	,477
FDA	Capim-kikuyu	Pool	13	Y = 0,059 [FDA] – 0,01	46	,903	0,06	<,001	,712	<,001
	Azevém	Pool	14	Y = 0,045 [FDA] – 0,01	45	,741	0,08	<,001	,868	<,001
	Pool	Pool	15	Y = 0,054 [FDA] – 0,01	90	,835	0,07	<,001	,512	<,001
Cinzas	Capim-kikuyu	Pool	16.3	Y = 0,582 [Cinzas] – 0,2	48	,814	0,37	<,001	,094	<,001
	Azevém	Pool	17	Y = 0,577 [Cinzas] – 0,1	48	,911	0,24	<,001	,137	<,001
	Pool	Pool	18	Y = 0,579 [Cinzas] - 0,1	96	,858	0,31	<,001	,026	<,001

¹EDE = enzimas digestivas exógenas. ²DPR = desvio padrão do resíduo. ³Pool do azevém com e sem EDE e do capim-kikuyu sem EDE. ⁴Pool do azevém e do capim-kikuyu sem EDE. EB = energia bruta; MS = matéria seca; PB = proteína bruta; FDN = fibra em detergente neutro; FDA = fibra em detergente ácido.

Tabela 12. Equações de regressão para EMA_n e EMA_p (kcal/kg, MS) a partir da energia bruta (kcal/kg, MS) e dos nutrientes (g/kg, MS) do capim-kikuyu e do azevém anual.

Alimento	nº	Equação	N	R ²	DPR ¹	Valor - P Regressão
Capim-kikuyu	19	EMA _n = 0,290 [EB] (0,03) + 6,053 (3,22)	36	,771	6,84	<,001
	20	EMA _n = 9,029 [PBd] ² (0,85) + 6,053 (3,22)	36	,771	6,83	<,001
	21	EMA _p = 1,341 [MS] (0,14) + 6,209 (3,55)	36	,744	7,53	<,001
	22	EMA _p = 3,170 [MSd] ³ (0,32) + 1,770	36	,744	7,53	<,001
Azevém	23	EMA _n = 22,803 [Cinzas] (0,74) + 4,221 ^x (1,91)	36	,965	4,09	<,001
	24	EMA _n = 0,939 [EBd] ⁴ (0,03) + 4,221 ^x (1,91)	36	,965	4,09	<,001
	25	EMA _p = 2,195 [MS] (0,07) + 4,251 ^x (1,93)	36	,965	4,14	<,001
	26	EMA _p = 217,414 [FDA] ⁵ (7,15) + 4,251 ^x (1,93)	36	,965	4,13	<,001
Pool	27.1	EMA _n = 0,396 [EB] (0,03) + 3,857 (3,9)	72	,683	5,60	<,001
	27.2	EMA _n = 15,979 [EB] (1,0) – 317,095 [FDA] (20,5) + 5,128 ^x (1,86)	72	,929	5,60	<,001
	28.1	EMA _n = 0,862 [EBd] ⁶ (0,07) + 3,857 (3,9)	72	,683	5,60	<,001
	28.2	EMA _n = 25,731 [EBd] ⁶ (1,6) – 114,868 [MSd] ⁷ (7,42) + 5,128 ^x (1,9)	72	,929	5,60	<,001
	29.1	EMA _n = 63,449 [EE] (2,2) + 3,561 ^x (1,7)	72	,926	5,60	<,001
	29.2	EMA _n = 69,693 [EE] (4,1) – 4,294 ^y [Cinzasd] ⁸ (2,4) + 4,613 ^x (1,9)	72	,929	5,60	<,001
	30.1	EMA _p = 0,40 [EB] (0,01) + 3,99 (3,87)	72	,689	6,04	<,001
	30.2	EMA _p = 15,511 [EB] (1,1) – 307,492 [FDA] (22,1) + 5,221 ^x (2,0)	72	,918	6,04	<,001
	31	EMA _p = 63,511 [EE] (2,3) + 4,13 ^x (1,8)	72	,917	6,10	<,001
	32.1	EMA _p = 0,872 [EBd] ⁶ (0,07) + 3,99 (3,88)	72	,689	6,04	<,001
	32.2	EMA _p = 24,988 [EBd] ⁶ (1,73) – 111,389 [MSd] ⁷ (8,01) + 5,22 ^x (2,00)	72	,918	6,04	<,001

^xinterceptos com p<,05. Valor-p dos coeficientes angulares são p <,001. ^yCoefficiente angular com p = ,077.

Valores em parênteses são erro padrão. ¹DPR = desvio padrão do resíduo. EB = energia bruta; EBd = EB digerida; PBd = proteína bruta digerida; MS = matéria seca; MSd = MS digerida; FDA = fibra em detergente ácido; FDAAd = FDA digerido; EE = extrato etéreo; Cinzasd = Cinzas digeridas.

²Calculado pelo produto da PB do capim-kikuyu pelo coeficiente da eq.7. ³Calculado pela eq.4 com a MS (60°C) do capim-kikuyu. ⁴Calculado pelo produto da EB do azevém pelo coeficiente da eq.2. ⁵Calculado pelo produto do FDA do azevém pelo coeficiente da eq.14. ⁶Calculado pelo produto da EB da gramínea pelo coeficiente da eq.3.

⁷Calculado pelo produto da MS (60°C) da gramínea pelo coeficiente da eq.6. ⁸Calculado pelo produto das cinzas da gramínea pela eq.18.

3.4 DISCUSSÃO

3.4.1 Efeitos da Fibra e das EDE na Digestibilidade da Energia e Nutrientes das Dietas

Devido aos efeitos provocados pela fibra no trato gastrointestinal (TGI) das aves, foi realizada uma pré-adaptação das poedeiras com 30g/kg de gramíneas secas por 4 semanas. Alimentos ricos em fibras insolúveis causam, principalmente, a adaptação da moela (Abdollahi *et al.*, 2019), o aumento das secreções digestivas (Yokhana *et al.*, 2016) e a adaptação do ceco em tamanho e atividade fermentativa pela microbiota cecal (Röhe *et al.*, 2020). Dessa forma, o desenvolvimento do TGI pode evitar a subestimação dos valores nutricionais das gramíneas.

Os resultados do experimento demonstram os efeitos de níveis crescentes de substituição com alimentos ricos em fibras insolúveis, como o capim-kikuyu e o azevém anual em relação à utilização da energia e nutrientes nas dietas de poedeiras (Tabela 5 e 8). De maneira similar, ocorreu uma redução linear nos valores de EMA e na digestibilidade da MS, energia e do FDN conforme se aumentou o nível de substituição das gramíneas. Isso ocorreu devido à maior composição de FDN e FDA nas dietas experimentais, provenientes do capim-kikuyu (59,4% de FDN e 22,4% de FDA) e do azevém anual (51,3% de FDN e 22,4% de FDA). Esses resultados evidenciam os efeitos antinutricionais da fibra alimentar na dieta das poedeiras, já que as aves possuem capacidade limitada de digestão de PNA's pela ausência da produção de enzimas digestivas endógenas capazes de hidrolisar as ligações beta presentes nas cadeias de carboidratos (Raza *et al.*, 2019), associado a um reduzido tempo de passagem da digesta e cecos relativamente curtos, o que limita a capacidade de digestão dos PNAs pela microbiota cecal (De Vries *et al.*, 2012).

O tempo de passagem da digesta reduziu de modo linear pelo aumento do nível de substituição das gramíneas, com menor tempo de passagem no nível de 90g/kg em comparação à DR em ambas as gramíneas. Essa redução foi de 17% e 21% nos experimentos com o capim-kikuyu e o azevém, respectivamente. Esse resultado está diretamente relacionado com os menores valores de EMA e digestibilidade da energia e da MS, no nível de 90g/kg, já que a digesta teve menor tempo de passagem pelo TGI, interferindo na ação das enzimas digestivas secretadas pelas aves e na absorção

intestinal. Além disso, o nível de inclusão pode interferir no tempo de passagem da digesta, já que os níveis de 30 e 60g/kg não diferiram da DR, assim como observado por Abdollahi *et al.* (2019), em que a inclusão de 30g/kg de alimentos ricos em fibras insolúveis para frangos de corte não alterou o tempo de passagem.

Os experimentos foram realizados com poedeiras em idades diferentes, sendo que no experimento com o azevém as poedeiras tinham idade (95 vs. 72 semanas) e peso médio (1,925 vs. 1,850) superior em comparação ao experimento com o capim-kikuyu. A digestibilidade do FDN não sofreu efeito do nível de substituição no experimento com o azevém e a redução na digestibilidade da energia entre a DR e 90g/kg foi de 4,8%. No experimento com o capim-kikuyu essa redução foi maior com 7,4%, ocorrendo uma redução linear da digestibilidade do FDN. Os valores do erro padrão da média (EPM) da EMA, digestibilidade da MS, energia, FDN e FDA foram maiores no experimento com o capim-kikuyu. Esses resultados podem indicar que a digestibilidade da fibra e utilização da energia podem estar relacionados com a maior composição de FDN do capim-kikuyu em comparação ao azevém, indicando que a utilização da energia da dieta é negativamente influenciada pelo conteúdo de FDN do alimento e na dieta (Liang *et al.*, 2023).

Entretanto, outros fatores relacionados à ave podem alterar a eficiência na utilização da energia e dos nutrientes das dietas. O peso corporal (Cozannet *et al.*, 2010) ou em relação ao desenvolvimento do trato gastrointestinal e, consequentemente, com a idade da ave (Mateos *et al.*, 2019), podem alterar a eficiência na utilização da energia e dos nutrientes das dietas, especialmente em alimentos ricos em fibras alimentares.

Apesar do aumento no nível de substituição das gramíneas reduzir a utilização da energia e a digestibilidade da MS, ocorreu aumento na digestibilidade da PB e das cinzas das dietas. O incremento na digestibilidade pode ser devido, principalmente, ao desenvolvimento da moela e do aumento da secreção de ácido clorídrico e pepsinogênio pelo proventrículo. Buchanan *et al.*, (2007b) e Iqbal *et al.* (2018), demonstraram que o consumo de forragens pelas aves pode aumentar o peso da moela vazia, indicando que a moela sofre adaptações devido ao aumento no consumo de fibras insolúveis, as quais podem aumentar a secreção de ácido clorídrico e pepsinogênio pelo proventrículo (Abdollahi *et al.*, 2019).

A moela possui importante função na regulação da motilidade e no controle do fluxo da digesta para o duodeno, de modo que o consumo de fibras insolúveis resulta em um aumento no tempo de retenção do alimento na moela para trituração (Mateos *et al.*, 2012). O maior tempo de retenção favorece a ação do ácido clorídrico e do pepsinogênio secretado pelo proventrículo. A redução do pH aumenta a solubilização da matéria mineral o que facilita a sua absorção intestinal (Guinotte *et al.*, 1995), como demonstrado pelo aumento da digestibilidade das cinzas nos tratamentos que receberam o capim-kikuyu e no nível de 60g/kg do azevém. Além disso, a redução no pH e o aumento da atividade da pepsina podem melhorar a utilização da proteína pelo aumento da desnaturação e hidrólise proteica através do consumo de fibras insolúveis (Li *et al.*, 2017). Um aumento significativo da digestibilidade da PB foi verificado nas dietas com o azevém.

A inclusão de casca de aveia com 67,1% de FDN e 32,0% de FDA na dieta de frangos de corte na concentração de 30g/kg pode melhorar a utilização da MS, matéria orgânica, N, energia e das cinzas da dieta como observado por González-Alvarado *et al.* (2010). Já Abdollahi *et al.* (2021) não encontraram diferença significativa na utilização da MS, matéria orgânica, PB e cinzas com a inclusão de farelo de trigo com 59,3% de FDN e 11,9% de FDA, nos níveis de 30 e 60g/kg em comparação ao controle em dietas para poedeiras com 99 semanas de idade. No presente estudo somente a utilização da PB no experimento com o azevém e das cinzas no experimento com o capim-kikuyu aumentou com a substituição de 30g/kg das gramíneas, indicando que a utilização da energia e dos nutrientes das dietas pode estar relacionada com a espécie, idade e composição da fibra utilizada.

O efeito provocado pelo nível de substituição das gramíneas foi mais significativo do que a adição das EDE em relação aos valores de EMA e digestibilidade da energia e dos nutrientes das dietas. Através da adição das EDE era esperado uma melhora na utilização de energia das dietas pela maior degradação dos PNA's pela ação das carboidrases da EDE (alfa-amilase; beta-glucanase; celulase e xilanase). No entanto, não houve aumento da digestibilidade da energia e da MS. As gramíneas possuem maior proporção de PNA's insolúveis e as carboidrases são utilizadas principalmente para a degradação de PNA's solúveis, de modo que podem reduzir a viscosidade da digesta e a fermentação bacteriana no jejuno e íleo melhorando a digestibilidade das dietas (Bedford & Apajalahti, 2022).

O aumento na concentração da fibra alimentar nas dietas com as gramíneas e a utilização das EDE nos níveis recomendados pode não ser suficiente em degradar as β -ligações dos PNA's em formas mais simples (Iqbal *et al.*, 2019). Assim, os efeitos antinutricionais provocados pelos PNAs podem ser amenizados com a utilização de EDE em doses maiores que as recomendadas, melhorando a utilização da energia das dietas (Kocher *et al.*, 2002).

A EDE aumentou a digestibilidade do FDN e da PB das dietas do experimento com o capim-kikuyu e da PB das dietas do experimento com o azevém. O aumento na digestibilidade do FDN pode ser atribuído à ação das carboidrases e da PB pela ação das proteases. Deve ser ressaltado que a combinação de carboidrases com proteases pode melhorar a digestibilidade da proteína, pois os efeitos antinutricionais dos PNA's podem ser amenizados, associado a uma maior liberação de nutrientes do interior da célula vegetal (Olukosi *et al.*, 2020). Tal mecanismo de ação das EDE pode explicar o aumento na digestibilidade da proteína e estar associado ao aumento da digestibilidade das cinzas.

A EMA do alimento pode ser corrigida pela retenção de N, sendo que o N do alimento pode ser depositada pela ave na forma de tecido proteico ou então catabolizada para a geração de energia. Parte dos compostos nitrogenados catabolizados são excretados na forma de ácido úrico. A correção da EMA para a retenção de N se torna importante, pois a utilização da energia do alimento é influenciada por fatores como a idade, linhagem e a qualidade da proteína na dieta (Bolarinwa & Adeola, 2012), o que pode alterar a proporção de N retido ou excretado na forma de ácido úrico. Entretanto, a correção da EMA para a retenção de N = 0 possui algumas críticas, já que o valor de EMA_n sofre alterações dependendo do balanço de N da ave. Desta maneira, a correção da EMA para a retenção de N = 0 não representa valores reais e práticos da EMA corrigida para a retenção de N, considerando que frangos, perus e poedeiras retêm cerca de 50% do N ingerido em dietas balanceadas (Cozannet *et al.*, 2010). A EMA_p apresentou valores superiores em comparação à EMA_n , visto que foi considerada uma retenção de 50% do N ingerido pelas dietas.

3.4.2 Valor Energético e Digestibilidade do Capim-Kikuyu e do Azevém Anual

Os experimentos foram realizados com gramíneas secas e moídas, pois a utilização das gramíneas na MN iria reduzir a quantidade de MS ingerida pelas poedeiras, já que a MS total do capim-kikuyu e do azevém anual era de apenas 17,84% e 14,82%, respectivamente. Assim, a pré-secagem a 60°C permitiu o aumento no teor de matéria seca e o alto conteúdo de umidade na MN não iria interferir no consumo de ração.

Os valores calculados do valor energético e da digestibilidade do capim-kikuyu (Tabela 6) e do azevém anual (Tabela 9) demonstram que o nível de substituição teve efeito significativo nos valores obtidos. Desta maneira, a utilização de um único nível de substituição pode não ser o método mais adequado para avaliar o valor nutricional de alimentos para aves, especialmente para alimentos ricos em fibras alimentares. Apesar de ser uma metodologia que requer um maior número de aves, a obtenção do valor energético dos alimentos a partir do método de regressão é mais precisa e robusta do que a substituição por um único nível (Bolarinwa & Adeola, 2016; Zhang *et al.*, 2022), pois a partir da regressão da quantidade de energia ingerida pela quantidade do alimento ingerido obtêm-se o valor de EMA do alimento em diferentes níveis de substituição.

Os valores de EMA, EMA_n e EMA_p obtidos para o kikuyu e o azevém nos níveis de substituição (30, 60 e 90g/kg) apresentaram uma redução linear, com menores valores obtidos para o nível de 90g/kg em comparação a 30g/kg. A redução é devida a elevada composição de FDN e FDA das gramíneas que reduziram a digestibilidade das dietas e, conseqüentemente, o seu valor energético. O kikuyu apresentou maior diferença no valor de EMA obtida entre 30 e 90g/kg com uma redução de 35,4%, enquanto o azevém apresentou uma redução de 10,3%. Esta diferença na redução da EMA entre as duas gramíneas pode ser devido à maior concentração de FDN do kikuyu em comparação ao azevém (59,4% vs. 51,3%).

Outro fator a ser considerado é a idade mais avançada das poedeiras utilizadas no experimento com o azevém, o que pode estar relacionado ao maior valor do coeficiente de digestibilidade do FDN para o azevém em comparação ao capim-kikuyu (Tabela 11). No entanto, mais estudos devem ser realizados para elucidar se o

aumento na digestibilidade da fibra alimentar pode ser melhorado com o avanço da idade das aves.

Apesar da composição de FDA, que compreende a celulose e a lignina, do kikuyu e do azevém terem sido semelhantes, com valor de 22,4% sabe-se que gramíneas de clima tropical, como o kikuyu, possuem maior composição de lignina na parede celular em comparação as gramíneas de clima temperado (azevém anual) (Chapman *et al.*, 2014). A lignina possui estrutura molecular mais complexa que a celulose e permanece praticamente indigerida (Raza *et al.*, 2019). Assim, o maior teor de lignina do capim-kikuyu pode estar relacionado com a redução no valor de EMA, apesar da lignina não ter sido mensurada.

A utilização da EDE melhorou a digestibilidade da energia do kikuyu de 36,35 para 41,25%, aumentando a EMA em cerca de 12%. Este resultado pode ser atribuído ao aumento da digestibilidade do FDN com a utilização da EDE, reduzindo os efeitos antinutricionais provocados pela fibra no TGI das aves. O uso da EDE melhorou somente a EMA_p do azevém, possivelmente devido ao aumento na digestibilidade da PB, o que causou um aumento na excreção de ácido úrico, reduzindo a diferença entre o N ingerido e excretado.

As carboidrases que compõem a EDE utilizada, que atuam na hidrólise da hemicelulose e da celulose, são a xilanase e a celulase, respectivamente. Entretanto, essas carboidrases não são capazes de degradar completamente os PNAs em açúcares simples, de maneira que o complexo de enzimas utilizada não foi eficiente em reduzir efeitos antinutricionais gerados pelo conteúdo de FDN das gramíneas (Raza *et al.*, 2019). Portanto, a utilização de um complexo de EDE com maior concentração de xilanase e celulase pode aumentar a hidrólise dos PNAs insolúveis das gramíneas e melhorar sua digestibilidade.

Os valores da EMA_n e EMA_p do kikuyu, obtidos sem a utilização da EDE, foram de 1333,5 e 1332,7 kcal/kg, respectivamente, e com a utilização da EDE, foram de 1575,7 e 1638,2 kcal/kg, respectivamente. Já os valores de EMA_n e EMA_p do azevém, obtidos sem a utilização da EDE, foram de 2376,9 e 2324,3 kcal/kg, respectivamente, e com a utilização da EDE, foram de 2215,4 e 2263,7 kcal/kg, respectivamente. Os valores mais elevados para o azevém em relação ao kikuyu podem ser devido à maior composição de FDN do kikuyu. Ambas as gramíneas apresentaram EB semelhante, com cerca de 4500kcal/kg, e é possível que poedeiras com idade mais avançada

sejam capazes de utilizar de forma mais eficiente a energia de alimentos ricos em fibra.

Buchanan *et al.* (2007a) realizaram a avaliação de um mix de forragens formadas por grama azul do Kentuck, festuca, trevo vermelho e branco, com composição de 4263,6kcal/kg de EB, FDN com 31,17% e FDA de 18,22% em galos cecectomizados. A EMA_n obtida foi de 365 e 285kcal/kg com e sem a utilização de EDE (β -glucanase, pentosanase e hemicelulase), respectivamente, na matéria natural. Os valores de EMA_n do kikuyu com e sem a EDE na matéria natural foram de 281,1 e 237,9kcal/kg, e para o azevém os valores foram de 328,3 e 352,3kcal/kg. Os valores de EMA_p do kikuyu com e sem a EDE na matéria natural foram de 292,3 e 237,7kcal/kg, e para o azevém os valores foram de 335,5 e 347,1kcal/kg.

A diferença obtida por Buchanan *et al.* (2007a) com a utilização da EDE foi maior do que a obtida tanto no kikuyu como no azevém. Essa diferença pode ser devido à metodologia utilizada pelos autores. A porção de fibra insolúvel permanece praticamente indigerida até atingir os cecos, onde ocorre a fermentação pela microbiota cecal (Jørgensen *et al.*, 1996). Ao se remover os cecos das aves, a digestão da fibra pelas bactérias cecais não irá ocorrer, de modo que as EDE utilizadas terão efeito mais pronunciado.

Apesar das diferenças metodológicas e da composição das forragens os valores obtidos pelos autores são semelhantes ao do presente estudo, e os resultados indicam que o valor energético das gramíneas para as aves possui valores baixos ao serem convertidos para a MN. Considerando que poedeiras possuem capacidade limitada no consumo de forragens, podendo consumir até cerca de 59g de forragens na MN por ave ao dia, como demonstrado por Mugnai *et al.* (2014), em poedeiras com acesso a pasto e ração *ad libitum*. A contribuição de energia proveniente do consumo de gramíneas é muito pequena e as EDE não terão impacto em melhorar a utilização de energia das gramíneas. Portanto, foi realizado a combinação dos resultados sem e com a EDE para obtenção dos valores de EMA_n e EMA_p. O kikuyu possui valor de EMA_n de 261,5kcal/kg, e 339,3kcal/kg para o azevém, a EMA_p do kikuyu foi de 267,6kcal/kg, e 341,1kcal/kg para o azevém, na matéria natural.

3.4.3 Coeficientes de Digestibilidade e Equações de Predição da EMA

Os valores obtidos para a digestibilidade da MS, energia, PB, cinzas e FDN apresentaram diferença significativa entre os níveis de substituição do capim-kikuyu e do azevém anual. Assim, foi realizado a regressão da quantidade do nutriente digerido (g, MS) ou energia (kcal) pela quantidade do nutriente consumido (g, MS) ou da energia (kcal) a fim de se obter o coeficiente angular da equação, o qual corresponde ao coeficiente de digestibilidade do nutriente ou da energia.

Com o intuito de obter o coeficiente de digestibilidade para gramíneas de clima tropical e temperado, foi realizado a combinação das gramíneas avaliadas e o pool da EDE, os coeficientes de digestibilidade foram: 0,459 para energia, 0,453 para MS, 0,518 para PB, 0,356 para FDN, 0,054 para FDA e 0,579 para cinzas. Mesmo com o pool das gramíneas, apenas a equação 12 para o FDN apresentou um valor reduzido do coeficiente de determinação ($R^2 = 0,599$).

Pleger *et al.* (2021) avaliaram a digestibilidade da proteína de folhas de trevo-vermelho e de alfafa para frangos de corte. A digestibilidade ileal da proteína bruta das folhas de trevo-vermelho e da alfafa, apresentaram resultados de 50 e 51%, respectivamente. Valor semelhante foi obtido para a digestibilidade da PB das gramíneas avaliadas, com 51,8%. Porém, foi realizado a mensuração da digestibilidade da PB através das excretas, e os aminoácidos podem ser catabolizados no intestino grosso pelas bactérias, de modo que a avaliação ileal é mais adequada para a mensuração da digestibilidade da PB do que pelas excretas (Kadim, Moughan & Ravidran, 2002).

As gramíneas possuem grande variação em sua composição química. Gramíneas de clima tropical possuem maior proporção de FDN e FDA do que gramíneas de clima temperado (Chapman *et al.*, 2014), a altura e a idade de desfoliação exercem grande influência no conteúdo de PB, MS, minerais, FDN e FDA das gramíneas (Benvenuti *et al.*, 2020). Dessa forma, o valor de EMA pode sofrer alteração nos valores dependendo da classe, da qualidade do solo e da desfoliação.

As equações de predição da EMA_n e EMA_p para a combinação das duas gramíneas foram propostas para abranger a utilização em diferentes tipos de gramíneas e foi realizado o pool da EDE, pois somente para a EMA_p do azevém a EDE apresentou efeito significativo. As equações com mais termos preditores

apresentaram coeficientes de determinação (R^2) mais elevados, o FDN e o FDA apresentaram correlação negativa em prever o conteúdo de energia do alimento (Liang *et al.*, 2023), e o conteúdo de EB e EE apresentam elevada correlação, podendo ser os melhores preditores nas equações (Alvarenga *et al.*, 2011; Xie *et al.*, 2021).

As equações que utilizaram um preditor com EB ou a EBd (Eq. 27.1, 28.1, 30.1 e 32.1) apresentaram baixo valor de R^2 . No entanto, as equações com dois preditores, formados por EB e FDA (eq. 27.2 e 30.2) ou EBd e MSd (eq. 28.2 e 32.2), aumentaram o valor de R^2 . Mas as equações 29.1 e 31 apresentaram valor de R^2 de 0,926 e 0,917, respectivamente, utilizando somente o EE como preditor, indicando que a composição de EE possui alta correlação em prever o conteúdo de energia das gramíneas. As equações derivadas da composição química assumem uma digestibilidade constante do alimento e possíveis interações entre nutrientes não são considerados, de modo que as equações preditivas que utilizam a energia ou os nutrientes digeridos, em especial de alimentos que possuem baixa digestibilidade, podem gerar equações com maior poder preditivo (Zaefarian *et al.*, 2021).

Deve ser ressaltado que essas equações, apesar de estimarem o valor energético das gramíneas, devem ser utilizadas com cautela, pois os resultados foram obtidos em determinadas condições experimentais (Noblet *et al.*, 2022). Além disso, a análise da composição de FDA não é uma metodologia simples de ser realizada e a utilização de diferentes procedimentos laboratoriais podem alterar os resultados obtidos (Cozannet *et al.*, 2010). Assim, as equações que utilizam como preditores, a EB ou EBd, e as equações com o EE como preditor, podem ser mais adequadas para uso prático.

3.5 CONCLUSÃO

O capim-kikuyu e o azevém anual podem ser utilizados como alimentos alternativos na alimentação de poedeiras em sistemas de criação com acesso à área cultivada. No entanto, o valor energético e a digestibilidade do azevém foram maiores do que o capim-kikuyu, devido à menor quantidade de fibra insolúvel em sua composição. A utilização de enzimas digestivas exógenas não foi eficiente em reduzir os efeitos antinutricionais da fibra alimentar e em melhorar a digestibilidade das

gramíneas. As equações de predição da EMA são ferramentas úteis para estimar o valor energético de gramíneas para poedeiras, seja com base na composição química ou nos nutrientes digeridos. Concentrações crescentes de FDN e FDA na dieta de poedeiras reduzem a digestibilidade da energia e da matéria seca, embora possam melhorar a digestibilidade da proteína bruta e das cinzas.

3.6 REFERÊNCIAS

ABDOLLAHI, M. R.; ZAEFARIAN, F.; HUNT, H.; ANWAR, M. N.; THOMAS, D. G.; RAVINDRAN, V. Wheat particle size, insoluble fibre sources and whole wheat feeding influence gizzard musculature and nutrient utilisation to different extents in broiler chickens. **J Anim Physiol Anim Nutr.** 2019, 103: 146–161.

ABDOLLAHI, A.; KARIMI, A.; SADEGHI, A. A.; BEDFORD, M. R.; ASHENGROPH, M. The effects of the fiber source and xylanase supplementation on production, egg quality, digestibility, and intestinal morphology in the aged laying hen. **Poultry Science**, v. 100, n. 3, p. 100936, 2021.

ALVARENGA, R. R.; RODRIGUES, P. B.; ZANGERONIMO, M. G.; FREITAS, R. T. F.; LIMA, R. R.; BERTECHINI, A. G.; FASSANI, E. J. Energetic values of feedstuffs for broilers determined with in vivo assays and prediction equations. **Animal Feed Science and Technology**, v. 168, p. 257–266, 2011.

Bartham G.T., 1985. Experimental techniques: The HFRO sward stick. **HFRO Biennial Rep.** 1984–1985. Hill Farming Res. Org., Penicuik, Midlothian, UK

BEDFORD, M.R. & APAJALAHTI, J.H. The role of feed enzymes in maintaining poultry intestinal health. **J Sci Food Agric.** 102: 1759-1770, 2022.

BENVENUTTI, M. A.; FINDSEN, C.; SAVIAN, J. V.; MAYER, D. G.; BARBER, D. G. The effect of stage of regrowth on the physical composition and nutritive value of the various vertical strata of kikuyu (*Cenchrus clandestinus*) pastures. **Tropical Grasslands - Forrajes Tropicales**, v. 8, n. 2, p. 141–146, 2020. Disponível em: [https://doi.org/10.17138/tgft\(8\)141-146](https://doi.org/10.17138/tgft(8)141-146).

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, n. 8, p. 1928-1935, 2012. Disponível em: <https://doi.org/10.3382/ps.2012-02261>.

BOLARINWA, O. A.; ADEOLA, O. Regression and direct methods do not give different estimates of digestible and metabolizable energy values of barley, sorghum, and wheat for pigs. **Journal of Animal Science**, v. 94, n. 2, p. 610-618, 2016. Disponível em: <https://doi.org/10.2527/jas.2015-9766>.

BUCHANAN, N. P.; HOTT, J. M.; KIMBLER, L. B.; MORITZ, J. S. Nutrient composition and digestibility of organic broiler diets and pasture forages. **Journal of Applied Poultry Research**, v. 16, p. 13-21, 2007a.

BUCHANAN, N. P.; KIMBLER, L. B.; PARSONS, A. S.; SEIDEL, G.; BRYAN, W. B.; FELTON, E. E.; MORITZ, J. S. The effects of nonstarch polysaccharide enzyme addition and dietary energy restriction on performance and carcass quality of organic broiler chickens. **Journal of Applied Poultry Research**, v. 16, p. 1-12, 2007b.

CARRASCO-CHILÓN, W.; CERVANTES-PERALTA, M.; MENDOZA, L.; MUÑOZ-VÍLCHEZ, Y.; QUILCATE, C.; NUÑEZ-MELGAR, D. C.; VÁSQUEZ, H.; ALVAREZ-GARCÍA, W. Y. Morphological differentiation, yield, and cutting time of *Lolium multiflorum* L. under acid soil conditions in highlands. **Plants**, v. 13, p. 2331, 2024. Disponível em: <https://doi.org/10.3390/plants13162331>.

CERRATE, S.; EKMAY, R.; ENGLAND, J.; COON, C. Predicting nutrient digestibility and energy value for broilers. **Poultry Science**, v. 98, p. 3994-4007, 2019.

COZANNET, P.; LESSIRE, M.; GADY, C.; METAYER, J.; PRIMOT, Y.; SKIBA, F.; NOBLET, J. Energy value of wheat dried distillers grains with solubles in roosters, broilers, layers, and turkeys. **Poultry Science**, v. 89, p. 2230-2241, 2010.

DE VRIES, S.; PUSTJENS, A. M.; SCHOLS, H. A.; HENDRIKS, W. H.; GERRITS, W. J. J. Improving digestive utilization of fiber-rich feedstuffs in pigs and poultry by processing and enzyme technologies: a review. **Animal Feed Science and Technology**, v. 178, p. 123-138, 2012.

GONZÁLEZ-ALVARADO, J. M.; JIMENEZ-MORENO, E.; GONZALEZ-SANCHEZ, D.; LAZARO, R. M.; MATEOS, G. G. Effect of inclusion of oat hulls and sugar beet pulp in the diet on productive performance and digestive traits of broilers from 1 to 42 days of age. **Animal Feed Science and Technology**, v. 162, p. 37-46, 2010.

GUINOTTE, F.; GAUTRON, J.; NYS, Y.; SOUMARMON, A. Calcium solubilization and retention in the gastrointestinal tract in chicks (*Gallus domesticus*) as a function of gastric acid secretion inhibition and of calcium carbonate particle size. **British Journal of Nutrition**, v. 73, n. 1, p. 125-139, 1995. Disponível em: <https://doi.org/10.1079/bjn19950014>.

HILL, F. W.; ANDERSON, D. L. Comparison of metabolizable energy and productive determinations with growing chicks. *Journal of Nutrition*, v. 64, p. 587-603, 1958.

IQBAL, Z.; ROBERTS, J.; PEREZ-MALDONADO, R. A.; GOODARZI BOROOJENI, F.; SWICK, R. A.; RUHNKE, I. Pasture, multi-enzymes, benzoic acid and essential oils positively influence performance, intestinal organ weight and egg quality in free-range laying hens. **British Poultry Science**, v. 59, n. 2, p. 180-189, 2018. Disponível em: <https://doi.org/10.1080/00071668.2017.1403566>.

IQBAL, Z.; METZGER, F.; SINGH, M.; MORGAN, N.; SWICK, R. A.; PEREZ-MALDONADO, R. A.; M'SADEQ, S. A.; ZENTEK, J.; RUHNKE, I. Enzymes and/or combination of organic acid and essential oils supplementation in pasture-fed free-

range laying hens increased the digestibility of nutrients and non-starch polysaccharides. **Poultry Science**, v. 98, p. 1410–1424, 2019.

JØRGENSEN, H.; ZHAO, X. Q.; KNUDSEN, K. E.; EGGUM, B. O. The influence of dietary fibre source and level on the development of the gastrointestinal tract, digestibility and energy metabolism in broiler chickens. **British Journal of Nutrition**, v. 75, n. 3, p. 379–395, 1996. Disponível em: <https://doi.org/10.1079/bjn19960141>.

KADIM, I. T., P. J. MOUGHAN, AND V. RAVINDRAN. “Ileal amino acid digestibility assay for the growing meat chicken--comparison of ileal and excreta amino acid digestibility in the chicken.” **British Poultry Science**, v. 43, n. 4, p. 588–597. 2002. <https://doi.org/10.1080/0007166022000004507>

KOP-BOZBAY, C.; AKDAG, A.; BOZKURT-KIRAZ, A.; GORE, M.; KURT, O.; OCAK, N. Laying performance, egg quality characteristics, and egg yolk fatty acids profile in layer hens housed with free access to chicory and/or white clover-vegetated or non-vegetated areas. **Animals**, v. 11, p. 1708, 2021.

LATIMER, G. W. JR. (ed.). Official Methods of Analysis of AOAC INTERNATIONAL, 22 (New York, 2023; online edn, Oxford Academic, 4 Jan. 2023),

LI, Y. P.; WANG, Z. Y.; YANG, H. M.; XU, L.; XIE, Y. J.; JIN, S. L.; LI, ET AL. Effects of dietary fiber on growth performance, slaughter performance, serum biochemical parameters, and nutrient utilization in geese. **Poultry Science**, v. 96, n. 5, p. 1250–1256, 2017.

LIANG, Y.; HOU, Q.; YU, M.; CHANG, Y.; ZHAO, H.; LIU, G.; CHEN, X.; TIAN, G.; CAI, J.; JIA, G. Prediction of the net energy of wheat from chemical analysis for growing ducks. **Animals**, v. 13, p. 1097, 2023. Disponível em: <https://doi.org/10.3390/ani13061097>.

MATEOS, G. G.; CÁMARA, L.; FONDEVILA, G.; LÁZARO, R. P. Critical review of the procedures used for estimation of the energy content of diets and ingredients in poultry. **Journal of Applied Poultry Research**, v. 27, p. 1-20, 2019.

MATEOS, G. G.; JIMENEZ-MORENO, E.; SERRANO, M. P.; LAZARO, R. P. Poultry response to high levels of dietary fiber sources varying in physical and chemical characteristics. **Journal of Applied Poultry Research**, v. 21, p. 156–174, 2012.

MATTERSON, L. D.; POTTER, L. M.; STUTZ, M. W.; SINGSEN, E. P. The metabolizable energy of feed ingredients for chickens. **Poultry Science**, p. xx-xx, 1965.

MUGNAI, C.; SOSSIDOU, E. N.; DAL BOSCO, A.; RUGGERI, S.; MATTIOLI, S.; CASTELLINI, C. The effects of husbandry system on the grass intake and egg nutritive characteristics of laying hens. **Journal of the Science of Food and Agriculture**, v. 94, p. 459-467, 2014. Disponível em: <https://doi.org/10.1002/jsfa.6269>.

NOBLET, J.; WU, S. B.; CHOCT, M. Methodologies for energy evaluation of pig and poultry feeds: a review. **Animal Nutrition**, v. 8, p. 185–203, 2022.

OLUKOSI, O. A.; GONZÁLEZ-ORTIZ, G.; WHITFIELD, H.; BEDFORD, M. R. Comparative aspects of phytase and xylanase effects on performance, mineral digestibility, and ileal phytate degradation in broilers and turkeys. **Poultry Science**, v. 99, p. 1528–1539, 2020.

PLEGER, L.; WEINDL, P. N.; WEINDL, P. A.; CARRASCO, L. S.; BELLOF, G.; ZHAO, M. J.; AULRICH, K.; BELLOF, G. Precaecal digestibility of crude protein and amino acids from alfalfa (*Medicago sativa*) and red clover (*Trifolium pratense*) leaves and silages in broilers. **Animal Feed Science and Technology**, v. 275, p. 114856, 2021.

POTTER, L. M.; PUDELKIEWICZ, W. J.; WEBSTER, L.; MATTERSON, L. D. Metabolizable energy and digestibility evaluation of fish meal for chickens. **Poultry Science**, v. 41, n. 6, p. 1745-1752, 1962. Disponível em: <https://doi.org/10.3382/ps.0411745>.

RAZA, A.; BASHIR, S.; TABASSUM, R. An update on carbohydrases: growth performance and intestinal health of poultry. **Heliyon**, v. 5, n. 4, p. e01437, 2019. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2019.e01437>.

RÖHE, I.; VAHJEN, W.; METZGER, F.; ZENTEK, J. Effect of a diluted diet containing 10% lignocellulose on the gastrointestinal tract, intestinal microbiota, and excreta characteristics of dual purpose laying hens. **Poultry Science**, v. 99, p. 310-319, 2020.

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

SINGH, M.; DURALI, T.; COWIESON, A. Use of n-alkanes for determination of Kikuyu grass (*Pennisetum clandestinum*) intake in free-range broilers. **Animal Production Science**, v. 56, e. 10.1071/AN14778, 2015.

XIE, K.; HE, X.; HOU, D.-X.; ZHANG, B.; SONG, Z. Evaluation of nitrogen-corrected apparent metabolizable energy and standardized ileal amino acid digestibility of different sources of rice and rice milling byproducts in broilers. **Animals**, v. 11, p. 1894, 2021. Disponível em: <https://doi.org/10.3390/ani11071894>.

YOKHANA, J. S.; PARKINSON, G.; FRANKEL, T. L. Effect of insoluble fiber supplementation applied at different ages on digestive organ weight and digestive enzymes of layer-strain poultry. **Poultry Science**, v. 95, p. 550–559, 2016.

ZAEFARIAN, F.; COWIESON, A. J.; PONTOPPIDAN, K.; ABDOLLAHI, M. R.; RAVINDRAN, V. Trends in feed evaluation for poultry with emphasis on in vitro techniques. *Animal Nutrition*, v. 7, n. 2, p. 268-281, 2021. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.aninu.2020.08.006>.

ZHANG, F.; ADEOLA, O. Energy values of canola meal, cottonseed meal, bakery meal, and peanut flour meal for broiler chickens determined using the regression method. **Poultry Science**, v. 96, p. 397–404, 2017. Disponível em: <https://doi.org/10.3382/ps/pew239>.

ZHANG, A. R.; WEI, M.; YAN, L.; ZHOU, G. L.; LI, Y.; WANG, H. M.; YANG, Y. Y.; YIN, W.; GUO, J. Q.; CAI, X. H.; LI, J. X.; ZHOU, H.; LIANG, Y. X. Effects of feeding solid-

state fermented wheat bran on growth performance and nutrient digestibility in broiler chickens. **Poultry Science**, v. 101, p. 101402, 2022.



Assinaturas do documento



Código para verificação: **2NI390HP**

Este documento foi assinado digitalmente pelos seguintes signatários nas datas indicadas:



CLÓVIS ELISEU GEWEHR (CPF: 395.XXX.060-XX) em 21/02/2025 às 10:02:28

Emitido por: "SGP-e", emitido em 30/03/2018 - 12:39:35 e válido até 30/03/2118 - 12:39:35.

(Assinatura do sistema)

Para verificar a autenticidade desta cópia, acesse o link <https://portal.sgpe.sea.sc.gov.br/portal-externo/conferencia-documento/VURFU0NfMTIwMjJfMDAwMDUwNTfhNTA2MF8yMDI1XzJOSTM5MEhQ> ou o site

<https://portal.sgpe.sea.sc.gov.br/portal-externo> e informe o processo **UDESC 00005058/2025** e o código **2NI390HP** ou aponte a câmera para o QR Code presente nesta página para realizar a conferência.