



UDESC

UNIVERSIDADE DO ESTADO DE SANTA CATARINA – UDESC

CENTRO DE EDUCAÇÃO SUPERIOR DO OESTE – CEO

PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ZOOTECNIA

DISSERTAÇÃO DE MESTRADO
**DIFERENTES GRANULOMETRIAS
DO MILHO EM RAÇÕES
PELETIZADAS PARA PERUS DE
CORTE**

MARLON JOSÉ ZANOTTO

Chapecó, 2021

MARLON JOSÉ ZANOTTO

**DIFERENTES GRANULOMETRIAS DO MILHO EM RAÇÕES
PELETIZADAS PARA PERUS DE CORTE**

Dissertação apresentada ao Curso de Mestrado do Programa de Pós-Graduação em Zootecnia, Área de Concentração Ciência e Produção Animal, da Universidade do Estado de Santa Catarina (UDESC), como requisito parcial para obtenção de grau de **Mestre em Zootecnia**

Orientador (a): Diovani Paiano

Co-orientador(s): Marcel Manente Boiago

Chapecó, SC, Brasil

2021

**Ficha catalográfica elaborada pelo programa de geração automática da
Biblioteca Setorial do CEO/UDESC,
com os dados fornecidos pelo(a) autor(a)**

Zanotto, Marlon José
DIFERENTES GRANULOMETRIAS DO MILHO EM
RAÇÕES PELETIZADAS PARA PERUS DE CORTE / Marlon
José Zanotto. -- 2021.
84 p.

Orientador: Diovani Paiano
Coorientador: Marcel Manente Boiago
Dissertação (mestrado) -- Universidade do Estado de Santa
Catarina, Centro de Educação Superior do Oeste, Programa de
Pós-Graduação -- Seleção --, Chapecó, 2021.

1. diâmetro geométrico médio. 2. nutrição de perus. 3.
processamento de milho. 4. processamento de rações. 5. análise do
tamanho de partícula. I. Paiano, Diovani. II. Manente Boiago,
Marcel. III. Universidade do Estado de Santa Catarina, Centro de
Educação Superior do Oeste, Programa de Pós-Graduação --
Seleção --. IV. Título.

**Universidade do Estado de Santa Catarina
UDESC Oeste
Programa de Pós-Graduação em Zootecnia**

A Comissão Examinadora, abaixo assinada,
aprova a Dissertação de Mestrado

**DIFERENTES GRANULOMETRIAS DO MILHO EM RAÇÕES
PELETIZADAS PARA PERUS DE CORTE**

Elaborada por
Marlon José Zanotto

como requisito parcial para obtenção do grau de
Mestre em Zootecnia

Comissão Examinadora:



Prof. Dr. Diovani Paiano

Prof. Dr. Fernando de Castro Tavernari

Prof. Dr. Tiago Goulart Petrolli

Chapecó, 03 de março de 2021

AGRADECIMENTOS

A Deus por me guiar e me abençoar nas escolhas e difíceis decisões tomadas no dia a dia. A minha família pelo suporte e incentivo ao estudo, em especial a minha mãe Lucia Ana Sulzbacher e ao meu pai Jorge Zanotto.

A UDESC Oeste e professores desta instituição pela oportunidade me dada do ensino gratuito e com qualidade.

A UNOESC pelo fornecimento de instalações para a realização do ensaio de digestibilidade nutricional.

A BRF pela oportunidade me dada de aplicar ciência aliada com a prática, em especial, a gerência agropecuária de Chapecó-SC em nome de Maria Goretti Buzanello, a equipe de nutrição animal de aves corporativa, a equipe de genética corporativa, a equipe da granja teste de perus de Chapecó-SC e ao corporativo de rações.

RESUMO

Dissertação de Mestrado
Programa de Pós-Graduação em Zootecnia
Universidade do Estado de Santa Catarina

DIFERENTES GRANULOMETRIAS DO MILHO EM RAÇÕES PELETIZADAS PARA PERUS DE CORTE

AUTOR: Marlon José Zanotto
ORIENTADOR(A): Diovani Paiano
Chapecó, 03 de março de 2021

Os valores de granulometria do milho para frangos de corte e suínos são bastante estudados, entretanto há poucas informações sobre os efeitos do processamento físico dos grãos para perus. O presente estudo foi proposto com o objetivo de avaliar a influência de diferentes intensidades de moagem do milho no desempenho, na digestibilidade e nas variáveis séricas de peruas, correlacionando diferentes metodologias de determinação do tamanho de partícula do milho com o ganho de peso (GP). O primeiro trabalho foi dividido em dois experimentos: desempenho zootécnico e digestibilidade aparente. Para o primeiro experimento foram utilizados 5 diferentes níveis de moagem, com 16 baias (unidade experimental) com 40 aves por tratamento, totalizando 3.200 peruas ($63,3 \pm 1,1$ g) debicadas a laser, provenientes de um incubatório comercial. O período experimental utilizado foi de 45 dias subdivididos em pré-inicial (1-21 dias) e inicial (22-45 dias). Foi utilizado um lote de milho para cada período experimental, o milho foi triturado em moinho tipo martelo equipado com peneiras de moagem de diferentes diâmetros dos futos (2; 4; 6; 8 e 10 mm) que resultaram em um diâmetro granulométrico médio (DGM) de: 453; 752; 950; 1064; 1109 μ m na fase pré-inicial e 459; 770; 737; 833; 972 μ m para a fase inicial correspondendo aos tratamentos A, B, C, D ou E, respectivamente. As rações foram produzidas em uma fábrica de ração com sistema de condicionamento térmico (Buhler HYMIX, 80-85°C), expansão (expander KAHL OE 38.2), peletização (peletizadora Van Aarsen C900), trituração (tritador de rolos Van Aarsen), resfriamento (Geelen Counterflow) e aplicação de líquidos pós peletização (Mangra S.A). As peruas foram pesadas no início e final de cada fase e o consumo de ração computado para cálculo da conversão alimentar, adicionalmente foram realizadas coletas de sangue nos dias 21 e 45 dias do período experimental (10 aves de cada tratamento aleatoriamente selecionadas das 16 baias) para avaliação dos níveis séricos de glicose (GLIC), triglicerídeos (TRIG), colesterol (COL), proteína total (PT), albumina (ALB) e globulina (GLOB = PT-ALB). Para o segundo experimento (digestibilidade aparente) foram retiradas 24 peruas por tratamento, no final da fase pré-inicial, para comporem 8 repetições com 3 aves por unidade experimental, as peruas foram transferidas para gaiolas metálicas para coleta total de excretas e mantidas com a mesma ração da fase pré-inicial. Na sequência as peruas foram submetidas a cinco dias de adaptação e cinco dias para coleta das excretas. Para o trabalho 2 foram analisadas diferentes implementações na metodologia usual de determinação da granulometria do milho e seus efeitos sobre a estimativa do ganho de peso (1-21 dias). Foram avaliados: peneiramento em cascata ou em modo reverso, com secagem prévia ou natural e com ou sem uso de antiumectantes (utilizado como agente de dispersão) e as respectivas combinações que totalizaram 8 métodos de peneiramento. No Trabalho I o maior ganho de peso foi obtido com

menor DGM (453 μm na fase pré-inicial e 459 μm na fase inicial) em peneira de maior intensidade de moagem (2 mm). A conversão alimentar (CA) piorou com o aumento do DGM e a redução da intensidade de moagem (peneiras de maior diâmetro do furo) sendo a melhor CA obtida no menor DGM do milho (453 μm na fase pré-inicial e 459 μm na fase inicial). Para as variáveis séricas, no 21º dia (final da fase pré-inicial) os níveis de glicose, colesterol, albumina e globulina aumentaram linearmente ($P < 0,05$) com o aumento do DGM e no 42º dia (final da fase inicial) houve aumento linear ($P < 0,05$) para os triglicerídeos com o aumento do DGM. Os coeficientes de metabolizabilidade da matéria seca (CDMS), orgânica (CDMO) e proteína bruta (CDPB) apresentaram efeitos quadráticos com ponto de máximo ($P < 0,05$) com melhores valores nas peneiras intermediárias de moagem (próximos de 6 mm e DGM de 950 μm). A energia metabolizável aparente (EMA) e EMA corrigida para o balanço de nitrogênio (EMAn) aumentou com os maiores DGM obtidos ($P < 0,05$). Para o balanço de nutrientes houve maior excreção ($P < 0,05$) para a matéria orgânica (MOEX) e proteína bruta (PBEXC) no menor DGM. O balanço de nitrogênio (BN) teve efeito quadrático ($P < 0,05$) com maiores valores em maiores granulometrias do milho. A relação energia metabolizável e proteína bruta digestível (EM:PBD) foi influenciada pelos tratamentos ($P < 0,05$) com a maior relação no menor tamanho de partícula (453 μm na fase pré-inicial e 459 μm na fase inicial) e maior intensidade de moagem (peneira 2mm). No trabalho II os modelos de regressão quadrática foram os que apresentaram os melhores ajustes ($P < 0,05$) para todos os métodos de peneiramento avaliados. O uso de agente de dispersão e de secagem prévia melhorou os valores de R^2 das equações e o peneiramento reverso não promoveu melhora no R^2 . O tamanho de partícula do milho afetou os resultados de desempenho, níveis séricos e digestibilidade das peruas. O melhor desempenho foi obtido nos menores DGM. Os melhores coeficientes de digestibilidade obtidos foram com diâmetro de furos das peneiras próximos a 6mm correspondendo a um DGM de 950 μm . O aumento do tamanho de partícula do milho alterou a relação EM:PBD com uma maior relação para os menores valores de DGM. O uso de agente de dispersão para a estimativa da granulometria do milho caracterizou melhor a moagem e melhorou o valor de R^2 . A metodologia de peneiramento reverso não apresentou melhora no R^2 . O método sem a secagem prévia, com peneiramento em forma de cascata e com a inclusão do agente de dispersão trouxe simplicidade na análise com melhor R^2 para estimativa do ganho de peso das peruas quando comparado ao método referência (com secagem, peneiramento cascata e sem a inclusão de agente de dispersão). No trabalho II a adição de agente de dispersão no método usual (peneiramento em cascata e com secagem prévia) permitiu melhor ajuste (maior R^2) para a estimativa do ganho de peso das peruas de acordo com a análise de regressão quadrática. O método sem a secagem prévia, com o peneiramento em cascata e com o uso do agente de dispersão, por sua facilidade e rapidez de execução e alta correlação com o método usual pode ser utilizado em situações de análise contínuas da granulometria do milho para permitir o uso imediato do ingrediente ou calibração de equipamentos de moagem.

Palavras-chave: diâmetro geométrico médio, nutrição de perus, processamento de milho, processamento de rações, análise do tamanho de partícula

ABSTRACT

Master's Dissertation
Programa de Pós-Graduação em Zootecnia
Universidade do Estado de Santa Catarina

DIFFERENTS CORN PARTICLE SIZE IN PELLET DIET FOR TURKEYS

AUTHOR: Marlon José Zanotto
ADVISER: Diovani Paiano
Chapecó, 03 March 2021

The values of particle size of corn for broilers and pigs are well studied, however there is little information about the effects of the physical processing of grains for turkeys. The present study was proposed with the objective of evaluating the influence of different intensities of corn milling on performance, digestibility and serum variables of turkeys, correlating different methodologies for determining the particle size of corn with weight gain (WG). The first work was divided into two experiments: zootechnical performance and apparent digestibility. For the first experiment, five different levels of grinding were used, with 16 pens (experimental unit) with 40 birds per treatment, totaling 3.200 turkeys (63.3 ± 1.1 g) bitten by laser, from a commercial hatchery. The experimental period used was 45 days divided into pre-initial (1-21 days) and initial (22-45 days). A batch of corn was used for each experimental period, the corn was crushed in a hammer-type mill equipped with grinding sieves of different diameter of the holes (2; 4; 6; 8 and 10 mm) which resulted in an corn particle size (CPS) of: 453; 752; 950; 1064; 1109 μm in the pre-initial phase and 459; 770; 737; 833; 972 μm for the initial phase corresponding to treatments A, B, C, D or E, respectively. The diets were produced in a feed factory with a thermal conditioning system (Buhler HYMIX, 80-85°C), expansion (expander KAHL OE 38.2), pelletizing (pelletizing machine Van Aarsen C900), crumble (roller mill Van Aarsen), cooling (Geelen Counterflow) and application of post-pelleting liquids system (Mangra SA). The turkeys were weighed at the beginning and end of each phase and the feed intake (FI) computed to calculate the food conversion (FC), additionally blood samples were taken on the 21st and 45th days of the experimental period (10 birds from each treatment randomly selected from the 16 bays) for the assessment of serum glucose levels (GLUC), triglycerides (TRIG), cholesterol (CHOL), total protein (TP), albumin (ALB) and globulin (GLOB = TP-ALB). For the second experiment (apparent digestibility) 24 turkeys were removed per treatment, at the end of the pre-initial phase, to compose eight replicates with three birds per experimental unit, the turkeys were transferred to metal cages for total collection of excreta and kept with the same diet as the pre-initial phase. Afterwards, the turkeys were subjected to five days of adaptation and five days to collect excreta. For work two, different implementations were analyzed in the usual methodology for determining corn particle size and its effects on the estimation of WG (1-21 days). The following were evaluated: sieving in cascade or in reverse mode, with prior or natural drying and with or without the use of a dispersing agent and the respective combinations that totaled eight screening methods. In work I, the greatest WG was obtained with lower particle size (453 μm in the pre-initial phase and 459 μm in the initial phase) in a sieve with greater grinding intensity (2 mm). The feed conversion (FC) worsened with the increase of the particle size and the reduction of the grinding intensity (sieves with larger diameter of the hole), being the best FC obtained in the

lowest particle size of corn (453 μm in the pre-initial phase and 459 μm in the initial). For serum variables, on the 21st day (end of the pre-initial phase) the levels of glucose, cholesterol, albumin and globulin increased linearly ($P < 0.05$) with the increase in particle size and on the 45th day (end of the initial phase) there was a linear increase ($P < 0.05$) for triglycerides with the increase in particle size. The metabolism coefficients of dry matter (DMCD), organic (OMCD) and crude protein (CPCD) showed quadratic effects with maximum point ($P < 0.05$) with better values in the intermediate grinding sieves (close to 6 mm and particle size 950 μm). Apparent metabolizable energy (AME) and nitrogen balance corrected AME (AMEn) increased with the highest particle size obtained ($P < 0.05$). For the balance of nutrients, there was greater excretion ($P < 0.05$) for organic matter (OMEX) and crude protein (CPEXC) in the lowest corn particle size. The nitrogen balance (BN) had a quadratic effect ($P < 0.05$) with higher values in higher corn particle sizes. The metabolizable energy and digestible crude protein (AME:DCP) ratio was influenced by the treatments ($P < 0.05$) with the highest ratio in the smallest particle size (453 μm in the pre-initial phase and 459 μm in the initial phase) and highest grinding intensity (2mm sieve). In work II, the quadratic regression models showed the best adjustments ($P < 0.05$) for all the screening methods evaluated. The use of dispersion and pre-drying agent improved the R^2 values of the equations and the reverse sieving did not improve the R^2 . The particle size of the corn affected the performance results, serum levels and digestibility of the turkeys. The best performance was obtained in the smallest corn particle size. The best digestibility coefficients obtained were with the diameter of sieve holes close to 6mm, corresponding to a corn particle size of 950 μm . The increase in the particle size of corn altered the AME:DCP ratio with a higher ratio for the lower corn particle size values. The use of dispersing agent for the estimation of corn granulometry characterized the grinding better and improved the R^2 value. The reverse sieving methodology showed no improvement in R^2 . The method without prior drying, with cascading sieving and with the inclusion of the dispersing agent, brought simplicity in the analysis with better R^2 to estimate the WG of the turkeys when compared to the reference method (with drying, cascading sieving and without the inclusion of dispersing agent). In work II, the addition of a dispersion agent in the usual method (cascading sieving and pre-drying) allowed a better adjustment (greater R^2) for the estimation of the WG of the turkeys according to the quadratic regression analysis. The method without prior drying, with cascading sieving and with the use of the dispersing agent, due to its ease and speed of execution and high correlation with the usual method, can be used in situations of continuous analysis of the corn granulometry to allow the immediate use of the ingredient or calibration of grinding equipment.

Keywords: average geometric diameter, weight gain, turkey nutrition, corn processing, feed processing, particle size analysis, methodologies, corn

LISTA DE FIGURAS

Figura 1- Percentual de produção relacionado ao total produzido no Brasil de frangos, suínos e perus na região sul.....	14
Figura 2 - Produção mundial de rações por continente em milhões de toneladas.	15
Figura 3 - Etapas do processo produtivo de rações para aves.....	16
Figura 4 - Diferentes formas de peneiramento - Cascata ou Reverso.....	18
Figura 5 - Formas físicas comumente utilizadas: rações fareladas (A) ou rações peletizadas (B).	20
Figura 6 - Ração triturada pós peletização.....	22
Figure 7 - Dry bulb temperature (°C) over the weeks of the experiment.....	46
Figure 8 - Adjustment of models for dry matter coefficient digestibility, glucose, feed intake and feed conversion of pre-initial diets.	46

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Efeito do grau de moagem nas características físicas do milho.	23
Table 2 - Technical characteristics of the milling screens and physical characteristics of the experimental diets.	47
Table 3 - Proximate composition of experimental diets.	48
Table 4 - Zootechnical performance of turkeys submitted to diets with corn processed with different milling screen (MS).	49
Table 5 - Body weight throughout the growth of turkeys subjected to diets with corn processed with different milling screen (MS).	50
Table 6 - Serum biochemistry of turkeys submitted to diets with corn processed with different milling screen (MS).	51
Table 7 - Digestibility, the balance of nutrients and digestible nutrients (1 st phase) of female turkeys fed with diets with corn processed with different milling screen (MS).	52
Tabela 8 - Características técnicas das peneiras de moagem e físicas das rações experimentais.	67
Tabela 9 - Diferentes metodologias para determinação do tamanho de partícula do milho e rações.	67
Tabela 10 - Composição centesimal das rações experimentais.	68
Tabela 11 - Desempenho zootécnico prévio (1-21 dias) utilizado para o estudo das melhores variáveis independentes.	68
Tabela 12 - Correlação de Pearson entre os métodos de peneiramento, diâmetro das peneiras e ganho de peso de peruas na fase pré inicial.	69
Tabela 13 - Estudo do uso de diferentes resultados de granulometria como variável independente para a estimativa do ganho de peso de peruas.	70

SUMÁRIO

1.1	REVISÃO DE LITERATURA	13
1.1.1	Introdução	13
1.1.2	Moagem	15
1.1.3	Metodologias para mensuração do tamanho de partículas dos ingredientes	17
1.1.4	Efeitos das características físicas da dieta e ingredientes no desempenho zootécnico	19
1.1.5	Efeitos das características físicas da dieta e dos ingredientes na digestibilidade	24
1.1.6	Efeitos das características físicas da dieta e dos ingredientes nas variáveis séricas ..	26
1.2	OBJETIVO	27
1.2.1	Geral	27
1.2.1	Específicos	28
2.1	MANUSCRITO I	29
2.1.1	– EFFECT OF CORN PARTICLE SIZE ON GROWTH PERFORMANCE, SERUM BIOCHEMISTRY AND DIGESTIBILITY FOR FEMALE TURKEY DIETS	29
2.2	MANUSCRITO II	55
2.2.1	– ALTERAÇÕES NA METODOLOGIA USUAL DE DETERMINAÇÃO DA GRANULOMETRIA DO MILHO MELHORA A ESTIMATIVA DE GANHO DE PESO EM PERUAS NA FASE INICIAL (1-21 Dias)	55
3	– CONSIDERAÇÕES FINAIS	71
4	REFERÊNCIAS	73
5	ANEXOS	83
5.1	Anexo I - CARTA DE APROVAÇÃO DO CETEA	83
5.2	Anexo II - Imagens escaneadas dos ingredientes do EP. 1 na fase PCI ao longo do processamento	84

CAPÍTULO I

1.1 REVISÃO DE LITERATURA

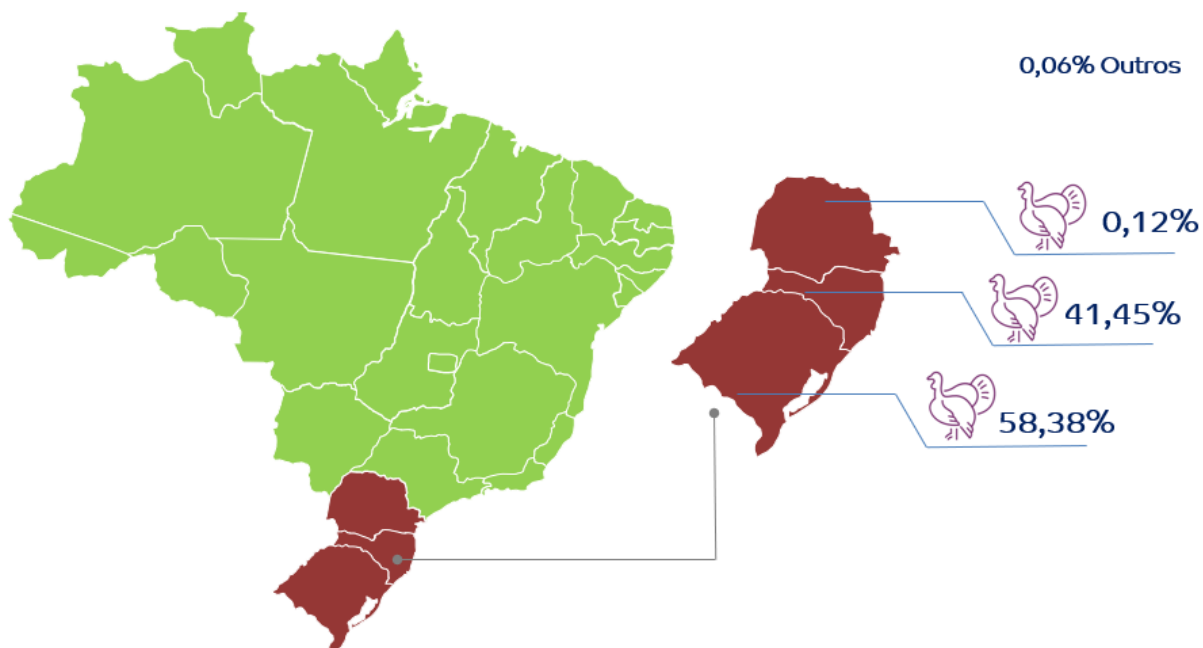
1.1.1 Introdução

A produção mundial de carnes está projetada para uma expansão de 40 milhões de toneladas até 2029 com maior impacto na cadeia de aves (OECD/FAO, 2020). De todos os produtos de origem animal consumidos mundialmente os provenientes de carne de aves foram o que maior apresentaram taxa de crescimento no período de 1994 a 2014, o que representa aumento médio de cerca de 122% (WINDHORST, 2017). A produção mundial e o consumo de carne de perus impactam nesses resultados uma vez que aumentam paralelamente às outras aves comerciais (CARVALHO et al., 2018). O Brasil é considerado como o principal país para futuras oportunidades de produção de carne, visto a disponibilidade de insumos e área (OECD/FAO, 2020).

O consumo de carne de perus varia consideravelmente entre países de acordo com as condições financeiras da população e sazonalidade (feriados natalinos). A carne de perus apresenta uma boa oportunidade de mercado, visto a atual preferência por parte da população por alimentos de baixas calorias.

O Brasil é referência na produção avícola mundial posicionado entre os maiores produtores mundiais de carne de perus. No ano de 2017 produziu 368 mil toneladas de carne de perus, das quais 72% para atendimento do mercado interno e 28% para exportações com valor exportado de 273 milhões de dólares (ABPA, 2018). Os EUA são o mercado mundial de maior produção de carne de perus com aproximadamente 46% do mercado global. No ano de 2019 houve queda na produção brasileira de carne de peru com uma produção de 37 mil toneladas e uma receita de 82 milhões de dólares. A produção nacional de perus concentra-se na região Sul do Brasil. Paraná, Santa Catarina e Rio Grande do Sul somam 99,95% da produção brasileira (ABPA, 2019), o que indica a importância destas aves para região sul e para agropecuária do Brasil (Figura 1).

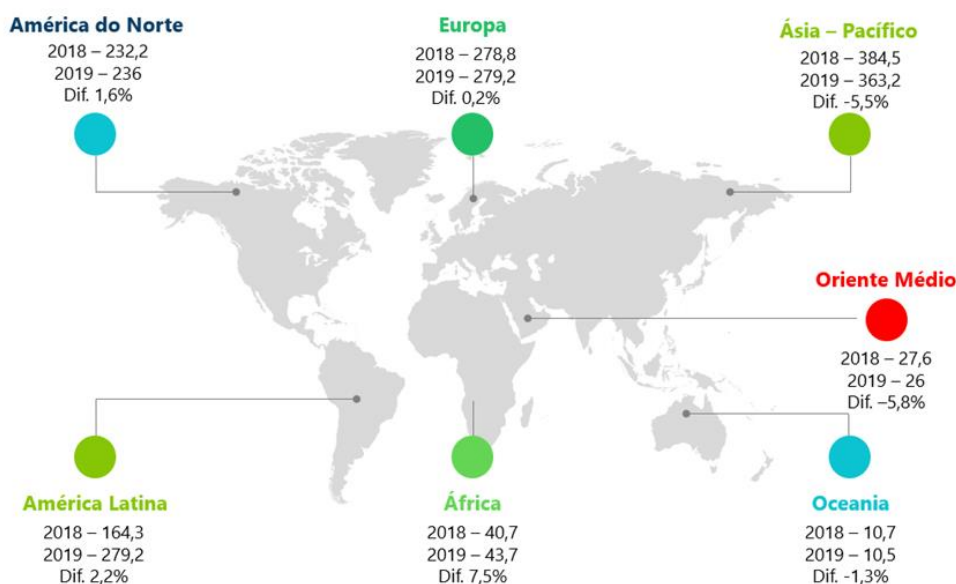
Figura 1- Percentual de produção relacionado ao total produzido no Brasil de frangos, suínos e perus na região sul.



Fonte: Adaptado de ABPA, 2019.

Todo o aumento na demanda de carne impacta em aumento na demanda de produções de rações. O Brasil é o terceiro maior produtor mundial de rações. Em 2019 a produção brasileira foi de 70 milhões de toneladas, correspondendo a 11% do total produzido mundialmente. Os EUA dominam a produção de rações mundial com 33% do total produzido, seguido da China com 26%. Os três países juntos correspondem a 70% da produção de rações global. Os continentes com maiores produções de rações são o pacífico, com leve queda entre 2018 e 2019 impactado pela crise suína chinesa. O maior aumento de produção ocorreu na América Latina, com aumento de 2% o que corresponde a 115 milhões de toneladas entre 2018 e 2019 (Figura 2) (ALLTECH, 2019).

Figura 2 - Produção mundial de rações por continente em milhões de toneladas.



Fonte: Adaptado de ALLTECH, 2019.

Dessa forma, uma vez que esse animal possui alto valor agregado e futuras oportunidades de mercado é importante que se desenvolva pesquisas a fim de entender o seu comportamento encontrando alternativas para redução de custo com maximização de desempenho.

1.1.2 Moagem

A maioria dos ingredientes usados na formulação de dietas animais necessita passar pelo processo de redução de suas partículas (RUBIO et al., 2020). A redução do tamanho de partículas dos ingredientes da dieta, em especial, de cereais como milho ou suplementos proteicos como o farelo de soja, é rotina no ambiente fabril das fábricas de rações. Essa redução acontece em uma das primeiras etapas do processo produtivo de rações: a moagem (Figura 3).

Moagem é um processo utilizado com vistas a reduzir o tamanho das partículas (LYU et al., 2020) e aumentar a área superficial por unidade de massa. Esse aumento melhora a interação entre a ração e as enzimas digestivas (LV et al., 2015) e a redução de partículas permite ajustar os ingredientes para o tamanho adequado aos animais obtendo melhora no desempenho zootécnico.

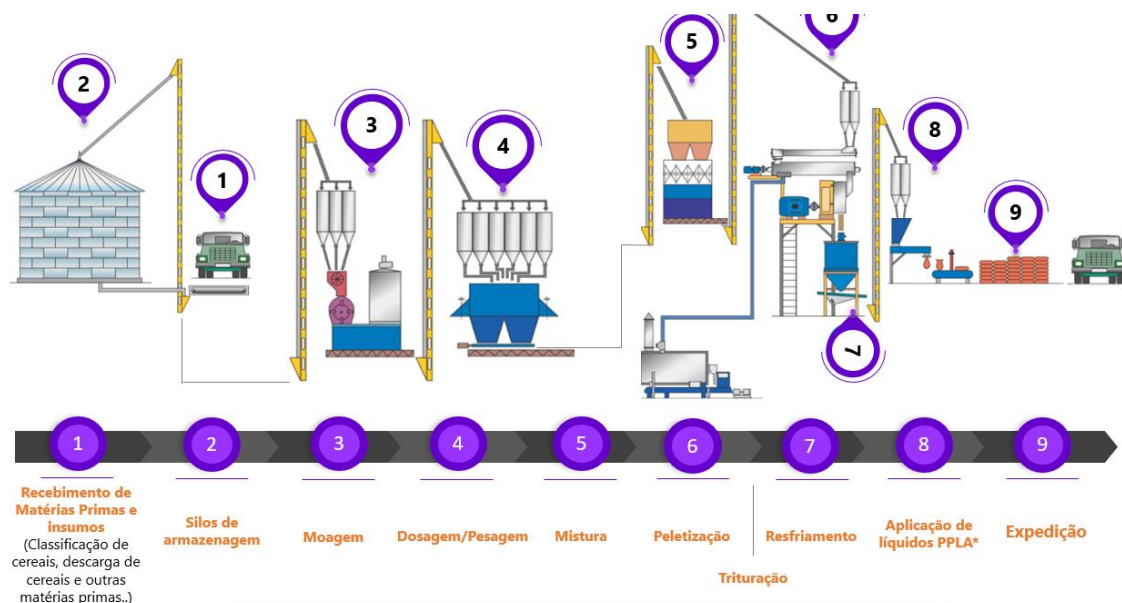
Os moinhos mais comuns nas fábricas de rações no Brasil são os moinhos do tipo martelo, os quais consistem em uma câmara de moagem e um conjunto rotativo de marteletes livres (ou facas rombudas) posicionados paralelamente. Ao alimentar a câmara de moagem com o

ingrediente a ser moído o movimento dos marteletes contra os ingredientes trituram os grãos em um tamanho determinado de acordo com o diâmetro dos tamanhos dos furos das telas perfuradas (peneiras) que circundam a câmara de moagem, permanecendo na câmara até que o tamanho dos ingredientes sejam reduzidos a tamanho suficiente para atravessar as peneiras (HADI et al., 2017). A possibilidade de alteração na configuração do moinho martelos com a troca das peneiras ou mesmo da alteração de rotação dos equipamentos permite uma grande variabilidade em termos de granulometria dos ingredientes moídos ou mesmo no processamento de uma maior gama de variedade de ingredientes (POZZA et al., 2005).

Além das características técnicas do equipamento como diâmetro dos furos, nº de furos por unidade de área, velocidade de rotação dos martelos entre outros, as características do próprio ingrediente moído como o teor de umidade, de gordura ou da variedade dos grãos pode influenciar nas características físicas do ingrediente moído.

Em termos econômicos, a moagem possui elevado impacto no custo final da ração uma vez que representa o segundo maior custo de produção (RUBIO et al., 2020). Em um experimento para a avaliação dos efeitos do desgaste do moinho sobre as características da moagem e do milho moído Chiodelli et al. (2018) verificaram consumos de 5,0 a 52,1 kW/ton, para moinho equipado com peneiras de 12 a 1 mm, respectivamente.

Figura 3 - Etapas do processo produtivo de rações para aves.



Fonte: Adaptado de Ferraz Máquinas LTDA (2021). *PPLA: Post-pelleting liquid application.

1.1.3 Metodologias para mensuração do tamanho de partículas dos ingredientes

Diversas características são alteradas após a moagem entre elas a granulometria dos ingredientes. A determinação do tamanho de partícula é um parâmetro de controle extremamente importante no que diz respeito a qualidade, necessário para o controle de produção da fábrica de rações e para a área de nutrição animal.

Inicialmente o método utilizado para a mensuração do tamanho de partículas de ingredientes foi o ASAE R246.1 (ASABE, 1969). O método proposto descrevia o tamanho de partículas baseado em partículas grossas, médias ou finas. Posteriormente desenvolveu-se um método alternativo com mensuração do tamanho de partículas em milímetros (mm) ou micrômetros (μm) (ASABE, 1969b) que foi, posteriormente, recebendo pequenas alterações com o passar dos anos. O método prevê a utilização de um conjunto de até 14 peneiras que pode determinar tamanhos de partículas em uma faixa de 4760 μm até 53 μm . Em 2008 houve a inclusão da possibilidade de utilização de equipamentos agitadores de partículas e do agente de dispersão, determinando a norma padrão atual aprovada para a determinação da granulometria que é a ANSI/ASAE S319.4 (ASABE, 2008). Esse método determina por meio de peso amostral o diâmetro geométrico médio (DGM) que pode ser dado em milímetros (mm) ou micrômetros (μm) que representa a média da distribuição das partículas na massa. Além do DGM o desvio padrão geométrico (DPG) que representa o grau de dispersão dos tamanhos de partículas ao redor da média, área de superfície em relação à massa, nº de partículas por grama, densidade e o ângulo de repouso. Esse método se dá através de controles pré-definidos como quantidade de material inicial, número e tamanho de peneiras. Porém, o método permite variações no tempo de peneiramento, inclusão de equipamento agitador e a utilização de agentes de dispersão (KALIVODA et al., 2017). Essas alterações impactam no valor final de DGM e DPG o que deixa dúvidas sobre qual metodologia é a melhor a ser aplicada para cada tipo de granulometria a ser avaliada.

A forma mais usual de realização da avaliação do tamanho de partícula é através de peneiramento com amostra seca. O método de peneiramento a seco tem baixo custo e não há necessidade de operacional técnico especializado para a realização. Porém, esse método tem dificuldade de expressar granulometrias muito finas pois elas podem grudar entre as malhas das diferentes peneiras utilizadas devido a força eletrostática. Da mesma forma, dietas com alta inclusão de óleo não são indicadas para esse método (LYU et al, 2020b).

Usualmente para eliminar essa anomalia utiliza-se agentes de dispersão e equipamentos agitadores. Stark et al. (2012) encontraram que o DGM diminui com o aumento da inclusão de agentes de dispersão na amostra mostrando que o agente de dispersão atua como um facilitador

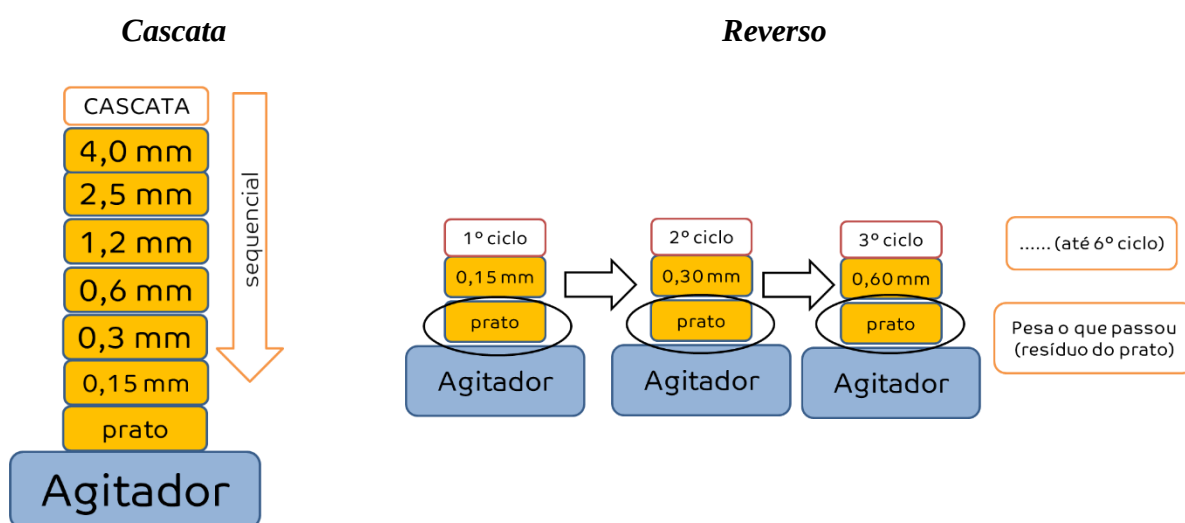
da queda de partículas finas até a peneira adequada. O método proposto por Henderson e Perry (1955) é usual para determinação do tamanho de partículas e utiliza agitador de peneiras para determinação do DGM e DPG, secando a amostra em estufa (55°C – 24h) de ventilação forçada antes da execução da análise com tempo de agitação das peneiras de 10 minutos.

Para avaliação de tamanho de partículas em amostras peletizadas utiliza-se os métodos de peneiramento úmidos através da diluição da amostra com água (LYU et al., 2020b). No entanto, é um método não tão usual na avaliação de tamanho de partículas na alimentação animal não havendo extensa literatura sobre as formas de avaliação desse tipo especial de forma física.

A utilização de microscópio óptico também é uma alternativa (LYU et al., 2020b). Essa metodologia é interessante do ponto de vista técnico uma vez que é possível avaliar e medir os tamanhos de partículas possibilitando correlação com outros indicadores de produção, como a peletização por exemplo.

A forma de peneiramento é outra possível alteração. O método padrão (ASABE, 2008) prevê a utilização das peneiras em formato de cascata (Figura 4) distribuídas da maior peneira (maior diâmetro do furo) até a menor peneira (menor diâmetro do furo). Liu (2009) propôs um método alternativo conhecido como reverso. O método prevê o não empilhamento e sim a pesagem individual de forma reversa (Figura 5), da menor peneira (menor diâmetro do furo) para a maior peneira (maior diâmetro do furo) com diferentes tempos de peneiramento (225, 170, 125, 50, 24 e 6 segundos para as peneiras de 0,15; 0,3; 0,6, 1,2, 2 e 4 mm).

Figura 4 - Diferentes formas de peneiramento - Cascata ou Reverso.



Fonte: Autor.

As possíveis alterações nos métodos geram dúvidas sobre qual metodologia é a mais indicada para a determinação do tamanho de partícula dos ingredientes quando avaliamos desempenho zootécnico.

1.1.4 Efeitos das características físicas da dieta e ingredientes no desempenho zootécnico

Análises dos custos com a produção de perus são escassos no Brasil, porém para uma das espécies de características mais próximas como o frango de corte o custo com as rações representou em 2020 cerca de 68% dos custos totais de produção (EMBRAPA, 2020). O referido custo em rações está diretamente associado aos custos dos ingredientes, em especial o milho, o maior componente das rações (HAMEED et al., 2016). Desta forma, a viabilidade econômica da produção está diretamente relacionada com o custo dos ingredientes, a sazonalidade e a imprevisibilidade da produção. Como exemplos destes fatores podemos citar em 2020 a pandemia mundial causada pela covid-19, que ocasionou redução na disponibilidade de matérias primas no mercado elevando os preços dos insumos ou até mesmo as condições climáticas aonde no mesmo ano o estado de Santa Catarina enfrentou a maior estiagem registrada desde 1957 (EPAGRI, 2021).

Assim, estratégias para maximizar a utilização das rações pelos animais são positivas no sentido de melhorar a viabilidade econômica dos sistemas de produção animal. Dentre as diferentes estratégias para maximizar o potencial dos alimentos estão os processamentos físicos e as formas físicas de fornecimento das rações.

Na produção de rações para aves de corte há duas formas físicas comumente utilizadas: rações fareladas ou rações peletizadas (Figura 4) (ABADI et al., 2018). A forma farelada é uma forma de dieta completa com mínimo processamento na planta fabril de rações (por vezes, apenas a moagem de ingredientes isoladamente ou conjuntamente) que após a padronização do tamanho das partículas passa por um processo de mistura nos qual os ingredientes isoladamente passam a compor a ração. Tal procedimento permite um consumo homogêneo dos ingredientes com isso a expressão de todo o potencial produtivo dos animais. Para a produção de rações fareladas são necessários processos de produção mais simples (JAHAN et al., 2006), com menor investimento tecnológico comparativamente às rações peletizadas.

Na produção de rações peletizadas, após a mistura, ocorre um processo físico que envolve alta temperatura, vapor de água e pressão mecânica da ração farelada contra uma matriz que promove a aglomeração dos ingredientes em um formato cilíndrico conhecido como pelete. A agregação de umidade e adição de calor acontece por meio do condicionamento térmico geralmente realizado através da adição de vapor (ABDOLLAHI et al., 2013). Além da

agregação o tratamento térmico promove um pré-cozimento dos ingredientes, em especial o amido, o que aumenta a digestibilidade da dieta (MASSUQUETO et al., 2018).

Em resumo, no processo de peletização, a massa da dieta farelada passa pelo alimentador e condicionador aonde há a injeção de vapor. Após a etapa de condicionamento a massa da dieta com umidade e calor agregado segue para a câmara de peletização. A formação do pelete acontece por meio da passagem da massa quente através de um gabarito de metal ou uma matriz. Após a formação do pelete a dieta em forma peletizada passa por um processo de resfriamento, reduzindo a temperatura de 80 – 90°C para 8°C acima da temperatura ambiente (ABDOLLAHI et al., 2013).

Figura 5 - Formas físicas comumente utilizadas: rações fareladas (A) ou rações peletizadas (B).



Fonte: Autor.

A introdução do processo de peletização de dietas aconteceu nos Estados Unidos em meados dos anos 20 (COFFEY et al., 2016) tornando-se o processo térmico e a forma física mais comum na produção de dietas de aves no mundo, com efeitos adicionais sobre a genética, nas práticas alimentares e principalmente nas composições das dietas fornecidas aos animais (ABDOLLAHI et al., 2018). Diversos fatores benéficos estão associados com a adoção da técnica de peletização com destaque para a melhora na performance zootécnica dos animais que resulta em redução nos custos de produção por unidade de ganho (ABDOLLAHI et al., 2019).

Outro fator associado ao melhor desempenho das rações peletizadas é o menor desperdício relacionado a menor queda de partículas no bico no consumo (LV et al., 2015). As aves alimentadas com peletes gastam um menor tempo e energia para ingerir o alimento e selecionam menos partículas obtendo mais nutrientes por cada unidade de energia gasta e melhor equilíbrio na ingestão de nutrientes do que aquelas alimentadas com dietas fareladas (ABDOLLAHI et al., 2013). A densidade da dieta é aumentada com a peletização, o que proporciona maior facilidade de transporte e fluidez dos ingredientes (ABDOLLAHI et al.,

2018). Os resultados do efeito da peletização para perus são semelhantes aos observados para frangos de corte com melhor performance zootécnica (FARGHLY et al., 2014).

No entanto, todos os benefícios causados pela peletização só podem ser obtidos se os peletes produzidos tenham boa integridade e cheguem em seu formato original para as aves (MASSUQUETTO et al., 2018). Não há diferença na performance zootécnica de aves alimentadas com uma dieta peletizada com baixa qualidade física e com uma dieta farelada, especialmente nas fases finais de consumo (LEMME et al., 2006; DOZIER et al., 2010). Dessa forma, é necessário que haja uma gestão nos indicadores que tangem o controle da qualidade física das rações peletizadas.

A qualidade do pelete é definida como a capacidade que o pelete tem de resistir a fragmentação e abrasão durante o armazenamento e transporte da dieta, sem quebrar e, com isso, sem gerar alta proporção de finos (AMERAH et al., 2007). A qualidade do pelete é impactada por diversos fatores como a proporção dos ingredientes na dieta, o tamanho de partículas dos ingredientes (em especial o milho), a qualidade do condicionamento, as especificações técnicas da matriz e do resfriamento (COLOVIC et al., 2010).

É comum nas formulações de Perus a inclusão de gorduras ou óleos para a suplementação energética das rações, como resultado, promove maior rendimento do equipamento e pior qualidade do pelete (WAMSLEY et al., 2013). É importante para a cadeia de produção de aves que as duas características (quantidade e qualidade) sejam maximizadas o que leva a busca por alternativas no mercado para a redução de inclusão de gordura antes da peletização e a melhora das características dos peletes.

Características técnicas da matriz como o diâmetro de furação também são relevantes para a qualidade do pelete. É comum na produção de rações de aves a utilização de matriz com furação de 4 ~ 4,5 mm, no entanto, estudos apontam que a utilização de micro-peletes (1,59; 1,8; 3,17 mm) em fases iniciais tanto para frango quanto perus apresentam impactos positivos na performance zootécnica (CERRATE et. al, 2009; FAVERO et al., 2009). Para medir a qualidade física de dietas peletizadas utiliza-se o índice de durabilidade do pelete (PDI) (CARDEAL et al., 2014), o referido método simula os impactos causados pelo transporte da dieta até a sua efetiva utilização determinando a durabilidade do pelete e o percentual de finos gerados após o processo.

A peletização de uma dieta é um processo complexo e de alto custo (variáveis como energia elétrica e gastos fixos como o das instalações) e requer profissionais especializados para operação. Peletizar impacta na produtividade da fábrica de rações uma vez que se cria um limitador de produção não existente na forma farelada. É necessário um ótimo

dimensionamento e planejamento para que a fábrica não opere acima da sua capacidade produtiva. Outro ponto de atenção no processo de peletização é a temperatura. Algumas enzimas são sensíveis aos efeitos da temperatura o que promove a desnaturação proteica que elimina alguns dos efeitos benéficos de sua inclusão na dieta (SLOMINSKI, 2011). Em contrapartida, a utilização de temperatura é benéfica para o controle de microrganismos como *Salmonella* (BONEY et al., 2018).

Outra forma de processamento que as rações podem ser submetidas é a trituração pós peletização, com vistas a diminuir o tamanho do pelete e com isso facilitar o consumo (JAHAN et al., 2006) (Figura 05).

Figura 6 - Ração triturada pós peletização.



Fonte: Autor.

A utilização deste processamento adicional pós peletização nas rações de aves é recente (JAFARNEJAD et al., 2011) e utilizada principalmente nas fases iniciais (CERRATE et al., 2009). Em trabalhos com o uso de pós trituração dos peletes Cerrate et al. (2009) e Choi et al. (1986) afirmam que aves alimentadas com dieta inicial triturada pós peletização têm maior consumo de ração e consequentemente melhor desempenho zootécnico. Embora os estudos de trituração pós peletização sejam com frangos de corte é comum no Brasil o uso deste processamento para as rações de perus nas fases iniciais (FAVERO et al., 2009).

As aves podem selecionar os alimentos pela coloração, tamanho e forma, assim partículas maiores são preferidas e mais rapidamente ingeridas pelos animais (HAFEEZ et al., 2015). Partículas menores que 500 μm aumentam a seleção dentro da ração, reduzem a digestibilidade e resultam em pior desempenho de frangos de corte (SAFAA et al., 2009). Além disso, granulometrias muito finas do milho, por exemplo, apresentam teor elevado de pó, o que resulta em problemas respiratórios e incrustações no bico do animal (FLEMMING et al., 2002).

A redução de partículas dos ingredientes de acordo com o recomendado para a espécie impacta na performance zootécnica (KIM et al., 2005; ZANG et al., 2009; XU et al., 2015). Existem variações na literatura sobre qual o DGM ideal para cada fase na criação de aves. Na nutrição de aves a redução de partículas têm sido associadas a uma maior área superficial na massa da dieta (Tabela 1), o que promove uma melhor interação entre ingredientes e enzimas digestivas (MINGBIN et al., 2015) com efeitos na fisiologia gastrointestinal das aves (CELI et al., 2017). Além disso, impacta na taxa de passagem do alimento (SVIHUS et al., 2002), no desenvolvimento do trato digestivo (PACHECO et al., 2014) e no perfil da microbiota (AMERAH et al., 2009).

Tabela 1 - Efeito do grau de moagem nas características físicas do milho.

Itens	Milho moído 3 mm	Milho moído 6 mm
Diâmetro geométrico médio, μm	511	1018
Desvio padrão geométrico	1,66	2,24
Ângulo de repouso, $^{\circ}$	44	40
Partículas, unidades/g	41.170	29.028
Área, cm^2/g	230,4	134,9

Fonte: Autor.

A redução de partículas, em especial a do milho melhora a qualidade física dos peletes (DOUGLAS et. al, 1990; NIR et al., 1995), uma vez que partículas mais finas se aglomeram de forma mais fácil, além de interferir na qualidade da mistura das rações (PAIANO et al., 2014). Em geral, a granulometria do milho utilizada na dieta de aves varia de 800 até 1000 μm , mantendo um equilíbrio entre produção do moinho e qualidade física do pelete (RUBIO et al., 2020), uma vez que a trituração excessivamente fina aumenta o consumo de energia elétrica e diminui a capacidade produtiva dos equipamentos de moagem (KIARIE e MILLS, 2019).

Existe interação entre a forma física e a granulometria dos ingredientes fornecidos. A granulometria dos grãos utilizados é mais crítica em rações fareladas do que em peletizadas e trituradas (PERON et al., 2005). Aves alimentadas com dieta farelada tiveram melhores índices zootécnicos com o aumento da granulometria. No entanto, esse efeito não foi observado para dietas peletizadas (DAHLKE et al., 2001). Da mesma forma, Zanotto et al. (2006) avaliaram diferentes granulometrias de milho e diferentes formas físicas da ração (peletizada e farelada) para frango de corte e concluíram que a variação do DGM, dentro da ração peletizada, não afetou a performance zootécnica. O resultado obtido por Zanotto et al. (2006) com ausência de

efeitos em rações peletizadas pode estar associado a menor qualidade dos peletes em granulometrias altas do milho.

Contudo, as diferentes possibilidades de alteração dos processos de produção de rações peletizadas como a alteração de temperatura, adição de óleos e demais ingredientes líquidos pós pelete leva a necessidade de novos estudos, em especial com perus, espécie menos explorada na correlação entre os processos de produção de ração e desempenho.

1.1.5 Efeitos das características físicas da dieta e dos ingredientes na digestibilidade

A previsibilidade dos valores de nutrientes digestíveis dos ingredientes é importante para a definição das matrizes nutricionais para a formulação de dietas visando minimizar o custo por unidade produzida (COWIESON et al., 2020). Quando avaliamos as dietas de aves o amido encontrado nos cereais, em especial o milho, torna-se a fonte de energia mais importante (SVIHUS et al., 2014). A estimativa precisa do valor de energia do milho e de dietas que possuem variações em seu processamento são necessárias para que as aves aproveitem de forma adequada o alimento fornecido, otimizando o nível de economia quando associado essa fonte de energia com fontes de energia mais caras como a gordura (STEFANELLO et al., 2019).

A redução do tamanho de partícula melhora a performance do animal em rações fareladas e peletizadas visto a melhor digestibilidade nutricional (BAO et al., 2015; ROJAS e STEIN, 2015; AL-RABADI et al., 2017). Isso deve-se ao fato de que há uma maior e melhor interação do alimento com as enzimas digestivas presentes no trato gastrointestinal (AMERAH et al., 2007) uma vez que menores granulometrias tendem a aumentar a velocidade de passagem do alimento na moela para o duodeno e intestino delgado, o que prejudica a ação de sucos digestivos presentes na moela e na ação enzimática no intestino delgado, com redução na digestibilidade e disponibilidade dos nutrientes (NIR et al., 1994). Em contraste, um estudo elaborado por Zaefarian et al. (2016) em aves indicou que um maior DGM beneficia o desenvolvimento e o bom funcionamento da moela (DAHLE et al., 2003), uma vez que a taxa de passagem pela moela de partículas mais finas é menor quando comparadas a partículas mais grossas, estimulando a função da moela e reduzindo a população de patógenos no intestino grosso, melhorando a digestibilidade geral do animal (PACHECO et al., 2013; XU et al., 2015; CÓRDOVA-NOBOA et al., 2020). Autores como Amerah et al. (2007b) mostram que a granulometria grossa tende a aumentar a energia metabolizável aparente (EMA) em dietas a base de trigo para frangos de corte, no entanto, esse efeito não é encontrado em dietas a base de milho.

A alfa-amilase é a principal enzima responsável pela digestão do amido (BACH KNUDSEN et. al, 2006). A atividade da alfa-amilase é comum em mamíferos na saliva, porém, em aves a amilase salivar tem atividade limitada (VIEIRA e STEFANELLO, 2017) sendo a amilase pancreática a única fonte que as aves podem utilizar para a degradação do amido (WISEMAN, 2006). Frangos e perus em fases iniciais tem abundância dessa enzima, especialmente durante os primeiros dias de vida após a eclosão (PUBOLS., 1991). As aves são consideradas aptas a consumirem dietas com altas inclusões de amido, porém com atenção nas diferenças fisiológicas provocadas pela idade dos animais e os efeitos que causam no desempenho quando comparamos fases iniciais e finais (CÓRDOVA-NOBOA et al., 2020). Estudos apontam que a amilase exógena melhora a digestibilidade de nutrientes e o desempenho de aves alimentadas com dietas a base de milho (GRACIA et al., 2003) enquanto outros autores não encontraram efeitos significativos (STEFANELLO et al., 2015).

Linhagens modernas de frango de corte de crescimento rápido necessitam quantidade adequadas de energia fornecida lado a lado com as proteínas em especial os aminoácidos. Quando se avalia os aminoácidos caso haja a utilização de um tamanho de partícula inadequado a digestibilidade pode ser diminuída e o fornecimento destes na dieta se torna um limitador do crescimento. Esse aspecto se torna relevante principalmente se a dieta formulada não tem margem segura para os níveis de aminoácidos (SIEGERT et al., 2017).

Existem diferenças na digestibilidade dos nutrientes correlacionadas a forma física da ração (farelada ou peletizada). A moagem fina do milho aumenta a energia metabolizável verdadeira em rações fareladas, no entanto, esse efeito não foi encontrado para rações peletizadas (KILBURN e EDWARDS, 2004). Entretanto, a moagem grossa do milho tem sido recomendada, uma vez que aumenta a eficiência de utilização do nitrogênio e na retenção de lisina em rações fareladas (PARSONS et al., 2006).

Para determinação da digestibilidade dos nutrientes e energia metabolizável é mais comumente utilizado o método de coleta total de excretas. O ensaio envolve período de adaptação e período de coleta das excretas com controle do consumo de ração entre 4 e 5 dias (SAKOMURA e ROSTAGNO, 2007). Uma alternativa para o método total de excretas é a utilização de indicadores. Os indicadores são utilizados a fim de se determinar os coeficientes de digestibilidade e, com isso, estimar a quantidade de excreta correspondente a uma unidade de ração consumida.

Informações sobre a utilização dos nutrientes e energia conforme o tamanho da partícula ainda é limitado (NADERINEJAD et al., 2016) e no caso de grãos como o milho, muitas vezes equivocados (AMERAH et al., 2007), necessitando de uma maior gama de estudos que avaliem

o impacto que alterações de granulometria causam na digestibilidade nutricional. Existe uma falta de informações que correlacionam o impacto do grau de moagem das partículas da dieta na digestibilidade nutricional de diferentes tipos de aves (MTEI et al., 2019). Dessa forma, há a necessidade de mais estudos que consideram os impactos da redução do tamanho da partícula, em especial o milho, na digestibilidade nutricional de perus.

1.1.6 Efeitos das características físicas da dieta e dos ingredientes nas variáveis séricas

Variáveis bioquímicas são usadas como metodologia auxiliar para o diagnóstico de enfermidades principalmente em animais domésticos, porém com pouca utilização para aves (BORSA et al., 2006). A composição bioquímica do plasma sanguíneo pode representar a situação metabólica dos tecidos e com isso possibilitar avaliar alterações no funcionamento dos órgãos e adaptação dos animais a diferentes formas de fornecimento dos alimentos ou dietas nutricionais (GONZÁLEZ e SCHEFFER, 2003).

A classificação do processo bioquímico é dividida em função do metabolismo dos três constituintes principais dos alimentos: as proteínas, os carboidratos e os lipídeos (KANEKO et al., 2008). As principais avaliações sanguíneas nas aves são: proteína totais (PT), albumina (ALB), ácido úrico (AU), colesterol (COL), triglicerídeos (TRIG) e glicose (GLIC).

As proteínas têm como principal função manter o volume sanguíneo por meio do efeito osmótico coloidal, auxiliar na manutenção do pH sanguíneo, no transporte de lipídeos e hormônios e na defesa do organismo através dos anticorpos (MELILLO, 2013). Os principais fatores que alteram as proteínas totais das aves são a idade, sazonalidade, manejo e doenças (LUMEIJ, 1997). Dentre todas as proteínas disponíveis no sangue, a albumina é a mais importante representando cerca de 40 a 50% das proteínas totais (KANEKO et al., 2008).

O ácido úrico é a principal forma de excreção de componentes nitrogenados nas aves já que elas são animais uricotélicos (THRALL et al., 2004). As concentrações encontradas podem variar de acordo com a idade, com a dieta ou provenientes de alterações metabólicas e fisiológicas (CAPITELLI e CROSTA, 2013). Em um estudo para avaliar diferentes níveis de metionina e cistina para aves Carvalho e Santos (2020) encontraram aumento dos níveis de ácido úrico e de colesterol, na fase inicial (1-21 dias) com o aumento dos níveis dos aminoácidos.

O colesterol é o lipídeo de maior concentração nas membranas celulares. É eliminado na forma de ácidos biliares e o aumento de sua concentração sérica pode estar correlacionado com a obstrução biliar extra-hepática, da fibrose hepática e hiperplasia dos ductos biliares das aves (CAMPBELL, 2004).

Os triglicerídeos têm uma função importante no organismo atuando como reserva de energia (LEHNINGER et al., 2006). Sua variação no organismo pode estar associada à dieta, ao sexo e fatores hormonais do animal (HOCHLEITHNER, 1994).

A glicose é o monossacarídeo de maior impacto e importância na nutrição e no metabolismo sanguíneo uma vez que é o açúcar da circulação sanguínea (VIEIRA, 2004). A concentração de glicose em aves saudáveis fica entre 200 a 500 mg/dL. Em concentrações abaixo de 200 mg/dL considera-se hipoglicemia resultante de um jejum prolongado, doença hepática severa ou distúrbios nos rins (CAMPBELL, 2004).

Amirabdollahian et al. (2014) não encontraram efeitos da forma de fornecimento da ração (farelada ou peletizada) sobre as variáveis sanguíneas de frangos de corte, embora os autores discutiram que a composição da dieta pode influenciar as variáveis séricas. Por outro lado, Attia et al. (2014), encontraram diferenças nos índices de albumina e globulina de aves alimentadas com rações peletizadas e fareladas e efeitos da forma de alimentação (diferentes diâmetros de peletes ou farelada) nos constituintes bioquímicos e hematológicos do sangue de frangos de corte. Corzo et al. (2012) não encontraram efeitos da forma física da dieta na glicose sanguínea, mas encontrou diferenças na proteína total e na albumina. Esse resultado é semelhante ao encontrado por Shabani et al. (2015) aonde a característica física da dieta impactou apenas nos níveis de proteína total e albumina do sangue.

Enquanto os efeitos das características físicas da dieta e dos ingredientes no desempenho e na digestibilidade foram investigados poucos estudos avaliam os efeitos destes no metabolismo e na imunidade dos animais (SHABANI et al., 2015) sendo comum encontrar estudos em que os constituintes bioquímicos e hematológicos sejam afetados por fatores genéticos e ambientais (ATTIA et al., 2011). Kirshner et al. (1951) cita que a literatura para avaliação de níveis séricos para perus é falha e traz em seu estudo os níveis séricos esperados em condições normais. Avaliar condições diferentes de fornecimento de alimentos e seus impactos nos diferentes níveis séricos, em especial na cadeia de perus, é válido uma vez que essa cadeia é pouco explorada quando comparado as demais.

1.2 OBJETIVO

1.2.1 Geral

Avaliar o impacto de diferentes granulometrias do milho no desempenho zootécnico, na digestibilidade nutricional e nos níveis séricos de perus, correlacionando diferentes

metodologias de determinação da granulométrica do tamanho de partícula do milho com resultados zootécnicos.

1.2.1 Específicos

- Verificar os efeitos de diferentes tamanhos de partículas do milho na performance zootécnica, na digestibilidade nutricional e nos níveis séricos de perus;
- Verificar os efeitos da granulometria do milho sobre a qualidade física do pelete;
- Correlacionar diferentes metodologias de determinação do tamanho de partícula do milho com resultados zootécnicos sugerindo métodos de aplicação.

2 - CAPÍTULO II

2.1 MANUSCRITO I

2.1.1 – EFFECT OF CORN PARTICLE SIZE ON GROWTH PERFORMANCE, SERUM BIOCHEMISTRY AND DIGESTIBILITY FOR FEMALE TURKEY DIETS

Autores: Marlon José Zanotto

De acordo com normas para publicação em:

Animal Feed Science and Technology

ABSTRACT

Two experiments were carried out to measure the effects of various corn particle sizes-CPS on turkey diets: experiment I, performance and serum biochemistry, experiment II, apparent digestibility and nutrient balance fed with different CPS. In experiment I, 16 pens/treatment (40 birds/pen) a total 3200 female turkey (63.3 ± 1.1 g), the experimental period was divided pre-initial (1–21d) and initial (22–45d). The corn was ground in a hammer mill set with five screens: 2, 4, 6, 8, or 10 mm hole diameters that resulted in CPS corn particle size in the pre-initial and initial phases of 453, 752, 950, 1064, and 1109 μm and 459, 770, 737, 833, and 972 μm , respectively. The turkeys were weighed in the first day and at the end of each phase. The feed intake (FI) of the phase was computed to calculate feed conversion (FC). Blood samples were taken on days 21 and 45 (ten birds from each treatment) to measure serum levels of glucose, triglycerides, cholesterol, total protein, albumin, and globulin. For experiment II (apparent digestibility), 24 birds per treatment were taken at the end of the pre-initial phase (Exp. I) to compose eight repetitions (three birds per experimental unit) for each treatment, totaling 120 female turkeys. The birds were transferred to metal cages (0.24 m^2) for total excreta collection and kept with the same feed (treatment) from Exp. I. Subsequently, the turkeys were subjected to five days of adaptation followed by five days for total excreta collection. In Exp. I, a quadratic regression model with the minimum and maximum points best fitted the weight gain (WG) and the FC in the pre-initial phase. In the initial phase (22–45 days), the increase in the CPS linearly reduced the FC, and there was a tendency to reduction on weight gain. For serum biochemistry, on the 21st day, levels of Glucose, cholesterol, albumin, and globulin increased ($P < 0.05$) with the increase in CPS, and on the 42nd day, there was a linear increase ($P < 0.05$) in triglycerides with the increase in CPS. The metabolism coefficients of dry matter, organic material, and crude protein showed quadratic effects with a maximum point ($P < 0.05$) with the increase in CPS. The apparent metabolizable energy increased linearly with the increase in the CPS. There was a quadratic effect with a minimum point for the excreted organic matter and excreted crude protein and a quadratic effect with a maximum point for the nitrogen balance with the increase of the CPS. There was a quadratic effect with a minimum point for the metabolizable energy and digestible crude protein being the highest relation obtained with the lowest CPS. The lower corn particle size promoted greater WG and FC over the total period. The larger CPS increased the serum levels of glucose, cholesterol, albumin, and globulin on the 21st day and the triglycerides levels on the

45th day. Milling with screens close to 6 mm (950 μ m) gave better values of apparent dry matter coefficient and apparent organic matter coefficient.

KEYWORDS: particle size, weight gain, turkey nutrition, corn processing, feed processing

INTRODUCTION

The initial production phase for turkeys is critical, as it requires special care, including the provision of adequate temperature, ventilation, and good bed quality, with emphasis on the physical form of the feed because turkeys have difficulty to intake fine-grained feed (Favaro et al., 2009). Most ingredients used in poultry diets require the reduced of particle size (PS) (Rubio et al., 2020). Corn, in particular, requires milling because it is the primary ingredient in poultry feed and composes most of the feed volume (Naderinejad et al., 2016).

Because of the narrow ideal range of particle size, the analysis and monitoring of the physical characteristics of corn need to be evaluated and validated according to the species and category (Favero et al., 2009). Birds find it challenging to consume diets with very coarse or very fine grain sizes because of the anatomical characteristics of their beaks (Moran, 1982; Nir et al., 1994) which makes it necessary to grind to a grain size compatible with the animal's anatomy. The grinding of grain corn reduces the CPS (Lyu et al., 2020) and provides a larger surface area/unit of mass of the corn. Doing so gives rise to better interactions between the ingredient and digestive enzymes, resulting in better zootechnical performance derived from better digestibility (Lv et al., 2015; Rojas and Stein, 2015; Bao et al., 2016; Al-Rabadi et al., 2017).

However, grinding also alters the quality of the feed mix (Paiano et al., 2014). Excessively fine grinding causes losses in economic gains because it decreases the production capacity of the grinding equipment (Kiarie and Mills, 2019) and increases the cost of electricity for milling corn (Chiodelli et al., 2018). On the other hand, thicker CPS favor the development of the gizzard and good functioning because the fine particles increase gizzard passage rate than coarse particles (Zaefarian et al., 2016). By stimulating the gizzard, the population of pathogens with improved digestibility is reduced (Pacheco et al., 2013; Xu et al., 2015).

Favero et al. (2012) found that the increase in corn particle size with CPS above 380 μ m improved the digestibility coefficients in turkeys. Similarly, Favero et al. (2009) found that the

CPS for turkey feed in crushed or pelleted form was 606 μm for better zootechnical performance, and the particle size range from 606 to 806 μm increased the relative weight of the gizzard and the length of the intestine with better uniformity WG after 14 days. It is common in the turkey feed industry to use corn sizes ranging between 850 and 950 μm .

It is noteworthy that there are fewer articles in the specialized literature for turkeys than for broilers; therefore, there is little support for the recommendation of the ideal grain PS for turkeys and their respective effects on zootechnical performance and digestibility. For these reasons, the hypothesis with this work was that, given the characteristics of turkeys, the highest CPS of corn (even in pelleted diets) would influence the performance and digestibility of the turkeys in the first weeks of rearing. Therefore, the objectives of the present study were to evaluate various CPS in pelleted diets for turkeys (1 to 45 days old) and their effects on performance, serum biochemistry, and apparent digestibility.

MATERIALS AND METHODS

The ethics committee on animal experimentation at the Santa Catarina State University approved the study under protocol CEUA n° 5400021219/2020. Due to the COVID-19 pandemic in 2020, there were changes in the initial scope of the protocols previously defined for the work. Therefore, there was no assessment of the birds' intestinal microbiota, and the apparent digestibility was not performed in the initial phase of the birds due to social isolation implemented in the institutions where the work was performed.

Animals, facilities, experimental design, and treatments

Two experiments were performed: Exp. I (zootechnical performance) and Exp. II (apparent digestibility). For Exp. I, we used 3,200 one-day-old female turkey (AVIAGEN Nicholas SS turkeys) with initial body weight of 63.3 ± 1.1 g obtained from a commercial hatchery. After hatching, the birds underwent a laser beaking process (Nova-Tech Engineering) and were housed in an experimental facilities (27°09S; 52°36°, 730 m) equipped with a heating system, natural ventilation, bell drinkers, and tubular feeder, from May to July 2020. The dry bulb temperature was monitored using automatic thermometers (dataloggers) positioned in the geometric center of the facilities with a sample interval of 60 minutes (Probe type DS 18B20®). The temperatures obtained were grouped in the weeks throughout the raising period, and the average temperature and the respective standard deviation (Figure 6) were calculated.

In the experimental facilities the female turkeys were weighed and randomly distributed in 80 pens of 7.6 m² with 40 birds (0.19 m²/bird). Light management of 24 hours of light was

adopted on the first day with a reduction of one hour per day from 9 pm until a program of 18 hours of light and 6 hours of darkness was obtained, which continued until the end of the experiment. The supply of feed and water was *ad libitum* divided into two experimental periods: pre-starter phase (1 to 21 days) and starter phase (22 to 45 days). Deaths were recorded daily, weighings of the turkeys weekly and the feed were carried out at the end of the respective phases.

For the 21-day digestibility experiment, 120 turkeys from the performance experiment were transferred to an experimental facilities (26°48S; 52°23S, 788 m), equipped with 40 metal cages of 0.24 m² adapted for digestibility, with front linear feeder-type, bell drinker and natural ventilation. For apparent digestibility, eight replicates were used with three birds per cage for each treatment, and the pre-initial feed from the same batch of the performance experiment were provided with feed and water supply *ad libitum* and keep 18 hours of light program.

The treatments differed according to the degree of CPS, for which five sets of milling screens with hole diameter varying from 2, 4, 6, 8, or 10 mm were used for milling the corn for the manufacture of diets for treatments A, B, C, D, and E, respectively, providing different CPS (Table 2) analyzed according to Henderson and Perry (1955).

Zootechnical performance and serum biochemistry

The turkeys were weighed at the first day and weekly to determine weight gain (WG) and the feed intake (FI) was determined at the end of each experimental period. FI, WG, body weight (BW) and feed conversion (FC) were calculated without adjusting for mortality during the phase (total feed consumption/weight gain of birds at the end of the phase).

For the determination of serum biochemistry, blood samples were collected by puncture of the ulnar vein from ten birds per treatment (randomly selected from the 16 pens of each treatment) on days 21 and 45 of experimental period. We used sterile disposable needles and syringes and microtubes with an anticoagulant. Afterward, the samples were centrifuged (relative centrifugal force of 1,500 *g* for 15 minutes) to obtain serum, and samples were frozen (–20 °C) until the serum biochemical analyses were performed.

Serum concentrations of total protein (TP), albumin (ALB), uric acid, glucose (GLUC), triglycerides (TRIG), total cholesterol (CHOL), and globulin (GLOB = TP–ALB) were determined using specific commercial kits (Gold Analisa®). The samples were read in a semi-automatic biochemical analyzer (Bioplus 2000®).

Digestibility assay

Experiment II (apparent digestibility) was performed based on the total excreta collection method (Matterson et al., 1965) with an adaptation period of five days followed by five days of total excreta collection. Metal trays wrapped with plastic were placed below the cages to collect excreta, carried out twice a day in the morning and afternoon. After collection, the samples were homogenized and frozen (-20°C) until analyses were performed.

After thawing at room temperature, the excreta were homogenized and dehydrated in a forced ventilation oven at 55°C for 72 hours. After drying, the samples were ground in a hammer mill with a 1 mm screen. We determined dry matter content (DM, method 930.15), crude protein (CP, method 990.03), ash (method 942.05), and crude fat (CF, method 920.39) according to methodologies described by AOAC International (2005) and gross energy using a calorimeter (IKA C-200). From the results of the chemical and energetic composition of the diets and excreta and their respective masses, metabolizable nutrients and metabolization coefficients were calculated (Matterson et al., 1965).

Feed formulation and manufacture

The experimental diets were manufactured based on corn and soybean meal formulated with the minimum cost methodology (Table 3) based on the nutritional requirements described for the strain (AviagenTM, 2015), physical-chemical analyses of the nutritional composition of the ingredients from the feed factory and on Rostagno et al. (2017).

Corn and other raw materials from the same batch were used for all treatments for each phase. The average grain size of soybean meal on the day of the feed production was $961\text{ }\mu\text{m}$ in the pre-initial phase and $1022\text{ }\mu\text{m}$ in the initial phase. To obtain different corn particle size, a hammer-type mill (Carlos Becker MM820/1038, 120 hammers, 450 CV with frequency inverter at 60 Hz) was used, equipped with five milling screens: 2, 4, 6, 8, or 10 mm, depending on the treatment: A, B, C, D, or E, respectively.

To determine the grain size of corn and feed, the cascade sieving methodology was used, with drying at 105°C for 24 hours, as proposed by Henderson and Perry (1955), in duplicates of 100 g of sample. The particle size and the geometric standard deviations (GSDs) were calculated based on the percentages retained in the standard sieves according to the equations described in ANSI/ASAE S319.3 (ASABE, 2008).

After mixtures (Helical Buhler mixer 6000 liters), the diets were preconditioned ($80\text{--}85^{\circ}\text{C}$ - HYMIX Buhler conditioner), expanded in an expander (KAHL OE 38.2) followed by

pelletizing (Van Aarsen - C900) in a device equipped with drilling templates 4,5 mm. After pelletizing, the diets were cooled (Geelen Counterflow) and crumbled in a roller mill (Van Aarsen) to reduce the pellet particle size and improve the feed intake with average percentages retained in a 3-mm sieve of 60.9% and 73.2% in the pre-initial and initial phases, respectively (Table 2). After crumbled, a percentage of vegetable oil and phytase enzymes (Quantum Blue®) and xylanase (Rovabio Advance®) were added via the post-pellet liquid application system (Mangra S.A). The pellet durability was expressed as the pellet durability index (PDI) determined by the S.269.4 method (ASABE, 2013).

Statistical analysis

The physical characteristics of the ingredients and diets were assessed descriptively. The data from the performance and digestibility experiments were analyzed for normality of distribution using the Kolmogorov–Smirnov test ($P > 0.05$), and they were transformed, if necessary, a procedure for which the package Action Stat for Microsoft Excel was used. Subsequently, data were subjected to analysis of variance. In the case of the effect of treatments ($P < 0.05$), polynomial regression analysis was performed in which linear regression models, square and quadratic root were tested with the diameter of the milling screen holes as the independent variable least-squares method was used to obtain the models. The coefficients of the equations were tested for significance using the t-test ($P < 0.05$), with the lowest P-value and the highest R^2 value used as the criteria of choice of model. The procedures was performed with the software SAEG (UFV). Additionally, the Scott–Knott test ($P < 0.05$) was performed to analyze differences between the means.

RESULTS

Characteristics of diets

The CPS and diets PS were reduced by milling in a screen with a smaller holes diameter (2 mm) than a screen with a larger holes diameter (10 mm). There was an average reduction of 56% in the CPS in the pre-starter phase and 22% in the initial phase (Table 2) (Table 2). The CPS reduction did not influence the GSD of the samples. There was an increase in the density of corn with a reduction of CPS. The physical characteristics of the post-pelletization diets were not altered concerning the PDI, with percentages of crushed material retained in a 3-mm sieve close to one another.

Zootechnical performance

There was a linear reduction ($P < 0.05$) in feed intake in the initial phase (22 to 45 days) and the total phase (1 to 45 days) with the increase in corn CPS. The turkeys fed with the highest CPS (1109 μm in the pre-initial phase and 972 μm in the initial phase) had the lowest feed intake ($P < 0.05$). There was no effect on the FC when the pre-initial phase (1 to 21 days) was evaluated in isolation (Table 4).

The WG in the pre-initial phase showed a quadratic behavior with a minimum point, and the highest gain was obtained in the lowest CPS (453 μm). Similarly, in the initial phase, birds fed the lowest CPS (459 μm) showed the best WG, and the tested models showed a trend ($P = 0.057$) for the linear model. In the total phase (1 to 45 days), there was a quadratic effect with a minimum point of treatments for the FI.

FC worsened the pre-initial phase ($P < 0.05$) with the increase in the corn particle size and the quadratic model with minimum point show the best fit. There were no effects of treatments ($P > 0.05$) on FC in the other periods.

Body weight on the 7th day showed a decreasing linear behavior ($P < 0.05$) with the reduction of CPS. In the other phases, there was a similar behavior with a reduction in body weight with the increase in the CPS; however, the quadratic model with a minimum point was the one with the best adjustment ($P < 0.05$) in the weight of the birds. In all the evaluated phases (Table 5), the final body weight of the treatment with lower CPS (453 μm in the pre-initial phase and 459 μm in the initial phase) was the highest ($P < 0.05$).

Serum biochemistry

On the 21st day (end of the pre-initial phase), there was a linear increase ($P < 0.05$) in the levels of GLUC, CHOL, TP, albumin, and globulin with the increase in CPS (Table 6). On the 45th day (end of the initial phase), there was a linear increase for the triglyceride levels ($P < 0.05$) with the increase of the CPS without effects for the other serum biochemistry.

Digestibility

The DMCD, OMCD, and CPCD (Table 7) were better adjusted by the quadratic models ($P < 0.05$), with the maximum point with the best coefficients obtained at intermediate corn milling levels (950 and 1064 μm). The derivation of the equations estimated inflection points of the CPS close to 1020 μm .

In nutrient balance, the quadratic regression model with the minimum point ($P < 0.05$) better adjusted the values of excreted organic matter and CP excreted, and the maximum point

($P < 0.05$) better adjusted the balance of nutrients. The quadratic model with the maximum point best adjusted the metabolizable CP ($P < 0.05$) in digestible nutrients. For apparent DM, there was a linear increase with the increase in CPS. Despite the effects of CPS on AMEn ($P = 0.049$), the means did not differ according to the means test used, and there was a trend ($P = 0.092$) toward a linear effect.

There was an effect of the treatments on the apparent metabolizable energy: digestible crude protein ratio (AME: DCP) ($P < 0.05$), suggesting that the milling treatments influenced the digestion of the protein fraction more intensely than the carbohydrate fraction of the diets, with the highest energy-protein ratio obtained in the milling with lower CPS (453 μm).

DISCUSSION

Physical characteristics of diets

The reduction in the diameter of the holes in the milling screens (screens set in the grinding chamber) increases the difficulty of the ground corn leaving the grinding chamber and, as a consequence, causes a greater number of impacts of the hammers on the ingredient and promotes smaller particle size. The reduction of CPS by increasing the grinding intensity (reducing the holes in the milling screen) is consistently and abundantly addressed in the specialized literature (Paiano et al., 2014; Rojas and Stein, 2015; Chiodelli et al., 2018 and Gebhardt et al., 2018). On the other hand, with the increase in the CPS, there is an increase in the GSD (Chiodelli et al., 2018), a behavior not observed in the data, probably because of the technical characteristics of the screens and mill, including, for example, a greater number of holes per unit area, rotation of the mill, configuration of the hammers, or even a negative pressure system coupled to the mill to minimize the reprocessing of the grain.

The small effect found in the PDI of the diets with the different particle sizes of corn is associated with the characteristics of the process used for the production of the diets, including the previous expansion of the diets, the diameter of the pelletizer matrix holes, or the application of liquid post pelleting process, all of which may have maximized the quality of the pellet and minimized the previous effects of CPS on the PDI. According to Muramatsu et al. (2015), particle size has less influence on the quality of the pellet than mixing, fat inclusion, and thermal conditioning.

The size of the diameter of the holes in the pelletizer die used (4.5 mm) broke the corn particles with diameters greater than their diameter, minimizing the effects of the pre-milling for the quality of the pellet and possibly on the performance. On the other hand, Amerah et al.

(2008) and Paulk et al. (2015) found lower PDI with the reduction of the grain size of corn and sorghum particles in diets for broilers and swine. For turkeys, in an experiment to evaluate different sizes of corn particles (range 380 to 806 μm), Favero et al. (2009) reported small changes in the PDI (98.4 to 97.6%) with the reduction of the corn CPS.

Zootechnical performance

The absence of effects observed in the pre-initial phase on the FC may be associated with the physical limitation of FI in this post-hatching phase. Favero et al. (2009) found similar results with turkeys fed with three corn grain sizes (380, 606, and 806 μm) in the 1–21 day phase, results that the authors associated with beaking on the first day of life. In the beaking process, the upper beak is trimmed, resulting in an open wound that requires up to three weeks to heal and potentially causes acute and chronic pain secondary to the rupture or thermal treatment of the nerves (Glatz and Underwood, 2020).

The best WG and FC observed in the smallest corn CPS in the pre-initial phase was not expected, given the lower digestibility observed for diets with smaller corn particle size in Exp II. However, the collections of the digestibility experiment occurred between 27 and 31 days of age; therefore, they may not faithfully represent the conditions of the first phase, especially with the possible limitation of consumption caused by beaking.

Birds prefer thicker particles according to the size of the beak and oral cavity (Schiffman, 1969). A newly hatched and beaked bird will likely have an easier time digesting fine particles associated with less development of the digestive tract. Thus, the larger surface area of the corn provided by the smaller particle size, associated with the lesser development of the animal, may have favored digestion, the best WG, and the best FC of the turkeys at this stage. Favero et al. (2009) found similar results with the effect of corn grain size on the WG for the same period. However, the largest WG found by these authors was obtained with CPS of corn of 606 μm , different from the current study in which the largest WG occurred with CPS of 453 μm .

On the other hand, in the initial phase (21–45 days), there was a linear reduction in the FI with the increase in the CPS of corn. FI is the result of a complex physiological system associated with the central nervous system, in which different components are combined to result in a feeling of hunger or satiety. Thus, larger particle sizes stimulate the digestive tract, especially the gizzard, and this may have decreased the rate of digestion passage, with the bolus taking more time to travel through the digestive tract. The physical mechanisms related to the

control of the digestive tract may have caused a greater feeling of satiety in the groups of turkeys fed the feed with corn with greater CPS.

The longer passage time and greater interaction of the digesta with the digestive enzymes tend to increase digestibility (a hypothesis confirmed in the digestibility test), and with this, there is greater availability of nutrients in the blood in the diets with higher CPS of corn. In the blood collections performed on the 21st day, there was an increase in essential indicators related to the metabolism of nutrients, including glucose and albumin, and the lipids in the blood collection on the 45th day. Such elements are also involved in the FI control process. The increase in the serum concentration of nutrients may have activated the satiety mechanisms causing the observed consumption reduction. Shurlock et al. (1981) found a reduction in feed intake after the infusion of a glucose solution into the portal vein in chickens, Tobin et al. (1979) reported that the excess of even a single type of amino acid affected the voluntary intake of birds. Lacy et al. (1986) found that the intrahepatic infusion of lipids significantly decreased the consumption of roosters.

The effects on WG in the initial phase are related to FI in the same phase; that is, reduction in WG is associated with lower nutrient intake caused by the reduction of FI with the increase in CPS.

It is likely that with higher metabolizable energy found in the largest grain sizes of corn, a feeling of satiety is created with less FI. Ribeiro et al. (2013) studied laying hens and observed a reduction in feed intake and consequently nutrient consumption through an increase in the metabolizable energy of the diets. Sakomura et al. (2014) found that when there is an increase in energy reserves, the satiety center is activated and, consequently, consumption is reduced, which corroborates our results.

Other single or combined hypotheses may explain the greater WG and better FC in the smallest CPS. Among them, the highest AME:DCP ratio was observed in the lowest CPS of corn (0.22 ratio) than the largest CPS (0.21), suggesting that birds consuming the diet with the lowest CPS may have been fed with respect AME:DCP closer to the nutritional requirement of turkeys. As a consequence, there was greater WG with the smaller CPS.

Another possibility is that diets with lower CPS because they promote changes in digestion metabolism, such as a higher rate of digestion passage, may have altered the microbiological profile of the birds' digestive tract to a more favorable profile for turkeys. Both hypotheses need to be better studied in future studies.

Digestibility

The observed effects on digestibility indicate that fine (453 μm) or very coarse (1109 μm) grain sizes can compromise the digestibility of nutrients in turkeys. The best digestibility coefficients were found in the CPS range of 950 to 1064 μm . The quadratic behaviors with the maximum point for the digestibility coefficients might be related to the passage time and greater interaction of the digesta with digestive enzymes provided by these CPS.

On the other hand, the CPS of fine corn can increase the speed of passage of food through the gizzard, impairing the action of digestive juices and the enzymatic action in the small intestine with reduced digestibility (Nir et al., 1994). However, excessively CPS can interfere with the quality of the mixture, generating unbalanced diets. Another possibility is that those coarse particles can negatively influence the expansion process of the feed because coarse particles reduce the diffusion of heat from the outside to inside the corn particle, impairing gelatinization in the expansion stage (Lund and Lorenz, 1984). In the pelletizing stage, larger corn CPS tends to hinder the passage of the grain through the pelletizer die (4.5 mm matrix was used in the study), which may cause an increase in temperature and a Maillard reaction with reduced availability of proteins and amino acids with impaired digestibility (Barua et al., 2020). Additionally, coarsely corn can change the feed passage rate (Svihus et al., 2002) and change the digestive tract microbiota (Amerah et al., 2009) to a less favorable condition, a hypothesis that needs to be better studied in further.

The quadratic behaviors obtained for several variables may be associated with the effect of the diameter of the holes in the pelletizer die, which may have minimized the effects of millings from 6-mm hole diameters and other models such as asymptotic regression that could be used in future analyses.

The increase in the serum biochemical parameters with the increase in the CPS may be related to the greater digestibility with the higher CPS; nevertheless, further studies with greater corn grain size ranges in pelleted diets and a higher frequency of sampling samples are needed to confirm these relationships.

The initial increase in energy values with the increase in the CPS followed by a stabilization in the largest CPS may be associated with a stabilization of the grinding process because the increase in the area of the holes and their approximation with the diameter of corn grain tends to decrease the difficulty of passing the grains through milling screens and stabilize their characteristics. Between the screens with holes 2 and 4 mm, there was an increase in the CPS of about 300 μm , while for the screens of 8 and 10 mm, the increase in the CPS was about 45 μm in the pre-initial phase. These technical characteristics of the screens, associated with

the effects of pelletizing, may have minimized the differences between the milling screens with a larger diameter of the holes. The differences between the CPS follow the differences in the milling screen areas of the holes (mm^2), such that between the screens of 2 and 4 mm, there was an increase of about three times in terms of area, while between the screens of 8 and 10 mm, the increase in the area was about 0.6 times.

CONCLUSION

Our findings confirm the hypothesis that corn particle size influences zootechnical performance, serum levels, and digestibility in female turkeys. Better performance was obtained with the smallest particle sizes of corn, pre-initial phase 453 μm and initial phase 459 μm , respectively. The increase in corn particle size increased serum concentrations linearly, particularly glucose at 21 days and triglycerides at 45 days. The best digestibility coefficients for dry and organic matter were obtained with corn particle size close to 950 μm . The increase in the particle size of corn altered the metabolizable energy and digestible crude protein ratio, with the highest ratio obtained with the smallest corn particle size (453 μm).

REFERENCES

- Al-Rabadi, G.J., Hosking, B.J., Torley, P.J., Williams, B.A., Bryden, W.L., Nielsen, S.G., Black, J.L., Gidley, M.J., 2017. Regrinding large particles from milled grains improves growth performance of pigs. *Anim. Feed Sci. Technol.* 233, 53–63. <https://doi.org/10.1016/j.anifeedsci.2016.08.004>
- Amerah, A.M., Ravindran, V., Lentle, R.G., 2009. Influence of insoluble fibre and whole wheat inclusion on the performance, digestive tract development and ileal microbiota profile of broiler chickens. *Br. Poult. Sci.* 50, 366–375. <https://doi.org/10.1080/00071660902865901>
- Amerah, A.M., Ravindran, V., Lentle, R.G., Thomas, D.G., 2008. Influence of feed particle size on the performance, energy utilization, digestive tract development, and digesta parameters of broiler starters fed wheat- and corn-based diets. *Poult. Sci.* 87, 2320–2328. <https://doi.org/10.3382/ps.2008-00149>
- AOAC– Association of Official Analytical Chemists, 2005. Official methods of analysis. 18th ed. Gaithersburg.

ASABE - American Society of Agricultural and Biological Engineers, 2008. Standard S319.4: Method of determining and expressing fineness of feed materials by sieving. *American Society of Agricultural and Biological Engineers*, St. Joseph, MI.

ASABE - American Society of Agricultural and Biological Engineers, 2013. Standard S269.4: Cubes, pellets and crumbles – definitions and methods for determining density, durability and moisture content. *American Society of Agricultural and Biological Engineers*, St. Joseph, MI.

AviagenTM - Feeding Guidelines for Nicholas and B.U.T. Heavy Lines, 2015. Version 1, Tattenhall, Cheshire, England.

Bao, Z., Li, Y., Zhang, J., Li, L., Zhang, P., Huang, F.R., 2016. Effect of particle size of wheat on nutrient digestibility, growth performance, and gut microbiota in growing pigs. *Livest. Sci.* 183, 33–39. <https://doi.org/10.1016/j.livsci.2015.11.013>

Barua, M., Abdollahi, M.R., Zaefarian, F., Wester, T.J., Girish, C.K., Ravindran, V., 2020. Standardized ileal amino acid digestibility of protein sources for broiler chickens is influenced by the feed form. *Poult. Sci.* 99, 6925–6934. <https://doi.org/10.1016/j.psj.2020.09.040>

Chiodelli, D., Folador, D., Boiago, M.M., Carvalho, P.L.O., Paiano, D., 2018. Worn hammers affect negatively grinding aspects and physical characteristics of the processes corn by hammer mill. *Bol. Indústria Anim.* 75, 1–9. <https://doi.org/10.17523/bia.2018.v75.e1423>

Favero, A., Maiorka, A., da Silva, A.V.F., Valle, F.L. de P., dos Santos, S.A., Muramatsu, K., 2012. Influence of feed form and corn particle size on nutrient digestibility and energy utilization by young turkeys. *Rev. Bras. Zootec.* 41, 86–90. <https://doi.org/10.1590/S1516-35982012000100013>

Favero, A., Maiorka, A., Dahlke, F., Meurer, R.F.P., Oliveira, R.S., Sens, R.F., 2009. Influence of feed form and corn particle size on the live performance and digestive tract development of Turkeys. *J. Appl. Poult. Res.* 18, 772–779. <https://doi.org/10.3382/japr.2009-00069>

Gebhardt, J.T., Paulk, C.B., Tokach, M.D., Derouchey, J.M., Goodband, R.D., Woodworth, J.C., Jong, J.A., Coble, K.F., Stark, C.R., Jones, C.K., & Dritz, S.S., 2018. Effect of roller mill configuration on growth performance of nursery and finishing pigs and milling characteristics. *Journal of Animal Science*, 96(6), 2278–2292. <https://doi.org/10.1093/jas/sky147>

Glatz, P. C., Underwood, G., 2020. Current methods and techniques of beak trimming laying hens, welfare issues and alternative approaches. *Animal Production Science*.
<https://doi.org/10.1071/AN19673>

Henderson, S.M., Perry, R.L., 1955. *Agricultural Process Engineering*. New York, NY: John Wiley and Sons.

Kiarie, E.G., Mills, A., 2019. Role of feed processing on gut health and function in pigs and poultry: Conundrum of optimal particle size and hydrothermal regimens. *Front. Vet. Sci.* 6, 1–13. <https://doi.org/10.3389/fvets.2019.00019>

Lacy, M.P., Van Krey, H.P., Skewes, P.A., Denbow, D.M., 1986. Food intake in the domestic fowl: Effect of intrahepatic lipid and amino acid infusions. *Physiol. Behav.* 36, 533–538.
[https://doi.org/10.1016/0031-9384\(86\)90327-6](https://doi.org/10.1016/0031-9384(86)90327-6)

Lund, D., Lorenz, K.J., 1984. Influence of time, temperature, moisture, ingredients, and processing conditions on starch gelatinization. *C R C Crit. Rev. Food Sci. Nutr.* 20, 249–273.
<https://doi.org/10.1080/10408398409527391>

Lv, M., Yan, L., Wang, Z., An, S., Wu, M., Lv, Z., 2015. Effects of feed form and feed particle size on growth performance, carcass characteristics and digestive tract development of broilers. *Anim. Nutr.* 1, 252–256. <https://doi.org/10.1016/j.aninu.2015.06.001>

Lyu, Z., Wang, L., Wu, Y., Huang, C., 2020. Effects of particle size and lipid form of corn on energy and nutrient digestibility in diets for growing pigs. *Asian-Australasian J. Anim. Sci.* 33, 286–293. <https://doi.org/10.5713/ajas.19.0196>

Matterson, L.D., Potter, L.M., Stutz, M.W, 1965. The metabolizable energy of feed ingredients for chickens. *Agricultural Experimental Station Research Report*, 7, 3-11, 1965.

Moran, E.T.Jr. 1982. *Comparative nutrition of the fowl and swine. The gastrointestinal system*. Guelph, Ontario, Canada: University of Guelph,

Muramatsu, K., Massuquetto, A., Dahlke, F., Maiorka, A., 2015. Factors that Affect Pellet Quality: A Review. *Journal of Agricultural Science and Technology*, 5, 717-722.
<https://doi.org/10.17265/2161-6256/2015.09.002>

Naderinejad, S., Zaefarian, F., Abdollahi, M.R., Hassanabadi, A., Kermanshahi, H., Ravindran, V., 2016. Influence of feed form and particle size on performance, nutrient utilisation, and

gastrointestinal tract development and morphometry in broiler starters fed maize-based diets. *Anim. Feed Sci. Technol.* 215, 92–104. <https://doi.org/10.1016/j.anifeedsci.2016.02.012>

Nir, I., Shefet, G., Aaroni, Y., 1994. Effect of particle size on performance. 1. Corn. *Poult. Sci.* 73, 45–49. <https://doi.org/10.3382/ps.0730045>

Pacheco, W.J., Stark, C.R., Ferket, P.R., Brake, J., 2013. Evaluation of soybean meal source and particle size on broiler performance, nutrient digestibility, and gizzard development. *Poult. Sci.* 92, 2914–2922. <https://doi.org/10.3382/ps.2013-03186>

Paiano, D., Biazzi, H.M., Trevisan, C., Casarotto, S., Zimmer, F., Krah, G., Lopes, L.S., 2014. Macro ingredients as markers of the quality of mixing feed. *Semin. Agrar.* 35, 1463–1474. <https://doi.org/10.5433/1679-0359.2014v35n3p1463>

Paulk, C.B., Hancock, J.D., Fahrenholz, A.C., Wilson, J.M., McKinny, L.J., Behnke, K.C., 2015. Effects of sorghum particle size on milling characteristics and growth performance in finishing pigs. *Anim. Feed Sci. Technol.* 202, 75–80. <https://doi.org/10.1016/j.anifeedsci.2015.01.017>

Ribeiro, P.A.P., Matos Júnior, J.B., Queiroz, A.C.A., Lara, L.J.C., Baião, N.C., 2013. Effect of energy levels for old layers on performance, feed and energy conversion ratios and egg quality. *Arq. Bras. Med. Vet. e Zootec.* 65, 1491–1499. <https://doi.org/10.1590/S0102-09352013000500030>

Rojas, O.J., Stein, H.H., 2015. Effects of reducing the particle size of corn grain on the concentration of digestible and metabolizable energy and on the digestibility of energy and nutrients in corn grain fed to growing pigs. *Livest. Sci.* 181, 187–193. <https://doi.org/10.1016/j.livsci.2015.09.013>

Rostagno, H. S., Albino, L. F. T., Hannas, M. I., Donzele, J. L., Sakomura, N. S., Perazzo, F. G., Saraiva, A., Teixeira, M. L., Rodrigues, P. B., Oliveira, R. F., Barreto, S. L. T., Brito, C.O., 2017. Tabelas Brasileiras Para Aves e Suínos.

Rubio, A.A., Hess, J.B., Berry, W.D., Dozier, W.A., Pacheco, W.J., 2020. Effects of corn particle size on broiler performance during the starter, grower, and finisher periods. *J. Appl. Poult. Res.* 29, 352–361. <https://doi.org/10.1016/j.japr.2019.11.009>

Sakomura, N.K., Rostagno, H. S., 2016. Métodos de Pesquisa em Nutrição de Monogástricos. 2º Ed., 262p. FUNEP, Jaboticabal.

Sakomura, N.K., Silva, J.H.V., Costa, F.G.P., Fernandes, J.B.K., Hauschild, L., 2014. Nutrição de não ruminantes. Jaboticabal: FUNEP, 678 p.

Schiffman, H.R., 1969. Texture preference and acuity in the domestic chick. J. Comp. Physiol. Psychol. 67, 462–464. <https://doi.org/10.1037/h0027321>

Shurlock, T.G.H., Forbes, J.M., 1981. Evidence for hepatic glucostatic regulation of food intake in the domestic chicken and its interaction with gastro-intestinal control. Br. Poult. Sci. 22, 333–346. <https://doi.org/10.1080/00071688108447893>

Svihus, B., Hetland, H., Choct, M., Sundby, F., 2002. Passage rate through the anterior digestive tract of broiler chickens fed on diets with ground and whole wheat. Br. Poult. Sci. 43, 662–668. <https://doi.org/10.1080/0007166021000025037>

Tobin, G., Boorman, K.N., 1979. Carotid or jugular amino acid infusions and food intake in the cockerel. Br. J. Nutr. 41, 157–162. <https://doi.org/10.1079/bjn19790022>

Xu, Y., Stark, C.R., Ferket, P.R., Williams, C.M., Pacheco, W.J., Brake, J., 2015. Effect of Dietary coarsely ground corn on broiler live performance, gastrointestinal tract development, apparent ileal digestibility of energy and nitrogen, and digesta particle size distribution and retention time. Poult. Sci. 94, 53–60. <https://doi.org/10.3382/ps/peu015>

Zaefarian, F., Abdollahi, M.R., Ravindran, V., 2016. Particle size and feed form in broiler diets: Impact on gastrointestinal tract development and gut health. Worlds. Poult. Sci. J. 72, 277–290. <https://doi.org/10.1017/S0043933916000222>

Figure 7 - Dry bulb temperature (°C) over the weeks of the experiment.

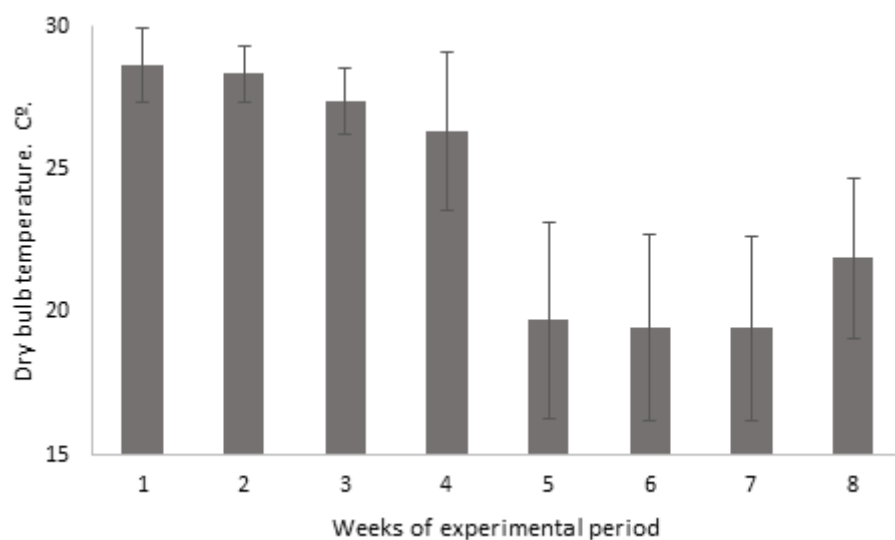


Figure 8 - Adjustment of models for dry matter coefficient digestibility, glucose, feed intake and feed conversion of pre-initial diets.

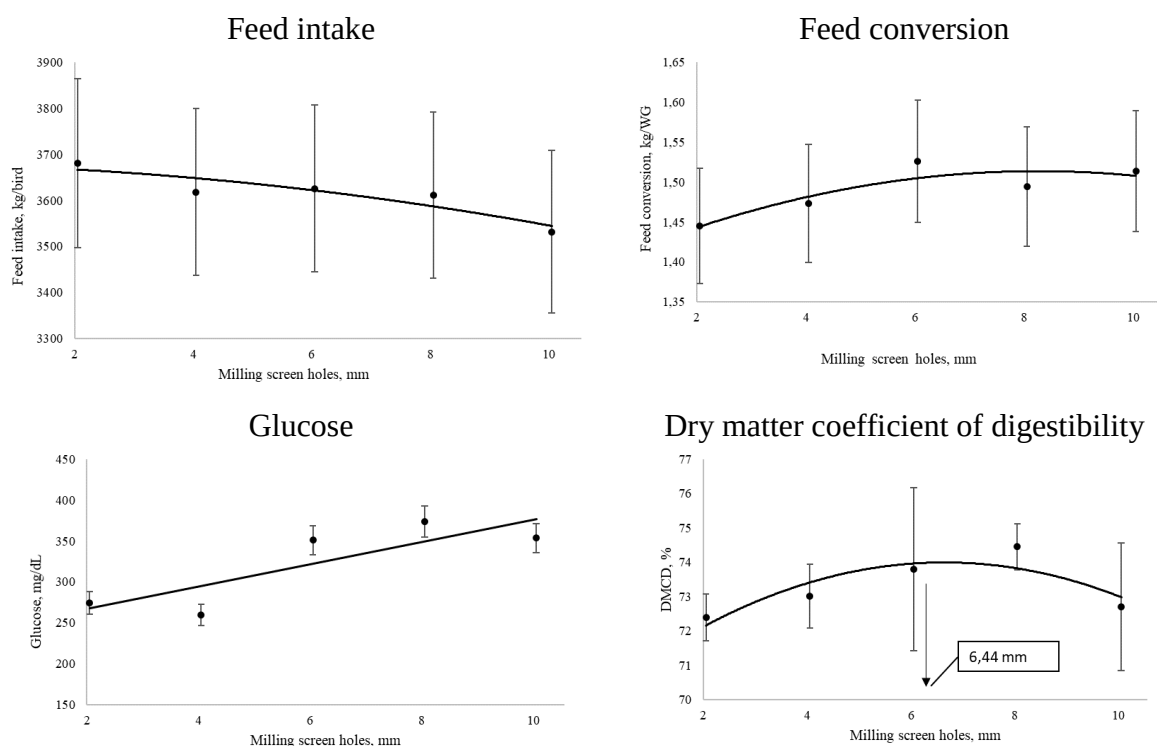


Table 2 - Technical characteristics of the milling screens and physical characteristics of the experimental diets.

Technical characteristics of experimental milling screens					
mm	2	4	6	8	10
Hole area, mm ²	3.135	12.32	27.29	50.06	78.23
Total hole area, %	21.84	32.46	31.69	38.76	41.43
Measured diameter, mm	2.00	3.96	5.89	7.98	9.98
Physical characteristics of post-milled corn					
Pre-initial CPS, µm	453	752	950	1064	1109
Pre-initial GSD	2.31	2.14	2.35	2.28	2.30
Pre-initial Density, kg/L	0.54	0.61	0.63	0.63	0.64
Initial CPS, µm	459	770	737	833	972
GSD initial	1.8	2.08	2.99	2.37	2.31
Initial Density, kg/L	0.56	0.61	0.61	0.62	0.63
Physical characteristics of pre-pelletized diets					
Pre-initial CPS, µm	642	735	850	791	803
Pre-initial GSD	2.60	2.62	2.66	2.68	2.72
Pre-initial Density, kg/L	0.61	0.60	0.60	0.58	0.58
Initial CPS, µm	606	872	900	845	806
Initial GSD	2.88	2.69	2.64	2.55	2.68
Initial density, kg/L	0.62	0.59	0.60	0.58	0.61
Physical characteristics of post- pelletized diets					
Pre-initial PDI, %	96	95	96	97	96
Initial PDI, %	96	96	96	96	96
Crumble pre-starter, %	65	54	63	63	60
Crumble initial, %	75	72	71	72	77

* CPS- average geometric diameter, GSD- geometric standard deviation, PDI - pellet durability index. Crumble- percentage retained in the 3-mm screen

Table 3 - Proximate composition of experimental diets.

Items	Pre-initial	Initial
Ingredients. (g/kg as feed basis)		
Corn	433.28	474.86
Soybean meal 48% PB	410.1	372.70
Gluten Bran 58% PB	60	56
Phosphate	26	23.5
Limestone	22.5	21
Soy oil	15.7	23.50
Pre-mix of pre-starter microingredients ¹	13.5	-
Initial micro-ingredient premix ²	-	11
Liquid ingredients ³	18.92	17.45
Analyzed composition (g/kg as feed basis)		
Dry matter	905.0	906.5
Ash	75.1	70.7
Crude fat	41.92	47.81
Crude protein	262.5	246.9
Calculated composition (g/kg as feed basis)		
Calcium	16.39	15.09
Available phosphorus	6.04	5.52
Metabolizable energy, kcal/kg	2856	2957
Neutral detergent fiber	121.34	121.56
Digestible lysine	16.87	15.43
Methionine + cystine digestible	7.56	7.14

¹Pre-initial micro-ingredient; ²Initial Micro-ingredients; ³Liquid lysine 64%, Liquid methionine 88%, Sodium chloride, liquid choline, Liquid Xylanase, Phytase, Propionic Acid.

Table 4 - Zootechnical performance of turkeys submitted to diets with corn processed with different milling screen (MS).

	Milling screen hole, mm					Qualitative Anova		Quantitative ANOVA ³		
	2	4	6	8	10	P-value ¹	CV % ²	Linear	Quadratic	Root
Average feed intake (FI) of turkeys. g/animal										
Pre-initial	1128.4	1129.3	1134.1	1129.0	1130.3	0.774	1.20	na ⁴	na	na
Initial	3681.1 ^a	3618.4 ^a	3625.8 ^a	3611.3 ^a	3531.7 ^b	0.001	2.20	<0.001	<0.001 [*]	<0.001 [*]
Total	4810.3 ^a	4748.3 ^a	4760.5 ^a	4739.5 ^a	4662.6 ^b	0.002	1.92	<0.001	<0.001 [*]	<0.001 [*]
Weight gain (WG) of turkeys, g										
Pre-initial	781.0 ^a	766.9 ^b	743.9 ^c	755.9 ^c	747.0 ^c	<0.001	2.13	<0.001	<0.001	<0.001
Initial	2352.7 ^a	2310.6 ^b	2334.1 ^a	2321.7 ^b	2318.6 ^b	0.020	1.58	0.057	0.0857	0.0525
Total	3133.7 ^a	3077.4 ^b	3078.0 ^b	3077.6 ^b	3065.6 ^b	0.006	1.48	<0.001	<0.001	<0.001
Feed conversion (FC)										
Pre-initial	1.445 ^a	1.473 ^b	1.526 ^c	1.494 ^c	1.514 ^c	<0.001	2.43	<0.001	<0.001	<0.001
Initial	1.568	1.564	1.551	1.558	1.523	0.433	12.31	na	na	na
Total	1.538	1.541	1.543	1.542	1.522	0.338	2.05	na	na	na

^{a-c} The averages in a line that do not share a common letter differ from each other by the Scott-Knott test ($P < 0.05$). ¹Standard error of the mean. ²Variation coefficient; ³Regression analysis ($Y = a + bMS + cMS^2$): FI 22-45 ($a = 3690.46$; $b = -13.40$; $R^2 = 16.89$); FI 1-45 ($a = 4836.92$; $b = -15.34$; $R^2 = 17.36$); WG 1-21 ($a = 867.74$; $b = -79.44$; $c = 13.25$; $R^2 = 34.44$; Inflection point = 3.00); WG 1-45 ($a = 3171.19$; $b = -25.45$; $c = 1.55$; $R^2 = 17.08$; Inflection point = 8.21); FC 1-21 ($a = 1.39266$; $b = 0.0295746$; $c = -0.00181063$; $R^2 = 29.60$; Inflection point = 8.17). ⁴na - not analyzed; * One or more of the coefficients in the equation were not significant ($P > 0.05$) according to the T test.

Table 5 - Body weight throughout the growth of turkeys subjected to diets with corn processed with different milling screen (MS)

	Milling screen hole, mm					Qualitative ANOVA		Quantitative ANOVA ³		
	2	4	6	8	10	P-values ¹	CV % ²	Linear	Quadratic	Root
	Body weight (BW) of female turkeys (g)									
One-day-old	63.3	63.0	63.5	63.3	63.2	0.7293	1.06	na ⁴	na	na
BW7	198.0 ^a	195.1 ^b	191.1 ^c	192.6 ^c	188.1 ^d	<0.001	2.07	<0.001	<0.001*	<0.001*
BW14	447 ^a	438 ^b	427 ^c	432 ^c	427 ^c	<0.001	1.85	<0.001	<0.001	<0.001
BW21	844 ^a	830 ^b	807 ^c	819 ^c	810 ^c	<0.001	1.94	<0.001	<0.001	<0.001
BW28	1379 ^a	1345 ^b	1332 ^b	1342 ^b	1335 ^b	<0.001	2.04	<0.001	<0.001	<0.001
BW35	2013 ^a	1959 ^b	1970 ^b	1969 ^b	1970 ^b	0.007	2.22	0.037	0.009	0.004
BW42	2793 ^a	2742 ^b	2750 ^b	2749 ^b	2737 ^b	0.040	1.61	0.004	0.004	0.002
BW45	3197 ^a	3140 ^b	3141 ^b	3141 ^b	3129 ^b	<0.001	1.46	<0.001	<0.001	<0.001

^{a-c} The averages in a line that do not share a common letter differ from each other (P < 0.05) by the T or Scott–Knott test. ¹ Standard error of the mean. ² Variation coefficient.

³ Coefficient of variation; ² Regression analysis (Y = a + bMS + cMS²): BW7 (a = 199.71; b = -1.1189; R² = 0.361); BW14 (a = 459.53; b = -7.2236; c = 0.4120; R² = 0.387; Inflection point = 8.77); BW21 (a = 868.53; b = -13.6923; c = 0.8134; R² = 0.340; Inflection point = 8.42); BW28 (a = 1413.42; b = -21.4068; c = 1.4022; R² = 0.213; Inflection point = 7.63); BW35 (a = 2048.55; b = -24.8968; c = 1.7515; R² = 0.095; Inflection point = 7.11); BW42 (a = 2821.19; b = -20.1932; c = 1.2360; R² = 0.113; Inflection point = 8.17); BW45 (a = 3234.34; b = -25.4019; c = 1.5459; R² = 0.170; Inflection point = 8.22); ⁴ na - not analyzed. * One or more of the coefficients in the equation were not significant (P > 0.05) according to the T-test.

Table 6 - Serum biochemistry of turkeys submitted to diets with corn processed with different milling screen (MS)

	Milling screen hole, mm					Qualitative ANOVA		Quantitative ANOVA ³		
	2	4	6	8	10	P-values ¹	CV % ²	Linear	Quadratic	Root
End of the pre-initial phase, 21 st day										
Glucose, mg/dL	275 ^b	260 ^b	351 ^a	374 ^a	354 ^a	<0.001	14.233	<0.001	<0.001 [*]	<0.001 [*]
Triglycerides, mg/dL	155	172	167	175	173	0.7302	18.434	na ⁴	na	na
Cholesterol, mg/dL	120 ^b	97 ^b	159 ^a	153 ^a	144 ^a	<0.001	17.157	0.002	0.007 [*]	0.010 [*]
Total protein, g/dL	3.3 ^c	3.2 ^c	3.8 ^b	4.4 ^a	3.9 ^b	<0.001	10.604	0.001	<0.001 [*]	<0.001 [*]
Albumin, g/dL	0.8 ^b	0.8 ^b	1.2 ^a	0.9 ^b	1.1 ^a	0.002	18.582	0.038	0.098 [*]	0.102 [*]
Globulin, g/dL	2.5 ^c	2.4 ^c	2.8 ^b	3.6 ^a	2.9 ^b	<0.001	12.884	0.001	0.002 [*]	0.004 [*]
Uric acid, mg/dL	5.2	5.1	5.1	4.7	3.8	0.329	30.16	<0.001	<0.001 [*]	<0.001 [*]
End of the initial phase, 45 th day										
Glucose, mg/dL	373	385	345	329	336	0.077	12.678	na	na	na
Triglycerides, mg/dL	130 ^b	133 ^b	144 ^b	179 ^a	149 ^b	0.010	18.424	0.017	0.033 [*]	0.048 [*]
Cholesterol, mg/dL	107	114	104	103	101	0.747	18.326	na	na	na
Total protein, g/dL	4.3	4.4	4.2	3.9	4.0	0.308	11.817	na	na	na
Albumin, g/dL	1.2	1.1	1.1	1.0	1.1	0.765	23.182	na	na	na
Globulin, g/dL	3.3	3.5	3.2	2.8	3.1	0.149	14.074	na	na	na
Uric acid, mg/dL	5.6	5.4	5.2	3.9	4.2	0.162	29.820	na	na	na

^{a-c} The averages in a line that do not share a common letter differ from each other (P < 0.05) by the T or Scott-Knott test. ¹Standard error of the mean. ²Variation coefficient.

³Coefficient of variation; ² Regression analysis (Y = a + bMS + cMS²): Pre-starter - Glucose (a = 240.737; b = 13.6312; R² = 0.356); Cholesterol (a = 102.502; b = 5.38261; R² = 0.206); Total protein (a = 2.9955; b = 0.12332; R² = 0.324); Albumin (a = 0.79478; b = 0.02438; R² = 0.089); Globulin (a = 2.19783; b = 0.10124; R² = 0.248); PCII - Triglycerides (a = 120.603928; b = 4.464811784; R² = 0.130); ³na - not analyzed; * One or more of the equation coefficients were not significant (P > 0.05) according to the T.

⁴na test - not analyzed. * One or more of the coefficients in the equation were not significant (P > 0.05) according to the T-test.

Table 7 – Digestibility, the balance of nutrients and digestible nutrients (1st phase) of female turkeys fed with diets with corn processed with different milling screen (MS).

	Milling screen hole, mm					Qualitative ANOVA		Quantitative ANOVA ³		
	2	4	6	8	10	P-values ¹	CV % ²	Linear	Quadratic	Root
Apparent digestibility coefficients										
DMCD, g/kg	723.7 ^b	730.1 ^b	742.7 ^a	744.5 ^a	727.0 ^b	0.031	1.93	0.164	0.014	0.035
OMCD, g/kg	757.6 ^b	765.4 ^b	774.7 ^a	778.8 ^a	758.3 ^b	0.005	1.53	0.476	0.003	0.010
CPCD, g/kg	533.3 ^b	580.2 ^a	596.7 ^a	602.0 ^a	564.4 ^c	<0.001	4.68	0.061	<0.001	<0.001
AMEC, g/kg	780.1	780.0	792.4	795.0	782.0	0.051	1.48	na ⁴	na	na
AMECn, g/kg	734.2	730.9	741.4	743.9	732.9	0.122	1.43	na	na	na
Nutrient balance										
DMING, g/day	321.2	318.4	312	310.2	303.2	0.115	4.37	na	na	na
OMING, g/day	295	293.74	285.48	282.84	280.44	0.125	4.37	na	na	na
OMEX, g/day	71.48 ^a	68.9 ^b	64.02 ^c	62.56 ^c	67.66 ^b	<0.001	4.14	0.005	<0.001	<0.001
CPING, g/day	94.02	91.22	90.48	89.82	90.16	0.304	4.38	na	na	na
CPEXC, g/day	43.84 ^a	38.28 ^b	36.4 ^c	35.74 ^c	39.24 ^b	<0.001	6.17	0.008	<0.001	<0.001
NB, g/day	31.22 ^b	33.24 ^a	34.6 ^a	34.86 ^a	33.58 ^a	0.001	4.69	0.006	<0.001	<0.001
Apparent digestible feed nutrients										
DCPI, g/kg	156.1 ^b	166.2 ^a	173.0 ^a	174.3 ^a	167.9 ^a	0.001	4.69	0.006	<0.001	<0.001
AME, Mcal/kg	3.49 ^b	3.47 ^b	3.54 ^a	3.56 ^a	3.51 ^a	0.020	1.48	0.037	0.045 [*]	0.076
AMEn, Mcal/kg	3.28 ^a	3.26 ^a	3.31 ^a	3.33 ^a	3.29 ^a	0.049	1.43	0.092	0.177	0.232
Metabolizable energy ratio: digestible CP										
AME:DCP	0.224 ^a	0.209 ^b	0.205 ^b	0.205 ^b	0.210 ^b	0.003	4.41	0.012	<0.001	<0.001
AMEn:DCP	0.211 ^a	0.196 ^b	0.191 ^b	0.191 ^b	0.197 ^b	0.003	4.71	0.012	<0.001	<0.001

^{a-c} The averages in a line that do not share a common letter differ from each other (P < 0.05) by the T or Scott Knott test. ¹Standard error of the mean. ²Coefficient of variation. ³Regression analysis (Y = a + bMS + cMS²): Dry matter coefficient digestibility-DMCD (a = 69.7917; b = 1.3665; c = -0.1053; R² = 0.19; Inflection point: 6.48); organic matter coefficient digestibility-OMCD (a = 73.1323; b = 1.4156; c = -0.1112; R² = 0.31; Inflection point: 6.31); crude protein coefficient digestibility-CPCD (a = 45.9308; b = 4.3199; c = -0.3252; R² = 0.49; Inflection point: 6.64); Organic matter excreted- OMEX (a = 402.60; b = -23.7255; c = 1.6905; R² = 0.51; Inflection point: 7.02); Crude protein excreted CPEXC (a = 259.7480; b = -23.8147; c = 1.7404; R² = 0.61; Inflection point: 6.84); nitrogen balance -NB (a = 138.6520; b = 9.8829; c = -0.6922; R² = 0.43; Inflection

point: 7.14); digestible crude protein intake -DCPI ($a = 13.8652$; $b = 0.98830$; $c = -0.0692$; $R^2 = 0.43$; Inflection point: 7.14); apparent metabolizable energy -AME ($a = 3471,410$; $b = 7.06240$; $R^2 = 0.13$); Metabolizable energy and digestible crude protein ration- ME: DCP ($a = 0.24307$; $b = -0.01131$; $c = 0.00080$; $R^2 = 0.40$; Inflection point: 7.06); Metabolizable energy and digestible corrected by NB and crude protein ration- AMEn: DCP ($a = 0.22992$; $b = -0.01131$; $c = 0.00080$; $R^2 = 0.40$; Inflection point: 7.06). 4na - not analyzed. * One or more of the coefficients in the equation were not significant ($P > 0.05$) according to the T test.

2.2 MANUSCRITO II

2.2.1 – ALTERAÇÕES NA METODOLOGIA USUAL DE DETERMINAÇÃO DA GRANULOMETRIA DO MILHO MELHORA A ESTIMATIVA DE GANHO DE PESO EM PERUAS NA FASE INICIAL (1-21 Dias)

CHANGES IN THE USUAL METHODOLOGY FOR DETERMINING CORN PARTICLE SIZE IMPROVES THE ESTIMATE OF WEIGHT GAIN IN FEMALE TURKEYS IN THE INITIAL PHASE (1-21 Days)

Autores: Marlon José Zanotto

De acordo com normas para publicação em:

Arquivo Brasileiro de Medicina Veterinária e Zootecnia

RESUMO

Foi conduzido um experimento para correlacionar diferentes metodologias de determinação do tamanho de partícula do milho com o ganho de peso (GP) de peruas na fase pré-inicial (1-21 dias). As peruas foram submetidas ao mesmo tipo de ração diferindo apenas no processamento de moagem do milho. Foi utilizado milho proveniente do mesmo lote triturado em moinho tipo martelo equipado com cinco diferentes peneiras de 2; 4; 6; 8; e 10 mm de diâmetro dos furos. Como método de referência para a determinação do tamanho de partícula do milho foi utilizado o método proposto por Henderson e Perry (1955) com as seguintes modificações: alterações na sequência de peneiramento (método em cascata ou reverso), alteração na secagem do milho (milho natural ou previamente seco 105°C por 24 horas) ou com o uso de agente de dispersão (sem ou com agente de dispersão) e as respectivas combinações perfazendo 8 tipos de peneiramento. Os métodos foram realizados em duplicatas de 100 g de amostras com oito métodos de peneiramento e cinco intensidades de moagem totalizando 160 análises. O peneiramento foi realizado com conjunto de seis peneiras granulométricas (4; 2; 1,2; 0,6; 0,3 e 0,15 mm) mais fundo acopladas a um agitador de peneiras eletromagnético (Bertel®) por um período de 10 minutos. Os modelos de regressão quadrática foram significativos em todos os métodos de peneiramento avaliados para estimativa do ganho de peso ($P < 0,05$). O melhor R^2 obtido foi de 0,409 para o método cascata, com secagem e com agente de dispersão. O método de referência apresentou R^2 de 0,36. O método cascata, natural e com agente de dispersão apresentou facilidade e rapidez na execução do peneiramento com R^2 superior ao método padrão. A metodologia reversa é uma alternativa e pode ser utilizada para determinação do tamanho de partícula do milho, mas não melhorou o R^2 . Pela rapidez, facilidade de execução e maiores valores de R^2 e ampla correlação com o método referência o peneiramento em cascata, milho natural e com agente de dispersão pode ser utilizada para determinação do tamanho de partícula do milho em substituição ao método de referência. Os métodos com secagem prévia e com a utilização de agente de dispersão reduziram os valores de DGM obtidos melhorando a estimativa do ganho de peso em peneiras mais finas. A adição de agente de dispersão no método usual (peneiramento em cascata e com secagem prévia) permitiu melhor ajuste (maior R^2) para a estimativa do ganho de peso das peruas de acordo com a análise de regressão quadrática.

PALAVRAS-CHAVE: tamanho de partícula do milho, fabricação de rações, perus, processamento do milho.

ABSTRACT

An experiment was conducted to correlate different methodologies for determining corn particle size (CPS) with the weight gain (WG) of female turkeys in the pre-initial phase (1-21 days). The turkeys were subjected to the same type of diets differing only in the processing of corn milling. Corn from the same batch crushed in a hammer mill equipped with five different screens was used; 2, 4; 6; 8; and 10 mm diameter of the holes. As a reference method for determining the particle size of corn, the method proposed by Henderson and Perry (1955) was used with the following modifications: changes in the sieving sequence (cascade or reverse method), changes in corn drying (corn natural or previously dried 105°C for 24 hours) or with the use of dispersing agent (without or with dispersing agent) and the respective combinations making eight types of sieving. The methods were performed in duplicates of 100 g of samples with eight sieving methods and five milling intensities, totaling 160 analyzes. The sieving was carried out with a set of six sieves (4; 2; 1.2; 0.6; 0.3 and 0.15 mm) deeper coupled to an electromagnetic sieve shaker (Bertel®) for a period of 10 minutes. The quadratic regression models were significant in all screening methods evaluated to estimate weight gain ($P < 0.05$). The best R^2 obtained was 0.409 for the cascade method, with drying and dispersing agent. The reference method showed an R^2 of 0.36. The cascade method, natural and with dispersing agent, showed ease and speed in the execution of the sieving with R^2 superior to the standard method. The reverse methodology is an alternative and can be used to determine the particle size of corn, but it did not improve R^2 . Due to its speed, ease of execution and higher R^2 values and wide correlation with the reference method, cascading sieving, natural corn and with dispersing agent can be used to determine the particle size of corn in substitution to the reference method. The methods with pre-drying and with the use of dispersing agent reduced the values of CPS obtained by improving the estimate of weight gain in thinner sieves. The addition of dispersing agent in the usual method (cascading sieving and pre-drying) allowed for a better adjustment (higher R^2) for the estimation of the weight gain of the turkeys according to the quadratic regression analysis.

KEYWORDS: corn particle size, turkeys, corn processing, feed processing.

INTRODUÇÃO

A redução da granulometria dos ingredientes utilizados nas dietas de aves é amplamente utilizada na fabricação de rações (Rubio et al., 2020). Essa redução é realizada na etapa de moagem com o objetivo de quebrar partículas atingindo uma estreita faixa ideal de granulometria que varia de acordo com a espécie e categoria (Favero et al., 2009). Dentre os ingredientes que necessitam passar por um processo de moagem antes de sua inclusão nas dietas destaca-se o milho, uma vez que possui alto valor energético possibilitando uma alta inclusão nas formulações, se tornando um ingrediente base na nutrição de aves (Naderinejad et al., 2016). Diferentes tipos de milho podem apresentar variações no tamanho de partícula do ingrediente influenciadas pela variedade do grão (Probst et al., 2013) e composição do material como a umidade (Dabbour et al., 2015). Devido aos impactos que granulometrias do milho fora da faixa ideal podem causar no desempenho zootécnico de diferentes espécies, a determinação do tamanho de partícula torna-se um controle extremamente importante no que diz respeito a qualidade, produção e nutrição em fábrica de rações.

O método usual para a determinação da granulometria é o ANSI/ASAE S319.4 (ASABE, 2008). Esse método determina por meio de peso amostral o diâmetro geométrico médio (DGM) que pode ser dado em milímetros (mm) ou micrômetros (μm) o qual representam uma média de distribuição das partículas na massa amostral. O desvio padrão geométrico (DPG) também é representado e determina o grau de dispersão dos tamanhos de partículas ao redor da média. Além destes o método determina a área de superfície em relação à massa, nº de partículas por grama, densidade e o ângulo de repouso. No entanto, o método permite variações como tempo de peneiramento, inclusão de equipamento agitador e até mesmo a utilização de agentes de dispersão (Kalivoda et al., 2017) que deixam dúvidas referente a qual metodologia é a melhor a ser aplicada para correlacionar o tamanho de partícula dos ingredientes com o desempenho zootécnico.

O peneiramento da amostra a seco é o método mais usual para a determinação de granulometria de partículas. Esse método tem baixo custo e não necessita de operacional técnico especializado. No entanto não é um método indicado para determinação de partículas muito finas, uma vez que elas podem grudar nas malhas das diferentes peneiras utilizadas

devido a força eletrostática (Lyu et al., 2020) causando o chamado efeito *blinding*. Entre todos os controles em peneiramentos o efeito *blinding* é considerado o fator de maior impacto (Liu, 2009). A utilização de agentes de dispersão e equipamentos agitadores é uma alternativa para resolução dessa anomalia. Em um estudo utilizando agentes de dispersão Stark et al. (2012) encontraram que o DGM aumenta com a redução da inclusão de agentes de dispersão mostrando que o agente de dispersão atua como um facilitador de passagem de partículas finas até a peneira adequada.

Um usual método para determinação das granulometrias das partículas é o método proposto por Henderson e Perry (1955) onde a amostra é seca em estufa (105°C – 24h) de ventilação forçada, adicionada em peneiras em forma de cascata da maior para a menor granulometria (4;2;1,2;0,6;0,3;0,15 e fundo) com tempo de agitação das peneiras de dez minutos via equipamento agitador. Apesar da sua grande gama de aplicação esse método não se torna viável para as grandes agroindústrias onde há elevado volume de produção de rações e grande controle amostral necessitando de resultados rápidos para tomadas de decisões ágeis garantindo o padrão de granulometria das espécies.

Outra metodologia recentemente aplicada para determinação de tamanhos de partícula é o método reverso. Liu (2009) encontrou durante o fracionamento a seco de cereais que quando o ingrediente é peneirado em uma ordem da peneira mais fina para a mais grossa do método em várias etapas utilizando apenas uma peneira obteve-se uma melhor eficiência de peneiramento e desempenho quando comparado ao método tradicional de empilhamento de peneiras ou cascata.

A pouca literatura especializada fornece pouca sustentação para a recomendação da metodologia ideal a ser aplicada para determinação da granulometria de partículas do milho correlacionadas ao ganho de peso de perus. Dessa forma a hipótese com o presente estudo foi de que diferentes tipos de metodologias para determinação dos tamanhos de partículas do milho de correlacionam de forma diferente com o ganho de peso de perus.

MATERIAL E MÉTODOS

O presente trabalho foi previamente aprovado junto ao comitê de ética em experimentação animal da Universidade do Estado de Santa Catarina sob protocolo CEUA nº 5400021219/2020.

Desempenho zootécnico

O experimento foi realizado em uma fase pré-inicial (1-21 dias) com os dados de ganho de peso obtidos em um trabalho prévio não publicado (dados do manuscrito I- Tabela 11).

Metodologias de peneiramento

Foi utilizado o método de peneiramento proposto por Henderson e Perry (1955) que prevê secagem prévia das amostras à 105°C por 24 horas como método referência para o qual foram implementadas as seguintes modificações: alteração na sequência de peneiramento (método em cascata ou reverso), alteração na secagem do milho (milho natural ou previamente seco 105°C por 24 horas) ou com o uso de agente de dispersão (sem ou com agente de dispersão) e as respectivas combinações, que perfizeram 8 diferentes métodos de peneiramento (Tabela 9) os quais foram realizados em duplicatas de 100 g de amostras. Foi utilizado a sílica precipitada (sipernat®) como agente de dispersão nos peneiramentos.

Os oito métodos de peneiramento foram em amostras de milho moídos em cinco diferentes intensidades de moagem para cada fase estudada totalizando 80 análises de peneiramento.

O peneiramento foi realizado com conjunto de seis peneiras granulométricas (4; 2; 1,2; 0,6; 0,3 e 0,15 mm) mais fundo acopladas a um agitador de peneiras eletromagnético (Bertel®) ajustado na intensidade 8 por um período de dez minutos.

O peneiramento em reverso e os respectivos tempos utilizados para cada peneira foram de: 225, 170, 125, 50, 24 e 6 segundos, para as peneiras de 0,15; 0,3; 0,6, 1,2, 2 e 4 mm, respectivamente, baseados nos tempos de peneiramento propostos Liu (2009).

Fabricação e formulação das rações

As dietas experimentais foram fabricadas a base de milho e farelo de soja formuladas com a metodologia de custo mínimo (Tabela 10) com base nas exigências nutricionais descritas

para a linhagem (AviagenTM, 2015), análises físico químicas da composição nutricional dos ingredientes disponíveis na fábrica de ração como também nas tabelas brasileiras (Rostagno et al., 2017).

Foi utilizado milho e demais matérias primas provenientes do mesmo lote e de mesma variedade para todos os tratamentos para cada fase. Em ordem de obter-se diferentes granulometrias do milho (Tabela 8) utilizou-se de um moinho do tipo martelo (Carlos Becker MM820/1038, 120 martelos, 450 CV com inversor de frequência em 60 Hz) equipado com peneiras de 2; 4; 6; 8 ou 10 mm de acordo com o tratamento a ser produzido: A, B, C, D ou E, respectivamente.

Posteriormente às misturas (misturador Buhler helicoidal 6000 litros) a ração foi pré-condicionada (80-85°C – condicionador *HYMIX* Buhler), expandida em expansor (KAHL OE 38.2) seguido de peletização (Van Aarsen – C900) equipada com matriz de furação 4,5 mm. Após a peletização a ração foi resfriada (Geelen Counterflow) e trituradas em um triturador tipo rolos (Van Aarsen) para redução da granulometria e facilitação de consumo com percentual médio retido em peneira 3 mm de 60,9% (Tabela 8). Após a trituração um percentual de óleo vegetal e enzimas fitase (*Quantum Blue*) e xylanase (*Rovabio Advance*) foram adicionados via sistema de aplicação de líquidos pós-pelete (Mangra S.A).

Análises Estatísticas

Os dados de ganho de peso foram analisados quanto a normalidade dos erros com o teste de Kolmogorov Smirnov ($P > 0,05$) e apresentaram normalidade (Action Stat para o Microsoft Excel).

Foram testados modelos de regressão até a segunda ordem com dados de desempenho e diâmetro dos furos das peneiras como variável dependente (Y) e cada resultado de granulometria do milho obtidos com os diferentes métodos de peneiramento como variável independente (X). O método dos mínimos quadrados foi utilizado para estimação dos coeficientes dos modelos de regressão e a verificação da significância de cada coeficiente foi avaliada pelo teste t ($P < 0,05$). Para a escolha dos melhores métodos de peneiramento o maior valor do R^2 foram utilizados como critérios de escolha. Posteriormente foram realizadas correlações de Pearson para avaliar a amplitude de correlação entre os diferentes métodos.

RESULTADOS

Os modelos de regressão linear e quadrático foram significativos ($P > 0,05$) quando utilizado os DGM de todos os métodos de peneiramento avaliados ou os diâmetros dos furos das peneiras como variável independente (Tabela 13).

O R^2 obtido para o método referência foi de 0,36 e o método com a implementação do agente de dispersão promoveu o melhor R^2 na fase (0,409).

O método cascata, natural e com agente de dispersão apresentou facilidade e rapidez na execução do peneiramento quando comparado aos demais métodos com R^2 superior ao método padrão.

Nas peneiras mais finas os métodos com secagem prévia apresentaram média de DGM inferior aos sem a secagem, da mesma forma a utilização do agente de dispersão reduziu os valores de DGM obtidos.

As correlações entre os métodos de peneiramento foram amplas e positivas com valores superiores a 0,95 (Tabela 12). O método de peneiramento com secagem prévia, em cascata e com adição de agente de dispersão apresentou maior amplitude de correlação negativa com o ganho de peso das peruas.

DISCUSSÃO

A melhora do R^2 com a inclusão dos agentes de dispersão no método padrão está relacionada com a redução da compactação de partículas finas do milho nas malhas mais finas das peneiras granulométricas. Partículas muito finas tendem a grudar nas malhas das peneiras por causa das forças eletrostáticas (Lyu et al., 2020) dificultando a passagem da massa para as peneiras mais finas e consequentemente superestimando o valor do DGM.

Esse tipo de anomalia é conhecido como efeito *blinding* pois causa um bloqueio das partículas na malha das peneiras granulométricas diminuindo a área de transferência efetiva e redução da capacidade do peneiramento (Liu, 2009). Este problema, ocorre em especial nas maiores intensidades de moagem pois, a redução do tamanho da partícula aumenta a área superficial em relação ao peso, como resultado, promove maior susceptibilidade das partículas dos grãos às cargas eletrostáticas e ao entupimento das peneiras.

Stark e Chewning (2012) verificaram benefícios do uso de agentes de dispersão e de agitadores adicionados à massa a ser peneiradas para diminuir o entupimento das peneiras e

melhorar a estimativa do DGM, resultado semelhante ao observado no presente trabalho. O DGM médio dos métodos de peneiramento, nas diferentes intensidades de moagem, com o uso de agente de dispersão foi reduzido em cerca de 150 μm .

Assim, a melhor caracterização das propriedades físicas do milho com o menor entupimento e menor DGM com o uso do agente de dispersão, resultado semelhante ao obtido por Kalivoda et al. (2017), resultou em melhores valores de R^2 nas equações quadráticas. O R^2 médio dos métodos com agente de dispersão foi de 0,3895 e, para os demais métodos, o R^2 foi de 0,3690, respectivamente.

Da mesma forma a secagem prévia promoveu redução média de DGM entre os peneiramentos de cerca de 60 μm , contudo o efeito sobre a melhoria no R^2 foi relativamente menor com R^2 médio para os peneiramentos secos de 0,3814 e para os peneiramentos naturais R^2 de 0,3772, respectivamente. A utilização do método de empilhamento das peneiras granulométricas na configuração reversa promoveu redução média do DGM do milho de cerca de 60 μm . Entretanto, não promoveu melhorias para os R^2 com valor de 0,3801 para o método cascata e 0,3785 para o método reverso.

Vale ressaltar que as melhorias sobre o R^2 foram pequenas, no método com o menor R^2 o valor foi de 0,3621 (método usual proposto por Henderson e Perry, 1955) e o método com o maior R^2 o valor obtido foi de 0,4092 (peneiramento em cascata, com secagem e com agente de dispersão). Embora o método usual tenha apresentado menor R^2 entre os todos os métodos de peneiramento avaliados, apresentou R^2 próximo quando utilizado o diâmetro dos furos das peneiras como variável independente.

Deve ser destacado que os valores de P da análise de regressão foram altamente significativos para o modelo quadrático, resultado do número elevado de repetições utilizadas (16 baias/tratamento com 40 peruas/baia) e cuidados na condução do trabalho que permitiu a referida confiança estatística. Entretanto, os valores de R^2 foram relativamente baixos, inferiores a 0,5, resultado provavelmente associado as características da ração, na qual o milho representava apenas 43,3% da massa ou das condições de processamento, em especial da peletização, na qual foi utilizado uma matriz de 4,5 mm que pode ter minimizado os efeitos da moagem prévia sobre o desempenho.

Desta forma, o resultado positivo obtido com a implementação do agente de dispersão pode ser maior em dietas fareladas e dietas com maior inclusão de milho, hipótese que precisa ser melhor estudada.

CONCLUSÃO

A implementação do agente de dispersão nos peneiramentos permitiu maior passagem das partículas do milho em especial nos menores DGM (peneiras 2 e 4 mm) caracterizando melhor o DGM.

A adição de agente de dispersão no método usual (peneiramento em cascata e com secagem prévia) permitiu melhor ajuste (maior R^2) para a estimativa do ganho de peso das peruas de acordo com a análise de regressão quadrática.

A metodologia reversa é uma alternativa para melhorar o peneiramento e pode ser usada para melhorar a determinação do tamanho de partículas do milho em especial nos menores tamanho de partículas, mas sem benefícios para o R^2 .

O método sem a secagem prévia, com o peneiramento em cascata e com o uso do agente de dispersão, por sua facilidade e rapidez de execução e alta correlação com o método usual pode ser utilizado em situações de análise contínuas da granulometria do milho para permitir o uso imediato do ingrediente ou calibração de equipamentos de moagem.

REFERÊNCIAS

- ASABE - American Society of Agricultural and Biological Engineers, 2008. Standard S319.4: Method of determining and expressing fineness of feed materials by sieving. *American Society of Agricultural and Biological Engineers*, St. Joseph, MI
- AviagenTM - Feeding Guidelines for Nicholas and B.U.T. Heavy Lines, 2015. Version 1, Tattenhall, Cheshire, England.
- Dabbour, M.I., Bahnasawy, A., El Haddad, Z., Ali, S., 2015. Grinding Parameters and their Effects on the Quality of Corn for Feed Processing. *Journal of Food Processing & Technology*, 6, 1-7. <https://doi.org/10.4172/2157-7110.1000482>
- Favero, A., Maiorka, A., Dahlke, F., Meurer, R.F.P., Oliveira, R.S., Sens, R.F., 2009. Influence of feed form and corn particle size on the live performance and digestive tract development of Turkeys. *J. Appl. Poult. Res.* 18, 772–779. <https://doi.org/10.3382/japr.2009-00069>
- Henderson, S.M., Perry, R.L., 1955. *Agricultural Process Engineering*. New York, NY: John Wiley and Sons.
- Kalivoda, J.R., Jones, C.K., Stark, C.R., 2017. Impact of varying analytical methodologies on grain particle size determination. *J. Anim. Sci.* 95, 113–119. <https://doi.org/10.2527/jas2016.0966>
- Liu, K.S., 2009. Some factors affecting sieving performance and efficiency. *Powder Technol.* 193, 208–213. <https://doi.org/10.1016/j.powtec.2009.03.027>
- Lyu, F., Thomas, M., Hendriks, W.H., van der Poel, A.F.B., 2020. Size reduction in feed technology and methods for determining, expressing and predicting particle size: A review. *Anim. Feed Sci. Technol.* 261, 114347. <https://doi.org/10.1016/j.anifeedsci.2019.114347>
- Naderinejad, S., Zaefarian, F., Abdollahi, M.R., Hassanabadi, A., Kermanshahi, H., Ravindran, V., 2016. Influence of feed form and particle size on performance, nutrient utilisation, and gastrointestinal tract development and morphometry in broiler starters fed maize-based diets. *Anim. Feed Sci. Technol.* 215, 92–104. <https://doi.org/10.1016/j.anifeedsci.2016.02.012>

Probst, K. V., Kingsly Ambrose, R.P., Pinto, R.L., Bali, R., Krishnakumar, P., Ileleji, K.E., 2013. The effect of moisture content on the grinding performance of corn and corncobs by hammermilling. *American Society of Agricultural and Biological Engineers*, 56, n. 3, p. 1025–1033. <https://doi.org/10.13031/trans.56.9996>

Rostagno, H. S., Albino, L. F. T., Hannas, M. I., Donzele, J. L., Sakomura, N. S., Perazzo, F. G., Saraiva, A., Teixeira, M. L., Rodrigues, P. B., Oliveira, R. F., Barreto, S. L. T., Brito, C.O., 2017. *Tabelas Brasileiras Para Aves e Suínos*. UFV, Viçosa.

Rubio, A.A., Hess, J.B., Berry, W.D., Dozier, W.A., Pacheco, W.J., 2020. Effects of corn particle size on broiler performance during the starter, grower, and finisher periods. *J. Appl. Poult. Res.* 29, 352–361. <https://doi.org/10.1016/j.japr.2019.11.009>

Stark, C.R., Chewning, C.G., 2012. The effect of sieve agitators and dispersing agent on the method of determining and expressing fineness of feed materials by sieving. *Anim. Prod. Sci.* 52, 69–72. <https://doi.org/10.1071/AN11124>

Tabela 8 - Características técnicas das peneiras de moagem e físicas das rações experimentais.

Características técnicas das peneiras experimentais					
mm	2	4	6	8	10
Área dos furos, mm ²	3,135	12,32	27,29	50,06	78,23
Área vazada da peneira, %	21,84	32,46	31,69	38,76	41,43
Diâmetro mensurado, mm	2,00	3,96	5,89	7,98	9,98
Características físicas do milho pós-moagem					
DGM, µm	453	752	950	1064	1109
DPG	2,31	2,14	2,35	2,28	2,30
Densidade, kg/L	0,54	0,61	0,63	0,63	0,64
Características físicas das rações pré-peletização					
DGM, µm	642	735	850	791	803
DPG	2,60	2,62	2,66	2,68	2,72
Densidade, kg/L	0,61	0,60	0,60	0,58	0,58
Características físicas das rações pós-peletização					
PCI PDI, %	96	95	96	97	96
PCI triturado, %	65	54	63	63	60

Tabela 9 - Diferentes metodologias para determinação do tamanho de partícula do milho e rações.

Tratamentos	Secagem prévia 105°C	Sequência de peneiramento	Agente de dispersão
FP	Sim	Cascata	Não
EP	Sim	Cascata	Sim
HP	Sim	Reverso	Não
GP	Sim	Reverso	Sim
BP	Não	Cascata	Não
AP	Não	Cascata	Sim
CP	Não	Reverso	Não
DP	Não	Reverso	Sim

Tabela 10 - Composição centesimal das rações experimentais.

Itens, g/kg	Pré-Inicial
Milho	433,28
Farelo de Soja 48% PB	410,1
Farelo de Glúten 58% PB	60
Fosfato	26
Calcário	22,5
Óleo de Soja	15,7
Pré-mistura de microingredientes pré-inicial ¹	13,5
Pré-mistura de microingredientes inicial ²	-
Lisina líquida 64%	8,95
Metionina líquida 88%	4,85
Cloreto de sódio	3,5
Cloreto de Colina líquida 75%	1,05
Enzima Xylanase Rovabio líquida	0,11
Enzima Fitase Quantum Blue líquida	0,05
Aditivo Conservante	0,41
Ácido Propiônico	-

Tabela 11 - Desempenho zootécnico prévio (1-21 dias) utilizado para o estudo das melhores variáveis independentes.

	Tratamentos					P-Value	CV
	A	B	C	D	E		
Ganho de peso, g	781+15	767+14	744+20	756+15	747+16	<0,001	2,133

Tabela 12 - Correlação de Pearson entre os métodos de peneiramento, diâmetro das peneiras e ganho de peso de peruas na fase pré inicial.

Correlações de Pearson fase pré inicial (1-22 dias)										
	PEN	FP	EP	HP	GP	BP	AP	DP	CP	Ganho
PEN	1,000									
FP	0,956	1,000								
EP	0,933	0,959	1,000							
HP	0,972	0,995	0,978	1,000						
GP	0,964	0,994	0,983	0,999	1,000					
BP	0,989	0,989	0,958	0,995	0,991	1,000				
AP	0,984	0,977	0,981	0,993	0,991	0,992	1,000			
DP	0,967	0,993	0,982	0,999	0,999	0,991	0,993	1,000		
CP	0,980	0,988	0,980	0,999	0,997	0,996	0,997	0,997	1,000	
Ganho	-0,538	-0,594	-0,636	-0,602	-0,611	-0,574	-0,597	-0,610	-0,598	1,000

Tabela 13 - Estudo do uso de diferentes resultados de granulometria como variável independente para a estimativa do ganho de peso de peruas.

			Diferentes graus de moagem													
Implementações				2	4	6	8	10	<i>P-Values</i>		Coeficientes das equações e valor de R ²					
Secagem	Ordem	Umectante		Diâmetro geométrico médio, µm					Linear	Quadrático	a	b	c	R ²	D'	
seco	cascata	não	FP	453	753	951	1064	1110	8,11E-09	3,81E-08	829,0999	-0,1257	0,000048	0,3621	1315	
seco	cascata	sim	EP	427	606	831	772	930	3,05E-10	2,06E-09	835,7217	-0,1509	0,000057	0,4092	1323	
seco	reverso	não	HP	399	653	860	930	1041	4,30E-09	1,85E-08	825,8486	-0,1317	0,000054	0,3741	1220	
seco	reverso	sim	GP	376	594	784	825	921	2,20E-09	1,27E-08	826,434	-0,1409	0,000059	0,3802	1195	
natural	cascata	não	BP	693	914	1085	1213	1316	3,28E-08	3,54E-08	906,1298	-0,2455	0,000096	0,3633	1282	
natural	cascata	sim	AP	454	602	793	837	968	6,55E-09	9,16E-09	870,5762	-0,2566	0,000134	0,3856	959	
natural	reverso	não	CP	522	713	884	940	1055	5,92E-09	1,59E-08	869,9008	-0,2201	0,000098	0,3766	1118	
natural	reverso	sim	DP	469	647	836	877	958	2,35E-09	1,07E-08	857,3569	-0,2055	0,000095	0,3831	1087	
Diâmetro dos furos das peneiras				2	4	6	8	10	3,11E-07	4,47E-08	805,3757	-13,7349	0,8166	0,3594	8,4	

D' = ponto de inflexão das equações; Umectante=Agente de dispersão.

3 – CONSIDERAÇÕES FINAIS

Os resultados encontrados no manuscrito I confirmam a hipótese de que a granulometria do milho impacta no desempenho zootécnico, nos níveis séricos e na digestibilidade de peruas. De forma não esperada o melhor desempenho zootécnico das peruas aconteceu com uma moagem fina (maior intensidade de moagem) em uma faixa de 453 e 459 μm para milhos nas fases pré-inicial e inicial, respectivamente.

As concentrações séricas foram influenciadas pela granulometria do milho com aumento linear com destaque para a glicose aos 21 dias e triglicerídeos aos 45 dias com o menor tamanho de partícula do milho.

Os melhores coeficientes de digestibilidade de matéria seca e orgânica foram obtidos com diâmetro de furos das peneiras próximo de 6 mm que correspondem a aproximadamente 950 μm de granulometria do milho, o que era esperado pelo autor. Interessante que o estudo mostrou que o aumento do tamanho de partícula do milho influencia na relação energia metabolizável e proteína bruta metabolizável com maior relação obtida no menor tamanho de partícula do milho fato esse não relatado para perus na literatura.

No manuscrito II a implementação do agente de dispersão foi benéfica e permitiu maior passagem das partículas entre as peneiras granulométricas em especial nas intensidades maiores de moagem (peneiras de 2 e 4 mm) caracterizando um menor DGM do milho moído. A adição do agente de dispersão no método usual (cascata e com secagem prévia) melhorou a estimativa do ganho de peso das peruas. Em partes esses resultados eram esperados pelo autor. No entanto a melhor correlação do método com agente de dispersão quando comparado ao método usual não era esperado.

A metodologia reversa para determinação de granulometrias é uma alternativa para melhora do peneiramento em moagens mais finas, porém, não foi encontrado melhoras para essa metodologia no R^2 quando comparado ao método usual.

O método sem a secagem prévia, com o peneiramento em cascata e com o uso do agente de dispersão, pela facilidade e rapidez de execução e alta correlação com o método usual, se mostrou ideal para aplicações práticas em fábricas de rações.

O autor indica com foco no manuscrito I a execução de novos estudos avaliando a digestibilidade aparente em períodos distintos, novos estudos ajustando a relação de energia

metabolizável e proteína bruta digestível entre os diferentes tratamentos, avaliação do perfil microbiológico do trato digestório dos animais e maior coleta de níveis séricos. Com relação ao manuscrito II indica-se a avaliação das diferentes metodologias com diversas variedades do milho e aplicando a correlação com outras espécies.

4- REFERÊNCIAS

ABADI, M.H.M.H. *et al.* Effects of feed form and particle size, and pellet binder on performance, digestive tract parameters, intestinal morphology, and cecal microflora populations in broilers. **Poultry Science**, v. 98, n. 3, p. 1432–1440, 2019.

ABDOLLAHI, M. R. *et al.* The interactive influence of dietary nutrient density and feed form on the performance of broiler chickens. **Animal Feed Science and Technology**, v. 239, p. 33–43, 2018.

ABDOLLAHI, M. R.; RAVINDRAN, V.; SVIHUS, B. Pelleting of broiler diets: An overview with emphasis on pellet quality and nutritional value. **Animal Feed Science and Technology**, v. 179, n. 1–4, p. 1–23, 2013.

ABDOLLAHI, M. R.; ZAEFARIAN, F.; RAVINDRAN, V. Maximising the benefits of pelleting diets for modern broilers. **Animal Production Science**, v. 59, n. 11, p. 2023–2028, 2019.

ABPA 2018. Annual Report of the Brazilian Association of Animal Protein, relatório anual 2019. Disponível em: <https://abpa-br.org/wp-content/uploads/2019/08/Relat%C3%B3rio-Anual-2019.pdf>. Acesso em: 17/02/2021

ABPA 2019. Annual Report of the Brazilian Association of Animal Protein, relatório anual 2020. Disponível em: https://abpa-br.org/wp-content/uploads/2020/05/abpa_relatorio_anual_2020_portugues_web.pdf. Acesso em: 17/02/2021

ALLTECH. Global Feed Survey, relatório anual 2019. Disponível em: <https://www.alltech.com/pt/feed-survey>. Acesso em: 17/02/2021.

AL-RABADI, G.J. *et al.* Regrinding large particles from milled grains improves growth performance of pigs. **Animal Feed Science and Technology**, v. 233, n. 1, p. 53–63, 2017.

AMERAH, A. M. *et al.* Feed particle size: Implications on the digestion and performance of poultry. **World's Poultry Science Journal**, v. 63, n. 3, p. 439–455, 2007.

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, n. 3, p. 366–375, 2009.

AMERAH, A.M. *et al.* Influence of particle size on the performance, digesta characteristics and energy utilization of broilers fed maize and wheat based diets. **Proceedings of the Australian Poultry Science Symposium**, v.19, p.89-92, 2007b.

AMIRABDOLLAHIAN, H.; EMANZADEH, A.L; KERAMATI, K. A Comparative Effect of Mash and Pellet Feed with Different Pelleting Temperature on Blood Metabolites, Carcass Characteristics and Broiler Performance. **International journal of Advanced Biological and Biomedical Research**, v. 2, n. 1, p. 141–145, 2014.

ASABE (1969). Method of determining modulus of uniformity and modulus of fines. **American Society of Agricultural and Biological Engineers**, St Joseph, MI.

ASABE (1969b). Method of determining and expressing fineness of feed by sieving. **American Society of Agricultural and Biological Engineers**, St Joseph, MI.

ASABE (2008). Standard S319.4: Method of determining and expressing fineness of feed materials by sieving. **American Society of Agricultural and Biological Engineers**, St. Joseph, MI.

ATTIA, Y. A. *et al.* Effect of feed form, pellet diameter and enzymes supplementation on carcass characteristics, meat quality, blood plasma constituents and stress indicators of broilers. **Archives Animal Breeding**, v. 57, n. 1, p. 1–14, 2014.

ATTIA, Y. A.; AL-HANOUN, A.; BOVERA, F. Effect of different levels of bee pollen on performance and blood profile of New Zealand White bucks and growth performance of their offspring during summer and winter months. **Journal of Animal Physiology and Animal Nutrition**, v. 95, n. 1, p. 17–26, 2011.

BACH KNUDSEN, K. E. *et al.* In vivo methods to study the digestion of starch in pigs and poultry. **Anim. Feed Sci. Technol.**, v. 130, p. 114–135, 2006.

BAO, Z. *et al.* Effect of particle size of wheat on nutrient digestibility, growth performance, and gut microbiota in growing pigs. **Livestock Science**, v. 183, n.1, p. 33-39, 2015.

BONEY, J. W. *et al.* The effects of steam conditioning and antimicrobial inclusion on feed manufacturing and inactivation of *Enterococcus faecium*, a *Salmonella* surrogate. **Journal of Applied Poultry Research**, v. 27, n. 4, p. 472–482, 2018.

BORSA, A. *et al.* Níveis 324 séricos de enzimas de função hepática em frangos de corte de criação industrial clinicamente 325 saudáveis. **Arq. Bras. Med. Vet. Zootec.**, v.58, p. 675-677, 2006.

- CAMPBELL T.W. Clinical chemistry of birds, In: Thrall M.A. (Ed.), *Veterinary Hematology and Clinical Chemistry*. Lippincott, Williams and Wilkins, Philadelphia, p.479-492, 2004.
- CAPITELLI, R.; CROSTA, L. Overview of psittacine blood analysis and comparative retrospective study of clinical diagnosis, hematology and blood chemistry in selected psittacine species. **Veterinary Clinics of North America: Exotic Animal Practice**, v. 16, n. 1, p. 71–120, 2013.
- CARDEAL, P. *et al.* Qualidade física de peletes para frangos de corte. **Arq. Bras. Med. Vet. Zootec.**, v. 66, n. 5, p. 1618–1622, 2014.
- CARVALHO, G. B. DE; SANTOS, J. S. Hematology and serum biochemistry of broilers at the initial and growth stages submitted to different levels of digestible sulfur amino acids. **Ciência Rural**, v. 50, n.5, p. 1–9, 2020.
- CARVALHO, R.H. *et al.* Turkey meat. Seasonal effect on meat quality and on dead on arrival index in a commercial plant. **Brazilian Archives of Biology and Technology**, v. 61, p. 1–12, 2018.
- CELI, P. *et al.* Gastrointestinal functionality in animal nutrition and health: New opportunities for sustainable animal production. **Animal Feed Science and Technology**, v. 234, p. 88–100, 2017.
- CERRATE, S. *et al.* Effect of pellet diameter in broiler starter diets on subsequent performance. **Journal of Applied Poultry Research**, v. 18, n. 3, p. 590–597, 2009.
- CHIODELLI, D. *et al.* Marteleles desgastados afetam negativamente as características operacionais da moagem e físicas do milho processado em moinho do tipo martelo. **Boletim de Indústria Animal**, v. 75, p. 1–9, 2018.
- CHOI, J.H. *et al.* Effects of pelleted or crumbled diets on the performance and the development of the digestive organs of broilers. **Poultry Science**, v.65, n.3, p.594-597, 1986.
- COFFEY, D. *et al.* Review of the feed industry from a historical perspective and implications for its future. **Journal of Applied Animal Nutrition**, v. 4, p. 1–11, 2016.
- COLOVIC, R. *et al.* Effect of die channel press way length on physical quality of pelleted cattle feed. **Journal of Institute for Food Technology**, v. 37, p.1-6, 2010.
- CÓRDOVA-NOBOA, H. A. *et al.* Corn drying temperature, particle size, and amylase supplementation influence growth performance, digestive tract development, and nutrient utilization of broilers. **Poultry Science**, v. 99, n. 11, p. 5681–5696, 2020.

- CORZO, A. *et al.* Interactive effects of feed form and dietary lysine on growth responses of commercial broiler chicks. **Journal of Applied Poultry Research**, v. 21, n. 1, p. 70–78, 2012.
- COWIESON, A. *et al.* Additivity of apparent and standardized ileal amino acid digestibility of corn and soybean meal in broiler diets. **Poultry Science**, v. 98, n. 9, p. 3722–3728, 2019.
- DAHLKE, F. *et al.* Effects of corn particle size and physical form of the diet on the gastrointestinal structures of broiler chickens. **Revista Brasileira de Ciência Avícola**, v. 5, n. 1, p. 61–67, 2003.
- DAHLKE, F. *et al.* Tamanho da partícula do milho e forma física da ração e seus efeitos sobre o desempenho e rendimento de carcaça de frangos de corte. **Revista Brasileira de Ciência Avícola**, v. 3, n.3, p. 1-12, 2001.
- DOUGLAS, J. H. *et al.* Influence of Grinding, Rolling, and Pelleting on the Nutritional Value of Grain Sorghums and Yellow Corn for Broilers. **Poultry Science**, v. 69, n. 12, p. 2150–2156, 1990.
- DOZIER, III A. *et al.* Effects of feed form on growth performance and processing yields of broiler chickens during a 42-day production period. **Journal of Applied Poultry Research**, v. 19, n. 3, p. 219–226, 2010.
- EMBRAPA. ICP Frango. Disponível em: <https://www.embrapa.br/suinos-e-aves/cias/custos/icpfrango>. Acesso em: 17/02/2021.
- EPAGRI. Eventos meteorológicos bateram recordes em Santa Catarina em 2020. Disponível em: <https://www.epagri.sc.gov.br/index.php/2021/01/27/eventos-meteorologicos-bateram-recordes-em-santa-catarina-em-2020/>. Acesso em: 17/02/2021.
- FARGHLY, M.F.A; ABOU-KASSEM, D.E. Impacts of feed color and form on growth performance of local turkey. **Egyptian J. Nutrition and Feeds**, v. 17, p. 537-547, 2014.
- FAVERO, A. *et al.* Influence of feed form and corn particle size on the live performance and digestive tract development of Turkeys. **Journal of Applied Poultry Research**, v. 18, n. 4, p. 772–779, 2009.
- FERRAZ MÁQUINAS. Fluxograma de Produção de Ração – Farelada/Peletizada. Disponível em: <http://www.ferrazmaquinas.com.br/conteudo/fluxograma-de-producao-de-racao-fareladapeletizada.html>. Acesso em: 17/02/2021
- FLEMMING, J.S. *et al.* Ração farelada com diferentes granulometrias em frangos de corte. **Arquivo Brasileiro de Medicina Veterinária e Zootecnia.**, v.7, p.1-9, 2002.

GONZÁLEZ, F.H.D.; SCHEFFER, J.F.S. Perfil sanguíneo: ferramenta de análise clínica, metabólica e nutricional. In: GONZÁLEZ, F.H.D., CAMPOS, R. Eds. **Anais do I Simpósio de Patologia Clínica Veterinária da Região Sul do Brasil**. Porto Alegre: Gráfica da Universidade Federal do Rio Grande do Sul, p. 73-89, 2003.

GRACIA, M. I. *et al.* Alpha-Amylase supplementation of broiler diets based on corn. **Poult. Sci.**, v. 82, p. 436–442, 2003.

HADI, M.I. *et al.* Open Access Improvement on the Design, Construction and Testing of Hammer. **American Journal of Engineering Research (AJER)**, n. 3, p. 139–146, 2017.

HAFEEZ, A. *et al.* The effect of milling method, thermal treatment, and particle size of feed on exterior and interior egg quality in laying hens. **European Poultry Science**, v. 79, p. 1612-9199, 2015.

HAMEED, T. *et al.* The Past, Present and Future of Commercial Poultry Feed Production and Price Inclinations. **Jokull Journal**, v. 66, p. 449-576, 2016.

HENDERSON, S.M.; PERRY, R.L. *Agricultural Process Engineering*. New York, NY: John Wiley and Sons, 1955.

HOCHLEITHNER, M. Biochemistries. In: RITCHIE, B.W.; HARRISON, G. J.; HARRISON L.R. **Avian medicine: principles and application**. Lake Worth: Wingers Publishing, p. 176-198, 1994.

JAFARNEJAD, S. *et al.* Effect of crumble-pellet and mash diets with different levels of dietary protein and energy on the performance of broilers at the end of the third week. **Veterinary Medicine International**, v. 2010, 2011.

JAHAN, M. S.; ASADUZZAMAN, M.; SARKAR, A. K. Performance of broiler fed on mash, pellet and crumble. **International Journal of Poultry Science**, v. 5, n. 3, p. 265–270, 2006.

KALIVODA, J. R.; JONES, C. K.; STARK, C. R. Impact of varying analytical methodologies on grain particle size determination. **Journal of Animal Science**, v. 95, n. 1, p. 113–119, 2017.

KANEKO, J. J; HARVEY, J. W.; BRUSS, M. L. **Clinical Biochemistry of Domestic Animals**, 6th ed., San Diego: Academic Press, p. 928, 2008.

KIARIE, E.G.; MILLS, A. Role of Feed Processing on Gut Health and Function in Pigs and Poultry: Conundrum of Optimal Particle Size and Hydrothermal Regimens. **Frontiers in Veterinary Science**, v. 6, n. 1, p. 6-19, 2019.

KILBURN, J.; EDWARDS, H.M. The effect of particle size of commercial soybean meal on performance and nutrient utilization of broilers chicks. **Poultry Science**, v.42, p.428-432, 2004.

KIM, J. C.; MULLAN, B. P.; PLUSKE, J. R. A comparison of waxy versus non-waxy wheats in diets for weaner pigs: effects of particle size, enzyme supplementation, and collection day on total tract apparent digestibility and pig performance. **Animal Feed Science Technology**, v.120, p. 51-65, 2005.

KIRSHNER, N. *et al.* Composition of Normal Turkey Blood. **Poultry Science**, v. 30, n. 6, p. 875–879, 1951.

LEHNINGER, A. L; NELSON, D.L.; COX, LEHNINGER, M.M. **Princípios de bioquímica**, 4ª. ed., São Paulo: Sarvier, p. 975, 2006.

LEMME, A. *et al.* Responses of male growing broilers to increasing levels of balanced protein offered as coarse mash or pellets of varying quality. **Poultry Science**, v. 85, n. 4, p. 721–730, 2006.

LIU, K.S. Some factors affecting sieving performance and efficiency. **Powder Technol.**, v. 193, 208–213, 2009.

LUMEIJ, J.T. Avian clinical biochemistry. In: KANEKO, J.J.; HARVEY, J.W.; BRUSS, M.L. (Eds.), **Clinical Biochemistry of Domestic Animals**, 5º ed., Boston MA: Academic Press, p. 864-873, 1997.

LV, M. *et al.* Effects of feed form and feed particle size on growth performance, carcass characteristics and digestive tract development of broilers. **Animal Nutrition**, v. 1, n. 3, p. 252–256, 2015.

LV, M. *et al.* Effects of feed form and feed particle size on growth performance, carcass characteristics and digestive tract development of broilers. **Animal Nutrition**, v. 1, n. 3, p. 252–256, 2015.

LYU, F. *et al.* Size reduction in feed technology and methods for determining, expressing and predicting particle size: A review. **Animal Feed Science and Technology**, v. 261, p. 114–347, 2020.

LYU, Z. *et al.* Effects of particle size and lipid form of corn on energy and nutrient digestibility in diets for growing pigs. **Asian-Australasian Journal of Animal Sciences**, v. 33, n. 2, p. 286–293, 2020b.

MASSUQUETTO, A. *et al.* Influence of feed form and conditioning time on pellet quality, performance and ileal nutrient digestibility in broilers. **Journal of Applied Poultry Research**, v. 27, n. 1, p. 51–58, 2018.

MELILLO, A. Applications of serum protein electrophoresis in exotic pet medicine. **Veterinary Clinics of North America: Exotic Animal Practice**, v. 16, n. 1, p. 211–225, 2013.

MINGBIN, L.V. *et al.* Effects of feed form and feed particle size on growth performance, carcass characteristics and digestive tract development of broilers. **Animal Nutrition**, v. 1, n. 3, p. 252–256, 2015.

MTEI, A. W. *et al.* Impact of corn particle size on nutrient digestibility varies depending on bird type. **Poultry Science**, v. 98, n. 11, p. 5504–5513, 2019.

NADERINEJAD, S. *et al.* Influence of feed form and particle size on performance, nutrient utilisation, and gastrointestinal tract development and morphometry in broiler starters fed maize-based diets. **Animal Feed Science and Technology**, v. 215, p. 92-104, 2016.

NIR, I. *et al.* Effect of particle size on performance. 3. Grinding pelleting interactions. **Poultry science**, v. 74, n. 5, p. 771–783, 1995.

NIR, I.; SHEFET, G.; AARONI, Y. Effect of particle size on performance. 1. **Corn. Poult. Sci.**, v 73, p. 45–49, 1994.

OECD/FAO. Agricultural Outlook 2020-2029. Disponível em: <https://doi.org/10.1787/1112c23b-en>. Acesso em: 17/02/2021.

PACHECO, W. J. *et al.* Effects of trypsin inhibitor and particle size of expeller-extracted soybean meal on broiler live performance and weight of gizzard and pancreas. **Poultry Science**, v. 93, n. 9, p. 2245–2252, 2014.

PACHECO, W. J. *et al.* Evaluation of soybean meal source and particle size on broiler performance, nutrient digestibility, and gizzard development. **Poultry Science**, v. 92, n. 11, p. 2914–2922, 2013.

PAIANO, D. *et al.* Macro ingredients as markers of the quality of mixing feed. **Semina: Ciências Agrárias**, v. 35, n. 3, p. 1463-1474, 2014.

PARSONS, A.S. *et al.* Effect of corn particle size and texture on broiler performance in the growing phase. **Journal Applied of Poultry Research**, v.15, p.245-255, 2006.

PERON, A. *et al.* Effects of food deprivation and particle size of ground wheat on digestibility of food components in broiler fed on a pelleted diet. **British Poultry Science**, v.46, p.223-230, 2005.

POZZA, P.C. *et al.* Avaliação da moagem e granulometria do milho e consumo de energia no processamento em moinhos de martelos. **Ciência Rural**, v. 35, n. 1, p. 235–238, 2005.

PUBOLS, M. H. Ratio of digestive enzymes in the chick pancreas. **Poult. Sci.**, v. 70, p. 337–342, 1991.

ROJAS, O.J.; STEIN, H.H. Effects of reducing the particle size of corn grain on the concentration of digestible and metabolizable energy and on the digestibility of energy and nutrients in corn grain fed to growing pigs. **Livestock Science**, v. 181, n.1, p. 187-193, 2015.

RUBIO, A. A. *et al.* Effects of corn particle size on broiler performance during the starter, grower, and finisher periods. **Journal of Applied Poultry Research**, v. 29, n. 2, p. 352–361, 2020.

SAFAA, H.M. *et al.* Influence of the main cereal and feed form of the diet on performance and digestive tract traits of brown-egg laying pullets. **Poultry Science**, v. 88, n. 5, p. 994–1002, 2009.

SAKOMURA, N.K.; ROSTAGNO, H.S. Métodos de pesquisa em nutrição de monogástricos. Jaboticabal: **Funep**, 2007. 283p.

SHABANI, S. *et al.* Effects of physical form of diet and intensity and duration of feed restriction on the growth performance, blood variables, microbial flora, immunity, and carcass and organ characteristics of broiler chickens. **Livestock Science**, v. 180, p. 150–157, 2015.

SIEGERT, W. *et al.* Effect of particle size distribution of maize and soybean meal on the prececal amino acid digestibility in broiler chickens. **British Poultry Science**, v. 59, n. 1, p. 68–75, 2018.

SLOMINSKI, B. A. Recent advances in research on enzymes for poultry diets. **Poultry Science**, v. 90, n. 9, p. 2013–2023, 2011.

STARK, C.R., CHEWNING, C.G. The effect of sieve agitators and dispersing agent on the method of determining and expressing fineness of feed materials by sieving. **Anim. Prod. Sci.**, v. 52, n.1, p 69–72, 2012.

STEFANELLO, C. *et al.* Starch digestibility, energy utilization, and growth performance of broilers fed cornsoybean basal diets supplemented with enzymes. **Poult. Sci.**, v. 94, p. 2472–2479, 2015.

STEFANELLO, C. *et al.* Utilization of corn-based diets supplemented with an exogenous α -amylase for broilers. **Poultry Science**, v. 98, n. 11, p. 5862–5869, 2019.

SVIHUS, B. *et al.* Passage rate through the anterior digestive tract of broiler chickens fed on diets with ground and whole wheat. **British Poultry Science**, v. 43, n. 5, p. 662–668, 2002.

SVIHUS, B. Starch digestion capacity of poultry. **Poultry Science**, v. 93, n. 9, p. 2394–2399, 2014.

THRALL M.A. *et al.* **Veterinary Hematology and Clinical Chemistry**, Baltimore: Lippincott Williams & Wilkins, p. 618, 2004.

VIEIRA, S. L.; STEFANELLO, C. Carboidratos: digestão e absorção. Páginas 220–233 em **Fisiologia das Aves Comerciais**. M. Macari and A. Maiorka, ed: FUNEP, Jaboticabal.

VIEIRA, S.L. Digestão e utilização de nutrientes após a eclosão de frangos e corte. In: **V Simpósio Brasil Sul de Avicultura**, p.26-41. Chapecó-SC, 2004.

WAMSLEY, K. G. S.; MORITZ, J. S. Resolving poor pellet quality and maintaining amino acid digestibility in commercial Turkey diet feed manufacture. **Journal of Applied Poultry Research**, v. 22, n. 3, p. 439–446, 2013.

WINDHORST, H. W. Dynamics and patterns of global poultry-meat production. **Food Science, Technology and Nutrition**, p. 1-25, 2017.

WISEMAN, J. Variations in starch digestibility in non-ruminants. **Anim. Feed Sci. Technol.**, v. 130, p. 66–77, 2006.

XU, Y. *et al.* Effects of feed form and dietary coarse ground corn on broiler live performance, body weight uniformity, relative gizzard weight, excreta nitrogen, and particle size preference behaviors. **Poultry Science**, v. 94, n. 7, p. 1549–1556, 2015.

ZAEFARIAN, F.; ABDOLLAHI, M.R.; RAVINDRAN, V. Particle size and feed form in broiler diets: Impact on gastrointestinal tract development and gut health. **Worlds. Poult. Sci. J.**, v. 72, p. 277–290, 2016

ZANG, J.J. *et al.* Effects of feed particle size and feed form on grow performance, nutrient metabolizability and intestinal morphology in broiler chickens. **Asian-Australasian Journal of Animal Sciences**, v. 22, n. 1, p. 107–112, 2009.

ZANOTTO, D.L. *et al.* Tamanho das partículas do milho e forma física da ração: desempenho e rendimento de carcaça com frangos de corte. **Concórdia: EMBRAPA, CNPSA, 2006.**

5- ANEXOS

5.1 Anexo I - CARTA DE APROVAÇÃO DO CETEA



UDESC
UNIVERSIDADE
DO ESTADO DE
SANTA CATARINA

LAGES
CENTRO DE CIÊNCIAS
AGROVETERINÁRIAS

**Comissão de Ética no
Uso de Animais**

CERTIFICADO

Certificamos que a proposta intitulada "Diferentes granulometrias do milho em rações farelada ou peletizadas para perus de corte - desempenho zootécnico e digestibilidade", protocolada sob o CEUA nº 5400021219 (00 001103), sob a responsabilidade de **Diovani Paiano e equipe; Marlon José Zanotto; Marcel Manente bolago; Luiz Claudio Miletto; Aleksandro Schafer da Silva** - que envolve a produção, manutenção e/ou utilização de animais pertencentes ao filo Chordata, subfilo Vertebrata (exceto o homem), para fins de pesquisa científica ou ensino - está de acordo com os preceitos da Lei 11.794 de 8 de outubro de 2008, com o Decreto 6.899 de 15 de julho de 2009, bem como com as normas editadas pelo Conselho Nacional de Controle de Experimentação Animal (CONCEA), e foi **aprovada** pela Comissão de Ética no Uso de Animais da Universidade do Estado de Santa Catarina (CEUA/UDESC) na reunião de 27/01/2020.

We certify that the proposal "Com with different particle size in mash or pelleted diets for turkeys - performance and digestibility", utilizing 550 Birds (550 females), protocol number CEUA 5400021219 (00 001103), under the responsibility of **Diovani Paiano and team; Marlon José Zanotto; Marcel Manente bolago; Luiz Claudio Miletto; Aleksandro Schafer da Silva** - which involves the production, maintenance and/or use of animals belonging to the phylum Chordata, subphylum Vertebrata (except human beings), for scientific research purposes or teaching - is in accordance with Law 11.794 of October 8, 2008, Decree 6899 of July 15, 2009, as well as with the rules issued by the National Council for Control of Animal Experimentation (CONCEA), and was **approved** by the Ethic Committee on Animal Use of the University of Santa Catarina State (CEUA/UDESC) in the meeting of 01/27/2020.

Finalidade da Proposta: **Pesquisa (Acadêmica)**

Vigência da Proposta: de **05/2020 a 08/2020** Área: **Zootecnia**

Origem: **Animais provenientes de estabelecimentos comerciais**

Espécie: **Aves**

sexo: **Fêmeas**

Idade: **0 a 50 dias**

N: **550**

Linhagem: **AVIAGEN**

Peso: **50 a 3000 g**

Local do experimento: O experimento de desempenho (Exp1), compreenderá o período de 0 aos 42 dias de idade, será realizado em uma granja experimental, localizada na cidade de Chapecó - SC no inverno de 2020. Serão utilizados aproximadamente 550 perus fêmeas da linhagem AVIAGEN, alojados em galpão de alvenaria subdivididos em boxes de aproximadamente 1 m² com densidade aproximada de 30 cm2/ave-1 em acordo com o recomendado para a linhagem (AVIAGEN, 2015). O galpão a ser utilizado é equipado com sistema de aquecimento, ventilação e cortinas. Serão instalados no centro do galpão data loggers para registro de temperatura e umidade em intervalos de 30 min.

Lages, 20 de maio de 2020

Ubirajara Maciel da Costa
Coordenador da Comissão de Ética no Uso de Animais
Universidade do Estado de Santa Catarina

em aberto

Vice-Coordenador da Comissão de Ética no Uso de Animais
Universidade do Estado de Santa Catarina

5.2 Anexo II - Imagens escaneadas dos ingredientes do EP. 1 na fase PCI ao longo do processamento.

	Milho moído	Ração farelada	Ração peletizada	Ração peletizada triturada
2 mm				
4 mm				
6 mm				
8 mm				
10mm				