

UNIVERSIDADE ESTADUAL DE MARINGÁ  
CENTRO DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS

COMPLEXO ENZIMÁTICO EM DIETAS PARA FRANGOS  
DE CORTE CONTENDO CENTEIO OU CEVADA E  
REDUÇÃO NO NÍVEL ENERGÉTICO

Autor: Caio Henrique Pereira de Souza  
Orientadora: Prof.<sup>a</sup> Dr.<sup>a</sup> Alice Eiko Murakami

MARINGÁ  
Estado do Paraná  
Dezembro- 2018

UNIVERSIDADE ESTADUAL DE MARINGÁ  
CENTRO DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS

COMPLEXO ENZIMÁTICO EM DIETAS PARA FRANGOS  
DE CORTE CONTENDO CENTEIO OU CEVADA E  
REDUÇÃO NO NÍVEL ENERGÉTICO

Autor: Caio Henrique Pereira de Souza  
Orientadora: Prof.<sup>a</sup> Dr.<sup>a</sup> Alice Eiko Murakami

Dissertação apresentada, como parte das exigências para obtenção do título de MESTRE EM ZOOTECNIA, no Programa de Pós-Graduação em Zootecnia da Universidade Estadual de Maringá - Área de concentração Produção Animal.

MARINGÁ  
Estado do Paraná  
Dezembro-2018

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)  
(Biblioteca Central - UEM, Maringá, PR, Brasil)

S729c Souza, Caio Henrique Pereira de  
Complexo enzimático em dietas para frangos de corte contendo centeio ou cevada e redução no nível energético / Caio Henrique Pereira de Souza. - Maringá, 2018.  
76 f. : il., figs., tabs.

Orientador (a): Prof.a Dr.a Alice Eiko Murakami.  
Dissertação (mestrado) - Universidade Estadual de Maringá, Centro de Ciências Agrárias, 2018.

1. Frango de corte - Desempenho. 2. Frango de corte - Viscosidade intestinal. 3. Xilanase. 4. B-glucanase. I. Murakami, Alice Eiko, orient. II. Universidade Estadual de Maringá. Centro de Ciências Agrárias. III. Título.

CDD 21.ed. 636.5

MAS-CRB 9/1094



UNIVERSIDADE ESTADUAL DE MARINGÁ  
CENTRO DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS

COMPLEXO ENZIMÁTICO EM DIETAS PARA FRANGOS  
DE CORTE CONTENDO CENTEIO OU CEVADA E  
REDUÇÃO NO NÍVEL ENERGÉTICO

Autor: Caio Henrique Pereira de Souza  
Orientadora: Profª Drª Alice Eiko Murakami

TITULAÇÃO: Mestre em Zootecnia - Área de Concentração Produção  
Animal

APROVADO em 14 de dezembro de 2018.

Prof. Dr. Paulo César Pozza

Drª Adriana Nascimento

Profª Drª Alice Eiko Murakami  
Orientadora

**Aos meus pais,**

**Jaime Pereira de Souza e Marisa de Almeida Souza**

**Ao meu irmão,**

**Raphael Pereira de Souza**

**A minha namorada,**

**Daísa Cristina Rezende**

**Aos quais eu amo, admiro e tenho como exemplos a ser seguido. Sem o apoio, carinho e conselhos de todos vocês nada disso teria sido possível. Mais do que uma formação profissional, tudo isso que tenho buscado é uma tentativa de proporcionar orgulho e felicidade a todos vocês.**

**COM TODO MEU AMOR, DEDICO!**

## AGRADECIMENTOS

A Deus, minha gratidão pela vida e por todas as oportunidades e bênçãos que tem proporcionado em minha vida, por ter me guiado diante das dificuldades durante toda essa caminhada.

A Prof.<sup>a</sup> Dr.<sup>a</sup> Alice Eiko Murakami, pela oportunidade de trabalhar ao seu lado desde a iniciação científica, realização do trabalho de conclusão de curso e agora, realização do mestrado. Pela orientação, ensinamentos e conselhos. Muito obrigado.

Aos professores do Programa de Pós-Graduação em Zootecnia da Universidade Estadual de Maringá, em especial, Paulo Cesar Pozza, Tatiana Carlesso dos Santos, Ricardo Souza Vasconcellos e Leandro Castilha, pelos ensinamentos, apoio e importante contribuição na realização deste trabalho.

À Universidade Estadual de Maringá pela oportunidade de formação e realização deste trabalho.

Aos meus amigos e companheiros de trabalho, Ivan Camilo, Márcia Sakamoto, Alceu Kazuo, Humberto Lipori, Mayra Diaz, Ana Eliza, Kelly Nunes, Alisson Figueiredo, Wellington, Elisson, Pedro, Ester Romero, Maria Caroline, Leticia, Gabriele, pela amizade e por toda ajuda na realização dos experimentos, sem a ajuda de todos não seria possível à realização deste trabalho.

Aos funcionários da Fazenda Experimental de Iguatemi (FEI) – UEM, em especial ao Antônio Silverio Sobrinho (Sr. Toninho), pela amizade e pela fundamental ajuda na realização do trabalho a campo.

Aos funcionários do Laboratório de Nutrição Animal (LANA) – UEM, Augusto e Angélica, pelos ensinamentos e ajuda na realização das análises laboratoriais.

## BIOGRAFIA

CAIO HENRIQUE PEREIRA DE SOUZA, filho de Jaime Pereira de Souza e Marisa de Almeida Souza, nasceu em Dracena - SP, no dia 24 de setembro de 1993.

Cursou o ensino Médio no colégio Anglo Drummond – Maringá – PR, concluindo-o no ano de 2011.

Em março de 2011, iniciou no curso de Graduação em Zootecnia na Universidade Estadual de Maringá, concluindo-o no ano de 2015.

Em março de 2016, iniciou no Programa de Pós-graduação em Zootecnia, em nível de Mestrado, na área de concentração de Produção e Nutrição Animal, pela Universidade Estadual de Maringá, Paraná - Brasil.

## ÍNDICE

|                                                                                                                                         | Página |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------|
| LISTA DE TABELAS .....                                                                                                                  | vii    |
| LISTA DE FIGURAS .....                                                                                                                  | ix     |
| RESUMO .....                                                                                                                            | x      |
| ABSTRACT.....                                                                                                                           | xiii   |
| I - INTRODUÇÃO.....                                                                                                                     | 1      |
| 1.1 REVISÃO DE LITERATURA .....                                                                                                         | 2      |
| 1.1.1 Centeio (Secale cereale).....                                                                                                     | 2      |
| 1.1.2. Cevada (Hordeum vulgare).....                                                                                                    | 3      |
| 1.1.3. Polissacarídeos não amiláceos (PNAs).....                                                                                        | 4      |
| 1.1.4. Enzimas exógenas.....                                                                                                            | 6      |
| 1.1.5. Efeitos da presença de PNAs em dietas para frangos de corte.....                                                                 | 8      |
| 1.1.6. Efeitos de elevadas concentrações de PNAs em dietas para frangos de corte sobre a digestibilidade dos nutrientes dietéticos..... | 9      |
| 1.1.7. Efeitos de elevadas concentrações de PNAs em dietas para frangos de corte sobre a viscosidade intestinal.....                    | 11     |
| 1.1.8. Efeitos de PNAs em dietas para frangos de corte sobre alterações morfológicas dos órgãos digestivos.....                         | 12     |
| REFERÊNCIAS.....                                                                                                                        | 15     |
| II - OBJETIVOS GERAIS.....                                                                                                              | 20     |
| 2.1 OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....                                                                                                          | 20     |
| III – AVALIAÇÃO DO COMPLEXO ENZIMÁTICO EM DIETAS PARA FRANGOS DE CORTE COM CENTEIO OU CEVADA E REDUÇÃO NO NÍVEL ENERGÉTICO.....         | 21     |
| Resumo.....                                                                                                                             | 21     |
| Abstract.....                                                                                                                           | 22     |
| Introdução.....                                                                                                                         | 23     |
| Material e Métodos.....                                                                                                                 | 24     |
| Resultados e Discussão.....                                                                                                             | 32     |
| Conclusão.....                                                                                                                          | 56     |
| Refêrencias.....                                                                                                                        | 57     |

|                                                                                                                                          |    |
|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| IV- AVALIAÇÃO DO COMPLEXO ENZIMÁTICO EM DIETAS PARA FRANGOS DE CORTE COM CENTEIO OU CEVADA E REDUÇÃO NO NÍVEL ENERGÉTICO 21-42 DIAS..... | 61 |
| Resumo.....                                                                                                                              | 61 |
| Abstract.....                                                                                                                            | 62 |
| Introdução.....                                                                                                                          | 63 |
| Material e Métodos.....                                                                                                                  | 64 |
| Resultados e Discussão.....                                                                                                              | 67 |
| Conclusão.....                                                                                                                           | 73 |
| Refêrencias.....                                                                                                                         | 74 |
| V- CONSIDERAÇÕES FINAIS.....                                                                                                             | 76 |

## LISTA DE TABELAS

|                                                                                                                                                                                                                                                                                         | Página |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------|
| <br>Capítulo I                                                                                                                                                                                                                                                                          |        |
| <b>Tabela 1.</b> Principais enzimas exógenas utilizadas em dietas para aves e seus respectivos substratos. Adaptado Ravindran (2013).....                                                                                                                                               | 7      |
| <br>Capítulo II                                                                                                                                                                                                                                                                         |        |
| <b>Tabela 1.</b> Composição bromatológica e valores energéticos do centeio e da cevada utilizados no experimento.....                                                                                                                                                                   | 25     |
| <b>Tabela 2.</b> Composição percentual e calculada das dietas experimentais para frangos de corte na fase de 21 a 42 dias com a inclusão de centeio (20%) ou de cevada (20%).....                                                                                                       | 26     |
| <b>Tabela 3.</b> Composição percentual e calculada das dietas experimentais para frangos de corte com a inclusão de centeio ou de cevada.....                                                                                                                                           | 29     |
| <b>Tabela 4.</b> Tempo de passagem da ração pelo trato gastrointestinal (média $\pm$ erro padrão) de frangos de corte (21 dias) alimentados com dietas com inclusão de centeio ou cevada, com ou sem adição de complexo enzimático e redução no nível energético.....                   | 33     |
| <b>Tabela 5.</b> Coeficiente de digestibilidade (média $\pm$ erro padrão) de frangos de corte (21 dias) alimentados com dietas com inclusão de centeio ou cevada, com ou sem adição de complexo enzimático e redução no nível energético.....                                           | 35     |
| <b>Tabela 6.</b> Coeficiente de metabolizabilidade (média $\pm$ erro padrão) da EMAn de frangos de corte (21 dias) alimentados com dietas com inclusão de centeio ou cevada, com ou sem adição de complexo enzimático e redução no nível energético.....                                | 36     |
| <b>Tabela 7.</b> Desempenho (média $\pm$ erro padrão) de frangos de corte na fase de 1 a 21 dias alimentados com dietas com inclusão de centeio ou cevada, com ou sem adição de complexo enzimático e redução no nível energético.....                                                  | 38     |
| <b>Tabela 8.</b> Desempenho (média $\pm$ erro padrão) de frangos de corte na fase de 1 a 42 dias de idade alimentados com dietas com inclusão de centeio ou cevada, com ou sem adição de complexo enzimático e redução no nível energético.....                                         | 40     |
| <b>Tabela 9.</b> Rendimento (%) de carcaça, cortes e porcentagem (%) de gordura abdominal (média $\pm$ erro padrão) de frangos de corte (42 dias) alimentados com dietas com inclusão de centeio ou cevada, com ou sem adição de complexo enzimático e redução no nível energético..... | 43     |

|                                                                                                                                                                                                                                                                                            |    |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| <b>Tabela 10.</b> Viscosidade intestinal (média $\pm$ erro padrão) de frangos de corte (21 dias) alimentados com dietas com inclusão de centeio ou cevada, com ou sem adição de complexo enzimático e redução no nível energético.....                                                     | 44 |
| <b>Tabela 11.</b> Viscosidade intestinal (média $\pm$ erro padrão) de frangos de corte (42 dias) alimentados com dietas com inclusão de centeio ou cevada, com ou sem adição de complexo enzimático e redução no nível energético.....                                                     | 45 |
| <b>Tabela 12.</b> pH do intestino delgado e pH da moela de frangos de corte (21 dias) alimentados com dietas com inclusão de centeio ou cevada, com ou sem adição de complexo enzimático e redução no nível energético.....                                                                | 47 |
| <b>Tabela 13.</b> Peso relativo (%) dos órgãos digestivos e comprimento do intestino delgado (média $\pm$ erro padrão) de frangos de corte (21 dias) alimentados com dietas com inclusão de centeio ou cevada, com ou sem adição de complexo enzimático e redução no nível energético..... | 48 |
| <b>Tabela 14.</b> Altura de vilo, profundidade de cripta e relação vilo:cripta (média $\pm$ erro padrão) do duodeno de frangos de corte (21 dias) alimentados com dietas com inclusão de centeio ou cevada, com ou sem adição de complexo enzimático e redução no nível energético.....    | 50 |
| <b>Tabela 15.</b> Altura de vilo, profundidade de cripta e relação vilo:cripta (média $\pm$ erro padrão) do jejuno de frangos de corte (21 dias) alimentados com dietas com inclusão de centeio ou cevada, com ou sem adição de complexo enzimático e redução no nível energético.....     | 51 |
| <b>Tabela 16.</b> Perfil bioquímico (média $\pm$ erro padrão) de frangos de corte (21 dias) alimentados com dietas com inclusão de centeio ou cevada, com ou sem adição de complexo enzimático e redução no nível energético.....                                                          | 54 |
| <b>Tabela 17.</b> Perfil bioquímico sérico (média $\pm$ erro padrão) de frangos de corte (42 dias) alimentados com dietas com inclusão de centeio ou cevada, com ou sem adição de complexo enzimático e redução no nível energético.....                                                   | 55 |

### Capítulo III

|                                                                                                                                                                                                                                                                                                |    |
|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| <b>Tabela 1.</b> Composição percentual e calculada das dietas experimentais para frangos de corte na fase de 21 a 42 dias com a inclusão de centeio ou cevada.....                                                                                                                             | 65 |
| <b>Tabela 2.</b> Desempenho (média $\pm$ erro padrão) de frangos de corte na fase de 21 a 42 dias alimentados com dietas com inclusão de centeio ou cevada, com ou sem a suplementação de complexo enzimático e redução no nível energético.....                                               | 68 |
| <b>Tabela 3.</b> Rendimento (%) de carcaça, cortes e porcentagem (%) de gordura abdominal (média $\pm$ erro padrão) de frangos de corte (42 dias) alimentados com dietas com inclusão de centeio ou cevada, com ou sem suplementação de complexo enzimático e redução no nível energético..... | 70 |
| <b>Tabela 4.</b> Peso relativo (%) dos órgãos digestivos e comprimento do intestino delgado (média $\pm$ erro padrão) de frangos de corte (42 dias) alimentados com dietas com inclusão de centeio ou cevada, com ou sem adição de complexo enzimático e redução no nível energético.....      | 72 |

## LISTA DE FIGURAS

|                                                                                                                                                           | Página |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------|
| Capítulo I                                                                                                                                                |        |
| <b>Figura 1.</b> Molécula de arabinoxilano, principal polissacarídeo não amiláceo presente nos grãos de centeio. Adaptado Smits and Annison (1996).....   | 5      |
| <b>Figura 2.</b> Molécula de $\beta$ -glucano, principal polissacarídeo não amiláceo presente nos grãos de cevada. Adaptado Smits and Annison (1996)..... | 6      |

## RESUMO

Foram realizados três experimentos para avaliar o efeito da adição de um complexo enzimático em dietas contendo inclusão de centeio ou cevada com ou sem redução no nível energético na alimentação de frangos de corte. O experimento I foi conduzido com objetivo de avaliar a digestibilidade das rações experimentais aos 21 dias e o desempenho de frangos de corte nas fases de 1 a 21 e 1 a 42 dias. Foram utilizados 108 frangos de corte machos de 21 dias de idade, da linhagem Cobb-Vantress®, distribuídos em um delineamento experimental inteiramente ao acaso, em arranjo fatorial 2x2x2, sendo dois alimentos (centeio e cevada), dois níveis do complexo enzimático (0 e 0,02%) e dois níveis energéticos (3025 e 3125 kcal EMA/kg), mais um tratamento controle, totalizando 9 tratamentos, com 6 repetições e 2 aves por repetição. Não foi observado efeito de interação ( $P>0,005$ ) entre os fatores (alimento x complexo enzimático x energia) para nenhuma das variáveis analisadas. As dietas contendo cevada apresentaram maior digestibilidade da MS, PB e maior metabolizabilidade da EMAn em relação às dietas contendo centeio. A adição do complexo enzimático melhorou a digestibilidade das dietas contendo centeio ou cevada, proporcionando maiores coeficientes de digestibilidade da MS, PB, FDN, GB e maior coeficiente de metabolizabilidade da EMAn. Não foi observado efeito ( $P>0,05$ ) dos níveis energéticos da dieta sobre nenhuma das variáveis analisadas. O experimento de desempenho foi realizado com objetivo de avaliar a adição do complexo enzimático sobre o desempenho, o rendimento de carcaça e cortes, a viscosidade intestinal, a morfometria intestinal e o perfil bioquímico sérico de frangos de corte alimentados dietas contendo inclusão de centeio ou cevada com ou sem redução no nível energético, nas fases de 1 a 21 e 1 a 42 dias de idade. Foram utilizados 1080 frangos de corte machos de 1 dia de idade, da linhagem Cobb-Vantress®, distribuídos em um delineamento experimental inteiramente ao acaso, em arranjo fatorial 2x2x2 sendo dois alimentos (centeio e cevada), dois níveis do complexo enzimático (0 e 0,02%) e dois níveis energéticos (2875 e 2975 kcal EMA/kg), mais um tratamento controle, totalizando 9 tratamentos, com 6 repetições e 20 aves por repetição. Não houve interação ( $P>0,005$ ) entre os fatores (alimento x complexo enzimático x energia) para nenhuma das variáveis analisadas. A inclusão de cevada proporcionou maior GP, CR para todas as fases, no

entanto, piorou a CA na fase de 1 a 42 dias, em relação às aves alimentadas com as dietas contendo centeio. Maior rendimento de carcaça foi observado para as aves alimentadas com as dietas contendo cevada, em relação às dietas contendo centeio. A adição do complexo enzimático nas dietas contendo centeio ou cevada reduziu a viscosidade intestinal favorecendo os processos de digestão e absorção das aves aumentando a relação vilo:cripta e as concentrações sanguíneas de glicose, colesterol total e triglicérides, resultando em melhoras no desempenho das aves, nas fases de 1 a 21 e 1 a 42 dias, que apresentaram maior GP, melhor CA e maior rendimento de carcaça e peito. A adição do complexo enzimático nas dietas contendo centeio ou cevada e com redução de 100 kcal EMA/kg proporcionou rendimento de carcaça e peito similares aos observados para as aves alimentadas com o tratamento controle. Todavia, apesar da adição do complexo enzimático ter melhorado o desempenho das aves alimentadas com as dietas com redução energética, estas aves apresentaram desempenho inferior às aves alimentadas com as dietas sem redução energética e com o tratamento controle. O experimento III teve como objetivo avaliar a adição do complexo enzimático em dietas para frangos de corte contendo centeio ou cevada com ou sem redução no nível energético sobre o desempenho produtivo, rendimento de carcaça e cortes comerciais, peso relativo dos órgãos digestivos e comprimento intestinal. Foram utilizados 975 pintos de corte machos, com 21 dias de idade, da linhagem Cobb-Vantress®, distribuídos em um delineamento experimental inteiramente casualizado, em arranjo fatorial  $2 \times 3 \times 2 + 1$  sendo dois alimentos (centeio e cevada), três níveis do complexo enzimático (0, 0,02 e 0,04%) e dois níveis energéticos (3050 e 3150 kcal EMA/kg), mais um tratamento controle (milho), totalizando 13 tratamentos, com 5 repetições e 15 aves por repetição. A adição do complexo enzimático nas dietas contendo centeio ou cevada proporcionou maior GP, melhor CA e maior rendimento de carcaça de frangos de corte na fase de 21 a 42 dias, independente do nível utilizado. Com a adição de 0,02% do complexo enzimático nas dietas com redução energética, foram observadas melhoras no desempenho e no rendimento de carcaça e peito das aves. Os efeitos negativos exercidos pelos arabinosídeos e  $\beta$ -glucanos presentes no centeio e na cevada foram amenizados com a adição de 0,02% do complexo enzimático nas dietas. Reduzindo a viscosidade intestinal das aves e aumentando a digestibilidade dos nutrientes das rações foram observadas melhoras no desempenho das aves para todas as fases avaliadas bem como aumento nos rendimentos de carcaça e de peito. Contudo, a adição do complexo enzimático nas dietas contendo centeio ou cevada com redução

energética não proporcionou melhoras no desempenho das aves suficientes para que apresentassem valores similares aos observados pelas aves alimentadas com o tratamento controle, independente do nível adicionado.

**Palavras chaves:** desempenho, frangos de corte, viscosidade intestinal, xilanase,  $\beta$ -glucanase.

## ABSTRACT

Two experiments were carried out to evaluate the addition effect of the enzymatic complex in diets containing rye or barley with or without energy reduction in broiler diets. The experiment I was to evaluate the experimental diets digestibility at 21 days and broilers performance at 1 to 21 and 1 to 42 days. A total of 108 male broilers of 21-days-old Cobb-Vantress were distributed in a completely randomized experimental design in a 2x2x2 factorial arrangement, two feeds (rye and barley), two enzyme complex levels (0 and 0.02%) and two energetic levels (3025 and 3125 kcal AME/kg), plus a control treatment, totaling 9 treatments, with 6 replicates and 2 birds per replicate. No interaction ( $P > 0.005$ ) was observed between the factors (food x enzymatic complex x energy) for the evaluated parameters. The diets containing barley showed a higher digestibility of DM, CP and AMEn than diets with rye. The enzyme complex addition improved the digestibility of diets containing rye or barley, providing higher DM, CP, NDF and CF digestibility coefficients as well as a higher GE metabolizability coefficient ( $P=0.0432$ ) than diets without enzymes. No effect ( $P > 0.05$ ) of dietary energy levels was observed. The performance assay was carried out to evaluate the enzymatic complex addition on performance, carcass yield and cuts, intestinal viscosity, intestinal morphometry and serum biochemical profile of broilers fed with diets containing rye or barley inclusion with or without energy reduction, from 1 to 21 and 1 to 42 days of age. A total of 1080 1-day-old male broilers Cobb-Vantress were distributed in a completely randomized design in a 2x2x2 factorial arrangement, consisting of two feeds (rye and barley), two enzymatic complex levels (0 and 0.02%) and two energetic levels (2875 and 2975 kcal AME / kg), plus a control treatment, totaling 9 treatments, with 6 replicates and 20 birds per replicate. No interaction ( $P > 0.005$ ) was observed (food x enzymatic complex x energy) for the evaluated parameters. Barley inclusion provided a higher WG and FI for all phases, however, it got worse FCR from 1 to 42 days. Higher carcass yield was observed for broilers fed diets containing barley, compared to the broilers fed with rye. The enzyme complex addition to diets containing rye or barley reduced the intestinal viscosity favoring the digestion and absorption of the birds providing an increasing in the vilo:crypt ratio and blood concentrations of glucose, total cholesterol and triglycerides, resulting in

improvements in boiler performance from 1 to 21 and 1 to 42 days, presenting higher WG, better FCR and higher carcass and breast yield. The enzyme complex addition to diets containing rye or barley and a reduction of 100 kcal EMA/kg provided carcass and breast yield similar to those observed for birds fed with control treatment. In spite of the fact that the enzymatic complex addition improved broilers performance fed diets with energetic reduction, these birds presented inferior performance than birds fed without energetic reduction or with the control treatment. The objective of the experiment III was to evaluate the enzymatic complex in broiler diets containing rye or barley on productive performance, carcass yield and commercial cuts, relative weight of digestive organs and intestinal length. A total of 975 male, 1-day-old male broilers were distributed in a completely randomized experimental design in a 2x3x2 + 1 factorial arrangement, consisting of two feeds (rye and barley), three enzyme complex levels complex (0, 0.02 and 0.04%) and two energy levels (3050 and 3150 kcal AME/kg), plus a control treatment (corn), totaling 13 treatments, with 5 replicates and 15 birds per replicate. The enzymatic complex addition to diets containing rye or barley provided higher WG, better FCR and higher carcass yield of broilers at the stage of 21 to 42 days, regardless of the level used. The 0.02% enzymatic complex addition to diets with energetic reduction showed improvements in performance, carcass and breast yield of the broilers. The negative effects exerted by arabinoxylans and  $\beta$ -glucans present on rye and barley were minimized by adding 0.02% of the enzymatic complex in diets. Reducing the intestinal viscosity of the broilers and increasing the feed nutrients digestibility may provide improvements in broilers performance for all phases as well as increasing carcass and breast yields. However, the enzymatic complex addition to diets containing rye or barley with energetic reduction did not provide improvements in the performance when compared to broilers fed with control treatment, regardless of the level added.

**Key words:** broiler, intestinal viscosity, performance, xylanase,  $\beta$ -glucanase.

## I - INTRODUÇÃO

As formulações de dietas para frangos de corte, em sua grande maioria, apresentam o milho e o farelo de soja em sua composição. As dietas fornecidas para as aves criadas pelos dois maiores produtores mundiais de carne de frango, Estados Unidos e Brasil, apresentam o milho e farelo de soja como principais constituintes, sendo as principais fontes de energia e proteína utilizada na alimentação de frangos de corte, respectivamente (Knudsen, 2014).

O milho além de ser a principal fonte de energia das dietas, é também o principal ingrediente em termos relativos à composição das dietas. No Brasil, no ano de 2017, pouco mais de 21,6 milhões de toneladas de milho foram destinadas a produção de rações para frangos de corte (SINDIRAÇÕES, 2017). Contudo, por causa da variação tanto em relação à produção quanto ao custo do milho, principalmente no período das entressafas, pode tornar necessária a formulação de rações utilizando alimentos energéticos alternativos ao milho (Pasquali, 2014).

Centeio e cevada correspondem os dois cereais energéticos que são utilizados na formulação de dietas para frangos de corte, principalmente em países da Europa (Bolarinwa and Adeola, 2012). Entretanto, a utilização destes cereais na alimentação de aves é limitada pela elevada concentração de polissacarídeos não amiláceos (PNAs) na composição de suas paredes celulares, atingindo valores de aproximadamente 15% no centeio e 10% na cevada (Knudsen, 1997; Knudsen, 2014). A presença de PNAs, principalmente arabinosilanos e  $\beta$ -glucanos, nos grãos de centeio e de cevada não proporcionam efeitos tóxicos aos mesmos, no entanto, tendem a aumentar a viscosidade intestinal das aves, promovendo respostas negativas na utilização dos nutrientes dietéticos e sendo considerados responsáveis pelo menor desempenho produtivo de aves alimentadas com dietas contendo centeio e/ou cevada (Khadem et al. 2016; Bederska-Lojewska et al. 2017).

Entretanto, com a adição das enzimas xilanase e  $\beta$ -glucanase as moléculas de arabinoxilanos e  $\beta$ -glucanos podem ser degradadas, reduzindo seus efeitos sobre o aumento da viscosidade intestinal e aos processos de digestão e absorção das aves (Cardoso et al. 2014; Yan et al. 2016). Desta forma, o aproveitamento dos nutrientes dietéticos se torna maior com a adição das enzimas exógenas, aumentando o valor de energia metabolizável aparente da dieta e, conseqüentemente, melhorando o desempenho produtivo das aves (Taheri et al. 2016; Yan et al. 2016).

## 1.1. REVISÃO DE LITERATURA

### 1.1.1. Centeio (*Secale cereale*)

Não se sabe exatamente a origem geográfica do centeio, contudo este cereal tem sua origem atribuída à região sudoeste da Ásia (Baier, 1994). O centeio pertence à família *Gramineae* e ao gênero *Secale*, a espécie *Secale cereale* corresponde a mais utilizada na produção comercial, enquanto sua espécie *Secale fragile* possui um cultivo relativamente menor no sudoeste da Ásia (Bushuk, 2001).

Durante o século XIX, o centeio passou a ser cultivado em território brasileiro após iniciativa de imigrantes alemães e poloneses, passando a ser explorado comercialmente (Baier, 1994). O centeio é uma gramínea de ciclo anual, cuja principal característica como cultivar diz respeito a sua elevada rusticidade, apresentando alta resistência tanto para climas frios e secos quanto para solos arenosos e de baixa fertilidade. Isto se deve em parte a seu profundo sistema radicular, que torna possível a absorção de nutrientes que em outras espécies se tornariam indisponíveis (Baier, 1994).

No Brasil, os dados mais recentes em relação a produção nacional de centeio são referentes ao período de 2010 a 2012, neste período o país obteve a média anual de 2,3 mil hectares de centeio colhidos, localizados principalmente nos estados do Rio Grande do Sul (71,9%) e Paraná (27,7%), produzindo aproximadamente 1,2 e 2,4 mil toneladas de centeio, respectivamente (IBGE, 2012). Este cereal apresenta ampla aplicação, sendo utilizado tanto na alimentação humana como farinha e cereais matinais quanto na alimentação animal, seja ela na sua forma de forrageira ou na incorporação de seus grãos em rações (Bevilaqua et al. 2010; De Mori et al. 2013).

O grão de centeio corresponde a um cereal com consideráveis teores de proteína bruta (9 a 11%), carboidratos (54 a 63%) e um valor energético entre 85 a 90% do valor energético do grão de milho (Nilsson et al. 2000; FEDNA, 2010; De Mori et al. 2013). Contudo, este cereal apresenta a particularidade de possuir elevada concentração de

polissacarídeos não amiláceos (PNAs) na composição de sua parede celular, apresentando valores aproximados de 14,7% de PNAs totais, principalmente os arabinoxilanos, os quais correspondem a 9,5% do total de PNAs no centeio (Knudsen, 1997; Knudsen, 2014). Enquanto no milho são encontrados valores de aproximadamente 9% de PNAs totais (Knudsen, 2014).

Sendo a presença deste composto um fator limitante para a incorporação de grãos de centeio em dietas para aves, haja vista que o arabinoxilano é considerado o composto responsável pelos baixos desempenhos apresentados por aves alimentadas com dietas contendo centeio (Choct, 1997; van Krimpen et al., 2017).

#### 1.1.2. Cevada (*Hordeum vulgare*)

A cevada é uma espécie de gramínea originária do Oriente Médio, de uma região denominada “*Fertile Crescent*”, que compreende Israel, Jordânia, Síria, Turquia, Irã e Iraque (Minella, 2005). Encontra-se inserida na família *Gramineae*, no gênero *Hordeum*, no qual são descritas 32 espécies de cevada. Contudo, a espécie *Hordeum vulgare* corresponde a única espécie cultivada (Minella, 2005).

Dentre as plantas cultivadas para fins alimentícios, a cevada se encontra entre as primeiras espécies a serem utilizadas na alimentação humana, tornando-a um dos cereais mais antigos em cultivo (Minella, 2005). O seu cultivo no Brasil teve início em meados do século XVI pelos colonizadores, porém, a cevada só passou a ocupar posição de destaque na produção brasileira a partir de 1930, tendo início a sua produção para indústrias cervejeiras (Minella, 2005). A produção nacional de cevada para o ano de 2018 está sendo estimada em aproximadamente 427 mil toneladas, demonstrando aumento de 49% entre os anos de 2017 e 2018, sendo produzida principalmente na região sul do país, nos estados do Paraná e Rio Grande do Sul (IBGE, 2018).

Com o início de sua produção em escala comercial, a cevada passou a ser produzida não apenas para atender a demanda das indústrias cervejeiras, mas também passou a ser incorporada na alimentação humana, sendo consumida na forma de farinhas, flocos e grãos integrais. Além da alimentação humana, a cevada passou a ser utilizada na alimentação animal tanto na forma de grãos, quanto para pastagem e na forma de forragens conservadas (Minella, 2005).

A utilização de grãos de cevada na alimentação de frangos de corte é uma prática muito utilizada em alguns países da Europa (Pérez-Bonilla et al. 2011; Bolarinwa and Adeola, 2012). Apesar de apresentar consideráveis concentrações de

amido (52 a 64%) e proteína (10 a 13%) (Bengtsson et al. 1990; Quinde et al. 2004; FEDNA, 2010), este cereal merece atenção especial quando presente em dietas para aves pela sua concentração de aproximadamente 10,2% de PNAs totais na composição da parede celular, principalmente os  $\beta$ -glucanos, os quais correspondem a 4,1% do total de PNAs na cevada (Knudsen, 1997; Knudsen, 2014). Pelo fato destes compostos exercerem efeitos negativos ao desempenho das aves (Rebolé et al. 2010).

Desta forma, apesar de serem cereais com consideráveis teores de amido, centeio e cevada possuem limitação para a sua inclusão como fonte energética em dietas para aves (Rebolé et al. 2010; van Krimpen et al. 2017). devendo-se ao fato das aves não serem capazes de produzir enzimas digestivas capazes de atuarem na degradação de arabinosilanos e  $\beta$ -glucanos (Silva & Smithard, 2002). Deste modo, estes compostos não sendo degradados, passam a exercer efeitos antinutricionais, reduzindo a digestibilidade da dieta e, conseqüentemente, resultando em queda no desempenho (Choct & Annison, 1990; Choct, 1997; van Krimpen et al. 2017).

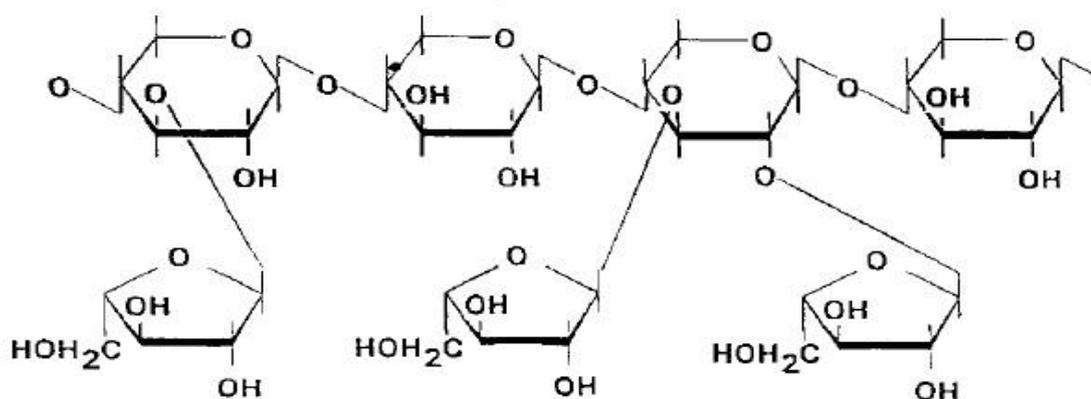
#### 1.1.3. Polissacarídeos não amiláceos (PNAs)

Além de corresponderem ao ingrediente presente em maior quantidade relativa na dieta de frangos de corte, os grãos de cereais são também principal fonte energética da dieta, haja vista que o amido corresponde a mais importante fonte de energia dietética (Angel & Sorbara, 2014; Svihus, 2014). O amido encontra-se envolto em complexa parede celular no endosperma do grão (Bedford, 1995; Classen, 1996) e a parede celular está composta por moléculas de polissacarídeos, glicoproteínas e glicolipídeos, além de uma vasta gama de PNAs (Theander et al. 1989; Masey O'Neill et al. 2014; Knudsen, 2014).

Deste modo, a composição da parede celular exerce influência direta na digestão do amido, podendo esta composição variar tanto entre as diferentes espécies de grãos quanto entre amostras da mesma espécie (Classen, 1996; Knudsen, 2014). Destacando-se a influência dos arabinosilanos e os  $\beta$ -glucanos, considerados os PNAs solúveis da parede celular que exercem grandes efeitos negativos quando presentes em dietas fornecidas para aves (Bedford, 1995; Classen, 1996).

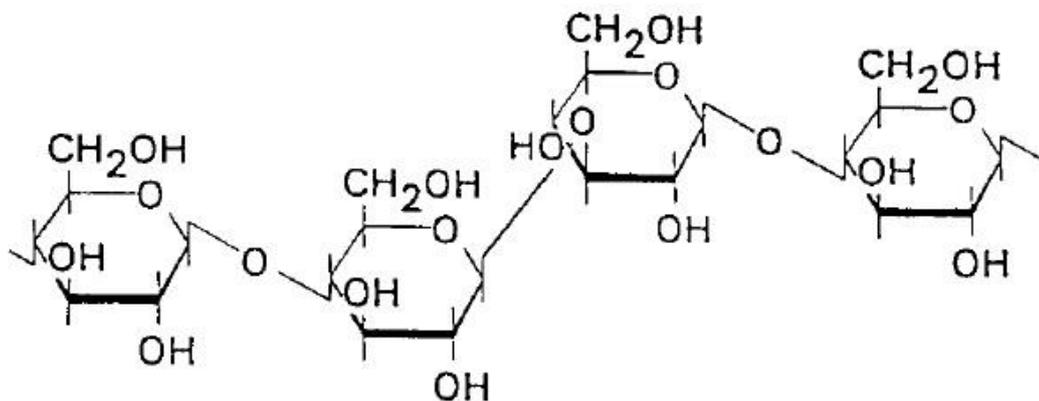
Os arabinosilanos (Figura 1) são estruturalmente compostos por uma cadeia linear principal de (1 $\rightarrow$ 4)- $\beta$ -D-xilose, a qual se ramifica através de ligações de hidrogênio com moléculas de  $\alpha$ -L-arabinose nas posições O-2 e O-3, das moléculas de oxigênio

(Izydorczyk & Biliaderis, 1995). Esta distribuição de arabinose e xilose não ocorre ao acaso, tomando como exemplo o endosperma do grão de cevada, que apresenta os dois elementos distribuídos de forma mais análoga ao comparar com o trigo (Izydorczyk & Biliaderis, 1995). Desta forma, a quantidade relativa e a proporção entre as ligações de arabinose e xilose promovem uma caracterização estrutural dos arabinoxilanos (Izydorczyk & Biliaderis, 1995). Estes compostos correspondem ao principal PNA presente nas paredes celulares do centeio e do trigo e apresentam a particularidade de estabelecerem facilmente ligações com moléculas de água, podendo atingir proporções de até dez vezes o seu próprio peso molecular (Choct, 1997; Masey O'Neill et al. 2014).



**Figura 1.** Molécula de arabinoxilano, principal polissacarídeo não amiláceo presente nos grãos de centeio. Adaptado Smits & Annison (1996).

Já os  $\beta$ -glucanos (Figura 2) correspondem a unidades monoméricas de D-glucopiranosil unidas em cadeia linear através de ligações  $\beta$  1 $\rightarrow$ 4 e  $\beta$  1 $\rightarrow$ 3 (Burton & Fincher, 2009). Estes compostos, apesar de serem predominantes no endosperma amiláceo dos grãos de cevada, encontram-se presentes em outros cereais como aveia, centeio e trigo, em que estão presentes com a mesma estrutura básica, variando apenas o tamanho de sua cadeia e na relação entre as ligações  $\beta$ -(1 $\rightarrow$ 4):  $\beta$ -(1 $\rightarrow$ 3) (Choct, 1997; Lazaridou & Biliaderis, 2007). Estas variações estruturais são responsáveis por sua solubilidade e suas influências nos processos digestivos (Lazaridou & Biliaderis, 2007).



**Figura 2.** Molécula de  $\beta$ -glucano, principal polissacarídeo não amiláceo presente nos grãos de cevada. Adaptado Smits & Annison (1996).

Considerando a concentração de tais compostos na composição química dos cereais, pode-se ressaltar a baixa concentração de PNAs presentes no milho e, destaque pode ser dado a elevada concentração de arabinosilanos e  $\beta$ -glucanos no centeio e na cevada, respectivamente (Classen, 1996; Choct, 1997). Ao relacionar a concentração destes compostos com a nutrição de frangos de corte, arabinosilanos e  $\beta$ -glucanos tornam-se os PNAs mais prejudiciais ao desempenho das aves, isto pelas interações negativas resultante da alta solubilidade destes compostos com os processos de digestão e absorção, associado ao fato das aves não apresentarem enzimas digestivas endógenas capazes de atuarem na degradação de tais compostos (Masey O'Neill et al. 2014; Liu & Kim, 2016), sem do assim, considerado o motivo para a redução do valor nutritivo do centeio e da cevada (Choct & Annison, 1990).

#### 1.1.4. Enzimas exógenas

Definidas como catalisadores biológicos, as enzimas são proteínas complexas de estrutura tridimensional, as quais atuam de forma a acelerar reações químicas no organismo, através da ruptura de ligações específicas no interior de seus sítios ativos (Ravindran, 2013; Angel & Sorbara, 2014), de modo que as mesmas não sofram modificações neste processo (Angel & Sorbara, 2014). Assim, quando comparada à quantidade necessária da enzima com a quantidade do substrato a ser catalisado pela mesma, uma quantidade relativamente pequena de enzima é necessária frente ao substrato (Angel & Sorbara, 2014).

Quando na luz intestinal, as enzimas exercem sua função catalítica na medida em que encontram condições específicas de ambiente, como temperatura, pH e umidade

(Angel & Sorbara, 2014). Além disto, as enzimas apresentam uma marcante característica que diz respeito a sua elevada especificidade frente ao substrato, ou seja, cada enzima atuará de forma a catalisar reações químicas específicas de determinado substrato (Ravindran, 2013). É de suma importância considerar tais fatores a fim de que se obtenham bons resultados ao se trabalhar com a adição de enzimas exógenas em dietas para aves (Angel & Sorbara, 2014).

Durante o processo de digestão, que ocorre a interação entre enzima e seu substrato, forma-se o complexo enzima-substrato, pelo qual as enzimas promoverão um incremento na velocidade do catabolismo de moléculas de alto peso molecular, como por exemplo, o amido, a moléculas de menor peso molecular, no caso do exemplo, a glicose (Ravindran, 2013). Estas moléculas de menor peso molecular podem ser absorvidas via membrana intestinal e posteriormente utilizadas pelo animal para fins de crescimento e/ou produção (Masey O'Neill et al. 2014).

As enzimas exógenas podem ser produzidas em escala industrial por meio da biotecnologia moderna, a qual utiliza de culturas específicas de bactérias, principalmente *Bacillus*, e fungos, principalmente *Aspergillus*, ambos geneticamente modificados (Adeola & Cowieson, 2011). Podem ser encontradas no mercado sobre a forma líquida ou em pó (Cowan, 1993) e, na forma individual ou como complexo enzimático (Masey O'Neill et al. 2014). Classificadas como um aditivo zootécnico, as enzimas exógenas são amplamente utilizadas na formulação de dietas para frangos de corte (Tabela 1), sendo que a utilização de carboidrases corresponde a aproximadamente 30% das enzimas utilizadas em tais dietas, ficando atrás somente da utilização de fitases, as quais correspondem a aproximadamente 60% das enzimas exógenas utilizadas em dietas para frangos de corte (Adeola & Cowieson, 2011).

**Tabela 1.** Principais enzimas exógenas utilizadas em dietas para aves e seus respectivos substratos. Adaptado Ravindran (2013).

| <b>Enzima exógena</b> | <b>Substrato</b>  | <b>Principais Ingredientes</b>          |
|-----------------------|-------------------|-----------------------------------------|
| Xilanase              | Arabinosilanos    | Centeio, trigo e cevada                 |
| $\beta$ -glucanase    | $\beta$ -glucanos | Cevada, aveia e centeio                 |
| Fitase                | Ácido fítico      | Todos os ingredientes de origem vegetal |
| Protease              | Proteínas         | Fontes proteicas vegetais               |
| Amilase               | Carboidratos      | Grãos de cereais                        |

Na prática, as enzimas exógenas são adicionadas as dietas seguindo-se duas vertentes, sendo a primeira denominada de adição “acima do máximo” ou “*on top*” e a segunda vertente utilizando-se da modificação da matriz nutricional das dietas (SOTO, 1996). Como o próprio nome já nos diz, a adição “acima do máximo” consiste na adição do produto a uma dieta padrão, que foi formulada para atender todas as exigências nutricionais do animal, de forma que a adição da enzima exógena tenha o intuito de aumentar a eficiência de utilização da dieta pelos mesmos e, assim, promover melhor desempenho animal. Já a segunda prática consiste na adição de enzimas exógenas em rações nas quais apresentam sua matriz nutricional alterada de forma a conter valores nutricionais reduzidos e assim, níveis nutricionais inferiores as exigências. Como consequência, essa prática tende a promover a queda no desempenho das aves, sendo assim, as enzimas exógenas são adicionadas a estas dietas visando melhor aproveitamento dos nutrientes dietéticos, regularizando o desempenho das aves com menor custo com a alimentação das mesmas (SOTO, 1996).

Cada ingrediente incorporado na dieta apresenta em sua composição diferentes substratos e em diferentes concentrações (Knudsen, 2014; Masey O’Neill et al. 2014). Deste modo, a adição de um complexo enzimático pode proporcionar maior eficiência no aproveitamento dos nutrientes dietéticos do que a adição de um único componente enzimático, isto pela possível ação aditiva ou sinérgica entre as enzimas presentes no complexo enzimático (Ravindran, 2013). Fato esse comprovado por inúmeros trabalhos nos quais são apontados efeitos positivos obtidos com a utilização de tais produtos em dietas para frangos de corte, em relação à digestibilidade e desempenho dos mesmos (Mathlouthi et al. 2002b; Choct et al. 2006; García et al. 2008; Kalmendal and Tauson, 2012; Masey O’Neill et al. 2014).

#### 1.1.5. Efeitos da presença de PNAs em dietas para frangos de corte

Encontram-se bem estabelecidos os efeitos prejudiciais dos PNAs sobre o desempenho de frangos de corte quando fornecidas dietas contendo centeio ou cevada (García et al. 2008; Tellez et al. 2014; van Krimpen et al. 2017). Fato este relacionado às complexas interações entre os PNAs presentes nestes grãos com os processos de digestão e absorção das aves, influenciando tanto processos fisiológicos quanto morfológicos do trato intestinal das mesmas (Choct et al., 1996; Teirlynck et al. 2009).

Devido a maior concentração de PNAs nos grãos de centeio ou de cevada, estes acabam por prejudicar o desempenho produtivo das aves quando presentes em suas

dietas (Knudsen, 1997; Knudsen, 2014; Tellez et al. 2014; van Krimpen et al., 2017). Este efeito foi observado por Choct et al. (1996) que, ao adicionarem 40g de PNAs solúveis provenientes do trigo na dieta fornecida aos frangos de corte, relataram que a presença destes compostos foram responsáveis pela redução de 28,6% no ganho de peso e aumento de 27% na conversão alimentar das aves que receberam esta dieta em relação às aves que receberam a mesma dieta sem a adição dos PNA.

A queda no desempenho das aves é atribuída a duas principais vias de atuação dos PNAs (Choct & Annison, 1992; Choct et al. 1996). O aumento na viscosidade intestinal exercido por estes compostos é apontado como principal fator limitante ao desempenho das aves, pela interferência direta exercida por esta mudança no ambiente intestinal sobre os processos de digestão e absorção das aves (Smits & Annison, 1996; Choct et al. 1996; Silva & Smithard, 2002; Masey O'Neill et al. 2014). Além disso, a composição da parede celular destes grãos apresentam maiores concentrações de arabinosilanos e  $\beta$ -glucanos, exercendo o efeito denominado “*cage effect*”, que atua de forma a manter nutrientes indisponíveis por se encontrarem presos no interior da parede celular e, assim, reduzindo a digestibilidade dos nutrientes dietéticos (Choct & Annison, 1992; Silva & Smithard, 2002; Masey O'Neill et al. 2014; Khadem et al. 2016).

Assim, o fornecimento de dietas com a adição de xilanase e  $\beta$ -glucanase tem sido uma estratégia amplamente utilizada com a finalidade de reduzir ou até mesmo eliminar estes efeitos negativos resultantes da presença de PNAs na dieta, promovendo melhoras no desempenho produtivo das aves (Masey O'Neill et al. 2014; Khadem et al. 2016). Estas melhoras são resultantes da atuação enzimática sobre a hidrólise das moléculas de arabinosilanos e  $\beta$ -glucanos, ocasionando a redução de seus efeitos antinutricionais (Silva & Smithard, 2002; García et al. 2008; Masey O'Neill et al. 2014).

#### 1.1.6. Efeitos de elevadas concentrações de PNAs dietas para frangos de corte sobre a digestibilidade dos nutrientes dietéticos

Ao relacionar os valores de energia metabolizável para aves com as concentrações de PNAs na dieta, uma relação negativa pode ser observada na medida em que estes compostos estejam presentes na dieta, principalmente quando os PNAs envolvidos são os arabinosilanos e os  $\beta$ -glucanos (Choct et al. 2006; Tellez et al. 2014). A baixa quantidade de energia disponibilizada por cereais contendo maiores concentrações destes PNAs pode ser associada à baixa digestibilidade decorrente da presença de tais compostos (Knowles et al. 1998; Choct et al. 2006; Tellez et al. 2014). Devido a sua

alta solubilidade e a composição química, os arabinosilanos e os  $\beta$ -glucanos exercem efeitos negativos ao aproveitamento dos nutrientes dietéticos (Choct & Annison, 1992; Choct et al. 2006).

Os principais constituintes do endosperma da parede celular dos grãos de centeio e de cevada são os arabinosilanos e os  $\beta$ -glucanos, respectivamente (Lazaridou & Biliaderis, 2007; Rebolé et al. 2010; Masey O'Neill et al. 2014). Dentre os nutrientes presentes no grão de cereais, os carboidratos correspondem a principal fonte energética para as aves (Angel & Sorbara, 2014; Svihus, 2014). Pelo fato deste nutriente se encontrar no interior do endosperma do grão, a composição de sua parede celular está intimamente relacionada com a disponibilidade do nutriente as aves (Bedford, 1995; Classen, 1996).

Deste modo, a grande concentração de arabinosilanos e  $\beta$ -glucanos na composição da parede celular dos grãos de centeio e de cevada acabam limitando o aproveitamento de seus nutrientes pelas aves (Choct & Annison, 1992; Classen, 1996; Khadem et al. 2016). Este “*cage effect*” impede o acesso das enzimas digestivas das aves aos nutrientes presentes no interior do endosperma do grão, em virtude das aves não possuírem enzimas digestivas capazes de romperem as ligações da parede celular rica em PNAs, reduzindo a digestibilidade dos nutrientes destes grãos (Classen, 1996; Masey O'Neill et al. 2014; Khadem et al. 2016).

Além deste efeito de aprisionamento, a elevada solubilidade das moléculas de arabinosilanos e  $\beta$ -glucanos exerce influência direta sobre a digestibilidade dos nutrientes dietéticos. Estes compostos tendem a elevar a viscosidade intestinal das aves, dificultando o contato entre as enzimas digestivas e os substratos (Fengler et al. 1988; Lázaro et al. 2003), afetando diretamente importantes aspectos nutricionais, não só interferindo na digestão de carboidratos, proteínas, lipídeos e na absorção destes nutrientes, mas também, interagindo com a microflora e funções fisiológicas do intestino das aves (Choct & Annison, 1990; Annison, 1991; Choct et al. 1992; Smits & Annison, 1996).

Desta forma, ao se trabalhar com a adição das enzimas xilanase e  $\beta$ -glucanase, capazes de degradar os arabinosilanos e  $\beta$ -glucanos presentes nas paredes celulares dos grãos de centeio e de cevada, torna-se possível aumentar a disponibilidade dos nutrientes destes grãos, que permaneceriam indisponíveis ao animal (Simon, 2000; Silva & Smithard, 2002; Khadem et al. 2016). Pode-se então se afirmar que, um dos

modos de ação destas enzimas é a liberação de nutrientes encapsulados, reduzindo o chamado “cage effect” e, assim, tornando-os mais acessíveis à atuação das enzimas digestivas endógenas das aves (Silva & Smithard, 2002; Masey O’Neill et al. 2014; Khadem et al. 2016).

À medida que a concentração do grão de centeio é aumentada na dieta, os valores nutritivos da mesma, sejam eles, energia metabolizável aparente, proteína digestível aparente e lipídeo digestível aparente, bem como o desempenho das aves apresentam uma resposta inversa para adição do grão. Porém, quando nestas dietas são adicionadas enzimas exógenas, particularmente a xilanase, um efeito significativo é observado, promovendo melhoras nos valores nutritivos do grão e, assim, melhorando o desempenho das aves (Friesen et al. 1992).

#### 1.1.7. Efeitos de elevadas concentrações de PNAs em dietas para frangos de corte sobre a viscosidade intestinal

Os PNAs encontram-se na fração fibrosa das dietas, dos quais se destacam os arabinoxilanos e os  $\beta$ -glucanos (Knudsen, 1997; Masey O’Neill et al. 2014). Estes compostos apresentam como principal característica elevada afinidade por moléculas de água, pois são capazes de estabelecer facilmente ligações com tais moléculas (Smits & Annison, 1996; Chesson, 2001). Devido a esta característica, estes PNAs apresentam a particularidade de criar um ambiente intestinal viscoso quando ingerido pelas aves (Smits & Annison, 1996). Esta viscosidade pode variar de acordo com o tamanho da molécula, com a disposição de sua cadeia estrutural, sendo ela linear ou ramificada, e de acordo com a sua concentração na dieta (Smits & Annison, 1996).

Mesmo quando presente em pequenas quantidades na dieta, estes PNAs quando ingeridos provocam aumento na viscosidade intestinal das aves (Smits & Annison, 1996). Ao passo que ao se fornecer dietas contendo a inclusão de centeio para frangos de corte, o valor da viscosidade intestinal das aves dobrou ao ser incluído apenas 5% do grão a dieta (van Krimpen et al. 2017).

Um dos efeitos ocasionados pelo aumento da viscosidade intestinal é sua interferência no consumo de ração das aves, em consequência do aumento da viscosidade intestinal, o trato digestivo da ave sofre uma distensão, passando a promover efeito de saciedade, causando redução no consumo de ração pela ave (Pettersson & Aman, 1988; Masey O’Neill et al. 2014).

Para um eficiente processo de digestão, é importante o contato entre as enzimas digestivas e seus respectivos substratos, todavia, este contato é prejudicado com o aumento da viscosidade (Silva & Smithard, 2002). Deste modo, esta mudança no ambiente intestinal acaba reduzindo a digestibilidade dos nutrientes dietéticos bem como dificultando o transporte de nutrientes ao epitélio intestinal para sua absorção (Smits & Annison, 1996; Yan et al. 2016), de tal modo que a elevação da viscosidade intestinal é apontada como sendo a principal responsável pelo menor valor nutricional dos grãos de centeio e de cevada (Bedford et al. 1991).

Todavia, este efeito associado à presença de arabinosilanos e  $\beta$ -glucanos sobre a viscosidade da digesta pode ser evitado através da adição de enzimas exógenas que promovam a hidrólise destes compostos (Masey O'Neill et al. 2014). Esta redução na viscosidade tem sido comprovada em frangos de corte, em que avaliam a capacidade de redução da viscosidade intestinal por meio da adição das enzimas xilanase e/ou  $\beta$ -glucanase as dietas, favorecendo os processos de digestão e absorção das aves e melhorando o desempenho produtivo (Dänicke et al. 2000; Simon, 2000; Silva & Smithard, 2002; Choct et al. 2006; Jozefiak et al. 2007; Munyaka et al. 2015; van Krimpen et al., 2017).

#### 1.1.8. Efeitos de PNAs em dietas para frangos de corte sobre alterações morfológicas dos órgãos digestivos

Além da atuação enzimática sobre seus respectivos substratos ser prejudicada (Cousins, 1999), o aumento da viscosidade intestinal, resultante da presença de PNAs na dieta tende a ocasionar modificações estruturais nos órgãos digestivos das aves (Brenes et al. 1993; Bedford, 1996; Masey O'Neill et al. 2014). De modo geral, o consumo de rações contendo maiores concentrações de PNAs tendem a provocar aumento na secreção de enzimas digestivas e no peso relativo e comprimento do intestino delgado das aves (Choct, 1997).

O aumento do conteúdo da digesta resultante do aumento da viscosidade intestinal promove distensão da parede intestinal das aves, resultando em maior peso relativo e comprimento do intestino (Pettersson & Aman, 1988, Jorgensen et al. 1996). Esta afirmação foi confirmada por Simon (1998) que, ao fornecer dietas à base de centeio para frangos de corte de 1 a 21 dias de idade, estabeleceu relação entre a viscosidade intestinal das aves e o peso relativo e comprimento do intestino delgado, em que o peso relativo e o comprimento intestinal aumentaram com o aumento da viscosidade.

Em estudo realizado por Gao et al. (2008), pode-se observar a redução no peso relativo do duodeno, jejuno, cólon e pâncreas de frangos de corte alimentados com dietas à base de trigo adicionadas de xilanase, quando comparado com frangos de corte recebendo a mesma dieta, porém, sem a adição da enzima exógena. Atribuindo então este resultado a atividade hidrolítica da enzima exógena sobre os PNAs, de forma a reduzir a viscosidade intestinal e, assim, moderar a necessidade de secreção enzimática pelos órgãos digestivos, corroborando com a redução no tamanho relativo dos mesmos.

O aumento no peso relativo do pâncreas de frangos de corte, aos 21 dias de idade, foi observado ao fornecer dietas à base de cevada para estas aves, quando comparado ao peso relativo do pâncreas de aves alimentadas com dieta à base de milho (Almirall et al. 1995). Esta alteração foi atribuída à dificuldade de atuação enzimática frente ao ambiente viscoso provocado pela maior quantidade de PNAs presentes na cevada (Almirall et al. 1995). Desta forma, pode-se observar a hipertrofia do pâncreas, como tentativa de se normalizar a atuação enzimática endógena frente a maior necessidade por secreção enzimática (Ikegami et al. 1990; Brenes et al. 1993; Choct, 1997).

As respostas negativas da presença de um ambiente intestinal de alta viscosidade estendem-se também a prejuízos sobre as vilosidades intestinais das aves (Simon, 2000). Arabinosilanos e  $\beta$ -glucanos ao se ligarem ao glyocalix da membrana intestinal passam a servir de substrato para a proliferação bacteriana, criando assim um ambiente favorável a proliferação de bactérias que podem levar a maior morte celular ao longo das vilosidades intestinais e, conseqüentemente, a atrofia das mesmas (Smits et al. 2000; Teirlynck et al. 2009). Mathlouthi et al. (2002a) ao fornecerem dieta à base de centeio para frangos de corte, observaram que a altura e área das vilosidades intestinais destas aves foram menores quando comparadas com as aves que receberam dieta à base de milho, afetando diretamente a capacidade de digestão e absorção das aves (Montagne et al. 2003).

Resultado semelhante pode ser observado por Taheri et al. (2016), com aumento na altura das vilosidades de frangos de corte alimentados com dietas à base de cevada, e a adição de um complexo multienzimático com atividades de xilanase,  $\beta$ -glucanase, pectinase, celulase e protease. As aves que receberam a mesma dieta, porém sem a adição do complexo multienzimático, apresentaram vilosidades mais curtas. Esta melhora na morfologia intestinal foi atribuída ao fato da melhor digestão e absorção apresentada pelas aves que receberam a dieta adicionada de enzimas exógenas.

Em síntese, pode-se observar melhora no desempenho de frangos de corte alimentados com dietas contendo centeio ou cevada quando adicionadas as enzimas xilanase e  $\beta$ -glucanase em tais dietas (García et al. 2008; Khadem et al. 2016). Como resultado da atuação destas enzimas sobre as moléculas de arabinosilanos e  $\beta$ -glucanos que ao hidrolisarem tais compostos, reduzem seus efeitos negativos sobre os processos de digestão e absorção das aves (Silva & Smithard, 2002; Masey O'Neill et al. 2014).

## Referências

- Adeola, O. & Cowieson, A. 2011. Board-invited review: opportunities and challenges in using exogenous enzymes to improve nonruminant animal production. *J. Anim. Sci.* 89, 3189-3218.
- Almirall, M., Francesch, M., Perez-Vendrell, A. M., Brufau, J. & Esteve-Garcia, E. 1995. The differences in intestinal viscosity produced by barley and beta-glucanase alter digesta enzyme activities and ileal nutrient digestibilities more in broiler chicks than in cocks. *The J. Nutri.* 125, 947-955.
- Angel, R. & Sorbara, J. 2014. Why is it important to understand substrates if we are to optimize exogenous enzyme efficacy? *Poult. Sci.* 93, 2375-2379.
- Annison, G. 1991. Relationship between the levels of soluble nonstarch polysaccharides and the apparent metabolizable energy of wheats assayed in broiler chickens. *J. Agric Food Chem.* 39, 1252-1256.
- Baier, A. 1994. Centeio. *Embrapa Trigo-Documentos (INFOTECA-E)*.
- Bedford, M. 1995. Mechanism of action and potential environmental benefits from the use of feed enzymes. *Anim. Feed Sci. and Technol.* 53, 145-155.
- Bedford, M. 1996. Interaction between ingested feed and the digestive system in poultry. *J. Appl Poult. Res.* 5, 86-95.
- Bedford, M., Classen, H. & Campbell, G. 1991. The effect of pelleting, salt, and pentosanase on the viscosity of intestinal contents and the performance of broilers fed rye. *Poult. Sci.* 70, 1571-1577.
- Bengtsson, S., Aman, P., Graham, H., Newman, C. W. & Newman, R. K. 1990. Chemical studies on mixed-linked  $\beta$ -glucans in hull-less barley cultivars giving different hypocholesterolaemic responses in chickens. *J. Sci. Food Agric.* 52, 435-445.
- Bevilaqua, G. A. P., Job, R., Marques, R., Antunes, I. & Olanda, R. 2010. Manejo de sistemas de produção de centeio visando a produção de forragem e de sementes para a agricultura familiar. *Embrapa Clima Temperado-Documentos (INFOTECA-E)*.
- Bolarinwa, O. & Adeola, O. 2012. Energy value of wheat, barley, and wheat dried distillers grains with solubles for broiler chickens determined using the regression method. *Poult. Sci.* 91, 1928-1935.
- Brenes, A., Smith, M., Guenter, W. & Marquardt, R. 1993. Effect of enzyme supplementation on the performance and digestive tract size of broiler chickens fed wheat-and barley-based diets. *Poult. Sci.* 72, 1731-1739.
- Burton, R. A. & Fincher, G. B. 2009. (1, 3; 1, 4)- $\beta$ -d-glucans in cell walls of the Poaceae, lower plants, and fungi: a tale of two linkages. *Molec. Plant.* 2, 873-882.
- Bushuk, W. 2001. Rye production and uses worldwide. *Cereal Foods World*, 46, 70-73.
- Chesson, A. 2001. Non-starch polysaccharide degrading enzymes in poultry diets: influence of ingredients on the selection of activities. *W. Poult. Sci. J.* 57, 251-263.
- Choct, M. 1997. Feed non-starch polysaccharides: chemical structures and nutritional significance. *Feed Milling Inter.* 191, 13-26.
- Choct, M. & Annison, G. 1990. Anti-nutritive activity of wheat pentosans in broiler diets. *Brit. Poult. Sci.* 31, 811-821.
- Choct, M. & Annison, G. 1992. Anti-nutritive effect of wheat pentosans in broiler chickens: Roles of viscosity and gut microflora. *Brit. Poult. Sci.* 33, 821-834.

- Choct, M., Annison, G. & Trimble, R. P. 1992. Soluble wheat pentosans exhibit different anti-nutritive activities in intact and cecectomized broiler chickens. *The J. Nutr.* 122, 2457-2465.
- Choct, M., Sinlae, M., Al-Jassim, R. & Pettersson, D. 2006. Effects of xylanase supplementation on between-bird variation in energy metabolism and the number of *Clostridium perfringens* in broilers fed a wheat-based diet. *Crop Pasture Sci.* 57, 1017-1021.
- Classen, H. 1996. Cereal grain starch and exogenous enzymes in poultry diets. *Anim. Feed Sci. and Technol.* 62, 21-27.
- Cousins, B. 1999. Enzimas na nutrição de aves. *Simpósio internacional acav-embrapa sobre nutrição de aves*, 1, 115-129.
- Cowan, W. 1993. Understanding the manufacturing, distribution, application, and overall quality of enzymes in poultry feeds. *The J. Appl. Poult. Res.* 2, 93-99.
- Dänicke, S., Böttcher, W., Jeroch, H., Thielebein, J. & Simon, O. 2000. Replacement of soybean oil with tallow in rye-based diets without xylanase increases protein synthesis in small intestine of broilers. *The J. Nutri.* 130, 827-834.
- De Mori, C., Nascimento Junior, A. d. & de Miranda, M. Z. 2013. Aspectos econômicos e conjunturais da cultura do centeio no mundo e no Brasil. *Embrapa Trigo- Documentos (INFOTECA-E)*.
- FEDNA, C. 2010. De Blas, GG Mateos, P. *Tablas FEDNA de composición y valor nutritivo de alimentos para la fabricación de piensos compuestos (3rd ed.)*, Fundación Española para el Desarrollo de la Nutrición Animal, Madrid, Spain.
- Fengler, A., Pawlik, J. & Marquardt, R. 1988. Improvement in nutrient retention and changes in excreta viscosities in chicks fed rye-containing diets supplemented with fungal enzymes, sodium taurocholate and penicillin. *Can. J. Anim. Sci.* 68, 483-491.
- Friesen, O., Guenter, W., Marquardt, R. & Rotter, B. 1992. The effect of enzyme supplementation on the apparent metabolizable energy and nutrient digestibilities of wheat, barley, oats, and rye for the young broiler chick. *Poult. Sci.* 71, 1710-1721.
- Gao, F., Jiang, Y., Zhou, G. & Han, Z. 2008. The effects of xylanase supplementation on performance, characteristics of the gastrointestinal tract, blood parameters and gut microflora in broilers fed on wheat-based diets. *Anim. Feed Sci. Technol.* 142, 173-184.
- García, M., Lázaro, R., Latorre, M., Gracia, M. & Mateos, G. 2008. Influence of enzyme supplementation and heat processing of barley on digestive traits and productive performance of broilers. *Poult. Sci.* 87, 940-948.
- IBGE. Agência de notícias IBGE. 2018. Disponível em: <<https://agenciadenoticias.ibge.gov.br/agencia-noticias/2012-agencia-de-noticias/noticias/21413-alternativa-ao-trigo-cevada-ganha-espaco-no-sul-e-projeta-producao-recorde.html>>. Acesso em: 15 de agosto de 2018.
- IBGE. Sistema IBGE de Recuperação Automática - SIDRA. 2012. Disponível em: <<http://www.sidra.ibge.gov.br/bda/tabela/listabl.asp?z=t&o=10&i=P&c=1612>>. Acesso em: 15 de agosto de 2018.
- Ikegami, S., Tsuchihashi, F., Harada, H., Tsuchihashi, N., Nishide, E. & Innami, S. 1990. Effect of viscous indigestible polysaccharides on pancreatic-biliary secretion and digestive organs in rats. *The J. Nutr.* 120, 353-360.
- Izydorczyk, M. S. & Biliaderis, C. G. 1995. Cereal arabinoxylans: advances in structure and physicochemical properties. *Carbohy. Polym.* 28, 33-48.

- Jorgensen, H., Zhao, X.-Q., Knudsen, K. E. B. & Eggum, B. O. 1996. The influence of dietary fibre source and level on the development of the gastrointestinal tract, digestibility and energy metabolism in broiler chickens. *Brit. J. Nutr.* 75, 379-395.
- Jozefiak, D., Rutkowski, A., Jensen, B. B. & Engberg, R. M. 2007. Effects of dietary inclusion of triticale, rye and wheat and xylanase supplementation on growth performance of broiler chickens and fermentation in the gastrointestinal tract. *Anim. Feed Sci. Technol.* 132, 79-93.
- Kalmendal, R. & Tauson, R. 2012. Effects of a xylanase and protease, individually or in combination, and an ionophore coccidiostat on performance, nutrient utilization, and intestinal morphology in broiler chickens fed a wheat-soybean meal-based diet. *Poult. Sci.* 91, 1387-1393.
- Khadem, A., Lourenço, M., Delezie, E., Maertens, L., Goderis, A., Mombaerts, R., Höfte, M., Eeckhaut, V., Van Immerseel, F. & Janssens, G. 2016. Does release of encapsulated nutrients have an important role in the efficacy of xylanase in broilers? *Poult. Sci.* 95, 1066-1076.
- Knowles, T., Southern, L., Bidner, T., Kerr, B. & Friesen, K. 1998. Effect of dietary fiber or fat in low-crude protein, crystalline amino acid-supplemented diets for finishing pigs. *J Anim Sci.* 76, 2818-2832.
- Knudsen, K. E. B. 1997. Carbohydrate and lignin contents of plant materials used in animal feeding. *Anim. Feed Sci. Technol.* 67, 319-338.
- Knudsen, K. E. B. 2014. Fiber and nonstarch polysaccharide content and variation in common crops used in broiler diets. *Poult. Sci.* 93, 2380-2393.
- Lazaridou, A. & Biliaderis, C. 2007. Molecular aspects of cereal  $\beta$ -glucan functionality: Physical properties, technological applications and physiological effects. *J Cereal Sci.* 46, 101-118.
- Lázaro, R., Garcia, M., Medel, P. & Mateos, G. 2003. Influence of enzymes on performance and digestive parameters of broilers fed rye-based diets. *Poult. Sci.* 82, 132-140.
- Liu, W., C. & Kim, I.-H. 2016. Effects of dietary xylanase supplementation on performance and functional digestive parameters in broilers fed wheat-based diets. *Poult. Sci.* 96, 566-573.
- Masey O'Neill, H., Smith, J. & Bedford, M. 2014. Multicarbohydrase enzymes for non-ruminants. *Asian-Austr. J Anim. Sci.* 27, 290-301.
- Mathlouthi, N., Lalles, J., Lepercq, P., Juste, C. & Larbier, M. 2002a. Xylanase and  $\beta$ -glucanase supplementation improve conjugated bile acid fraction in intestinal contents and increase villus size of small intestine wall in broiler chickens fed a rye-based diet. *J Anim. Sci.* 80, 2773-2779.
- Mathlouthi, N., Mallet, S., Saulnier, L., Quemener, B. & Larbier, M. 2002b. Effects of xylanase and  $\beta$ -glucanase addition on performance, nutrient digestibility, and physico-chemical conditions in the small intestine contents and caecal microflora of broiler chickens fed a wheat and barley-based diet. *Anim. Res.* 51, 395-406.
- Minella, E. 2005. Melhoramento da cevada. *Embrapa Trigo.*
- Montagne, L., Pluske, J. & Hampson, D. 2003. A review of interactions between dietary fibre and the intestinal mucosa, and their consequences on digestive health in young non-ruminant animals. *Anim. Feed Sci. and Technol.* 108, 95-117.
- Munyaka, P., Nandha, N., Kiarie, E., Nyachoti, C. & Khafipour, E. 2015. Impact of combined  $\beta$ -glucanase and xylanase enzymes on growth performance, nutrients

- utilization and gut microbiota in broiler chickens fed corn or wheat-based diets. *Poult. Sci.* 95, 528-540
- Nilsson, M., Andersson, R., Andersson, R., Autio, K. & Aman, P. 2000. Heterogeneity in a water-extractable rye arabinoxylan with a low degree of disubstitution. *Carbo. Poly.* 41, 397-405.
- Pérez-Bonilla, A., Frikha, M., Mirzaie, S., García, J. & Mateos, G. 2011. Effects of the main cereal and type of fat of the diet on productive performance and egg quality of brown-egg laying hens from 22 to 54 weeks of age. *Poult. Sci.* 90, 2801-2810.
- Pettersson, D. & Aman, P. 1988. Effects of enzyme supplementation of diets based on wheat, rye or triticale on their productive value for broiler chickens. *Anim. Feed Sci. and Technol.* 20, 313-324.
- Quinde, Z., Ullrich, S. & Baik, B.-K. 2004. Genotypic variation in color and discoloration potential of barley-based food products. *Cereal Chem.* 81, 752-758.
- Ravindran, V. 2013. Feed enzymes: The science, practice, and metabolic realities 1. *J Appl. Poult. Res.* 22, 628-636.
- Rebolé, A., Ortiz, L., Rodríguez, M. L., Alzueta, C., Treviño, J. & Velasco, S. 2010. Effects of inulin and enzyme complex, individually or in combination, on growth performance, intestinal microflora, cecal fermentation characteristics, and jejunal histomorphology in broiler chickens fed a wheat-and barley-based diet. *Poult. Sci.* 89, 276-286.
- SINDIRAÇÕES. Boletim Informativo do Setor de Alimentação Animal, maio de 2017. Disponível em: < [http://sindiracoes.org.br/wp-content/uploads/2017/05/boletim\\_informativo\\_do\\_setor\\_mai\\_2017\\_vs\\_final\\_port\\_sindiracoes.pdf](http://sindiracoes.org.br/wp-content/uploads/2017/05/boletim_informativo_do_setor_mai_2017_vs_final_port_sindiracoes.pdf)>. Acesso em: 16 de agosto de 2018
- Silva, S. & Smithard, R. 2002. Effect of enzyme supplementation of a rye-based diet on xylanase activity in the small intestine of broilers, on intestinal crypt cell proliferation and on nutrient digestibility and growth performance of the birds. *Brit. Poult. Sci.* 43, 274-282.
- Simon, O. 1998. The mode of action of NSP hydrolysing enzymes in the gastrointestinal tract. *J. Anim. Feed Sci.* 7, 115-123.
- Simon, O. 2000. Non starch polysaccharide (NSP) hydrolysing enzymes as feed additives: Mode of action in the gastrointestinal tract. *Lohmann Inf.* 23, 7-13.
- Smits, C., Te Maarssen, C., Mouwen, J., Koninkx, J. & Beynen, A. 2000. The antinutritive effect of a carboxymethylcellulose with high viscosity on lipid digestibility in broiler chickens is not associated with mucosal damage. *J Anim. Physiol. and Anim. Nutri.*, 83, 239-245.
- Smits, C. H. & Annison, G. 1996. Non-starch plant polysaccharides in broiler nutrition—towards a physiologically valid approach to their determination. *W Poult. Sci. J* 52, 203-221.
- Soto, S. 1996. The use of enzymes to improve the nutritional value of corn-soy diets for poultry and swine. *Simposio latinoamericano de nutrição de suínos e aves.*
- Svihus, B. 2014. Starch digestion capacity of poultry. *Poult. Sci.* 93, 2394-2399.
- Taheri, H., Tanha, N. & Shahir, M. 2016. Effect of wheat bran inclusion in barley-based diet on villus morphology of jejunum, serum cholesterol, abdominal fat and growth performance of broiler chickens. *J Livestock Sci. and Technol.* 4, 9-16.
- Teirlynck, E., Bjerrum, L., Eeckhaut, V., Huygebaert, G., Pasmans, F., Haesebrouck, F., Dewulf, J., Ducatelle, R. & Van Immerseel, F. 2009. The cereal type in feed

- influences gut wall morphology and intestinal immune cell infiltration in broiler chickens. *Br. J Nutri.* 102, 1453-1461.
- Tellez, G., Latorre, J. D., Kuttappan, V. A., Kogut, M. H., Wolfenden, A., Hernandez-Velasco, X., Hargis, B. M., Bottje, W. G., Bielke, L. R. & Faulkner, O. B. 2014. Utilization of rye as energy source affects bacterial translocation, intestinal viscosity, microbiota composition, and bone mineralization in broiler chickens. *Frontiers in genetics*, 5.
- Theander, O., Westerlund, E., Aman, P. & Graham, H. 1989. Plant cell walls and monogastric diets. *Anim. Feed Sci. and Technol.* 23, 205-225.
- van Krimpen, M., Toriki, M. & Schokker, D. 2017. Effects of rye inclusion in grower diets on immune competence-related parameters and performance in broilers. *Poult. Sci.* 96, 3324-3337.
- Yan, F., Dibner, J., Knight, C. & Vazquez-Anon, M. 2016. Effect of carbohydrase and protease on growth performance and gut health of young broilers fed diets containing rye, wheat, and feather meal. *Poult. Sci.* 96, 817-828.

## II – OBJETIVOS GERAIS

Avaliar a adição de um complexo enzimático em dietas para frangos de corte contendo centeio ou cevada e com ou sem redução no nível energético da dieta.

### 2.1 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

Avaliar o efeito da adição do complexo enzimático sobre os coeficientes de digestibilidade e metabolizabilidade da energia das dietas experimentais;

Avaliar o efeito da adição do complexo enzimático nas dietas experimentais sobre o desempenho produtivo, viscosidade intestinal, peso relativo e comprimento intestinal, morfometria intestinal e perfil bioquímico sérico.

### III- AVALIAÇÃO DO COMPLEXO ENZIMÁTICO EM DIETAS COM CENTEIO OU CEVADA E REDUÇÃO NO NÍVEL ENERGÉTICO PARA FRANGOS DE CORTE 1-42 DIAS

**RESUMO:** Dois experimentos foram realizados com o objetivo de avaliar o efeito de um complexo enzimático em dietas para frangos de corte com centeio ou cevada e com redução do nível energético das dietas sobre a digestibilidade das rações experimentais, desempenho, viscosidade intestinal, morfometria intestinal e perfil bioquímico sérico das aves. No Experimento I foi realizado um ensaio de digestibilidade das rações, utilizando 108 frangos de corte machos de 21 dias de idade, distribuídos em um delineamento experimental inteiramente ao acaso, em arranjo fatorial 2x2x2, sendo dois alimentos (centeio e cevada), dois níveis do complexo enzimático (0 e 0,02%) e dois níveis energéticos (3025 e 3125 kcal EMA/kg), mais um tratamento controle, totalizando 9 tratamentos, com 6 repetições e 2 aves cada. A adição do complexo enzimático proporcionou maiores coeficientes de digestibilidade da MS ( $P<0,0001$ ), PB ( $P=0,0045$ ), FDN ( $P<0,0001$ ), GB ( $P<0,0001$ ) e maior coeficiente de metabolizabilidade da EMAn ( $P=0,0432$ ) da ração. No Experimento II foram utilizados 1080 frangos de corte machos de 1 dia de idade, da linhagem distribuídos em um delineamento experimental inteiramente ao acaso, em arranjo fatorial 2x2x2 sendo dois alimentos (centeio e cevada), dois níveis do complexo enzimático (0 e 0,02%) e dois níveis energéticos (2875 e 2975 kcal EM/kg), mais um tratamento controle, totalizando 9 tratamentos, com 6 repetições e 20 aves cada. Não foi observado efeito de interação ( $P>0,005$ ) entre os fatores (alimento x complexo enzimático x energia) para nenhuma das variáveis analisadas. A adição do complexo enzimático proporcionou maior GP ( $P<0,0001$ ) e melhor CA ( $P=0,0076$ ). A viscosidade intestinal ( $P<0,0001$ ), o peso relativo ( $P=0,0021$ ) e o comprimento ( $P=0,0288$ ) do intestino delgado foram menores com a adição do complexo enzimático. A relação vilo:cripta do duodeno ( $P<0,0001$ ) e do jejuno ( $P<0,0001$ ) das aves e as concentrações sanguíneas de glicose ( $P=0,0009$ ) colesterol total ( $P=0,0137$ ) e triglicerídeos ( $P=0,0060$ ) foram maiores com a adição do complexo enzimático.

**Palavras-chave:** arabinosilanos, desempenho, digestibilidade, enzimas exógenas,  $\beta$ -glucanos.

### III- EVALUATION OF ENZYME COMPLEX ADDITION IN BROILER DIETS WITH RYE OR BARLEY AND REDUCTION AT THE ENERGY LEVEL

**ABSTRACT:** Two experiments were carried out to evaluate the effect of the enzymatic complex addition in broiler diets containing rye or barley with or without a reduction in the energy level of diets in relation to the digestibility of experimental diets, performance, intestinal viscosity, intestinal morphometry and blood parameters. In Experiment I, a digestibility assay was performed using 108 male broilers 21-day-old, distributed in a completely randomized experimental design in a 2x2x2 factorial arrangement, two feed (rye and barley), two enzymatic complex levels (0 and 0.02%) and two energetic levels (3025 and 3125 kcal AME/kg), plus a control treatment, totalizing 9 treatments, with 6 replicates and 2 birds each. The enzymatic complex addition resulted in higher DM ( $P<0.0001$ ), CP ( $P=0.0045$ ), NDF ( $P<0.0001$ ) and CF ( $P<0.0001$ ) digestibility coefficients as well as higher AMEn ( $P=0.0432$ ) metabolizable coefficient. In Experiment II, a total of 1080 male broilers 1-day-old were distributed in a completely randomized experimental design in a 2x2x2 factorial arrangement, two feed (rye and barley), two enzyme complex levels (0 and 0.02%) and two energetic levels (2875 and 2975 kcal AME/kg), plus a control treatment, totalizing 9 treatments, with 6 replicates and 20 birds each. No interaction effect ( $P>0.005$ ) was observed between the factors (food x enzymatic complex x energy) for none of the analyzed variables. Addition of the enzyme complex gave higher WG ( $P<0.0001$ ) and better FCR ( $P=0.0076$ ). The intestinal viscosity ( $P<0.0001$ ), relative weight ( $P=0.0021$ ) and small intestine length ( $P=0.0288$ ) were smaller with the enzyme complex addition. The relationship vilo: crypt ( $P<0.0001$ ) of the duodenum and jejunum ( $P<0.0001$ ), and blood glucose concentrations ( $P=0.0009$ ) total cholesterol ( $P=0.0137$ ) and triglycerides ( $P=0.0060$ ) were higher with the enzyme complex addition.

**Key words:** arabinoxylans, digestibility, exogenous enzymes, performance,  $\beta$ -glucans.

## Introdução

Os processos de digestão e absorção dos frangos de corte se desenvolvem de forma gradativa em suas primeiras semanas de vida até que as aves passem a ter seu sistema digestivo totalmente desenvolvido (Uni et al. 1999). Deste modo, ingredientes que apresentem maior digestibilidade são preferencialmente utilizados na formulação de dietas para aves, principalmente em dietas fornecidas nas suas primeiras semanas de vida (Longo et al. 2007).

Dentre os cereais, o milho corresponde a mais de 50% do total de ingredientes presentes em uma dieta para frangos de corte. Sua grande utilização na nutrição de aves se deve a sua elevada digestibilidade (85 a 90%), seu elevado valor energético, podendo fornecer até 65% da exigência de EM da ave e o seu baixo teor de fibras, aproximadamente 9%, sendo o menor dentre os cereais comumente utilizados (Ravindran, 2013; El-Katcha et al., 2014).

A digestibilidade da dieta normalmente é maior quando seu teor de fibra é baixo, haja vista que pela ausência de enzimas digestivas capazes de degradar os polissacarídeos não amiláceos (PNAs) presentes na fração fibrosa dos cereais (Jamroz et al. 2001; Khadem et al. 2016). Os PNAs atuam formando uma barreira física na parede celular dos grãos de cereais impedindo o acesso das enzimas digestivas as moléculas de amido e proteína localizadas no interior do endosperma do grão, interferindo negativamente no aproveitamento da dieta pelas aves (Khadem et al. 2016). Além disto, a fração solúvel dos PNAs aumenta a viscosidade intestinal das aves, exercendo influências negativas não só nos processos de digestão e absorção, mas também em aspectos morfológicos do trato intestinal das aves (Lázaro et al. 2004; Yan et al. 2017).

Centeio e cevada apresentam em sua composição elevados teores de arabinoxilanos e  $\beta$ -glucanos, respectivamente (Knudsen 2014). Sendo a presença destes PNAs apontada como responsável por suas baixas digestibilidades e pelo baixo desempenho apresentado por frangos de corte alimentados com dietas contendo tais cereais (Taheri et al. 2016; Yan et al. 2017). Todavia, podem ser observadas melhoras no desempenho das aves quando são adicionadas enzimas exógenas a estas dietas, particularmente as enzimas xilanase e  $\beta$ -glucanase (Taheri et al. 2016; Yan et al. 2017). As moléculas de arabinoxilanos e  $\beta$ -glucanos são hidrolisadas mediante ação da

xilanase e  $\beta$ -glucanase, respectivamente, melhorando o aproveitamento dos nutrientes dietéticos pelas aves e, conseqüentemente, aumentando o valor de energia metabolizável aparente da dieta (Masey O'Neill et al. 2014).

Sendo assim, o objetivo deste trabalho foi avaliar a adição do complexo enzimático Allzyme SSF® (Altech Inc.) em dietas de frangos de corte contendo centeio ou cevada e com ou sem redução no nível energético das dietas sobre a digestibilidade das rações experimentais, desempenho, viscosidade intestinal, morfometria intestinal e perfil bioquímico sérico das aves, na fase de 1 a 21 dias de idade.

### **Material e métodos**

Dois experimentos foram realizados no Setor de Avicultura da Fazenda Experimental de Iguatemi, pertencente à Universidade Estadual de Maringá – UEM. Todos os procedimentos do protocolo experimental foram realizados mediante prévia aprovação do Comitê de Ética no Uso de Animais em Experimentação – CEUA da Universidade Estadual de Maringá (Registro N° 2209140917).

#### **Ensaio de metabolizabilidade das dietas experimentais.**

O ensaio de metabolizabilidade foi conduzido conforme Sakomura & Rostagno (2007), utilizando 132 frangos de corte machos, da linhagem Cobb-Vantress®, os quais receberam uma dieta controle até os 17 dias de idade, sendo posteriormente alojados em gaiolas metabólicas de arame galvanizado, e passaram por um período de cinco dias de adaptação às instalações e às dietas experimentais, seguidos de cinco dias de coleta total de excretas. Empregou-se um programa de luz correspondente a 23 horas de luz diária e o fornecimento de água e ração foi à vontade.

Para determinação da digestibilidades das rações experimentais as aves foram distribuídas em um delineamento experimental inteiramente ao acaso, em arranjo fatorial 2x2x2 (20% de centeio ou 20% de cevada), dois níveis de energia metabolizável aparente (3025 e 3125 kcal EM/kg) e dois níveis do complexo enzimático (0 e 0,02%), mais um tratamento controle, totalizando 9 tratamentos, com 6 repetições e 2 aves por repetição.

As dietas experimentais (Tabela 1) foram formuladas à base de milho e farelo de soja, de acordo com os valores de composição química dos alimentos e as exigências nutricionais para frangos de corte machos de desempenho médio propostas por Rostagno et al. (2011). Exceto para os valores de composição química da cevada e do centeio, para os quais foram adotados os valores de acordo com a tabela FEDNA (2010).

Utilizou-se o complexo enzimático composto pelas enzimas xilanase,  $\beta$ -glucanase, pectinase, celulase, amilase, fitase e protease (Allzyme SSF® - Altech Inc.), e a adição às dietas foi realizada na forma *on top*, seguindo o nível de adição recomendado pelo fabricante.

Os grãos de centeio utilizados no presente experimento foram adquiridos da empresa Agroindustrial e Comercia Pozza LTDA, Lagoa dos Três Cantos - RS. Já os grãos de cevada foram adquiridos da Cooperativa Agrária, Guarapuava – PR. As composições bromatológicas (Tabela 2) do centeio e da cevada foram analisadas no Laboratório de Análise de Alimentos e Nutrição Animal – LANA/UEM.

**Tabela 1.** Composição bromatológica e valores energéticos do centeio e da cevada utilizados no experimento.<sup>1</sup>

|                                | <b>Centeio</b> | <b>Cevada</b> |
|--------------------------------|----------------|---------------|
| Matéria seca (%)               | 88,02          | 88,71         |
| Proteína bruta (%)             | 11,97          | 11,98         |
| Fibra em detergente neutro (%) | 28,95          | 27,39         |
| Fibra em detergente ácido (%)  | 6,78           | 6,40          |
| Gordura bruta (%)              | 1,12           | 1,41          |
| Energia bruta (kcal/kg)        | 4263,30        | 4376,20       |
| EMAn <sup>2</sup> (kcal/kg)    | 1898,35        | 2067,44       |

<sup>1</sup>Valores determinados no Laboratório de Análise de Alimentos e Nutrição Animal – LANA/UEM; <sup>2</sup>Energia metabolizável aparente corrigida pelo balanço de nitrogênio.

Durante o período experimental as rações foram pesadas no início e no final do período de coleta, para se obter o consumo de ração das aves. As bandejas utilizadas para a coleta das excretas foram previamente revestidas com plástico, a fim de se evitar contaminação e perda do material coletado. Utilizou-se óxido férrico (1%) nas rações para se determinar o início e fim das coletas, bem como para determinação do tempo de passagem das dietas no trato gastrointestinal das aves. Com o objetivo de se evitar possíveis perdas por fermentação e alterações na composição do material coletado, as coletas totais de excretas foram realizadas duas vezes ao dia em intervalos de 12 horas. Após coletadas, as amostras foram pesadas e acondicionadas em sacos plásticos devidamente identificados, e posteriormente armazenadas em freezer (-20°C).

**Tabela 2.** Composição percentual e calculada das dietas experimentais para frangos de corte na fase de 21 a 42 dias com a inclusão de centeio ou de cevada.

| <b>Ingrediente (%)</b>         | <b>Controle (RR)<sup>1</sup></b> | <b>Centeio</b> | <b>Centeio -100 kcal EM/kg</b> | <b>Cevada</b> | <b>Cevada -100 kcal EM/kg</b> |
|--------------------------------|----------------------------------|----------------|--------------------------------|---------------|-------------------------------|
| Milho                          | 64,60                            | 43,17          | 45,29                          | 44,36         | 46,54                         |
| Farelo de soja 45 %            | 29,36                            | 28,83          | 28,49                          | 27,80         | 27,40                         |
| Centeio                        | -                                | 20,00          | 20,00                          | -             | -                             |
| Cevada                         | -                                | -              | -                              | 20,00         | 20,00                         |
| Óleo de soja                   | 2,79                             | 4,71           | 2,93                           | 4,55          | 2,75                          |
| Fosfato bicálcico              | 1,15                             | 1,14           | 1,13                           | 1,13          | 1,13                          |
| Calcário                       | 0,74                             | 0,75           | 0,76                           | 0,75          | 0,76                          |
| Sal comum                      | 0,45                             | 0,45           | 0,45                           | 0,45          | 0,45                          |
| Supl. Min. e Vit. <sup>2</sup> | 0,40                             | 0,40           | 0,40                           | 0,40          | 0,40                          |
| DL-Metionina 98%               | 0,248                            | 0,266          | 0,256                          | 0,254         | 0,252                         |
| L-Lisina HCl 78%               | 0,215                            | 0,221          | 0,227                          | 0,237         | 0,245                         |
| L-Treonina 98%                 | 0,044                            | 0,064          | 0,062                          | 0,067         | 0,068                         |
| <b>TOTAL</b>                   | <b>100,00</b>                    | <b>100,00</b>  | <b>100,00</b>                  | <b>100,00</b> | <b>100,00</b>                 |
| <b>Composição calculada</b>    |                                  |                |                                |               |                               |
| Proteína bruta (%)             | 18,75                            | 18,75          | 18,75                          | 18,75         | 18,75                         |
| Energia met. (kcal/kg)         | 3125                             | 3125           | 3025                           | 3125          | 3025                          |
| Lisina digestível (%)          | 1,044                            | 1,044          | 1,044                          | 1,044         | 1,044                         |
| Met+Cist digestível (%)        | 0,762                            | 0,762          | 0,762                          | 0,762         | 0,762                         |
| Treonina digestível (%)        | 0,678                            | 0,678          | 0,678                          | 0,678         | 0,678                         |
| Fósforo disponível (%)         | 0,320                            | 0,320          | 0,320                          | 0,320         | 0,320                         |
| Sódio (%)                      | 0,197                            | 0,197          | 0,197                          | 0,197         | 0,197                         |
| Cálcio (%)                     | 0,685                            | 0,685          | 0,685                          | 0,685         | 0,685                         |
| Cloro (%)                      | 0,321                            | 0,315          | 0,315                          | 0,333         | 0,335                         |

<sup>1</sup>Ração referência. <sup>2</sup>Suplemento vitamínico e mineral para fase de crescimento (Conteúdo por kg de ração): Vit. A (acetato de retinol), 9000,00 UI/kg; Vit. D3 (colecalfiferol), 1800,00 UI/kg; Vit. E (acetato de dl- $\alpha$ -tocoferol), 28,00 UI/kg; Vit. B1 (tiamina), 1,20 mg/kg; Vit. B2 (riboflavina), 4,00 mg/kg; B6 (piridoxina), 1,80 mg/kg; Vit. B12 (cianocobalamina), 12,00 mcg/kg; Vit. K3 (menadiona dimetilpirimidinol), 1,67 mg/kg; Pantotenato de cálcio 10,00 mg/kg; Niacina, 28,00 mg/kg; Ácido fólico, 0,56 mg/kg; Biotina, 0,06 mg/kg; Colina, 220,00 mg/kg; BHT (hidroxitolueno butilado), 4,00 mg/kg; Zinco, 56,00 mg/kg; Ferro 48,00 mg/kg; Manganês, 60,00 mg/kg; Cobre, 10,80 mg/kg; Iodo, 1,00 mg/kg; Cobalto, 0,20 mg/kg; Selênio, 0,29 mg/kg.

Ao final do período experimental, foram determinados o consumo de ração e a produção de excretas de cada repetição. As excretas coletadas ao longo de todo o período experimental foram homogeneizadas de acordo com suas repetições. Depois de homogeneizadas, uma amostra de cada repetição passou pelo processo de pré-secagem em estufa de ventilação forçada, a 55°C durante 72 horas, conforme metodologia descrita por AOAC (2005). Terminado o processo de pré-secagem, as amostras foram moídas em moinho tipo faca, com peneira de 18 *mesh* e crivos de 1mm.

Após serem moídas, as amostras das excretas e das rações experimentais passaram pelos processos de análise de matéria seca (MS), proteína bruta (PB), fibra em detergente ácido (FDA), fibra em detergente neutro (FDN) e extrato etéreo (EE), as quais foram realizadas no Laboratório de Análise de Alimentos e Nutrição Animal – LANA\UEM, seguindo as devidas metodologias descritas por AOAC (2005).

As análises de energia bruta foram realizadas no Complexo de Centrais de Apoio à Pesquisa (COMCAP) – UEM, por meio de um calorímetro adiabático (Parr® Instrument Co. AC6200). Após a obtenção dos valores das análises laboratoriais, foram realizados os cálculos para a determinação do coeficiente de digestibilidade da matéria seca (CDMS), proteína bruta (CDPB), fibra em detergente ácido (CDFDA), fibra em detergente neutro (CDFDN) e gordura bruta (CDGB). Os cálculos da energia metabolizável aparente (EMA) e da energia metabolizável aparente corrigida pelo balanço de nitrogênio (EMAn), foram realizados segundo as equações propostas por Matterson et al. (1965). Posteriormente, foram calculados os coeficientes de metabolizabilidade aparente da energia bruta aparente corrigida pelo balanço de nitrogênio (CMEBAn).

### **Avaliação do complexo enzimático em dietas para frangos de corte com centeio ou cevada e redução do nível de energia**

O experimento foi conduzido no aviário experimental do Setor de Avicultura da Fazenda Experimental de Iguatemi, da Universidade Estadual de Maringá – UEM. Foram utilizados 1080 pintos de corte machos, da linhagem Cobb-Vantress®, alojados em boxes (1,0 x 2,0 metros), em galpão climatizado e pressão negativa. O período experimental foi de 1 a 42 dias, no qual se adotou um programa de luz correspondente a 23 horas de luz diária e fornecimento de água e ração à vontade.

As aves foram distribuídas em um delineamento experimental inteiramente ao acaso, em arranjo fatorial  $2 \times 2 \times 2 + 1$ , constituído de dois alimentos (20% de centeio ou 20% de cevada), dois níveis de energia metabolizável aparente (2875 e 2975 kcal/kg, na fase de 1 a 21 dias e, 3025 e 3125 kcal/kg, na fase de 21 a 42 dias) e dois níveis do complexo enzimático (0 e 0,02%), mais um tratamento controle, totalizando 9 tratamentos, com 6 repetições e 20 aves por repetição.

Utilizou-se o complexo enzimático composto pelas enzimas xilanase,  $\beta$ -glucanase, pectinase, celulase, amilase, fitase e protease (Allzyme SSF® - Altech Inc.), e a adição às dietas foi realizada na forma *on top*, seguindo o nível de adição recomendado pelo fabricante.

As dietas experimentais (Tabela 3) foram formuladas à base de milho e farelo de soja, de acordo com os valores de composição química dos alimentos e as exigências nutricionais para frangos de corte machos de desempenho médio propostas por Rostagno et al. (2011). Exceto para os valores de composição química da cevada e do centeio, para os quais foram adotados os valores de acordo com FEDNA (2010).

### **Desempenho**

Foram realizadas pesagens semanais das aves e das rações experimentais, a fim de determinar o ganho de peso (GP), consumo de ração (CR) e a conversão alimentar (CA) das aves. Os casos de mortalidade foram registrados diariamente e procedeu-se com a pesagem das aves mortas e das rações experimentais para correção das variáveis referentes ao desempenho das aves.

**Tabela 3.** Composição percentual e calculada das dietas experimentais para frangos de corte com a inclusão de centeio ou de cevada.

| Ingrediente (%)                   | Controle      |               | Centeio       |               | Centeio -100 kcal EM/kg |               | Cevada        |               | Cevada -100 kcal em/kg |               |
|-----------------------------------|---------------|---------------|---------------|---------------|-------------------------|---------------|---------------|---------------|------------------------|---------------|
|                                   | 1 a 21        | 21 a 42       | 1 a 21        | 21 a 42       | 1 a 21                  | 21 a 42       | 1 a 21        | 21 a 42       | 1 a 21                 | 21 a 42       |
| Milho                             | 59,34         | 64,60         | 37,83         | 43,17         | 40,02                   | 45,29         | 39,09         | 44,36         | 40,93                  | 46,54         |
| Farelo de soja 45 %               | 34,86         | 29,36         | 34,40         | 28,83         | 34,00                   | 28,49         | 33,30         | 27,80         | 33,15                  | 27,40         |
| Centeio                           | -             | -             | 20,00         | 20,00         | 20,00                   | 20,00         | -             | -             | -                      | -             |
| Cevada                            | -             | -             | -             | -             | -                       | -             | 20,00         | 20,00         | 20,00                  | 20,00         |
| Óleo de soja                      | 1,64          | 2,79          | 3,58          | 4,71          | 1,79                    | 2,93          | 3,40          | 4,55          | 1,71                   | 2,75          |
| Fosfato bicálcico                 | 1,71          | 1,15          | 1,70          | 1,14          | 1,70                    | 1,13          | 1,70          | 1,13          | 1,70                   | 1,13          |
| Calcário                          | 0,82          | 0,74          | 0,83          | 0,75          | 0,83                    | 0,76          | 0,83          | 0,75          | 0,83                   | 0,76          |
| Sal comum                         | 0,49          | 0,45          | 0,49          | 0,45          | 0,49                    | 0,45          | 0,49          | 0,45          | 0,49                   | 0,45          |
| Supl. Min. e Vit. <sup>1, 2</sup> | 0,40          | 0,40          | 0,40          | 0,40          | 0,40                    | 0,40          | 0,40          | 0,40          | 0,40                   | 0,40          |
| DL-Metionina 98%                  | 0,335         | 0,248         | 0,345         | 0,266         | 0,343                   | 0,256         | 0,342         | 0,254         | 0,340                  | 0,252         |
| L-Lisina HCl 78%                  | 0,301         | 0,215         | 0,304         | 0,221         | 0,312                   | 0,227         | 0,322         | 0,237         | 0,328                  | 0,245         |
| L-Treonina 98%                    | 0,102         | 0,044         | 0,119         | 0,064         | 0,119                   | 0,062         | 0,125         | 0,067         | 0,125                  | 0,068         |
| <b>TOTAL</b>                      | <b>100,00</b> | <b>100,00</b> | <b>100,00</b> | <b>100,00</b> | <b>100,00</b>           | <b>100,00</b> | <b>100,00</b> | <b>100,00</b> | <b>100,00</b>          | <b>100,00</b> |
| <b>Composição calculada</b>       |               |               |               |               |                         |               |               |               |                        |               |
| Proteína bruta (%)                | 21,00         | 18,75         | 21,00         | 18,75         | 21,00                   | 18,75         | 21,00         | 18,75         | 21,00                  | 18,75         |
| Energia met. (kcal/kg)            | 2975          | 3125          | 2975          | 3125          | 2875                    | 3025          | 2975          | 3125          | 2875                   | 3025          |
| Lisina digestível (%)             | 1,242         | 1,044         | 1,242         | 1,044         | 1,242                   | 1,044         | 1,242         | 1,044         | 1,242                  | 1,044         |
| Met+Cist digestível (%)           | 0,895         | 0,762         | 0,895         | 0,762         | 0,895                   | 0,762         | 0,895         | 0,762         | 0,895                  | 0,762         |
| Treonina digestível (%)           | 0,807         | 0,678         | 0,807         | 0,678         | 0,807                   | 0,678         | 0,807         | 0,678         | 0,807                  | 0,678         |
| Fósforo disponível (%)            | 0,430         | 0,320         | 0,430         | 0,320         | 0,430                   | 0,320         | 0,430         | 0,320         | 0,430                  | 0,320         |
| Sódio (%)                         | 0,215         | 0,197         | 0,215         | 0,197         | 0,215                   | 0,197         | 0,215         | 0,197         | 0,215                  | 0,197         |
| Cálcio (%)                        | 0,869         | 0,685         | 0,869         | 0,685         | 0,869                   | 0,685         | 0,869         | 0,685         | 0,869                  | 0,685         |
| Cloro (%)                         | 0,347         | 0,321         | 0,341         | 0,315         | 0,341                   | 0,315         | 0,359         | 0,333         | 0,460                  | 0,335         |

<sup>1</sup>Suplemento vitamínico e mineral para fase inicial (Conteúdo por kg de ração): Vit. A (acetato de retinol), 11000,00 UI/kg; Vit. D3 (colecalfiferol), 2200,00 UI/kg; Vit. E (acetato de dl- $\alpha$ -tocoferol), 35,00 UI/kg; Vit. B1 (tiamina), 1,52 mg/kg; Vit. B2 (riboflavina), 5,00 mg/kg; B6 (piridoxina), 2,40 mg/kg; Vit. B12 (cianocobalamina), 16,00 mcg/kg; Vit. K3 (menadiona dimetilpirimidinol), 1,68 mg/kg; Pantotenato de cálcio 12,00 mg/kg; Niacina, 35,00 mg/kg; Ácido fólico, 0,70 mg/kg; Biotina, 0,07 mg/kg; Colina, 260 mg/kg; BHT (hidroxitolueno butilado), 4,00 mg/kg; Zinco, 56,00 mg/kg; Ferro 48,00 mg/kg; Manganês, 60,00 mg/kg; Cobre, 10,80 mg/kg; Iodo, 1,00 mg/kg; Cobalto, 0,20 mg/kg; Selênio, 0,29 mg/kg.

<sup>2</sup>Suplemento vitamínico e mineral para fase de crescimento (Conteúdo por kg de ração): Vit. A (acetato de retinol), 9000,00 UI/kg; Vit. D3 (colecalfiferol), 1800,00 UI/kg; Vit. E (acetato de dl- $\alpha$ -tocoferol), 28,00 UI/kg; Vit. B1 (tiamina), 1,20 mg/kg; Vit. B2 (riboflavina), 4,00 mg/kg; B6 (piridoxina), 1,80 mg/kg; Vit. B12 (cianocobalamina), 12,00 mcg/kg; Vit. K3 (menadiona dimetilpirimidinol), 1,67 mg/kg; Pantotenato de cálcio 10,00 mg/kg; Niacina, 28,00 mg/kg; Ácido fólico, 0,56 mg/kg; Biotina, 0,06 mg/kg; Colina, 220,00 mg/kg; BHT (hidroxitolueno butilado), 4,00 mg/kg; Zinco, 56,00 mg/kg; Ferro 48,00 mg/kg; Manganês, 60,00 mg/kg; Cobre, 10,80 mg/kg; Iodo, 1,00 mg/kg; Cobalto, 0,20 mg/kg; Selênio, 0,29 mg/kg.

### **Rendimento de carcaça, cortes e percentual de gordura abdominal**

O rendimento de carcaça e cortes foi realizado aos 42 dias de idade, com dez aves por tratamento selecionadas de acordo com o peso médio da unidade experimental (média  $\pm$  5%). Após oito horas de jejum, as aves foram eutanasiadas através da administração endovenosa de tiopental (70 mg/kg), após constatada a anestesia, as aves foram sacrificadas por sangria, seguindo as diretrizes da prática de eutanásia do CONCEA (2013). Em seguida, as aves foram depenadas, evisceradas, e as carcaças pesadas em balança digital. Para o cálculo de rendimento de carcaça foi considerado o peso da carcaça sem pés, cabeça e gordura abdominal, em relação ao peso vivo, o qual foi obtido individualmente antes do abate das aves. Para o rendimento dos cortes, foi considerado o rendimento de peito, coxa e sobrecoxa (com pele e ossos) e asas, sendo calculado em relação ao peso da carcaça eviscerada. Foi considerada gordura abdominal aquela presente ao redor da cloaca, bolsa cloacal, moela, pró-ventrículo e dos músculos abdominais adjacentes, conforme descrito por Smith (1993), sendo posteriormente pesada e calculado seu peso relativo em relação ao peso da carcaça eviscerada.

### **Peso relativo dos órgãos digestivos, viscosidade intestinal, pH do intestino delgado e pH da moela e morfometria intestinal**

Aos 21 dias de idade, uma ave por unidade experimental foi selecionada de acordo com o peso médio da unidade experimental (média  $\pm$  5%) e posteriormente eutanasiadas através da administração endovenosa de tiopental (70 mg/kg), após constatada a anestesia, as aves foram sacrificadas por sangria, seguindo as diretrizes da prática de eutanásia do CONCEA (2013). O pró-ventrículo, pâncreas, fígado e intestino delgado foram coletados pesados em balança de precisão (0,001g), a fim de se determinar o peso relativo dos mesmos em relação ao peso vivo das aves, conforme segue: (peso do órgão / peso vivo da ave) x 100.

Foi coletado, separadamente, todo o conteúdo da moela e do intestino delgado de uma ave por repetição, em seguida 2 g de cada conteúdo foram diluídos em 20 ml de água destilada e homogeneizados durante 1 minuto, sendo então aferido o pH do conteúdo com o auxílio de um peagâmetro HI 2210 (Hanna Instruments, São Paulo, Brasil).

O restante do conteúdo coletado do intestino delgado foi utilizado para a determinação da viscosidade intestinal das aves, e este conteúdo passou pelo processo

de centrifugação a 9000 rpm por 10 minutos, posteriormente coletado o sobrenadante, o qual foi acondicionado em eppendorf e armazenado em freezer (-18°C) para posterior análise. Os reogramas de fluxo de todas as amostras foram obtidos em reômetro de gradiente e tensão de cisalhamento controlado MARS II (Thermo Electron, Newington, NH, USA), no modo de fluxo, na temperatura de  $37 \pm 2,0$  °C, com geometria cone-placa paralelas de 35 mm de diâmetro, separadas por uma distância fixa de 0,052 mm. As amostras foram cuidadosamente colocadas na placa inferior, assegurando o mínimo cisalhamento da formulação. Uma tensão variando de 0,1 a 19,0 mPa foi utilizada. A viscosidade do fluido intestinal foi determinada pelo valor médio obtido na tensão correspondente a 19,0 mPa, utilizando o software RheoWin 4.10.0000 (Haake®) (Lee et al. 2004).

Após os intestinos delgado serem pesados, foram coletados fragmentos de 2 cm do duodeno e jejuno de uma ave por repetição, para a confecção de lâminas histológicas. O duodeno foi considerado a partir do piloro até a porção distal da alça duodenal e o jejuno a partir da porção distal da alça duodenal até o divertículo de Meckel. Após coletadas, as amostras foram lavadas com solução salina e então armazenadas em frascos plásticos contendo solução de formol tamponado a 10%, a fim de se promover a fixação dos tecidos. Posteriormente, os fragmentos passaram por processo de desidratação em uma série de concentrações crescentes de álcoois, em seguida foram diafinizados em xilol para então serem incluídos em parafina. Os cortes histológicos das amostras foram realizados em micrótomo rotativo (Leica-RM 2245), a uma espessura de 5 micrômetros, em cortes semisseriados e transversais, até que fossem obtidos três cortes por lâmina. As lâminas histológicas foram coradas pelo método Hematoxilina-Eosina. A captura de imagem das lâminas foi realizada com o auxílio da câmera digital de alta resolução PRO SERIES (Mídia Cibertecnics), acoplada ao microscópio Olympus Bx 40 e ao analisador de imagem computadorizado IMAGE PROPLUS 4.1 (Mídia Cibertecnics).

A morfometria intestinal foi realizada através de 30 medidas para a altura de vilo e 30 medidas para a profundidade de cripta por segmento de cada lâmina. Tomando-se em consideração a altura dos vilos como sendo a partir da região basal dos mesmos, a qual é coincidente com a porção superior da cripta, até o seu ápice. Para as criptas, suas medidas foram realizadas tomando-se em consideração da sua base até a região de transição entre cripta e vilo.

### **Perfil bioquímico sérico**

Aos 21 e 42 dias de idade, uma ave por unidade experimental selecionada de acordo com o peso médio da unidade experimental (média  $\pm$  5%), foi submetida à coleta de sangue (2,0 ml) pela veia jugular com a utilização de heparina, a fim de se obter o plasma por processo de centrifugação a 3000 RPM por 10 minutos. Este foi acondicionado em eppendorfs e armazenados em freezer (-18°C) para posterior determinação dos níveis séricos de ácido úrico (mg/dL), glicose (mg/dL), colesterol total (mg/dL), e triglicerídeos (mg/dL). Os níveis séricos foram determinados através de kits comerciais pelo método enzimático-colorimétrico (Gold Analisa Diagnóstica Ltda, Belo Horizonte – Minas Gerais), tendo suas leituras realizadas em espectrofotômetro modelo BIOPLUS 2000 (Bioplus Ltda).

### **Análise estatística**

Os dados obtidos foram submetidos à análise de variância (ANOVA) utilizando o procedimento General Linear Model (GLM) do *software* SAS (SAS Institute, 2009) ao nível de significância de 5%. Após a análise de variância as médias dos fatores foram comparadas mediante Teste t de Student utilizando o procedimento ttest do *software* SAS (SAS Institute, 2009).

## **Resultados e discussão**

### **Ensaio de digestibilidade das dietas experimentais**

Não foram observadas interações ( $P>0,005$ ) entre os fatores estudados, nem efeitos isolados dos alimentos ( $P=0,9216$ ) e dos níveis energéticos ( $P=0,9321$ ) avaliados (Tabela 4). A adição do complexo ( $P=0,0245$ ) reduziu o tempo de passagem das rações pelo trato gastrointestinal das aves (143,38 min), quando comparado com as aves que não tiveram a adição do complexo enzimático (153,37 min). Esta redução pode ser resultante da degradação dos arabinoxilanos e  $\beta$ -glucanos mediante ação das enzimas xilanase e  $\beta$ -glucanase e, conseqüentemente, reduzindo sua capacidade de estabelecer ligações com moléculas de água, reduzindo a viscosidade intestinal e facilitando o trânsito da digesta (Danicke et al. 1997).

**Tabela 4.** Tempo de passagem da ração pelo trato gastrointestinal (média  $\pm$  erro padrão) de frangos de corte (21 dias) alimentados com dietas com inclusão de centeio ou cevada, com ou sem adição de complexo enzimático e redução no nível energético.

| Tratamento                               | Complexo enzimático | EM <sup>1</sup> (kcal/kg) | Tempo passagem (min) |
|------------------------------------------|---------------------|---------------------------|----------------------|
| Controle (Milho)                         | 0%                  | 3125                      | 138,60 $\pm$ 3,47    |
| Centeio (20%)                            | 0%                  | 3125                      | 153,82 $\pm$ 7,05    |
|                                          | 0,02%               | 3125                      | 141,36 $\pm$ 3,33    |
|                                          | 0%                  | 3025                      | 153,85 $\pm$ 6,86    |
|                                          | 0,02%               | 3025                      | 143,20 $\pm$ 2,19    |
|                                          | 0%                  | 3125                      | 153,90 $\pm$ 5,92    |
| Cevada (20%)                             | 0,02%               | 3125                      | 144,80 $\pm$ 3,08    |
|                                          | 0%                  | 3025                      | 152,16 $\pm$ 8,55    |
|                                          | 0,02%               | 3025                      | 143,14 $\pm$ 2,11    |
| <b>Alimento</b>                          |                     |                           |                      |
| Centeio (20%)                            |                     |                           | 148,98 $\pm$ 3,03    |
| Cevada (20%)                             |                     |                           | 149,05 $\pm$ 3,00    |
| <b>Complexo enzimático</b>               |                     |                           |                      |
| 0% Complexo enzimático                   |                     |                           | 153,37 $\pm$ 3,49 a  |
| 0,02% Complexo enzimático                |                     |                           | 143,38 $\pm$ 1,35 b  |
| <b>Energia (kcal EM/kg)</b>              |                     |                           |                      |
| 3125                                     |                     |                           | 149,36 $\pm$ 2,79    |
| 3025                                     |                     |                           | 148,66 $\pm$ 3,32    |
| <b>CV (%)<sup>2</sup></b>                |                     |                           | 11,31                |
| <b>ANOVA</b>                             |                     |                           | <b>p-valor</b>       |
| Alimento                                 |                     |                           | 0,9216               |
| Complexo enzimático                      |                     |                           | 0,0245               |
| Energia (kcal EM/kg)                     |                     |                           | 0,9321               |
| Alimento x Complexo enzimático           |                     |                           | 0,7799               |
| Alimento x Energia                       |                     |                           | 0,7686               |
| Complexo enzimático x Energia            |                     |                           | 0,9159               |
| Alimento x Complexo enzimático x Energia |                     |                           | 0,9232               |

<sup>abc</sup> Médias seguidas de letras minúsculas na mesma coluna diferem entre si pelo Teste t de Student ( $P < 0,05$ ). <sup>1</sup>Energia Metabolizável (kcal/kg).. <sup>2</sup>CV (%): Coeficiente de variação.

Arabinosilanos e  $\beta$ -glucanos estão presentes nas dietas em variadas concentrações e exercem diferentes efeitos adversos, como por exemplo, alteram o tempo de trânsito gastrointestinal (Almirall and Esteve-Garcia 1994; Danicke et al. 1997; Danicke et al. 1999). A alta solubilidade destes compostos provoca aumento na viscosidade intestinal das aves, reduzindo o esvaziamento gástrico e dificultando a passagem da digesta ao longo do trato gastrointestinal das aves (Gobl & Gohl 1977; Danicke et al. 1999; Masey O'Neill et al. 2014; Yan et al. 2017).

Ao reduzir o tempo de trânsito reduz também o tempo disponível para a fermentação bacteriana e a competição por substratos entre a população bacteriana intestinal e o hospedeiro, aumentando a disponibilidade de substratos às enzimas digestivas das aves (Bedford & Cowieson 2012; Hetland & Svihus 2001).

As dietas que tiveram a inclusão de cevada apresentaram maiores coeficientes de digestibilidade para a MS ( $P=0,0191$ ) e para a PB ( $P=0,059$ ), que as dietas com inclusão de centeio (Tabela 5). A adição do complexo enzimático nas dietas propiciou aumento do coeficiente de digestibilidade da MS ( $P<0,0001$ ), da PB ( $P=0,0045$ ), da FDN ( $P<0,0001$ ) e da GB ( $P<0,0001$ ), comparado às dietas que não tiveram a adição do complexo enzimático.

Os tratamentos contendo a inclusão de centeio e de cevada apresentaram coeficientes de digestibilidade da MS, PB, FDN e GB menores que o tratamento controle à base de milho, quando comparados mediante teste de Dunnett (Tabela 5). Com a adição do complexo enzimático as dietas contendo centeio e cevada passaram a apresentar coeficientes de digestibilidade da PB, FND e GB similares aos valores observados para a dieta controle. Reforçando a eficiência enzimática sobre a digestibilidade das dietas, principalmente sua eficiência na degradação da FDN em que se encontra inserida os arabinosilanos e  $\beta$ -glucanos responsáveis por reduzir o valor nutritivo dos grãos de centeio e de cevada (Choct et al. 2006; Knudsen, 2014).

A presença de arabinosilanos e  $\beta$ -glucanos na composição da parede celular do centeio e da cevada são apontadas como responsáveis por reduzir a digestibilidade da dieta pelo fato das aves não apresentarem enzimas digestivas capazes de degradar estes compostos (Choct et al. 2006; Tellez et al. 2014; Khadem et al. 2016). Destaque maior pode ser dado ao centeio, este possui em sua composição aproximadamente 14,7% de arabinosilanos e  $\beta$ -glucanos enquanto a cevada possui aproximadamente 10,2% (Knudsen, 1997; Knudsen, 2014). Fato que pode ser responsável pelo menor coeficiente de digestibilidade da MS e PB observado para as dietas contendo o centeio, quando comparado às dietas com a inclusão de cevada.

A composição da parede celular do centeio e da cevada passa a exercer um efeito de aprisionamento dos nutrientes no interior do endosperma do grão, “*cage effect*”, reduzindo sua digestibilidade (Classen 1996; Khadem et al. 2016). Todavia, este efeito pode ser reduzido com a adição de enzimas exógenas capazes de degradar as moléculas de arabinosilanos e  $\beta$ -glucanos, aumentando a disponibilidade dos nutrientes e assim, aumentando a digestibilidade das dietas (Mathlouthi et al. 2002b; Kalmendal and Tauson 2012; Masey O’Neill et al. 2014; Khadem et al. 2016).

**Tabela 5.** Coeficiente de digestibilidade (média ± erro padrão) de frangos de corte (21 dias) alimentados com dietas contendo centeio ou cevada, com ou sem adição de complexo enzimático e redução no nível energético.

| Tratamento                               | Complexo enzimático | EM <sup>1</sup> (kcal/kg) | CDMS (%)       | CDPB (%)       | CDFDN (%)      | CDFDA (%)    | CDGB (%)       |
|------------------------------------------|---------------------|---------------------------|----------------|----------------|----------------|--------------|----------------|
| Controle (Milho)                         | 0%                  | 3125                      | 71,50 ± 1,13   | 64,76 ± 0,68   | 52,80 ± 0,28   | 51,61 ± 2,63 | 86,01 ± 1,27   |
| Centeio (20%)                            | 0%                  | 3125                      | 60,79 ± 0,92*  | 56,75 ± 0,83*  | 40,93 ± 0,69*  | 48,16 ± 3,46 | 74,48 ± 4,52*  |
|                                          | 0,02%               | 3125                      | 67,50 ± 1,06   | 61,65 ± 3,07   | 49,82 ± 3,93   | 50,57 ± 3,88 | 85,15 ± 0,75   |
|                                          | 0%                  | 3025                      | 61,17 ± 1,23*  | 55,37 ± 1,21*  | 41,55 ± 0,34*  | 47,38 ± 2,27 | 74,12 ± 2,61*  |
|                                          | 0,02%               | 3025                      | 64,29 ± 0,33*  | 57,23 ± 1,90*  | 49,29 ± 0,81   | 49,99 ± 2,59 | 83,38 ± 0,68   |
| Cevada (20%)                             | 0%                  | 3125                      | 63,65 ± 2,10*  | 58,74 ± 0,95*  | 43,03 ± 0,30*  | 47,65 ± 1,85 | 76,20 ± 1,49*  |
|                                          | 0,02%               | 3125                      | 69,12 ± 0,24   | 64,94 ± 0,76   | 48,81 ± 2,00   | 49,79 ± 1,85 | 85,34 ± 1,44   |
|                                          | 0%                  | 3025                      | 63,26 ± 2,42*  | 59,84 ± 2,03*  | 42,93 ± 0,64*  | 48,40 ± 0,70 | 75,76 ± 1,19*  |
|                                          | 0,02%               | 3025                      | 67,53 ± 0,53   | 62,10 ± 0,68   | 48,34 ± 0,48   | 50,42 ± 2,26 | 84,81 ± 1,30   |
| <b>Alimento</b>                          |                     |                           |                |                |                |              |                |
| Centeio (20%)                            |                     |                           | 63,43 ± 0,91 b | 57,75 ± 1,09 b | 45,40 ± 1,53   | 49,14 ± 1,48 | 79,28 ± 1,89   |
| Cevada (20%)                             |                     |                           | 65,89 ± 1,02 a | 61,41 ± 0,89 a | 46,01 ± 1,03   | 49,15 ± 0,94 | 80,53 ± 1,49   |
| <b>Complexo enzimático</b>               |                     |                           |                |                |                |              |                |
| 0% Complexo enzimático                   |                     |                           | 62,22 ± 0,85 b | 57,68 ± 0,77 b | 42,00 ± 0,37 b | 47,90 ± 1,10 | 75,14 ± 1,21 b |
| 0,02% Complexo enzimático                |                     |                           | 67,11 ± 0,59 a | 61,48 ± 1,54 a | 49,07 ± 0,98 a | 50,23 ± 1,27 | 84,67 ± 0,52 a |
| <b>Energia (kcal EM/kg)</b>              |                     |                           |                |                |                |              |                |
| 3125                                     |                     |                           | 65,26 ± 1,12   | 60,52 ± 1,18   | 45,86 ± 1,60   | 48,99 ± 1,39 | 80,29 ± 1,85   |
| 3025                                     |                     |                           | 64,06 ± 0,91   | 58,64 ± 1,02   | 45,53 ± 1,04   | 49,29 ± 1,06 | 79,51 ± 1,56   |
| <b>CV (%)<sup>2</sup></b>                |                     |                           | 5,44           | 6,47           | 9,64           | 9,61         | 7,27           |
| <b>ANOVA</b>                             |                     |                           |                |                | <b>p-valor</b> |              |                |
| Alimento                                 |                     |                           | 0,0191         | 0,0059         | 0,7783         | 0,9833       | 0,4157         |
| Complexo enzimático                      |                     |                           | <0,0001        | 0,0045         | <0,0001        | 0,2500       | <0,0001        |
| Energia (kcal EM/kg)                     |                     |                           | 0,2204         | 0,1223         | 0,9427         | 0,9985       | 0,6103         |
| Alimento x Complexo enzimático           |                     |                           | 0,9799         | 0,7190         | 0,2975         | 0,9130       | 0,7755         |
| Alimento x Energia                       |                     |                           | 0,8232         | 0,3924         | 0,9100         | 0,7285       | 0,8494         |
| Complexo enzimático x Energia            |                     |                           | 0,2222         | 0,1497         | 0,7460         | 0,9924       | 0,8050         |
| Alimento x Complexo enzimático x Energia |                     |                           | 0,5341         | 0,8495         | 0,8932         | 0,9683       | 0,8280         |

<sup>abc</sup> Médias seguidas de letras minúsculas na mesma coluna diferem entre si pelo Teste t de Student (P<0,05). \* Médias que diferem entre si pelo Teste de Dunnett (P<0,05). <sup>1</sup>Energia Metabolizável (kcal/kg)..

<sup>2</sup>CV (%): Coeficiente de variação.

As dietas contendo inclusão de centeio apresentaram menor coeficiente de metabolizabilidade da EBn ( $P=0,0016$ ) do que as dietas contendo inclusão de cevada (Tabela 6) e a adição do complexo enzimático proporcionou aumento no coeficiente de metabolizabilidade da EBn ( $P=0,0432$ ) das dietas.

A adição do complexo enzimático nas dietas resultou em maior coeficiente de metabolizabilidade da EBn das dietas contendo centeio ou cevada igualando seus valores ao coeficiente de metabolizabilidade da EBn obtido para a dieta controle à base de milho.

**Tabela 6.** Coeficiente de metabolizabilidade (média  $\pm$  erro padrão) da EB de frangos de corte (21 dias) alimentados com dietas contendo centeio ou cevada, com ou sem adição de complexo enzimático e redução no nível energético.

| Tratamento                               | Complexo enzimático | EM <sup>1</sup> (kcal/kg) | CMEBn <sup>2</sup> (%) |
|------------------------------------------|---------------------|---------------------------|------------------------|
| Controle (Milho)                         | 0%                  | 3125                      | 74,55 $\pm$ 1,69       |
| Centeio (20%)                            | 0%                  | 3125                      | 65,30 $\pm$ 0,31*      |
|                                          | 0,02%               | 3125                      | 72,17 $\pm$ 0,92       |
|                                          | 0%                  | 3025                      | 66,82 $\pm$ 1,03*      |
|                                          | 0,02%               | 3025                      | 71,49 $\pm$ 0,64       |
| Cevada (20%)                             | 0%                  | 3125                      | 69,83 $\pm$ 2,15*      |
|                                          | 0,02%               | 3125                      | 72,99 $\pm$ 1,89       |
|                                          | 0%                  | 3025                      | 69,72 $\pm$ 1,69*      |
|                                          | 0,02%               | 3025                      | 71,68 $\pm$ 0,59       |
| <b>Alimento</b>                          |                     |                           |                        |
| Centeio (20%)                            |                     |                           | 67,24 $\pm$ 0,72 b     |
| Cevada (20%)                             |                     |                           | 71,08 $\pm$ 0,76 a     |
| <b>Complexo enzimático</b>               |                     |                           |                        |
| 0% Complexo enzimático                   |                     |                           | 67,66 $\pm$ 0,81 b     |
| 0,02% Complexo enzimático                |                     |                           | 70,00 $\pm$ 0,86 a     |
| <b>Energia (kcal EM/kg)</b>              |                     |                           |                        |
| 3125                                     |                     |                           | 69,35 $\pm$ 1,05       |
| 3025                                     |                     |                           | 68,48 $\pm$ 0,70       |
| <b>CV (%)<sup>3</sup></b>                |                     |                           |                        |
| 4,99                                     |                     |                           |                        |
| <b>ANOVA</b>                             |                     |                           | <b>p-valor</b>         |
| Alimento                                 |                     |                           | 0,0016                 |
| Complexo enzimático                      |                     |                           | 0,0432                 |
| Energia (kcal EM/kg)                     |                     |                           | 0,7925                 |
| Alimento x Complexo enzimático           |                     |                           | 0,9698                 |
| Alimento x Energia                       |                     |                           | 0,8369                 |
| Complexo enzimático x Energia            |                     |                           | 0,4438                 |
| Alimento x Complexo enzimático x Energia |                     |                           | 0,6883                 |

<sup>abc</sup> Médias seguidas de letras minúsculas na mesma coluna diferem entre si pelo Teste t de Student ( $P<0,05$ ). \* Médias que diferem entre si pelo Teste de Dunnnett ( $P<0,05$ ). <sup>1</sup>Energia Metabolizável (kcal/kg).<sup>2</sup>Coeficiente de metabolizabilidade da EBn.<sup>3</sup>CV (%): Coeficiente de variação.

Uma vez presentes no trato gastrointestinal das aves os arabinosilanos e  $\beta$ -glucanos tendem a provocar aumento da viscosidade do meio intestinal, prejudicando a atuação enzimática e o transporte de nutrientes (Smits & Annison 1996; Yan et al. 2017). Ao fornecer para aves dietas contendo grandes concentrações destes compostos

uma resposta negativa ao aproveitamento dos nutrientes dietéticos pode ser observada, reduzindo assim a quantidade de energia disponibilizada para o animal (Classen 1996; Choct et al. 2006; Khadem et al. 2016).

Todavia, com a adição de enzimas exógenas as moléculas de arabinosilanos e  $\beta$ -glucanos são degradadas aumentando a disponibilidade dos nutrientes aos processos de digestão e absorção, além de proporcionar a redução na viscosidade intestinal das aves (Jozefiak et al. 2007; van Krimpen et al. 2017), de modo que a atuação das enzimas digestivas seja mais eficaz, aumentando o aproveitamento da energia dietética (Smits & Annison 1996; Silva & Smithard 2002; Khadem et al. 2016; van Krimpen et al. 2017).

### **Avaliação da adição de complexo enzimático em dietas para frangos de corte com inclusão de centeio ou de cevada com redução no nível de energia**

Ao avaliar o desempenho das aves aos 21 dias de idade (Tabela 7), não foi observada interação ( $P>0,005$ ) entre os fatores (alimento x complexo enzimático x energia). As aves que receberam as dietas contendo cevada apresentaram maior GP ( $P=0,0017$ ), maior CR ( $P=0,0028$ ) e pior CA ( $P=0,0175$ ) quando comparadas com as aves que receberam as dietas contendo centeio.

O maior ganho de peso apresentado pelas aves que receberam as dietas contendo a inclusão da cevada pode estar associado ao maior valor nutritivo apresentado por estas dietas em relação às dietas com inclusão de centeio, haja vista que os coeficientes de digestibilidade (Tabela 5) da MS e PB assim como os coeficiente de metabolizabilidade da EBn (Tabela 6) foram maiores quando comparadas com as dietas com centeio.

As aves que receberam as dietas contendo a adição do complexo enzimático apresentaram maior GP ( $P<0,0001$ ) e redução na CA ( $P=0,0076$ ) em relação às aves que receberam as dietas sem adição do complexo enzimático. Isto se deve principalmente a atuação das enzimas xilanase e  $\beta$ -glucanase sobre a hidrólise das moléculas de arabinosilanos e  $\beta$ -glucanos, facilitando o acesso das enzimas digestivas das aves aos nutrientes presentes no endosperma do grão, promovendo melhoras no desempenho (Mathlouthi et al. 2002a ; García et al. 2008; Kalmendal & Tauson 2012; Yan et al. 2017).

**Tabela 7.** Desempenho (média  $\pm$  erro padrão) de frangos de corte na fase de 1 a 21 dias alimentados com dietas contendo centeio ou cevada, com ou sem adição de complexo enzimático e redução no nível energético.

| Tratamento                               | Complexo enzimático | EM <sup>1</sup> (kcal/kg) | Ganho de peso (g)    | Consumo de ração (g)  | Conversão alimentar (g/g) |
|------------------------------------------|---------------------|---------------------------|----------------------|-----------------------|---------------------------|
| Controle (Milho)                         | 0                   | 2975                      | 829,08 $\pm$ 7,26    | 1147,25 $\pm$ 7,66    | 1,384 $\pm$ 0,010         |
| Centeio (20%)                            | 0                   | 2975                      | 730,01 $\pm$ 10,76*  | 1093,17 $\pm$ 21,22   | 1,497 $\pm$ 0,018*        |
|                                          | 0,02%               | 2975                      | 791,45 $\pm$ 5,69    | 1135,49 $\pm$ 24,95   | 1,435 $\pm$ 0,037*        |
|                                          | 0                   | 2875                      | 691,98 $\pm$ 16,90*  | 1074,84 $\pm$ 14,75   | 1,555 $\pm$ 0,035*        |
|                                          | 0,02%               | 2875                      | 727,16 $\pm$ 22,47*  | 1081,21 $\pm$ 41,38   | 1,485 $\pm$ 0,021*        |
|                                          | 0                   | 2975                      | 776,97 $\pm$ 20,63*  | 1146,53 $\pm$ 28,87   | 1,460 $\pm$ 0,011*        |
| Cevada (20%)                             | 0,02%               | 2975                      | 803,83 $\pm$ 5,82    | 1147,73 $\pm$ 17,00   | 1,407 $\pm$ 0,011         |
|                                          | 0                   | 2875                      | 721,95 $\pm$ 5,45*   | 1123,15 $\pm$ 7,21    | 1,523 $\pm$ 0,009*        |
|                                          | 0,02%               | 2875                      | 759,97 $\pm$ 6,95*   | 1144,65 $\pm$ 5,87    | 1,495 $\pm$ 0,012*        |
| <b>Alimento</b>                          |                     |                           |                      |                       |                           |
| Centeio (20%)                            |                     |                           | 735,15 $\pm$ 11,51 b | 1096,18 $\pm$ 13,69 b | 1,493 $\pm$ 0,017 a       |
| Cevada (20%)                             |                     |                           | 765,68 $\pm$ 9,25 a  | 1140,51 $\pm$ 8,19 a  | 1,471 $\pm$ 0,012 b       |
| <b>Complexo enzimático</b>               |                     |                           |                      |                       |                           |
| 0% Complexo enzimático                   |                     |                           | 730,23 $\pm$ 10,24 b | 1109,42 $\pm$ 11,31   | 1,509 $\pm$ 0,013 a       |
| 0,02% Complexo enzimático                |                     |                           | 770,60 $\pm$ 9,48 a  | 1127,27 $\pm$ 13,46   | 1,456 $\pm$ 0,014 b       |
| <b>Energia (kcal EM/kg)</b>              |                     |                           |                      |                       |                           |
| 2975                                     |                     |                           | 775,57 $\pm$ 9,08 a  | 1130,73 $\pm$ 11,94   | 1,450 $\pm$ 0,013 b       |
| 2875                                     |                     |                           | 725,26 $\pm$ 9,07 b  | 1105,96 $\pm$ 12,53   | 1,515 $\pm$ 0,012 a       |
| <b>CV (%)<sup>2</sup></b>                |                     |                           | 5,83                 | 4,44                  | 4,27                      |
| <b>ANOVA</b>                             |                     |                           |                      | <b>p-valor</b>        |                           |
| Alimento                                 |                     |                           | 0,0041               | 0,0116                | 0,0175                    |
| Complexo enzimático                      |                     |                           | 0,0003               | 0,2823                | 0,0025                    |
| Energia (kcal EM/kg)                     |                     |                           | <0,0001              | 0,1401                | 0,0004                    |
| Alimento x Complexo enzimático           |                     |                           | 0,4175               | 0,6923                | 0,4225                    |
| Alimento x Energia                       |                     |                           | 0,9296               | 0,4839                | 0,5026                    |
| Complexo enzimático x Energia            |                     |                           | 0,6980               | 0,8115                | 0,7678                    |
| Alimento x Complexo enzimático x Energia |                     |                           | 0,3404               | 0,3947                | 0,6014                    |

<sup>abc</sup> Médias seguidas de letras minúsculas na mesma coluna diferem entre si pelo Teste t de Student (P<0,05). \* Médias que diferem entre si pelo Teste de Dunnett (P<0,05). <sup>1</sup>Energia Metabolizável (kcal/kg).<sup>2</sup>CV (%): Coeficiente de variação.

Pode-se observar que as aves alimentadas com as dietas contendo centeio e cevada apresentaram menor GP e pior CA alimentar que as aves alimentadas com o tratamento controle, quando comparados os dados mediante teste de Dunnett 5% (Tabela 7). A adição do complexo enzimático as dietas contendo centeio e cevada proporcionou aumento no GP suficiente para que as aves apresentassem GP semelhante as que receberam a dieta controle. Porém, o aumento no GP observado não foi suficiente para que as aves alimentadas com as dietas com redução energética apresentassem GP semelhante as do tratamento controle.

Não houve interação ( $P > 0,05$ ) entre os fatores (alimento x complexo enzimático x energia) e o desempenho das aves aos 42 dias de idade (Tabela 8). As aves que receberam as dietas contendo cevada apresentaram maior GP ( $P = 0,0003$ ) maior CR ( $P < 0,00001$ ) e pior CA ( $P = 0,0380$ ).

O maior ganho de peso apresentado pelas aves que receberam as dietas contendo cevada pode estar relacionado com a menor quantidade de arabinoxilanos e  $\beta$ -glucanos presentes em sua composição em comparação ao centeio, 10,2 % e 14,7 %, respectivamente (Knudsen, 1997; Knudsen, 2014).

A adição do complexo enzimático as dietas proporcionou maior ganho de peso ( $P < 0,0001$ ), maior consumo de ração ( $P = 0,0202$ ) e melhor conversão alimentar ( $P = 0,0002$ ). Esta melhora no desempenho pode ser atribuída à presença das enzimas xilanase e  $\beta$ -glucanase no complexo as quais atuaram reduzindo o peso molecular das moléculas de arabinoxilanos e  $\beta$ -glucanos, amenizando seus efeitos antinutricionais.

A adição do complexo enzimático as dietas com centeio ou cevada proporcionou aumento no GP e melhora na CA alimentar das aves aos 42 dias (Tabela 8), de modo que seus desempenhos foram semelhantes ao observado para as aves alimentadas com o tratamento controle, quando comparadas as médias mediante teste de Dunnett 5%. Todavia este efeito não foi observado com a adição do complexo enzimático as dietas com redução energética, apesar de a adição do complexo ter proporcionado aumento no GP e melhora na CA, esta melhora não foi suficiente para que o desempenho das aves alimentadas com as dietas com redução energética não se assemelhasse ao desempenho das aves do tratamento controle.

**Tabela 8.** Desempenho (média  $\pm$  erro padrão) de frangos de corte na fase de 1 a 42 dias de idade alimentados com dietas contendo centeio ou cevada, com ou sem adição de complexo enzimático e redução no nível energético.

| <b>Tratamento</b>                        | <b>Complexo enzimático</b> | <b>EM<sup>1</sup> (kcal/kg)</b> | <b>Ganho de peso (g)</b> | <b>Consumo de ração (g)</b> | <b>Conversão alimentar (g/g)</b> |
|------------------------------------------|----------------------------|---------------------------------|--------------------------|-----------------------------|----------------------------------|
| Controle (Milho)                         | 0%                         | 3125                            | 2842,24 $\pm$ 49,30      | 4595,46 $\pm$ 68,41         | 1,617 $\pm$ 0,007                |
| Centeio (20%)                            | 0%                         | 3125                            | 2621,54 $\pm$ 11,72*     | 4339,19 $\pm$ 23,42         | 1,655 $\pm$ 0,007*               |
|                                          | 0,02%                      | 3125                            | 2837,12 $\pm$ 11,00      | 4562,78 $\pm$ 38,87         | 1,608 $\pm$ 0,010                |
|                                          | 0%                         | 3025                            | 2559,97 $\pm$ 35,60*     | 4335,64 $\pm$ 67,43         | 1,693 $\pm$ 0,008*               |
|                                          | 0,02%                      | 3025                            | 2727,38 $\pm$ 20,49      | 4435,09 $\pm$ 50,55         | 1,626 $\pm$ 0,013                |
| Cevada (20%)                             | 0%                         | 3125                            | 2686,15 $\pm$ 32,73*     | 4580,76 $\pm$ 44,25         | 1,644 $\pm$ 0,012*               |
|                                          | 0,02%                      | 3125                            | 2829,44 $\pm$ 45,68      | 4601,21 $\pm$ 72,83         | 1,627 $\pm$ 0,016                |
|                                          | 0%                         | 3025                            | 2705,64 $\pm$ 19,19*     | 4575,92 $\pm$ 30,40         | 1,691 $\pm$ 0,012*               |
|                                          | 0,02%                      | 3025                            | 2723,32 $\pm$ 22,15      | 4572,88 $\pm$ 61,97         | 1,679 $\pm$ 0,016                |
| <b>Alimento</b>                          |                            |                                 |                          |                             |                                  |
| Centeio (20%)                            |                            |                                 | 2686,50 $\pm$ 26,25 b    | 4418,17 $\pm$ 30,54 b       | 1,645 $\pm$ 0,008 b              |
| Cevada (20%)                             |                            |                                 | 2767,15 $\pm$ 18,55 a    | 4580,83 $\pm$ 24,12 a       | 1,669 $\pm$ 0,010 a              |
| <b>Complexo enzimático</b>               |                            |                                 |                          |                             |                                  |
| 0% complexo enzimático                   |                            |                                 | 2678,76 $\pm$ 24,33 b    | 4461,96 $\pm$ 32,98 b       | 1,679 $\pm$ 0,007 a              |
| 0,02% complexo enzimático                |                            |                                 | 2779,32 $\pm$ 17,83 a    | 4542,99 $\pm$ 30,16 a       | 1,634 $\pm$ 0,008 b              |
| <b>Energia (kcal EM/kg)</b>              |                            |                                 |                          |                             |                                  |
| 3125                                     |                            |                                 | 2774,22 $\pm$ 23,57 a    | 4522,07 $\pm$ 31,28         | 1,643 $\pm$ 0,009 b              |
| 3025                                     |                            |                                 | 2679,08 $\pm$ 19,65 b    | 4479,88 $\pm$ 34,05         | 1,672 $\pm$ 0,008 a              |
| <b>CV (%)<sup>2</sup></b>                |                            |                                 | 3,98                     | 3,28                        | 2,65                             |
| <b>ANOVA</b>                             |                            |                                 |                          |                             |                                  |
|                                          |                            |                                 | <b>p-valor</b>           |                             |                                  |
| Alimento                                 |                            |                                 | 0,0003                   | <0,0001                     | 0,0380                           |
| Complexo enzimático                      |                            |                                 | <0,0001                  | 0,0202                      | 0,0002                           |
| Energia (kcal EM/kg)                     |                            |                                 | <0,0001                  | 0,2733                      | 0,0070                           |
| Alimento x Complexo enzimático           |                            |                                 | 0,3817                   | 0,0727                      | 0,2480                           |
| Alimento x Energia                       |                            |                                 | 0,6821                   | 0,4682                      | 0,8222                           |
| Complexo enzimático x Energia            |                            |                                 | 0,4703                   | 0,2867                      | 0,6620                           |
| Alimento x Complexo enzimático x Energia |                            |                                 | 0,6160                   | 0,5105                      | 0,1708                           |

<sup>abc</sup> Médias seguidas de letras minúsculas na mesma coluna diferem entre si pelo Teste t de Student (P<0,05). \* Médias que diferem entre si pelo Teste de Dunnett (P<0,05). <sup>1</sup>Energia Metabolizável (kcal/kg). <sup>2</sup>CV (%): Coeficiente de variação.

A presença de elevadas concentrações de arabinosilanos e  $\beta$ -glucanos no centeio e na cevada é apontada como responsáveis por reduzir o desempenho de frangos de corte alimentados com dietas à base destes cereais (Lázaro et al. 2003; García et al. 2008; van Krimpen et al. 2017). Estes PNAs apresentam alta solubilidade e assim, ao serem consumidos pelas aves promovem aumento na viscosidade intestinal (Smits & Annison, 1996; van Krimpen et al. 2017). A presença de um ambiente intestinal viscoso afeta de forma negativa o aproveitamento dos nutrientes dietéticos pelas aves, dificultando a atuação das enzimas digestivas sobre seus respectivos substratos assim como, o processo de absorção pelos enterócitos (Yan et al. 2017).

Além dos prejuízos promovidos pelo aumento na viscosidade intestinal, a presença de arabinosilanos e  $\beta$ -glucanos na parede celular dos grãos de centeio e de cevada diminui a disponibilidade dos nutrientes destes cereais (Silva & Smithard, 2002; Khadem et al. 2016). Isto, pelo fato das aves não apresentarem enzimas digestivas capazes de degradar estes compostos, os mesmos atuam de forma a criar uma barreira física reduzindo o acesso das enzimas digestivas aos nutrientes presentes no interior do endosperma do grão (Classen, 1996; Khadem et al. 2016).

Entretanto, é possível obter melhoras no desempenho de frangos de corte alimentados com dietas contendo grandes quantidades destes PNAs através da adição das enzimas xilanase e  $\beta$ -glucanase em tais dietas, as quais atuam na hidrólise das moléculas de arabinosilanos e  $\beta$ -glucanos, respectivamente (Lázaro et al. 2003; García et al. 2008; Masey O'Neill et al. 2014). Com a hidrólise destes compostos seus efeitos sobre a viscosidade intestinal é reduzido bem como a disponibilidade dos nutrientes presentes no endosperma celular passa a ser maior, melhorando a digestão e absorção dos nutrientes da dieta, possibilitando melhoras no desempenho das aves (Mathlouthi et al. 2002b; García et al. 2008; Yan et al. 2017).

A formulação de dietas para frangos de corte apresenta níveis de EMAn estimados para que sejam supridas suas exigências energéticas tanto para manutenção quanto para deposição proteica. Deste modo, ao reduzir o nível energético das dietas o consumo de energia das aves não foi suficiente para suprir suas exigências de manutenção e deposição proteica, resultando menor GP aos 21 ( $P<0,0001$ ) e 42 dias ( $P<0,0001$ ) e pior CA aos 21 ( $P=0,0004$ ) e 42 dias ( $P=0,0070$ ).

O rendimento (%) de carcaça, peito, coxas, asas e porcentagem de gordura abdominal estão na Tabela 9. Não houve interação ( $P>0,05$ ) entre os fatores (alimento x complexo enzimático x energia) e não houve efeito isolado dos níveis de energia da dieta ( $P>0,05$ ) sobre as características avaliadas.

As aves alimentadas com as dietas contendo cevada apresentaram maior rendimento de carcaça ( $P=0,0376$ ), que pode estar associado ao maior GP apresentado por estas aves. Deste mesmo modo, as aves alimentadas com as dietas contendo o complexo enzimático apresentaram maior GP, maior CR e melhor CA. Esta melhora no desempenho das aves pode ser associada ao maior rendimento de carcaça ( $P=0,0007$ ) e peito ( $P=0,0018$ ) apresentado pelas mesmas.

Não foi observada interação ( $P>0,005$ ) entre os fatores (alimento x complexo enzimático x energia) sobre a viscosidade intestinal das aves aos 21 (Tabela 10) e 42 dias de idade (Tabela 11), assim como não foi observado efeito do valor energético da dieta ( $P>0,05$ ) sobre a viscosidade intestinal. As aves que receberam as dietas contendo centeio apresentaram maior viscosidade intestinal ( $P=0,0029$ ), aos 21 dias, em relação às aves que receberam as dietas contendo cevada, podendo ser relacionada com a maior concentração de arabinoxilanos e  $\beta$ -glucanos no centeio em relação à cevada (Knudsen, 1997, Knudsen, 2014).

A adição do complexo enzimático apresentou efeito sobre a viscosidade intestinal das aves aos 42 dias, assim como observado aos 21 dias de idade, em que as aves alimentadas com as dietas contendo a adição do complexo apresentaram menor viscosidade intestinal ( $P<0,0001$ ), quando comparadas as aves que receberam as dietas sem a adição do complexo.

Este aumento na viscosidade intestinal observado para as aves alimentadas com centeio ou cevada pode ser apontado como responsável pela menor digestibilidade da MS, da FDN, da GB (Tabela 5) e menor GP (Tabela 8) apresentado pelas aves alimentadas com estas dietas quando comparadas com as aves que receberam o tratamento controle (milho). Uma vez que esta alteração no ambiente intestinal compromete a eficiência dos processos de digestão e absorção das aves (Coussins 1999; Yan et al. 2017).

**Tabela 9.** Rendimento (%) de carcaça, cortes e porcentagem (%) de gordura abdominal (média ± erro padrão) de frangos de corte (42 dias) alimentados com dietas contendo centeio ou cevada, com ou sem adição de complexo enzimático e redução no nível energético.

| Tratamento                               | Complexo enzimático | EM <sup>1</sup> (kcal/kg) | Carcaça        | Peito          | Coxas          | Asas         | Gordura       |
|------------------------------------------|---------------------|---------------------------|----------------|----------------|----------------|--------------|---------------|
| Controle (Milho)                         | 0                   | 3125                      | 72,11 ± 0,43   | 42,15 ± 0,35   | 33,40 ± 0,21   | 10,43 ± 0,21 | 2,26 ± 0,10   |
| Centeio (20%)                            | 0                   | 3125                      | 70,34 ± 0,58   | 40,97 ± 0,22   | 32,37 ± 0,55   | 10,19 ± 0,12 | 1,73 ± 0,09   |
|                                          | 0,02%               | 3125                      | 71,68 ± 0,40   | 41,99 ± 0,27   | 33,33 ± 0,61   | 10,26 ± 0,07 | 1,70 ± 0,02   |
|                                          | 0                   | 3025                      | 69,41 ± 0,52*  | 40,14 ± 0,52*  | 32,65 ± 0,14   | 10,25 ± 0,03 | 1,99 ± 0,09   |
|                                          | 0,02%               | 3025                      | 72,12 ± 0,56   | 41,17 ± 0,42   | 32,68 ± 0,17   | 10,35 ± 0,17 | 2,02 ± 0,04   |
| Cevada (20%)                             | 0                   | 3125                      | 70,83 ± 0,41   | 41,14 ± 0,31   | 33,10 ± 0,33   | 10,09 ± 0,11 | 1,48 ± 0,05   |
|                                          | 0,02%               | 3125                      | 72,15 ± 0,26   | 42,07 ± 0,39   | 33,21 ± 0,20   | 10,13 ± 0,10 | 1,51 ± 0,11   |
|                                          | 0                   | 3025                      | 70,43 ± 0,57*  | 40,63 ± 0,63*  | 32,40 ± 0,52   | 10,09 ± 0,12 | 1,93 ± 0,08   |
|                                          | 0,02%               | 3025                      | 71,78 ± 0,40   | 41,74 ± 0,46   | 32,59 ± 0,27   | 10,15 ± 0,06 | 1,97 ± 0,07   |
| <b>Alimento</b>                          |                     |                           |                |                |                |              |               |
| Centeio (20%)                            |                     |                           | 70,84 ± 0,32 b | 41,02 ± 0,24   | 33,06 ± 0,27   | 10,18 ± 0,05 | 1,62 ± 0,04 b |
| Cevada (20%)                             |                     |                           | 71,63 ± 0,24 a | 41,46 ± 0,23   | 32,54 ± 0,20   | 10,18 ± 0,06 | 1,98 ± 0,04 a |
| <b>Complexo enzimático</b>               |                     |                           |                |                |                |              |               |
| 0% complexo enzimático                   |                     |                           | 70,59 ± 0,30 b | 40,71 ± 0,21 b | 32,54 ± 0,25   | 10,15 ± 0,06 | 1,79 ± 0,06   |
| 0,02% complexo enzimático                |                     |                           | 71,89 ± 0,24 a | 41,75 ± 0,20 a | 32,97 ± 0,22   | 10,20 ± 0,05 | 1,77 ± 0,06   |
| <b>Energia (kcal EM/kg)</b>              |                     |                           |                |                |                |              |               |
| 3125                                     |                     |                           | 71,28 ± 0,28   | 41,52 ± 0,18   | 32,86 ± 0,27   | 10,24 ± 0,05 | 1,84 ± 0,05   |
| 3025                                     |                     |                           | 71,20 ± 0,30   | 40,91 ± 0,28   | 32,71 ± 0,21   | 10,11 ± 0,05 | 1,71 ± 0,10   |
| <b>CV<sup>2</sup></b>                    |                     |                           | 2,54           | 2,69           | 3,67           | 2,69         | 13,96         |
| <b>ANOVA</b>                             |                     |                           |                |                | <b>p-valor</b> |              |               |
| Alimento                                 |                     |                           | 0,0376         | 0,2853         | 0,2663         | 0,6197       | <0,0001       |
| Complexo enzimático                      |                     |                           | 0,0007         | 0,0018         | 0,3914         | 0,4348       | 0,7730        |
| Energia (kcal EM/kg)                     |                     |                           | 0,8251         | 0,0786         | 0,8500         | 0,0965       | 0,2098        |
| Alimento x Complexo enzimático           |                     |                           | 0,1009         | 0,9989         | 0,5763         | 0,9129       | 0,7413        |
| Alimento x Energia                       |                     |                           | 0,8747         | 0,5072         | 0,5297         | 0,7265       | 0,1745        |
| Complexo enzimático x Energia            |                     |                           | 0,6922         | 0,8852         | 0,6491         | 0,8173       | 0,7943        |
| Alimento x Complexo enzimático x Energia |                     |                           | 0,1031         | 0,8936         | 0,5021         | 0,9965       | 0,8429        |

<sup>abc</sup> Médias seguidas de letras minúsculas na mesma coluna diferem entre si pelo Teste t de Student (P<0,05). \* Médias que diferem entre si pelo Teste de Dunnett (P<0,05). <sup>1</sup>Energia Metabolizável (kcal/kg). <sup>2</sup>CV (%): Coeficiente de variação.

**Tabela 10.** Viscosidade intestinal (média  $\pm$  erro padrão) de frangos de corte (21 dias) alimentados com dietas contendo centeio ou cevada, com ou sem adição de complexo enzimático e redução no nível energético.

| Tratamento                               | Complexo enzimático | EM <sup>1</sup> (kcal/kg) | Viscosidade intestinal (mPa x s) |
|------------------------------------------|---------------------|---------------------------|----------------------------------|
| Controle (Milho)                         | 0%                  | 2975                      | 3,25 $\pm$ 0,37                  |
| Centeio (20%)                            | 0%                  | 2975                      | 9,80 $\pm$ 0,08*                 |
|                                          | 0,02%               | 2975                      | 4,66 $\pm$ 0,12*                 |
|                                          | 0%                  | 2875                      | 9,45 $\pm$ 0,20*                 |
|                                          | 0,02%               | 2875                      | 4,38 $\pm$ 0,19*                 |
|                                          | 0%                  | 2875                      | 8,94 $\pm$ 0,32*                 |
| Cevada (20%)                             | 0,02%               | 2975                      | 4,20 $\pm$ 0,07*                 |
|                                          | 0%                  | 2975                      | 8,85 $\pm$ 0,31*                 |
|                                          | 0,02%               | 2875                      | 4,28 $\pm$ 0,05*                 |
| <b>Alimento</b>                          |                     |                           |                                  |
| Centeio (20%)                            |                     |                           | 7,07 $\pm$ 0,77 a                |
| Cevada (20%)                             |                     |                           | 6,57 $\pm$ 0,61 b                |
| <b>Complexo enzimático</b>               |                     |                           |                                  |
| 0% Complexo enzimático                   |                     |                           | 9,21 $\pm$ 0,16 a                |
| 0,02% Complexo enzimático                |                     |                           | 4,36 $\pm$ 0,06 b                |
| <b>Energia (kcal EM/kg)</b>              |                     |                           |                                  |
| 2975                                     |                     |                           | 6,85 $\pm$ 0,69                  |
| 2875                                     |                     |                           | 6,71 $\pm$ 0,67                  |
| <b>CV (%)<sup>2</sup></b>                |                     |                           | 26,85                            |
| <b>ANOVA</b>                             |                     |                           | <b>p-valor</b>                   |
| Alimento                                 |                     |                           | 0,0029                           |
| Complexo enzimático                      |                     |                           | <0,0001                          |
| Energia (kcal EM/kg)                     |                     |                           | 0,2863                           |
| Alimento x Complexo enzimático           |                     |                           | 0,1471                           |
| Alimento x Energia                       |                     |                           | 0,3162                           |
| Complexo enzimático x Energia            |                     |                           | 0,6902                           |
| Alimento x Complexo enzimático x Energia |                     |                           | 0,8679                           |

<sup>abc</sup> Médias seguidas de letras minúsculas na mesma coluna diferem entre si pelo Teste t de Student (P<0,05). \* Médias que diferem entre si pelo Teste de Dunnett (P<0,05). <sup>1</sup>Energia Metabolizável (kcal/kg). <sup>2</sup>CV (%): Coeficiente de variação.

Os arabinosilanos e  $\beta$ -glucanos são PNAs que tem como principal característica elevada afinidade para estabelecer ligações com moléculas de água (Smits & Annison 1996; Chesson 2001), e ao atingirem o intestino das aves, estes PNAs interagem com o glicocalix da membrana em escova intestinal e estabelecem ligações com moléculas de água, processo este que resulta no aumento da viscosidade intestinal das aves (Johnson & Gee 1981; Smits & Annison 1996), prejudicando a atuação das enzimas digestivas sobre os nutrientes dietéticos, a absorção dos nutrientes digeridos (Mathlouthi et al. 2002b), e sendo apontada como principal fator limitante ao desempenho de frangos de corte alimentados com dietas contendo maiores quantidades destes PNAs (Choct & Annison, 1992; van Krimpen et al. 2017).

**Tabela 11.** Viscosidade intestinal (média  $\pm$  erro padrão) de frangos de corte (42 dias) alimentados com dietas contendo centeio ou cevada, com ou sem adição de complexo enzimático e redução no nível energético.

| Tratamento                               | Complexo enzimático | EM <sup>1</sup> (kcal/kg) | Viscosidade intestinal (mPa x s) |
|------------------------------------------|---------------------|---------------------------|----------------------------------|
| Controle (Milho)                         | 0%                  | 3125                      | 3,53 $\pm$ 0,14                  |
| Centeio (20%)                            | 0%                  | 3125                      | 8,28 $\pm$ 0,16*                 |
|                                          | 0,02%               | 3125                      | 5,82 $\pm$ 0,19*                 |
|                                          | 0%                  | 3125                      | 8,13 $\pm$ 0,41*                 |
|                                          | 0,02%               | 3125                      | 5,62 $\pm$ 0,19*                 |
|                                          | 0%                  | 3025                      | 7,80 $\pm$ 0,30*                 |
| Cevada (20%)                             | 0,02%               | 3025                      | 5,45 $\pm$ 0,16*                 |
|                                          | 0%                  | 3025                      | 7,77 $\pm$ 0,18*                 |
|                                          | 0,02%               | 3025                      | 5,70 $\pm$ 0,13*                 |
|                                          |                     |                           |                                  |
| <b>Alimento</b>                          |                     |                           |                                  |
| Centeio (20%)                            |                     |                           | 6,96 $\pm$ 0,34                  |
| Cevada (20%)                             |                     |                           | 6,68 $\pm$ 0,30                  |
| <b>Complexo enzimático</b>               |                     |                           |                                  |
| 0% Complexo enzimático                   |                     |                           | 7,99 $\pm$ 0,14 a                |
| 0,02% Complexo enzimático                |                     |                           | 5,65 $\pm$ 0,08 b                |
| <b>Energia (kcal EM/kg)</b>              |                     |                           |                                  |
| 2975                                     |                     |                           | 6,84 $\pm$ 0,33                  |
| 2875                                     |                     |                           | 6,81 $\pm$ 0,31                  |
| <b>CV (%)<sup>2</sup></b>                |                     |                           | 18,66                            |
| <b>ANOVA</b>                             |                     |                           | <b>p-valor</b>                   |
| Alimento                                 |                     |                           | 0,0972                           |
| Complexo enzimático                      |                     |                           | <0,0001                          |
| Energia (kcal EM/kg)                     |                     |                           | 0,8664                           |
| Alimento x Complexo enzimático           |                     |                           | 0,4204                           |
| Alimento x Energia                       |                     |                           | 0,3974                           |
| Complexo enzimático x Energia            |                     |                           | 0,7280                           |
| Alimento x Complexo enzimático x Energia |                     |                           | 0,6021                           |

<sup>abc</sup> Médias seguidas de letras minúsculas na mesma coluna diferem entre si pelo Teste t de Student (P<0,05). \* Médias que diferem entre si pelo Teste de Dunnett (P<0,05). <sup>1</sup>Energia Metabolizável (kcal/kg). <sup>2</sup>CV (%): Coeficiente de variação.

Mesmo quando o centeio e a cevada são incluídos em pequenas proporções nas dietas, suas concentrações de arabinoxilanos e  $\beta$ -glucanos tendem a provocar aumento na viscosidade intestinal das aves (Smits & Annison 1996). Ao passo que com a inclusão de apenas 5% de centeio em dietas à base de milho, Van Krimpen et al. (2017) observaram que a viscosidade intestinal de frangos de corte na fase de 14 a 28 dias apresentou valores duas vezes maiores com a inclusão do centeio na dieta, em relação à viscosidade intestinal das aves que foram alimentadas com dietas à base de milho sem a inclusão do centeio.

Os baixos valores de energia metabolizável apresentados por cereais ricos em PNAs solúveis podem ser atribuídos, em grande parte, a redução da digestibilidade da

gordura dietética, que é drasticamente prejudicada com o aumento da viscosidade intestinal promovida por estes compostos (Smits & Annison 1996; Simon 1998). Uma vez que com aumento da viscosidade prejudica o processo de formação de micelas, a atuação das enzimas digestivas sobre as moléculas de amido, proteína e gordura e o transporte dos nutrientes digeridos até os enterócitos (Smits & Annison 1996; Lázaro et al. 2003; van Krimpen et al. 2017; Yan et al. 2017).

A adição do complexo enzimático as dietas experimentais causou a redução na viscosidade intestinal das aves aos 21 ( $P < 0,0001$ ) e 42 dias ( $P < 0,0001$ ). O aumento na viscosidade intestinal apresentado por aves alimentadas com dietas contendo inclusão de centeio e cevada pode ser evitado através da adição de enzimas exógenas a tais dietas, particularmente as enzimas xilanase e  $\beta$ -glucanase (Masey O'Neill et al. 2014). Ao passo que estas enzimas são adicionadas as dietas, as mesmas atuam na degradação das moléculas de arabinoxilanos e  $\beta$ -glucanos, reduzindo o peso molecular destes compostos e sua capacidade de estabelecer ligações com as moléculas de água e, conseqüentemente, reduzem a viscosidade intestinal criada por tais compostos (Danicke et al. 2000; Mathlouthi et al. 2002b; van Krimpen et al. 2017; Yan et al., 2017). Sendo esta redução na viscosidade associada com a melhora na digestibilidade dos nutrientes dietéticos e no desempenho apresentado por estas aves (Mathlouthi et al. 2002b; Yan et al., 2017).

Não foi observada interação ( $P > 0,005$ ) entre os fatores (alimento x complexo enzimático x energia) e o peso relativo da moela, pró-ventrículo, pâncreas, fígado, comprimento do intestino delgado (Tabela 13), pH da moela e intestino delgado (Tabela 12).

A inclusão de centeio nas dietas resultou em maior peso relativo ( $P = 0,0018$ ) e comprimento ( $P = 0,0203$ ) do intestino delgado, quando comparado com as aves que receberam a cevada. A alteração na viscosidade intestinal das aves promove alterações morfológicas no trato intestinal das aves (Brenes et al. 1993; Masey O'Neill et al. 2014). Assim, a maior viscosidade intestinal observada para as aves que receberam as dietas contendo centeio pode ser responsável pelo maior peso relativo e comprimento do intestino delgado destas aves quando comparadas as aves que receberam as dietas contendo cevada.

**Tabela 12.** pH do intestino delgado e pH da moela de frangos de corte (21 dias) alimentados com dietas contendo centeio ou cevada, com ou sem adição de complexo enzimático e redução no nível energético.

| <b>Tratamento</b>                        | <b>Complexo enzimático</b> | <b>EM<sup>1</sup> (kcal/kg)</b> | <b>pH intestino delgado</b> | <b>pH moela</b> |
|------------------------------------------|----------------------------|---------------------------------|-----------------------------|-----------------|
| Controle (Milho)                         | 0%                         | 2975                            | 6,10 ± 0,12                 | 3,13 ± 0,11     |
| Centeio (20%)                            | 0%                         | 2975                            | 6,16 ± 0,06                 | 3,17 ± 0,12     |
|                                          | 0,02%                      | 2975                            | 6,13 ± 0,11                 | 3,11 ± 0,03     |
|                                          | 0%                         | 2875                            | 6,19 ± 0,10                 | 3,19 ± 0,09     |
|                                          | 0,02%                      | 2875                            | 6,10 ± 0,13                 | 3,09 ± 0,05     |
|                                          | 0%                         | 2875                            | 6,11 ± 0,05                 | 3,13 ± 0,07     |
| Cevada (20%)                             | 0,02%                      | 2975                            | 6,12 ± 0,06                 | 3,07 ± 0,07     |
|                                          | 0%                         | 2975                            | 6,17 ± 0,01                 | 3,14 ± 0,06     |
|                                          | 0,02%                      | 2875                            | 6,10 ± 0,10                 | 3,18 ± 0,02     |
|                                          |                            |                                 |                             |                 |
| <b>Alimento</b>                          |                            |                                 |                             |                 |
| Centeio (20%)                            |                            |                                 | 6,13 ± 0,04                 | 3,14 ± 0,04     |
| Cevada (20%)                             |                            |                                 | 6,14 ± 0,05                 | 3,13 ± 0,02     |
| <b>Complexo enzimático</b>               |                            |                                 |                             |                 |
| 0% Complexo enzimático                   |                            |                                 | 6,16 ± 0,03                 | 3,16 ± 0,04     |
| 0,02% Complexo enzimático                |                            |                                 | 6,11 ± 0,05                 | 3,11 ± 0,02     |
| <b>Energia (kcal EM/kg)</b>              |                            |                                 |                             |                 |
| 2975                                     |                            |                                 | 6,14 ± 0,05                 | 3,12 ± 0,04     |
| 2875                                     |                            |                                 | 6,12 ± 0,03                 | 3,15 ± 0,03     |
| <b>CV (%)<sup>2</sup></b>                |                            |                                 | 3,60                        | 6,92            |
| <b>ANOVA</b>                             |                            |                                 | <b>p-valor</b>              |                 |
| Alimento                                 |                            |                                 | 0,8540                      | 0,8893          |
| Complexo enzimático                      |                            |                                 | 0,5361                      | 0,4750          |
| Energia (kcal EM/kg)                     |                            |                                 | 0,7802                      | 0,5713          |
| Alimento x Complexo enzimático           |                            |                                 | 0,6369                      | 0,5570          |
| Alimento x Energia                       |                            |                                 | 0,8733                      | 0,6155          |
| Complexo enzimático x Energia            |                            |                                 | 0,8689                      | 0,7890          |
| Alimento x Complexo enzimático x Energia |                            |                                 | 0,9282                      | 0,5859          |

<sup>1</sup>Energia Metabolizável (kcal/kg).<sup>2</sup>CV (%): Coeficiente de variação.

Na medida em que a viscosidade intestinal aumenta, o conteúdo da digesta no trato intestinal também aumenta, ocasionando distensão da parede intestinal, aumentando seu peso relativo e seu comprimento (Pettersson & Aman 1988; Jorgensen et al. 1996). Em trabalho realizado com frangos de corte com 21 dias de idade alimentados com dieta à base de centeio, Simon (1998) observou aumento no peso relativo e comprimento do intestino delgado destas aves quando comparadas com aves alimentadas com dietas à base de milho, e uma correlação positiva entre a viscosidade intestinal das aves e o peso relativo do intestino das mesmas, também foi observado.

**Tabela 13.** Peso relativo (%) dos órgãos digestivos e comprimento do intestino delgado (média ± erro padrão) de frangos de corte (21 dias) alimentados com dietas contendo centeio ou cevada, com ou sem adição de complexo enzimático e redução no nível energético.

| Tratamento                               | Complexo enzimático | EM <sup>1</sup> (kcal/kg) | Pró-ventrículo | Pâncreas    | Fígado         | Intestino Delgado | Intestino Delgado (cm) |
|------------------------------------------|---------------------|---------------------------|----------------|-------------|----------------|-------------------|------------------------|
| Controle (Milho)                         | 0%                  | 2975                      | 0,65 ± 0,01    | 0,37 ± 0,01 | 2,72 ± 0,10    | 3,24 ± 0,15       | 155,50 ± 3,20          |
| Centeio (20%)                            | 0%                  | 2975                      | 0,76 ± 0,02    | 0,39 ± 0,01 | 2,88 ± 0,04    | 4,55 ± 0,05       | 176,50 ± 5,42          |
|                                          | 0,02%               | 2975                      | 0,74 ± 0,03    | 0,37 ± 0,01 | 2,83 ± 0,13    | 4,23 ± 0,16       | 163,25 ± 5,12          |
|                                          | 0%                  | 2875                      | 0,77 ± 0,06    | 0,39 ± 0,02 | 2,81 ± 0,05    | 4,47 ± 0,24       | 173,00 ± 9,04          |
|                                          | 0,02%               | 2875                      | 0,68 ± 0,04    | 0,37 ± 0,02 | 2,81 ± 0,08    | 3,76 ± 0,13       | 164,75 ± 3,64          |
| Cevada (20%)                             | 0%                  | 2975                      | 0,77 ± 0,01    | 0,37 ± 0,01 | 2,84 ± 0,12    | 3,98 ± 0,22       | 165,50 ± 3,59          |
|                                          | 0,02%               | 2975                      | 0,76 ± 0,00    | 0,36 ± 0,01 | 2,84 ± 0,06    | 3,62 ± 0,10       | 152,50 ± 3,66          |
|                                          | 0%                  | 2875                      | 0,78 ± 0,01    | 0,38 ± 0,02 | 2,92 ± 0,16    | 3,99 ± 0,13       | 162,75 ± 2,83          |
|                                          | 0,02%               | 2875                      | 0,77 ± 0,01    | 0,36 ± 0,01 | 2,89 ± 0,26    | 3,78 ± 0,11       | 159,75 ± 1,03          |
| <b>Alimento</b>                          |                     |                           |                |             |                |                   |                        |
| Centeio (20%)                            |                     |                           | 0,74 ± 0,02    | 0,38 ± 0,01 | 2,83 ± 0,03    | 4,26 ± 0,10 a     | 169,37 ± 12,37 a       |
| Cevada (20%)                             |                     |                           | 0,77 ± 0,01    | 0,37 ± 0,00 | 2,87 ± 0,07    | 3,85 ± 0,08 b     | 160,12 ± 7,31 b        |
| <b>Complexo enzimático</b>               |                     |                           |                |             |                |                   |                        |
| 0% Complexo enzimático                   |                     |                           | 0,77 ± 0,01    | 0,38 ± 0,01 | 2,86 ± 0,04    | 4,25 ± 0,10 a     | 169,43 ± 11,76 a       |
| 0,02% Complexo enzimático                |                     |                           | 0,74 ± 0,02    | 0,36 ± 0,01 | 2,84 ± 0,06    | 3,86 ± 0,08 b     | 160,06 ± 8,18 b        |
| <b>Energia (kcal EM/kg)</b>              |                     |                           |                |             |                |                   |                        |
| 2975                                     |                     |                           | 0,76 ± 0,01    | 0,37 ± 0,00 | 2,86 ± 0,04    | 4,10 ± 0,11       | 164,44 ± 2,99          |
| 2875                                     |                     |                           | 0,75 ± 0,02    | 0,38 ± 0,01 | 2,85 ± 0,07    | 4,01 ± 0,10       | 165,06 ± 2,61          |
| <b>CV (%)<sup>2</sup></b>                |                     |                           | 9,11           | 9,05        | 8,07           | 10,53             | 6,71                   |
| <b>ANOVA</b>                             |                     |                           |                |             | <b>p-valor</b> |                   |                        |
| Alimento                                 |                     |                           | 0,2105         | 0,2670      | 0,6642         | 0,0018            | 0,0121                 |
| Complexo enzimático                      |                     |                           | 0,1964         | 0,1845      | 0,8182         | 0,0021            | 0,0112                 |
| Energia (kcal EM/kg)                     |                     |                           | 0,9462         | 0,5170      | 0,8920         | 0,4104            | 0,8561                 |
| Alimento x Complexo enzimático           |                     |                           | 0,3212         | 0,5868      | 0,9294         | 0,3358            | 0,6903                 |
| Alimento x Energia                       |                     |                           | 0,4920         | 0,9188      | 0,5583         | 0,1304            | 0,6380                 |
| Complexo enzimático x Energia            |                     |                           | 0,5182         | 0,8303      | 0,9514         | 0,6052            | 0,2823                 |
| Alimento x Complexo enzimático x Energia |                     |                           | 0,4542         | 0,9356      | 0,8441         | 0,2637            | 0,7171                 |

<sup>abc</sup>Médias seguidas de letras minúsculas na mesma coluna diferem entre si pelo Teste t de Student (P<0,05). <sup>1</sup>Energia Metabolizável (kcal/kg). <sup>2</sup>CV (%): Coeficiente de variação.

Apesar de serem observados aumentos no peso relativo e comprimento do intestino delgado de frangos de corte alimentados com dietas à base de centeio e cevada (Simon 1998; Brenes et al. 1993; Lázaro et al. 2004), esta hipertrofia do órgão pode não resultar em benefícios na capacidade produtiva das aves, uma vez que estas alterações morfológicas resultam em alterações também no metabolismo energético intestinal das aves (Jorgensen et al. 1996; Simon 2000). Haja vista que o aumento no peso relativo e comprimento do intestino das aves provocam aumento no gasto energético pela maior demanda de síntese proteica para manutenção intestinal (Jorgensen et al. 1996; Simon 2000).

Com a adição do complexo enzimático pode-se observar que houve a redução no peso relativo ( $P=0,0021$ ) e no comprimento do intestino delgado das aves ( $P=0,0288$ ), quando comparados com as aves que receberam as dietas sem a adição do complexo enzimático, podendo esta redução no peso relativo e comprimento do intestino delgado estar relacionada com a redução na viscosidade intestinal das aves (Simon 1998; Brenes et al. 1993; Lázaro et al. 2004).

Não foi observada interação ( $P>0,005$ ) entre os fatores (alimento x complexo enzimático x energia) e a morfometria do duodeno das aves (Tabela 14), assim como não foi observado efeito isolado dos alimentos ( $P>0,05$ ). As aves que receberam as dietas contendo a adição do complexo apresentaram maior altura de vilo ( $P=0,0002$ ) e menor profundidade de cripta ( $P<0,0001$ ) do duodeno, resultando em maior relação vilo:cripta ( $P<0,0001$ ). Com a redução no valor energético das dietas, as aves apresentaram menor altura de vilo ( $P<0,0001$ ) e menor relação vilo:cripta ( $P<0,0001$ ) do duodeno das aves.

Pode-se observar maior altura de vilo ( $P=0,0022$ ) e maior relação vilo:cripta ( $P=0,0003$ ) do jejuno das aves que receberam as dietas contendo cevada, em relação as aves que receberam as dietas contendo centeio (Tabela 15). A adição do complexo enzimático nas dietas proporcionou maior altura de vilo ( $P<0,0001$ ), menor profundidade de cripta ( $P=0,0033$ ) e maior relação vilo:cripta ( $P<0,0001$ ) do jejuno das aves, quando comparadas as aves que receberam as dietas sem a adição do complexo. As aves que receberam as dietas com redução no valor energético apresentaram menor altura de vilo ( $P<0,0001$ ), e menor relação vilo:cripta ( $P=0,0001$ ) do jejuno, quando comparadas com as aves que receberam as dietas sem redução no valor energético.

**Tabela 14.** Altura de vilo, profundidade de cripta e relação vilo:cripta (média  $\pm$  erro padrão) do duodeno de frangos de corte (21 dias) alimentados com dietas contendo centeio ou cevada, com ou sem adição de complexo enzimático e redução no nível energético.

| Tratamento                               | Complexo enzimático | EM <sup>1</sup> (kcal/kg) | Altura de vilo ( $\mu$ m) | Profundidade de cripta ( $\mu$ m) | Vilo:Cripta       |
|------------------------------------------|---------------------|---------------------------|---------------------------|-----------------------------------|-------------------|
| Controle (Milho)                         | 0%                  | 2975                      | 1346,41 $\pm$ 13,69       | 183,52 $\pm$ 1,42                 | 7,37 $\pm$ 0,09   |
| Centeio (20%)                            | 0%                  | 2975                      | 1317,93 $\pm$ 14,25       | 191,61 $\pm$ 0,96                 | 6,89 $\pm$ 0,08   |
|                                          | 0,02%               | 2975                      | 1332,96 $\pm$ 14,48       | 183,36 $\pm$ 0,98                 | 7,28 $\pm$ 0,09   |
|                                          | 0%                  | 2875                      | 1228,31 $\pm$ 9,42        | 191,27 $\pm$ 0,77                 | 6,43 $\pm$ 0,05   |
|                                          | 0,02%               | 2875                      | 1253,36 $\pm$ 9,57        | 189,33 $\pm$ 2,04                 | 6,68 $\pm$ 0,09   |
| Cevada (20%)                             | 0%                  | 2975                      | 1276,61 $\pm$ 11,31       | 192,41 $\pm$ 1,75                 | 6,69 $\pm$ 0,09   |
|                                          | 0,02%               | 2975                      | 1320,38 $\pm$ 5,70        | 186,38 $\pm$ 1,23                 | 7,22 $\pm$ 0,06   |
|                                          | 0%                  | 2875                      | 1235,39 $\pm$ 7,73        | 190,36 $\pm$ 1,50                 | 6,52 $\pm$ 0,06   |
|                                          | 0,02%               | 2875                      | 1264,42 $\pm$ 9,82        | 188,59 $\pm$ 1,39                 | 6,78 $\pm$ 0,09   |
| <b>Alimento</b>                          |                     |                           |                           |                                   |                   |
| Centeio (20%)                            |                     |                           | 1279,28 $\pm$ 6,50        | 188,75 $\pm$ 0,63                 | 6,81 $\pm$ 0,05   |
| Cevada (20%)                             |                     |                           | 1277,22 $\pm$ 4,56        | 189,29 $\pm$ 0,75                 | 6,79 $\pm$ 0,04   |
| <b>Complexo enzimático</b>               |                     |                           |                           |                                   |                   |
| 0% Complexo enzimático                   |                     |                           | 1257,95 $\pm$ 5,43 b      | 191,36 $\pm$ 0,67 a               | 6,60 $\pm$ 0,03 b |
| 0,02% Complexo enzimático                |                     |                           | 1299,23 $\pm$ 5,36 a      | 186,62 $\pm$ 0,71 b               | 7,01 $\pm$ 0,04 a |
| <b>Energia (kcal EM/kg)</b>              |                     |                           |                           |                                   |                   |
| 2975                                     |                     |                           | 1312,26 $\pm$ 5,63 a      | 188,03 $\pm$ 0,68                 | 7,02 $\pm$ 0,05 a |
| 2875                                     |                     |                           | 1242,37 $\pm$ 4,63 b      | 190,09 $\pm$ 0,72                 | 6,58 $\pm$ 0,03 b |
| <b>CV (%)<sup>2</sup></b>                |                     |                           | 8,01                      | 6,84                              | 11,26             |
| <b>ANOVA</b>                             |                     |                           |                           | <b>p-valor</b>                    |                   |
| Alimento                                 |                     |                           | 0,2278                    | 0,5871                            | 0,4728            |
| Complexo enzimático                      |                     |                           | 0,0002                    | <0,0001                           | <0,0001           |
| Energia (kcal EM/kg)                     |                     |                           | <0,0001                   | 0,1472                            | <0,0001           |
| Alimento x Complexo enzimático           |                     |                           | 0,2697                    | 0,5509                            | 0,8438            |
| Alimento x Energia                       |                     |                           | 0,1530                    | 0,1704                            | 0,1060            |
| Complexo enzimático x Energia            |                     |                           | 0,8736                    | 0,4800                            | 0,1511            |
| Alimento x Complexo enzimático x Energia |                     |                           | 0,4039                    | 0,6072                            | 0,9248            |

<sup>abc</sup> Médias seguidas de letras minúsculas na mesma coluna diferem entre si pelo Teste t de Student (P<0,05). <sup>1</sup>Energia Metabolizável (kcal/kg). <sup>2</sup>CV (%): Coeficiente de variação.

**Tabela 15.** Altura de vilo, profundidade de cripta e relação vilo:cripta (média ± erro padrão) do jejuno de frangos de corte (21 dias) alimentados com dietas contendo centeio ou cevada, com ou sem adição de complexo enzimático e redução no nível energético.

| Tratamento                               | Complexo enzimático | EM <sup>1</sup> (kcal/kg) | Altura de vilo (µm) | Profundidade de cripta (µm) | Vilo:Cripta   |
|------------------------------------------|---------------------|---------------------------|---------------------|-----------------------------|---------------|
| Controle (Milho)                         | 0%                  | 2975                      | 676,81 ± 4,61       | 122,58 ± 0,71               | 5,53 ± 0,04   |
|                                          | 0%                  | 2975                      | 616,30 ± 5,28       | 125,95 ± 0,81               | 4,91 ± 0,05   |
| Centeio (20%)                            | 0,02%               | 2975                      | 656,32 ± 5,29       | 123,33 ± 0,95               | 5,34 ± 0,05   |
|                                          | 0%                  | 2975                      | 595,40 ± 4,21       | 125,80 ± 0,65               | 4,75 ± 0,04   |
|                                          | 0,02%               | 2875                      | 635,19 ± 5,04       | 125,49 ± 0,80               | 5,08 ± 0,05   |
|                                          | 0%                  | 2875                      | 633,85 ± 6,65       | 126,43 ± 0,98               | 5,03 ± 0,06   |
| Cevada (20%)                             | 0,02%               | 2975                      | 664,57 ± 9,07       | 122,86 ± 0,99               | 5,42 ± 0,08   |
|                                          | 0%                  | 2975                      | 610,12 ± 5,90       | 123,67 ± 0,83               | 4,94 ± 0,05   |
|                                          | 0,02%               | 2875                      | 649,01 ± 6,67       | 123,11 ± 0,68               | 5,29 ± 0,07   |
|                                          | 0%                  | 2875                      | 633,85 ± 6,65       | 126,43 ± 0,98               | 5,03 ± 0,06   |
| <b>Alimento</b>                          |                     |                           |                     |                             |               |
| Centeio (20%)                            |                     |                           | 624,85 ± 2,71 b     | 125,19 ± 0,40               | 5,01 ± 0,03 b |
| Cevada (20%)                             |                     |                           | 641,40 ± 3,96 a     | 123,95 ± 0,45               | 5,19 ± 0,04 a |
| <b>Complexo enzimático</b>               |                     |                           |                     |                             |               |
| 0% Complexo enzimático                   |                     |                           | 612,40 ± 2,79 b     | 125,58 ± 0,41 a             | 4,89 ± 0,03 b |
| 0,02% Complexo enzimático                |                     |                           | 650,13 ± 3,39 a     | 123,79 ± 0,42 b             | 5,27 ± 0,03 a |
| <b>Energia (kcal EM/kg)</b>              |                     |                           |                     |                             |               |
| 2975                                     |                     |                           | 642,15 ± 3,59 a     | 124,63 ± 0,47               | 5,17 ± 0,03 a |
| 2875                                     |                     |                           | 623,04 ± 2,95 b     | 124,65 ± 0,38               | 5,02 ± 0,02 b |
| <b>CV (%)<sup>2</sup></b>                |                     |                           | 9,75                | 6,54                        | 11,30         |
| <b>ANOVA</b>                             |                     |                           |                     | <b>p-valor</b>              |               |
| Alimento                                 |                     |                           | 0,0022              | 0,0601                      | 0,0003        |
| Complexo enzimático                      |                     |                           | <0,0001             | 0,0033                      | <0,0001       |
| Energia (kcal EM/kg)                     |                     |                           | <0,0001             | 0,8341                      | 0,0001        |
| Alimento x Complexo enzimático           |                     |                           | 0,5632              | 0,6143                      | 0,8551        |
| Alimento x Energia                       |                     |                           | 0,8771              | 0,5970                      | 0,2247        |
| Complexo enzimático x Energia            |                     |                           | 0,6535              | 0,6260                      | 0,3924        |
| Alimento x Complexo enzimático x Energia |                     |                           | 0,6350              | 0,7700                      | 0,7489        |

<sup>abc</sup> Médias seguidas de letras minúsculas na mesma coluna diferem entre si pelo Teste t de Student (P<0,05). <sup>1</sup>Energia Metabolizável (kcal/kg). <sup>2</sup>CV (%): Coeficiente de variação.

Alterações na morfometria intestinal de frangos de corte podem ser observadas como consequência de alterações físico-químicas no ambiente intestinal, assim como podem ser relacionadas com a absorção dos nutrientes dietéticos (Yamauchi 2002). O fornecimento de dietas contendo centeio ou cevada tende a exercer efeitos negativos na morfometria intestinal dos mesmos, uma vez que estes cereais promovem alteração na viscosidade intestinal destas aves, bem como por serem associados as reduções na capacidade de absorção das aves (Choct et al. 1996; Montagne et al. 2003).

Na medida em que a viscosidade intestinal das aves aumenta, suas vilosidades tendem a apresentar maior taxa de extrusão celular, de modo a provocar atrofia das vilosidades (Montagne et al. 2003). Efeito este que pode ser observado quando fornecida dieta à base de trigo e centeio para frangos de corte, em que as aves que receberam as dietas à base de trigo e centeio apresentaram maior quantidade de células mortas no ápice de suas vilosidades, em relação a aves alimentadas com dieta à base de milho (Teirlynck et al. 2009).

Como tentativa de se evitar esta redução na altura das vilosidades intestinais, as células das criptas intestinais se tornam mais ativas, na tentativa de se estabilizar os processos de *turnover* celular, de modo que esta maior atividade celular acaba por promover aumento na profundidade das criptas intestinais (Montagne et al. 2003).

Tanto a atrofia das vilosidades quanto o aumento na profundidade da cripta resultam em menor aproveitamento dos nutrientes dietéticos pelas aves e assim, prejudicam seu desempenho. Uma vez que as aves apresentem vilosidades intestinais mais curtas, sua área de digestão e absorção também é reduzida, bem como o aumento na atividade celular das criptas intestinais necessitará de maior demanda energética para manter o *turnover* celular, aumentando assim a necessidade de energia para a manutenção do epitélio intestinal (Parsaie et al. 2007; Luo et al. 2009).

A melhora observada na relação vilo:cripta do duodeno e do jejuno das aves que receberam as dietas com adição do complexo enzimático pode ser atribuída à atuação enzimática na degradação das moléculas de arabinosilanos e  $\beta$ -glucanos. A atividade das enzimas exógenas xilanase e  $\beta$ -glucanase aumentam a digestibilidade dos nutrientes dietéticos, beneficiando o desenvolvimento morfológico intestinal (Mathlouthi et al. 2002a; Kalmendal & Tauson 2012; Taheri et al. 2016).

É importante enfatizar a interação existente entre arabinosilanos e  $\beta$ -glucanos e a população microbiana intestinal das aves, em que o consumo de dietas contendo maiores concentrações destes PNAs aumenta a viscosidade intestinal e favorece a

proliferação de bactérias intestinais prejudiciais à saúde intestinal das aves (Choct et al. 1996). Porém, com a redução na viscosidade intestinal obtida pela ação das enzimas xilanase e  $\beta$ -glucanase, a disponibilidade de substratos para fermentação bacteriana e a adesão bacteriana na parede intestinal passam a ser menores, reduzindo assim os efeitos bacterianos prejudiciais à morfometria intestinal das aves (Simon 2000; Taheri et al. 2016).

Não foi observada interação ( $P>0,005$ ) entre os fatores (alimento x complexo enzimático x energia) sobre a concentração sanguínea de glicose, ácido úrico, colesterol total e triglicerídeos das aves aos 21 (Tabela 16) e 42 dias (Tabela 17). A inclusão de centeio ou cevada nas dietas não exerceu efeito ( $P>0,05$ ) sobre as concentrações sanguíneas de glicose, ácido úrico e triglicerídeo das aves. Enquanto a inclusão de centeio as dietas resultou em menor concentração sanguínea de colesterol total ( $P=0,0469$ ) aos 21 dias, quando comparada a inclusão de cevada.

A adição do complexo enzimático resultou em maior concentração sanguínea de glicose ( $P=0,0009$ ), colesterol total ( $P=0,0137$ ), triglicerídeo ( $P=0,060$ ) e menor concentração de ácido úrico ( $P=0,0429$ ) aos 21 dias, quando comparadas as aves que receberam as dietas sem a adição do complexo enzimático. Pode-se observar que os resultados observados com a adição do complexo enzimático aos 21 dias se mantiveram semelhantes aos 42 dias. Os níveis plasmáticos de glicose ( $P=0,0082$ ), colesterol total ( $P=0,0047$ ) e triglicerídeos ( $P=0,0012$ ) foram maiores com a adição do complexo enzimático as dietas, enquanto os níveis plasmáticos de ácido úrico ( $P=0,0282$ ) foram reduzidos com a adição do complexo, aos 42 dias de idade.

Ao se adicionar o complexo enzimático nas dietas experimentais pode-se observar aumento na concentração sanguínea de glicose ( $P=0,0009$ ), que pode ser resultante do rompimento da barreira de arabinosilanos e  $\beta$ -glucanos presentes endosperma dos grãos de centeio e da cevada, proporcionando maior disponibilidade, maior digestão e absorção do amido dietético, que sem a adição do complexo enzimático permaneceria indisponível as aves (Classen, 1996; Khadem et al. 2016).

**Tabela 16.** Perfil bioquímico (média ± erro padrão) de frangos de corte (21 dias) alimentados com dietas contendo centeio ou cevada, com ou sem adição de complexo enzimático e redução no nível energético.

| Tratamento                               | Complexo enzimático | EM <sup>1</sup> (kcal/kg) | Glicose (mg/dL) | Ácido úrico (mg/dL) | Colesterol total (mg/dL) | Triglicerídeos (mg/dL) |
|------------------------------------------|---------------------|---------------------------|-----------------|---------------------|--------------------------|------------------------|
| Controle (Milho)                         | 0%                  | 2975                      | 205,18 ± 3,43   | 7,98 ± 0,15         | 132,88 ± 3,48            | 133,42 ± 6,49          |
| Centeio (20%)                            | 0%                  | 2975                      | 186,57 ± 4,12   | 8,72 ± 0,23         | 116,25 ± 3,59            | 115,69 ± 5,99          |
|                                          | 0,02%               | 2975                      | 203,54 ± 9,40   | 8,06 ± 0,35         | 123,26 ± 1,42            | 130,84 ± 4,08          |
|                                          | 0%                  | 2975                      | 184,42 ± 6,24   | 8,97 ± 0,74         | 115,40 ± 3,93            | 112,16 ± 3,59          |
|                                          | 0,02%               | 2975                      | 204,36 ± 8,19   | 8,34 ± 0,50         | 121,37 ± 1,51            | 122,12 ± 6,85          |
| Cevada (20%)                             | 0%                  | 2875                      | 184,42 ± 6,24   | 8,97 ± 0,74         | 115,40 ± 3,93            | 112,16 ± 3,59          |
|                                          | 0,02%               | 2875                      | 204,36 ± 8,19   | 8,34 ± 0,50         | 121,37 ± 1,51            | 122,12 ± 6,85          |
|                                          | 0%                  | 2875                      | 181,45 ± 2,50   | 8,57 ± 0,17         | 121,68 ± 5,21            | 115,74 ± 4,56          |
|                                          | 0,02%               | 2875                      | 197,75 ± 5,37   | 7,97 ± 0,51         | 127,75 ± 2,67            | 126,12 ± 3,53          |
| <b>Alimento</b>                          |                     |                           |                 |                     |                          |                        |
| Centeio (20%)                            |                     |                           | 194,98 ± 3,95   | 8,54 ± 0,25         | 118,86 ± 1,61 b          | 119,70 ± 2,79          |
| Cevada (20%)                             |                     |                           | 191,12 ± 3,40   | 8,19 ± 0,19         | 123,77 ± 2,23 a          | 121,07 ± 2,55          |
| <b>Complexo enzimático</b>               |                     |                           |                 |                     |                          |                        |
| 0% Complexo enzimático                   |                     |                           | 184,01 ± 2,90 b | 8,72 ± 0,21 a       | 118,40 ± 2,11 b          | 115,46 ± 2,59 b        |
| 0,02% Complexo enzimático                |                     |                           | 201,49 ± 3,63 a | 8,04 ± 0,21 b       | 125,23 ± 1,15 a          | 126,10 ± 2,59 a        |
| <b>Energia (kcal EM/kg)</b>              |                     |                           |                 |                     |                          |                        |
| 2975                                     |                     |                           | 193,43 ± 3,97   | 8,30 ± 0,15         | 121,53 ± 1,88            | 122,01 ± 2,95          |
| 2875                                     |                     |                           | 192,70 ± 3,45   | 8,44 ± 0,26         | 120,95 ± 2,15            | 118,96 ± 2,36          |
| <b>CV (%)<sup>2</sup></b>                |                     |                           | 8,24            | 12,08               | 10,24                    | 12,23                  |
| <b>ANOVA</b>                             |                     |                           |                 |                     |                          |                        |
| Alimento                                 |                     |                           | 0,4333          | 0,3427              | 0,0469                   | 0,7867                 |
| Complexo enzimático                      |                     |                           | 0,0009          | 0,0429              | 0,0137                   | 0,0060                 |
| Energia (kcal EM/kg)                     |                     |                           | 0,7570          | 0,5619              | 0,7974                   | 0,3681                 |
| Alimento x Complexo enzimático           |                     |                           | 0,8499          | 0,9447              | 0,8157                   | 0,5783                 |
| Alimento x Energia                       |                     |                           | 0,8597          | 0,8102              | 0,8122                   | 0,4496                 |
| Complexo enzimático x Energia            |                     |                           | 0,9034          | 0,8622              | 0,6861                   | 0,9274                 |
| Alimento x Complexo enzimático x Energia |                     |                           | 0,8604          | 0,9014              | 0,8285                   | 0,5397                 |

<sup>abc</sup>Médias seguidas de letras minúsculas na mesma coluna diferem entre si pelo Teste t de Student (P<0,05). <sup>1</sup>Energia Metabolizável (kcal/kg). <sup>2</sup>CV (%): Coeficiente de variação.

**Tabela 17.** Perfil bioquímico sérico (média ± erro padrão) de frangos de corte (42 dias) alimentados com dietas contendo centeio ou cevada, com ou sem adição de complexo enzimático e redução no nível energético.

| Tratamento                               | Complexo enzimático | EM <sup>1</sup> (kcal/kg) | Glicose (mg/dL) | Ácido úrico (mg/dL) | Colesterol total (mg/dL) | Triglicerídeos (mg/dL) |
|------------------------------------------|---------------------|---------------------------|-----------------|---------------------|--------------------------|------------------------|
| Controle (Milho)                         | 0%                  | 3125                      | 254,60 ± 5,53   | 5,56 ± 0,06         | 125,91 ± 1,81 a          | 106,91 ± 5,19          |
| Centeio (20%)                            | 0%                  | 3125                      | 229,61 ± 7,54   | 6,32 ± 0,20         | 119,30 ± 2,27 b          | 86,15 ± 1,74           |
|                                          | 0,02%               | 3125                      | 252,66 ± 8,00   | 5,46 ± 0,36         | 124,22 ± 3,93 a          | 99,22 ± 2,29           |
|                                          | 0%                  | 3025                      | 224,73 ± 6,47   | 6,68 ± 0,43         | 110,70 ± 1,97 b          | 84,81 ± 6,03           |
|                                          | 0,02%               | 3025                      | 247,10 ± 5,74   | 6,21 ± 0,13         | 121,76 ± 2,61 b          | 93,41 ± 2,57           |
| Cevada (20%)                             | 0%                  | 3125                      | 235,08 ± 7,86   | 5,97 ± 0,43         | 118,71 ± 2,71 b          | 90,13 ± 7,95           |
|                                          | 0,02%               | 3125                      | 255,06 ± 9,85   | 5,67 ± 0,13         | 123,00 ± 3,41 a          | 101,43 ± 2,29          |
|                                          | 0%                  | 3025                      | 244,56 ± 7,63   | 6,25 ± 0,16         | 120,98 ± 2,14 b          | 89,67 ± 3,44           |
|                                          | 0,02%               | 3025                      | 262,89 ± 9,71   | 5,95 ± 0,53         | 125,18 ± 2,87 a          | 96,83 ± 3,33           |
| <b>Alimento</b>                          |                     |                           |                 |                     |                          |                        |
| Centeio (20%)                            |                     |                           | 239,52 ± 4,68   | 6,19 ± 0,16         | 118,85 ± 1,76            | 91,44 ± 2,01           |
| Cevada (20%)                             |                     |                           | 250,33 ± 6,01   | 5,96 ± 0,14         | 121,82 ± 1,42            | 94,29 ± 2,25           |
| <b>Complexo enzimático</b>               |                     |                           |                 |                     |                          |                        |
| 0% complexo enzimático                   |                     |                           | 233,05 ± 4,28 b | 6,29 ± 0,13 a       | 117,24 ± 1,39 b          | 87,94 ± 2,51 b         |
| 0,02% complexo enzimático                |                     |                           | 254,92 ± 6,15 a | 5,85 ± 0,17 b       | 123,64 ± 1,55 a          | 97,55 ± 1,43 a         |
| <b>Energia (kcal EM/kg)</b>              |                     |                           |                 |                     |                          |                        |
| 3125                                     |                     |                           | 243,54 ± 5,43   | 5,85 ± 0,12         | 121,21 ± 1,56            | 94,70 ± 2,39           |
| 3025                                     |                     |                           | 246,92 ± 5,61   | 6,27 ± 0,17         | 119,50 ± 1,67            | 91,60 ± 1,97           |
| <b>CV (%)<sup>2</sup></b>                |                     |                           | 12,05           | 12,13               | 12,05                    | 13,03                  |
| <b>ANOVA</b>                             |                     |                           |                 |                     |                          |                        |
| Alimento                                 |                     |                           | 0,1589          | 0,3407              | 0,1522                   | 0,2225                 |
| Complexo enzimático                      |                     |                           | 0,0082          | 0,0282              | 0,0047                   | 0,0012                 |
| Energia (kcal EM/kg)                     |                     |                           | 0,8225          | 0,0541              | 0,4221                   | 0,3013                 |
| Alimento x Complexo enzimático           |                     |                           | 0,8160          | 0,3897              | 0,3636                   | 0,7854                 |
| Alimento x Energia                       |                     |                           | 0,3659          | 0,5202              | 0,0646                   | 0,8602                 |
| Complexo enzimático x Energia            |                     |                           | 0,9393          | 0,6575              | 0,4612                   | 0,4663                 |
| Alimento x Complexo enzimático x Energia |                     |                           | 0,9748          | 0,6523              | 0,4492                   | 0,9787                 |

<sup>abc</sup> Médias seguidas de letras minúsculas na mesma coluna diferem entre si pelo Teste t de Student (P<0,05). <sup>1</sup>Energia Metabolizável (kcal/kg). <sup>2</sup>CV (%): Coeficiente de variação.

A menor concentração sanguínea de ácido úrico ( $P=0,0429$ ) observada com a adição do complexo enzimático confirma os benefícios da atuação enzimática sobre o aproveitamento dos nutrientes dietéticos, uma vez que a concentração sanguínea de ácido úrico e a eficiência do metabolismo proteico apresentam relação negativa. Isto mostra que a menor concentração sanguínea de ácido úrico pode ser relacionada a maior deposição proteica, pelo fato deste composto corresponder ao produto final do catabolismo proteico nas aves (Buyse et al. 2002; Swennen et al. 2005; Gao et al. 2008).

A alteração na viscosidade do quimo intestinal provocada pelas moléculas de arabinosilanos e  $\beta$ -glucanos é apontada como grande responsável pela redução na absorção da fração lipídica da dieta pelas aves, resultando em reduções nos níveis sanguíneos de triglicerídeos e colesterol (Newman et al. 1991; Wang et al. 1992; Zarghi et al. 2010). Reduções estas que são apontadas como reflexo da menor formação de micelas necessárias no processo de absorção da gordura dietética na presença de uma elevada viscosidade intestinal (Smits & Annison 1996).

O aumento nas concentrações sanguíneas de triglicerídeos ( $P=0,060$ ) e colesterol total ( $P=0,0137$ ) observados com a adição do complexo enzimático pode ser apontado como reflexo de melhorias nos processos de digestão e absorção da fração lipídica da dieta. As moléculas de arabinosilanos e  $\beta$ -glucanos são hidrolisadas mediante ação enzimática, a viscosidade intestinal é reduzida, juntamente com seus efeitos prejudiciais a formação de micelas e atividade dos ácidos biliares. Proporcionando assim maior absorção da fração lipídica da dieta (Bedford et al. 1991; Khadem et al. 2016).

### **Conclusão**

A adição do complexo enzimático nas dietas contendo inclusão de centeio ou cevada reduziu a viscosidade intestinal das aves e melhorou a área de absorção intestinal com melhor relação vilo:cripta, aumentando as concentrações sanguíneas de glicose, colesterol total e triglicerídeos, melhorando a digestibilidade das rações, o desempenho das aves nas fases de 1 a 21 e 1 a 42 dias e o rendimento de carcaça e de peito. Os efeitos da redução energética das dietas sobre o rendimento de carcaça e de peito pode ser superado com a adição do complexo enzimático. A melhora no desempenho produtivo com a adição do complexo não foi suficiente para superar a queda observada como resultado da redução energética das dietas nas fases de 1 a 21 e 1 a 42 dias.

## Referências

- Almirall, M. & Esteve-Garcia, E. 1994. Rate of passage of barley diets with chromium oxide: Influence of age and poultry strain and effect of  $\beta$ -glucanase supplementation. *Poult. Sci.* 73, 1433-1440.
- Almirall, M., Francesch, M., Perez-Vendrell, A. M., Brufau, J. & Esteve-Garcia, E. 1995. The differences in intestinal viscosity produced by barley and beta-glucanase alter digesta enzyme activities and ileal nutrient digestibilities more in broiler chicks than in cocks. *The J. Nutr.* 125, 947-955.
- AOAC. 2005. - Association Official Analytical Chemist (2005), Official Methods of Analysis (18th ed.) edn. AOAC, Gaithersburg, Maryland, USA.
- Bedford, M., Classen, H. and Campbell, G. 1991. The effect of pelleting, salt, & pentosanase on the viscosity of intestinal contents and the performance of broilers fed rye. *Poult. Sci.* 70, 1571-1577.
- Bedford, M. & Cowieson, A. 2012. Exogenous enzymes and their effects on intestinal microbiology. *Anim. Feed Sci. and Technol.* 173, 76-85.
- Brenes, A., Smith, M., Guenter, W. & Marquardt, R. 1993. Effect of enzyme supplementation on the performance and digestive tract size of broiler chickens fed wheat-and barley-based diets. *Poult. Sci.* 72, 1731-1739.
- Buyse, J., Janssens, K., Van der Geyten, S., Van As, P., Decuypere, E. & Darras, V. M. 2002. Pre-and postprandial changes in plasma hormone and metabolite levels and hepatic deiodinase activities in meal-fed broiler chickens. *Brit. J. Nutr.* 88, 641-653.
- Chesson, A. 2001. Non-starch polysaccharide degrading enzymes in poultry diets: influence of ingredients on the selection of activities. *World's Poult. Sci. J.* 57, 251-263.
- Choct, M. & Annison, G. 1992. Anti-nutritive effect of wheat pentosans in broiler chickens: Roles of viscosity and gut microflora. *Brit. Poult. Sci.* 33, 821-834.
- Choct, M., Hughes, R., Wang, J., Bedford, M., Morgan, A. & Annison, G. 1996. Increased small intestinal fermentation is partly responsible for the anti-nutritive activity of non-starch polysaccharides in chickens. *Brit. Poult. Sci.* 37, 609-621.
- Choct, M., Sinlae, M., Al-Jassim, R. & Pettersson, D. 2006. Effects of xylanase supplementation on between-bird variation in energy metabolism and the number of *Clostridium perfringens* in broilers fed a wheat-based diet. *Crop Past. Sci.* 57, 1017-1021.
- Classen, H. 1996. Cereal grain starch and exogenous enzymes in poultry diets. *Anim. Feed Sci. and Technol.* 62, 21-27.
- CONCEA, D. D. P. D. E. (2013). do Conceá. *Brasília/DF*.
- Cousins, B. 1999. Enzimas na nutrição de aves. *Simpósio internacional sobre nutrição de aves-embrapa*, 1, 115-129.
- Danicke, S., Simon, O., Jeroch, H. & Bedford, M. 1997. Interactions between dietary fat type and xylanase supplementation when rye-based diets are fed to broiler chickens. 1. physicochemical chyme features. *Brit. Poult. Sci.* 38, 537-545.
- Danicke, S., Vahjen, W., Simon, O. & Jeroch, H. 1999. Effects of dietary fat type and xylanase supplementation to rye-based broiler diets on selected bacterial groups adhering to the intestinal epithelium. on transit time of feed, and on nutrient digestibility. *Poult. Sci.* 78, 1292-1299.
- El-Katcha, M. I., Soltan, M. A., El-Kaney, H. F. & Karwarie, E. 2014. Growth performance, blood parameters, immune response and carcass traits of broiler

- chicks fed on graded levels of wheat instead of corn without or with enzyme supplementation. *Alexandria J. Vet. Sci.* 40, 95-111.
- FEDNA, C. 2010. De Blas, GG Mateos, P. *Tablas FEDNA de composición y valor nutritivo de alimentos para la fabricación de piensos compuestos (3rd ed.)*, Fundación Española para el Desarrollo de la Nutrición Animal, Madrid, Spain.
- Gao, F., Jiang, Y., Zhou, G. & Han, Z. 2008. The effects of xylanase supplementation on performance, characteristics of the gastrointestinal tract, blood parameters and gut microflora in broilers fed on wheat-based diets. *Anim. Feed Sci. and Technol.* 142, 173-184.
- García, M., Lázaro, R., Latorre, M., Gracia, M. & Mateos, G. 2008. Influence of enzyme supplementation and heat processing of barley on digestive traits and productive performance of broilers. *Poult. Sci.* 87, 940-948.
- Gobl, B. & Gohl, I. 1977. The effect of viscous substances on the transit time of barley digesta in rats. *J. Sci. Food and Agric.* 28, 911-915.
- Hetland, H. & Svihus, B. 2001. Effect of oat hulls on performance, gut capacity and feed passage time in broiler chickens. *Brit. Poult. Sci.* 42, 354-361.
- Jamroz, D., Jakobsen, K., Orda, J., Skorupinska, J. & Wiliczekiewicz, A. 2001. Development of the gastrointestinal tract and digestibility of dietary fibre and amino acids in young chickens, ducks and geese fed diets with high amounts of barley. *Comp. Biochem. Physiol.* 130, 643-652.
- Johnson, I. & Gee, J. M. 1981. Effect of gel-forming gums on the intestinal unstirred layer and sugar transport in vitro. *Gut.* 22, 398-403.
- Jorgensen, H., Zhao, X.-Q., Knudsen, K. E. B. & Eggum, B. O. 1996. The influence of dietary fibre source and level on the development of the gastrointestinal tract, digestibility and energy metabolism in broiler chickens. *Brit. J. Nutr.* 75, 379-395.
- Jozefiak, D., Rutkowski, A., Jensen, B. B. & Engberg, R. M. 2007. Effects of dietary inclusion of triticale, rye and wheat and xylanase supplementation on growth performance of broiler chickens and fermentation in the gastrointestinal tract. *Anim. Feed Sci. and Technol.* 132, 79-93.
- Kalmendal, R. & Tauson, R. 2012. Effects of a xylanase and protease, individually or in combination, and an ionophore coccidiostat on performance, nutrient utilization, and intestinal morphology in broiler chickens fed a wheat-soybean meal-based diet. *Poult. Sci.* 91, 1387-1393.
- Khadem, A., Lourenço, M., Delezie, E., Maertens, L., Goderis, A., Mombaerts, R., Hofte, M., Eeckhaut, V., Van Immerseel, F. & Janssens, G. 2016. Does release of encapsulated nutrients have an important role in the efficacy of xylanase in broilers? *Poult. Sci.* 95, 1066-1076.
- Knudsen, K. E. B. 1997. Carbohydrate and lignin contents of plant materials used in animal feeding. *Anim. Feed Sci. and Technol.* 67, 319-338.
- Knudsen, K. E. B. 2014. Fiber and nonstarch polysaccharide content and variation in common crops used in broiler diets. *Poult. Sci.* 93, 2380-2393.
- Lazaridou, A. & Biliaderis, C. 2007. Molecular aspects of cereal  $\beta$ -glucan functionality: Physical properties, technological applications and physiological effects. *J. Cereal Sci.* 46, 101-118.
- Lázaro, R., Garcia, M., Medel, P. & Mateos, G. 2003. Influence of enzymes on performance and digestive parameters of broilers fed rye-based diets. *Poult. Sci.* 82, 132-140.
- Lázaro, R., Latorre, M., Medel, P., Gracia, M. & Mateos, G. 2004. Feeding regimen and enzyme supplementation to rye-based diets for broilers. *Poult. Sci.* 83, 152-160.

- Lee, K., Everts, H., Kappert, H., Van Der Kuilen, J., Lemmens, A., Frehner, M. & Beynen, A. 2004. Growth performance, intestinal viscosity, fat digestibility and plasma cholesterol in broiler chickens fed a rye-containing diet without or with essential oil components. *Int. J. Poult. Sci.* 3, 613-618.
- Longo, F., Menten, J., Pedroso, A., Figueiredo, A., Racanicci, A. & Sorbara, J. 2007. Performance and carcass composition of broilers fed different carbohydrate and protein sources in the prestarter phase. *J. Appl. Poult. Res.* 16, 171-177.
- Luo, D., Yang, F., Yang, X., Yao, J., Shi, B. & Zhou, Z. 2009. Effects of xylanase on performance, blood parameters, intestinal morphology, microflora and digestive enzyme activities of broilers fed wheat-based diets. *Asian-Aust. J. Anim. Sci.* 22, 1288-95.
- Masey O'Neill, H., Smith, J. & Bedford, M. 2014. Multicarbohydrase enzymes for non-ruminants. *Asian-Austr. J. Anim. Sci.* 27, 290-301.
- Mathlouthi, N., Lalles, J., Lepercq, P., Juste, C. & Larbier, M. 2002a. Xylanase and  $\beta$ -glucanase supplementation improve conjugated bile acid fraction in intestinal contents and increase villus size of small intestine wall in broiler chickens fed a rye-based diet. *J. Anim. Sci.* 80, 2773-2779.
- Mathlouthi, N., Mallet, S., Saulnier, L., Quemener, B. & Larbier, M. 2002b. Effects of xylanase and  $\beta$ -glucanase addition on performance, nutrient digestibility, and physico-chemical conditions in the small intestine contents and caecal microflora of broiler chickens fed a wheat and barley-based diet. *Anim. Res.* 51, 395-406.
- Matterson, L. D., Potter, L., Stutz, M. & Singsen, E. 1965. *The metabolizable energy of feed ingredients for chickens.*
- Montagne, L., Pluske, J. & Hampson, D. 2003. A review of interactions between dietary fibre and the intestinal mucosa, and their consequences on digestive health in young non-ruminant animals. *Anim. Feed Sci. and Technol.* 108, 95-117.
- Newman, R., Newman, C., Hofer, P. & Barnes, A. 1991. Growth and lipid metabolism as affected by feeding of hull-less barleys with and without supplemental  $\beta$ -glucanase. *Plant Foods for Human Nutr.* 41, 371-380.
- Parsaie, S., Shariatmadari, F., Zamiri, M. & Khajeh, K. 2007. Influence of wheat-based diets supplemented with xylanase, bile acid and antibiotics on performance, digestive tract measurements and gut morphology of broilers compared with a maize-based diet. *Brit. Poult. Sci.* 48, 594-600.
- Pettersson, D. and Aman, P. 1988. Effects of enzyme supplementation of diets based on wheat, rye or triticale on their productive value for broiler chickens. *Anim. Feed Sci. and Technol.* 20, 313-324.
- Ravindran, V. 2013. Feed enzymes: The science, practice, and metabolic realities 1. *J. Appl. Poult. Res.* 22, 628-636.
- Rostagno, H., Albino, L., Donzele, J., Gomes, P., Oliveira, R., Lopes, D., Ferreira, A., Barreto, S. & Euclides, P. 2011. Tabelas brasileiras para aves e suínos. *Composição de alimentos e exigências nutricionais. 3rd ed. UFV, Viçosa, MG, Brazil.*
- Silva, D. & Queiroz, A. 2002. Análise de alimentos: métodos químicos e biológicos. *Viçosa: Universidade Federal de Viçosa.*
- Simon, O. 1998. The mode of action of NSP hydrolysing enzymes in the gastrointestinal tract. *J. Anim. Feed Sci.* 7, 115-123.
- Simon, O. 2000. Non starch polysaccharide (NSP) hydrolysing enzymes as feed additives: Mode of action in the gastrointestinal tract. *Lohm. Inf.* 23, 7-13.

- Smits, C., Te Maarssen, C., Mouwen, J., Koninkx, J. & Beynen, A. 2000. The antinutritive effect of a carboxymethylcellulose with high viscosity on lipid digestibility in broiler chickens is not associated with mucosal damage. *J. Anim. Physiol. and Anim. Nutr.* 83, 239-245.
- Smits, C. H. & Annison, G. 1996. Non-starch plant polysaccharides in broiler nutrition—towards a physiologically valid approach to their determination. *World's Poult. Sci. J.* 52, 203-221.
- Swennen, Q., Janssens, G., Millet, S., Vansant, G., Decuypere, E. & Buyse, J. 2005. Effects of substitution between fat and protein on feed intake and its regulatory mechanisms in broiler chickens: Endocrine functioning and intermediary metabolism. *Poult. Sci.* 84, 1051-1057.
- Taheri, H., Tanha, N. & Shahir, M. 2016. Effect of wheat bran inclusion in barley-based diet on villus morphology of jejunum, serum cholesterol, abdominal fat and growth performance of broiler chickens. *J of Livestock Sci. and Technol.* 4, 9-16.
- Teirlinck, E., Bjerrum, L., Eeckhaut, V., Huygebaert, G., Pasmans, F., Haesebrouck, F., Dewulf, J., Ducatelle, R. & Van Immerseel, F. 2009. The cereal type in feed influences gut wall morphology and intestinal immune cell infiltration in broiler chickens. *Brit. J. Nutr.* 102, 1453-1461.
- Uni, Z., Noy, Y. & Sklan, D. 1999. Posthatch development of small intestinal function in the poult. *Poult. Sci.* 78, 215-222.
- van Krimpen, M., Torki, M. & Schokker, D. 2017. Effects of rye inclusion in grower diets on immune competence-related parameters and performance in broilers. *Poult. Sci.* 96, 3324-3337.
- Wang, L., Newman, R. K., Newman, C. W. & Hofer, P. J. 1992. Barley  $\beta$ -glucans alter intestinal viscosity and reduce plasma cholesterol concentrations in chicks. *The J. Nutr.* 122, 2292-2297.
- Yamauchi, K. 2002. Review on chicken intestinal villus histological alterations related with intestinal function. *The J. Poult. Sci.* 39, 229-242.
- Yan, F., Dibner, J., Knight, C. & Vazquez-Anon, M. 2017. Effect of carbohydrase and protease on growth performance and gut health of young broilers fed diets containing rye, wheat, and feather meal. *Poult. Sci.* 96, 817-828.
- Zarghi, H., Golian, A., Kermanshahi, H., Raji, A. R. & Heravi Moussavi, A. 2010. The effect of triticale and enzyme in finisher diet on performance, gut morphology and blood chemistry of broiler chickens. *J. Anim. and Vet. Advance.* 9, 2305-2314.

#### **IV - AVALIAÇÃO DO COMPLEXO ENZIMÁTICO EM DIETAS PARA FRANGOS DE CORTE COM CENTEIO OU CEVADA E REDUÇÃO NO NÍVEL DE ENERGIA 21-42 DIAS**

**RESUMO:** O experimento foi realizado com o objetivo de avaliar a adição de um complexo enzimático em dietas para frangos de corte contendo centeio ou cevada e com redução no nível energético das dietas, sobre o desempenho produtivo, rendimento de carcaça e cortes comerciais, peso relativo dos órgãos digestivos e comprimento intestinal na fase de 21 a 42 dias. Foram utilizados 975 frangos de corte machos, de 21 dia de idade, da linhagem Cobb-Vantress®, distribuídos em um delineamento experimental inteiramente casualizado, em arranjo fatorial  $2 \times 3 \times 2 + 1$  sendo dois alimentos (centeio e cevada), três níveis do complexo enzimático (0, 0,02 e 0,04%) e dois níveis energéticos (3050 e 3150 kcal EM/kg), mais um tratamento controle (milho), totalizando 13 tratamentos, com 5 repetições e 15 aves por repetição. Não houve interação ( $P > 0,05$ ) entre os fatores (alimento x complexo enzimático x energia) para nenhuma das características avaliadas. A adição do complexo enzimático nas dietas contendo centeio ou cevada aumentou o GP ( $P < 0,0001$ ) e melhorou a CA ( $P < 0,0001$ ) das aves, enquanto a redução de 100 kcal EM/kg nas dietas resultou em menor GP ( $P = 0,0233$ ) e maior CA ( $P < 0,0001$ ). Não houve efeito isolado dos alimentos ( $P > 0,05$ ) nem dos níveis de energia da dieta ( $P > 0,05$ ) sobre o rendimento de carcaça e cortes, no entanto, o rendimento de carcaça ( $P = 0,0202$ ) e de peito ( $P = 0,0184$ ) foi maior com a adição do complexo enzimático independente do nível utilizado. O peso relativo do intestino delgado ( $P = 0,0060$ ) foi reduzido com a adição do complexo enzimático independente do nível utilizado, no entanto, o comprimento do intestino delgado das aves foi reduzido ( $P = 0,0087$ ) com a adição de 0,04% do complexo enzimático as dietas. A adição do complexo enzimático nas dietas aumentou o ganho de peso, melhorou a conversão alimentar, aumentou o rendimento de carcaça e de peito das aves, porém sem demonstrar nenhuma diferença entre os níveis de 0,02 e 0,04% do complexo enzimático.

**Palavras-chave:** desempenho, enzimas exógenas, ganho de peso, polissacarídeos não amiláceos, rendimento de carcaça.

#### IV - EVALUATION OF ENZYME COMPLEX IN BROILER DIETS WITH RYE OR BARLEY AND ENERGY LEVEL REDUCTION AT 21-42 DAYS

**ABSTRACT:** The experiment was carried out to evaluate the enzyme complex addition in broiler diets containing rye and barley and metabolizable energy reduction on productive performance, carcass cuts yields, relative weight of digestive organs and intestinal length at 21 to 42 days. A total of 975 21 days male broilers were distributed in a completely randomized experimental design in a  $2 \times 3 \times 2 + 1$  factorial arrangement, consisting of two feed (rye and barley), three the enzymatic complex levels (0, 0.02 and 0.04%) and two energetic levels (3050 and 3150 kcal AME/kg), plus a control treatment (corn), totalizing 13 treatments, with 5 replicates and 15 birds each. There was no interaction ( $P > 0.05$ ) between the factors (feed x enzymatic complex x energy) for none of the evaluated characteristics. 0.02 and 0.04% of enzymatic complex addition gave higher WG ( $P < 0.0001$ ) and improved FCR ( $P < 0.0001$ ). There was no isolated effect of feed ( $P > 0.05$ ) or dietary energy levels ( $P > 0.05$ ) on carcass yield and cuts. Carcass ( $P = 0.0202$ ) and breast ( $P = 0.0184$ ) yields were higher with 0.02 and 0.04% of enzyme complex addition. No isolated effects of feed ( $P > 0.05$ ) or dietary energy level ( $P > 0.05$ ) were observed on the relative weight of the digestive organs and small intestine length. The relative weight of small intestine ( $P = 0.0060$ ) reduced with 0.02 and 0.04% of enzyme complex addition. There was no isolated effect of food ( $P > 0.05$ ) or dietary energy levels ( $P > 0.05$ ) on the small intestine length. The small intestine length of the birds was reduced ( $P = 0.0087$ ) with 0.04% of enzyme complex addition to diets. The enzyme complex addition to the diets increased weight gain, improved feed conversion, increased carcass and broiler yield, but showed no difference between 0.02 and 0.04% levels of the complex.

**Key words:** carcass yield, exogenous enzymes, intestinal viscosity, non-starch polysaccharides, performance, weight gain.

## Introdução

Grande parte das formulações de rações para frangos de corte possuem em sua matriz nutricional o milho como principal ingrediente. Este cereal apresenta, em média, 66% de amido e 3464 kcal EM/kg valores, o tornando a principal fonte de energia dietética (Knudsen, 2014). Além do milho, outros cereais podem ser utilizados como fontes de energia dietética e em alguns países da Europa a cevada e o centeio também são utilizados em formulações para frangos de corte (Bolarinwa and Adeola, 2012).

Centeio e cevada apresentam em sua composição teores consideráveis de amido (55 e 53%) e de energia metabolizável (2790 e 2780 kcal EM/kg), respectivamente (FEDNA, 2010). Entretanto atenção especial deve ser dada para a inclusão destes cereais em rações para frangos de corte pela elevada quantidade de PNAs em suas composições (Choct et al. 1996). Enquanto o milho possui 9% de PNAs em sua composição, o centeio e a cevada apresentam 15 e 10%, respectivamente (Knudsen, 1997; Knudsen, 2014).

Devido à concentração de PNAs presentes no centeio e na cevada, principalmente arabinosilanos e  $\beta$ -glucanos, o fornecimento destes cereais em dietas para frangos de corte se torna uma prática limitada (Cardoso et al. 2014; Bederska-Lojewska et al. 2017). Estes compostos apresentam alta solubilidade, capazes de provocar aumento na viscosidade intestinal das aves, prejudicando os processos de digestão e absorção dos nutrientes dietéticos, resultando em menor ganho de peso e piora na conversão alimentar das aves (Cardoso et al. 2014; Khadem et al. 2016; Bederska-Lojewska et al. 2017).

A adição de carboidrases exógenas permite que as moléculas de arabinosilanos e  $\beta$ -glucanos sejam hidrolisadas em compostos de menor peso molecular e, conseqüentemente, seus efeitos negativos ao desempenho das aves são amenizados (Cardoso et al. 2014; Yan et al. 2017). Sendo assim, o objetivo deste trabalho foi avaliar a adição de dois níveis do complexo enzimático Allzyme SSF® (Altech Inc.) em dietas para frangos de corte contendo a inclusão de centeio ou de cevada com redução no nível energético da dieta, sobre o desempenho, rendimento de carcaça, peso relativo dos órgãos digestivos e comprimento do intestino delgado, na fase de 21 a 42 dias.

## Material e métodos

O experimento foi realizado no Setor de Avicultura da Fazenda Experimental de Iguatemi, da Universidade Estadual de Maringá – UEM. Todos os procedimentos do protocolo experimental foram realizados mediante prévia aprovação do Comitê de Ética no Uso de Animais em Experimentação – CEUA da Universidade Estadual de Maringá (Registro N° 2209140917).

Foram utilizados 975 pintos de corte machos, da linhagem Cobb-Vantress®, alojados em boxes (1,0 x 2,0 metros), em galpão climatizado e pressão negativa. Todas as aves foram alimentadas com uma dieta controle à base de milho e farelo de soja até aos 21 dias de idade. O período experimental foi de 42 dias, no qual se adotou um programa de luz correspondente a 23 horas de luz diária e fornecimento de água e ração à vontade.

As aves foram distribuídas em um delineamento experimental inteiramente casualizado, em arranjo fatorial  $2 \times 3 \times 2 + 1$ , sendo dois alimentos (18% de centeio ou 18% de cevada), três níveis do complexo enzimático (0, 0,02 e 0,04%) e dois níveis de energia metabolizável aparente (3050 e 3150 kcal EM/kg), mais um tratamento controle, totalizando 13 tratamentos, com 5 repetições e 15 aves por repetição.

Utilizou-se o complexo enzimático composto pelas enzimas xilanase,  $\beta$ -glucanase, pectinase, celulase, amilase, fitase e protease (Allzyme SSF® - Altech Inc.), e a adição nas dietas foi realizada na forma *on top*, seguindo o nível de adição recomendado pelo fabricante.

As dietas experimentais (Tabela 1) foram formuladas à base de milho e farelo de soja, de acordo com os valores de composição química dos alimentos e as exigências nutricionais para frangos de corte machos de desempenho médio propostas por Rostagno et al. (2017), exceto para os valores de composição química da cevada e do centeio, FEDNA (2010).

### Desempenho

Foram realizadas pesagens das aves e das rações experimentais semanalmente, a fim de determinar o ganho de peso (GP), consumo de ração (CR) e a conversão alimentar (CA) das aves. Os casos de mortalidade foram registrados diariamente e procedeu-se com a pesagem das aves mortas e das rações experimentais para correção das variáveis referentes ao desempenho das aves.

**Tabela 1.** Composição percentual e calculada das dietas experimentais para frangos de corte na fase de 21 a 42 dias contendo centeio ou cevada.

| <b>Ingrediente (%)</b>         | <b>Controle</b> | <b>Centeio</b> | <b>Centeio -100 kcal EM/kg</b> | <b>Cevada</b> | <b>Cevada -100 kcal EM/kg</b> |
|--------------------------------|-----------------|----------------|--------------------------------|---------------|-------------------------------|
| Milho                          | 64,23           | 44,97          | 47,06                          | 45,36         | 48,20                         |
| Farelo de soja 45 %            | 29,13           | 28,60          | 28,32                          | 27,86         | 27,32                         |
| Centeio                        | -               | 18,00          | 18,00                          | -             | -                             |
| Cevada                         | -               | -              | -                              | 18,00         | 18,00                         |
| Óleo de soja                   | 3,20            | 4,91           | 3,15                           | 5,00          | 2,99                          |
| Fosfato bicálcico              | 1,23            | 1,22           | 1,22                           | 1,21          | 1,21                          |
| Calcário                       | 0,72            | 0,73           | 0,73                           | 0,73          | 0,73                          |
| Sal comum                      | 0,46            | 0,46           | 0,46                           | 0,46          | 0,46                          |
| Supl. Min. e Vit. <sup>1</sup> | 0,40            | 0,40           | 0,40                           | 0,40          | 0,40                          |
| DL-Metionina 98%               | 0,281           | 0,291          | 0,288                          | 0,288         | 0,285                         |
| L-Lisina HCl 78%               | 0,256           | 0,263          | 0,267                          | 0,273         | 0,283                         |
| L-Treonina 98%                 | 0,077           | 0,094          | 0,093                          | 0,098         | 0,098                         |
| <b>TOTAL</b>                   | <b>100,00</b>   | <b>100,00</b>  | <b>100,00</b>                  | <b>100,00</b> | <b>100,00</b>                 |
| <b>Composição calculada</b>    |                 |                |                                |               |                               |
| Proteína bruta (%)             | 18,70           | 18,70          | 18,70                          | 18,70         | 18,70                         |
| Energia met. (kcal/kg)         | 3150            | 3150           | 3050                           | 3150          | 3050                          |
| Lisina digestível (%)          | 1,069           | 1,069          | 1,069                          | 1,069         | 1,069                         |
| Met+Cist digestível (%)        | 0,791           | 0,791          | 0,791                          | 0,791         | 0,791                         |
| Treonina digestível (%)        | 0,706           | 0,706          | 0,706                          | 0,706         | 0,706                         |
| Fósforo disponível (%)         | 0,335           | 0,335          | 0,335                          | 0,335         | 0,335                         |
| Sódio (%)                      | 0,202           | 0,202          | 0,202                          | 0,202         | 0,202                         |
| Cálcio (%)                     | 0,696           | 0,696          | 0,696                          | 0,696         | 0,696                         |
| Cloro (%)                      | 0,328           | 0,322          | 0,323                          | 0,338         | 0,339                         |

<sup>1</sup>Suplemento vitamínico e mineral para fase de crescimento (Conteúdo por kg de ração): Vit. A (acetato de retinol), 9000,00 UI/kg; Vit. D3 (colecalciferol), 1800,00 UI/kg; Vit. E (acetato de dl- $\alpha$ -tocoferol), 28,00 UI/kg; Vit. B1 (tiamina), 1,20 mg/kg; Vit. B2 (riboflavina), 4,00 mg/kg; B6 (piridoxina), 1,80 mg/kg; Vit. B12 (cianocobalamina), 12,00 mcg/kg; Vit. K3 (menadiona dimetilpirimidinol), 1,67 mg/kg; Pantotenato de cálcio 10,00 mg/kg; Niacina, 28,00 mg/kg; Ácido fólico, 0,56 mg/kg; Biotina, 0,06 mg/kg; Colina, 220,00 mg/kg; BHT (hidroxitolueno butilado), 4,00 mg/kg; Zinco, 56,00 mg/kg; Ferro 48,00 mg/kg; Manganês, 60,00 mg/kg; Cobre, 10,80 mg/kg; Iodo, 1,00 mg/kg; Cobalto, 0,20 mg/kg; Selênio, 0,29 mg/kg.

### **Rendimento de carcaça, cortes e percentual de gordura abdominal**

O rendimento de carcaça e cortes comerciais foi realizado aos 42 dias de idade, dez aves por tratamento foram selecionadas de acordo com o peso médio da unidade experimental (média  $\pm$  5%). Após oito horas de jejum, as aves foram eutanasiadas através da administração endovenosa de tiopental (70 mg/kg), após constatada a anestesia, as aves foram sacrificadas por sangria, seguindo as diretrizes da prática de eutanásia do CONCEA (2013). Em seguida, as aves foram depenadas, evisceradas e as carcaças pesadas em balança digital. Para o cálculo de rendimento de carcaça foi considerado o peso da carcaça sem pés, cabeça e gordura abdominal, em relação ao peso vivo, o qual foi obtido individualmente antes do abate das aves. O rendimento dos cortes foi obtido de acordo com o rendimento de peito, coxa e sobrecoxa (com pele e ossos) e asas, sendo calculado em relação ao peso da carcaça eviscerada. Foi considerada gordura abdominal aquela presente ao redor da cloaca, bolsa cloacal, moela, pró-ventrículo e dos músculos abdominais adjacentes, conforme descrito por Smith (1993), sendo posteriormente pesada e calculado seu peso relativo em relação ao peso da carcaça eviscerada.

### **Peso relativo dos órgãos digestivos, pH do intestino delgado e pH da moela**

Aos 42 dias de idade das aves, uma ave por unidade experimental foi selecionada de acordo com o peso médio da unidade experimental (média  $\pm$  5%) e posteriormente eutanasiadas, conforme procedimento descrito anteriormente. Os órgãos do trato gastrointestinal (pró-ventrículo, moela, pâncreas, fígado e intestino delgado) foram coletados e pesados em balança de precisão (0,001g), a fim de se determinar o peso relativo dos mesmos em relação ao peso vivo das aves, conforme segue: (peso do órgão / peso vivo da ave) x 100. Foi coletado todo o conteúdo da moela e do intestino delgado de uma ave por repetição, em seguida 2 g de cada conteúdo foram diluídos em 20 ml de água destilada e homogeneizados durante 1 minuto, sendo então aferido o pH do conteúdo com o auxílio de um peagâmetro HI 99163 (Hanna Instruments, São Paulo, Brasil).

## **Análise estatística**

Os dados obtidos foram submetidos à análise de variância (ANOVA) utilizando-se o procedimento General Linear Model (GLM) do *software* (SAS Institute, 2009) ao nível de significância de 5%. Após a análise de variância os tratamentos foram comparados mediante teste de Tukey (5%) ou teste T de Student (5%).

## **Resultados e discussão**

### **Desempenho**

Não houve interação ( $P > 0,05$ ) entre os fatores (alimento x complexo enzimático x energia) e não houve efeito ( $P > 0,05$ ) isolado dos alimentos sobre desempenho das aves (Tabela 2). Houve efeito da adição do complexo enzimático sobre o GP ( $P < 0,0001$ ) e CA ( $P < 0,0001$ ), em que as aves que receberam as dietas contendo a adição enzimática apresentaram maior GP e melhor CA, independente do nível utilizado. Aves que receberam as dietas com redução no nível energético apresentaram menor GP ( $P = 0,0233$ ) e maior CA ( $P < 0,0001$ ).

O fornecimento de centeio ou da cevada para frangos de corte pode ser associado a um possível aumento na viscosidade intestinal das aves como reflexo da elevada solubilidade dos arabinosilanos e  $\beta$ -glucanos (Smits and Annison, 1996; van Krimpen et al. 2017). Esta mudança no ambiente intestinal altera a capacidade digestiva e absorptiva das aves, uma vez que dificulta a atuação das enzimas digestivas e a absorção dos nutrientes (Yan et al. 2017). Além disto, a presença dos arabinosilanos e  $\beta$ -glucanos na parede celular dos grãos de centeio e da cevada impede a atuação das enzimas digestivas das aves sobre nutrientes presentes no interior do endosperma do grão (Classen, 1996; Khadem et al. 2016).

No entanto, com a adição do complexo enzimático nas dietas torna-se possível hidrolisar as moléculas de arabinosilanos e  $\beta$ -glucanos, reduzindo seu peso molecular e sua capacidade de alterar a viscosidade intestinal (Lázaro et al. 2003; García et al. 2008; Masey O'Neill et al. 2014). Como consequência de uma possível redução na viscosidade, a atuação das enzimas digestivas assim como a absorção dos nutrientes se torna mais eficiente, aumentando o desempenho produtivo das aves (Mathlouthi et al. 2002; García et al. 2008; Yan et al. 2017).

**Tabela 2.** Desempenho (média ± erro padrão) de frangos de corte na fase de 21 a 42 dias alimentados com dietas contendo centeio ou cevada, com ou sem a adição de complexo enzimático e redução no nível energético.

| Tratamento                               | Complexo enzimático | EM <sup>1</sup> (kcal/kg) | Ganho de peso (g) | Consumo de ração (g) | Conversão alimentar (g/g) |
|------------------------------------------|---------------------|---------------------------|-------------------|----------------------|---------------------------|
| Controle (Milho)                         | 0%                  | 3150                      | 2127,65 ± 18,32   | 3367,29 ± 44,27      | 1,660 ± 0,016             |
| Centeio (18%)                            | 0%                  | 3150                      | 1975,62 ± 11,31*  | 3520,20 ± 48,75      | 1,804 ± 0,011*            |
|                                          | 0,02%               | 3150                      | 2056,73 ± 42,02   | 3468,38 ± 54,86      | 1,716 ± 0,010             |
|                                          | 0,04%               | 3150                      | 2053,08 ± 28,66   | 3493,31 ± 30,70      | 1,715 ± 0,013             |
|                                          | 0%                  | 3050                      | 1879,02 ± 19,43*  | 3434,12 ± 39,03      | 1,829 ± 0,013*            |
|                                          | 0,02%               | 3050                      | 1974,76 ± 27,72*  | 3481,71 ± 39,04      | 1,748 ± 0,011             |
|                                          | 0,04%               | 3050                      | 1987,31 ± 16,11*  | 3455,81 ± 37,26      | 1,735 ± 0,014             |
| Cevada (18%)                             | 0%                  | 3150                      | 1973,12 ± 17,45*  | 3519,10 ± 28,00      | 1,788 ± 0,029             |
|                                          | 0,02%               | 3150                      | 2047,25 ± 33,18   | 3472,90 ± 13,82      | 1,692 ± 0,018             |
|                                          | 0,04%               | 3150                      | 2054,52 ± 46,89   | 3453,96 ± 49,52      | 1,677 ± 0,019             |
|                                          | 0%                  | 3050                      | 1912,68 ± 18,48*  | 3546,09 ± 51,12      | 1,844 ± 0,011*            |
|                                          | 0,02%               | 3050                      | 2013,15 ± 15,83   | 3585,36 ± 38,93      | 1,776 ± 0,008             |
|                                          | 0,04%               | 3050                      | 2024,83 ± 29,12   | 3494,90 ± 28,39      | 1,730 ± 0,018             |
| <b>Alimento</b>                          |                     |                           |                   |                      |                           |
| Centeio                                  |                     |                           | 1986,96 ± 10,37   | 3492,25 ± 15,55      | 1,758 ± 0,010             |
| Cevada                                   |                     |                           | 2007,31 ± 15,06   | 3511,97 ± 18,80      | 1,741 ± 0,014             |
| <b>Complexo enzimático</b>               |                     |                           |                   |                      |                           |
| 0% complexo enzimático                   |                     |                           | 1943,88 ± 14,21 B | 3529,88 ± 23,90      | 1,816 ± 0,009 A           |
| 0,02% complexo enzimático                |                     |                           | 2020,82 ± 11,51 A | 3502,09 ± 20,23      | 1,733 ± 0,010 B           |
| 0,04% complexo enzimático                |                     |                           | 2046,70 ± 13,06 A | 3474,37 ± 17,46      | 1,714 ± 0,008 B           |
| <b>Energia (kcal EM/kg)</b>              |                     |                           |                   |                      |                           |
| 3150                                     |                     |                           | 2015,01 ± 13,31 a | 3487,97 ± 15,48      | 1,732 ± 0,011 b           |
| 3050                                     |                     |                           | 1979,25 ± 11,76 b | 3516,25 ± 18,62      | 1,777 ± 0,010 a           |
| <b>CV (%)<sup>2</sup></b>                |                     |                           | 5,18              | 5,40                 | 4,34                      |
| <b>ANOVA</b>                             |                     |                           |                   |                      |                           |
|                                          |                     |                           | <b>p-valor</b>    |                      |                           |
| Alimento                                 |                     |                           | 0,1861            | 0,4298               | 0,4513                    |
| Complexo enzimático                      |                     |                           | <0,0001           | 0,1996               | <0,0001                   |
| Energia (kcal EM/kg)                     |                     |                           | 0,0233            | 0,2596               | <0,0001                   |
| Alimento x Complexo enzimático           |                     |                           | 0,7639            | 0,6170               | 0,5213                    |
| Alimento x Energia                       |                     |                           | 0,7744            | 0,2074               | 0,5420                    |
| Complexo enzimático x Energia            |                     |                           | 0,9547            | 0,5868               | 0,5990                    |
| Alimento x Complexo enzimático x Energia |                     |                           | 0,9067            | 0,7612               | 0,8753                    |

<sup>AB</sup> Médias seguidas de letras maiúsculas na mesma coluna diferem entre si pelo teste de Tukey (P<0,05). <sup>ab</sup> Médias seguidas de letras minúsculas na mesma coluna diferem entre si pelo Teste t de Student (P<0,05). \* Médias que diferem entre si pelo Teste de Dunnett (P<0,05). <sup>1</sup>Energia Metabolizável (kcal/kg). <sup>2</sup>CV (%): Coeficiente de variação.

Com a adição do complexo enzimático as aves apresentaram melhor desempenho produtivo, podendo ser associado com a atuação das enzimas xilanase e  $\beta$ -glucanase na hidrólise de PNAs, principalmente os arabinoxilanos e  $\beta$ -glucanos presentes em grandes concentrações na composição do centeio e da cevada. Arabinoxilanos e  $\beta$ -glucanos são apontados como principais responsáveis por reduzir o desempenho produtivo de frangos de corte alimentados com dietas à base de centeio ou cevada (Lázaro et al. 2003; García et al. 2008; van Krimpen et al. 2017).

A adição do complexo enzimático nas dietas contendo centeio e cevada proporcionou GP e CA semelhantes ao GP e CA apresentado pelas aves que receberam o tratamento controle, independente do nível de adição do complexo enzimático, quando comparados mediante teste de Dunnett 5% (Tabela 2). Com a redução do valor energético das dietas em 100 kcal EM/kg apenas as aves que receberam as dietas com cevada e adição de 0,04% do complexo enzimático apresentaram GP semelhantes com as aves do tratamento controle.

#### **Rendimento de carcaça e cortes comerciais**

Não houve interação ( $P>0,05$ ) entre os fatores (alimento x complexo enzimático x energia) nem efeito dos alimentos ( $P>0,05$ ) ou dos níveis de energia da dieta ( $P>0,05$ ) sobre o rendimento (%) de carcaça, peito, coxas, asas e porcentagem de gordura abdominal das aves (Tabela 4).

As aves que receberam as dietas com a adição do complexo enzimático apresentaram maior rendimento de carcaça ( $P=0,0202$ ) e de peito ( $P=0,0184$ ), independente do nível utilizado. Este maior rendimento de carcaça e peito apresentado pelas aves que receberam as dietas contendo o complexo enzimático pode estar associado ao melhor aproveitamento dos nutrientes da dieta e assim resultar em maior peso final e rendimento de carcaça e peito das aves (Cardoso et al. 2014; Moftakharzadeh et al. 2017).

**Tabela 3.** Rendimento (%) de carcaça, cortes e porcentagem (%) de gordura abdominal (média ± erro padrão) de frangos de corte (42 dias) alimentados com dietas contendo centeio ou cevada, com ou sem adição de complexo enzimático e redução no nível energético.

| Tratamento                               | Complexo enzimático | EM <sup>1</sup> (kcal/kg) | Carcaça        | Peito          | Coxas        | Asas         | Gordura     |
|------------------------------------------|---------------------|---------------------------|----------------|----------------|--------------|--------------|-------------|
| Controle (Milho)                         | 0%                  | 3150                      | 70,34 ± 0,30   | 43,13 ± 0,31   | 33,44 ± 0,64 | 10,13 ± 0,12 | 2,10 ± 0,11 |
|                                          | 0%                  | 3150                      | 69,25 ± 0,32*  | 41,16 ± 0,28*  | 34,39 ± 0,87 | 9,85 ± 0,34  | 1,94 ± 0,08 |
| Centeio (18%)                            | 0,02%               | 3150                      | 70,27 ± 0,47   | 42,40 ± 0,66   | 33,26 ± 0,71 | 10,16 ± 0,17 | 1,89 ± 0,10 |
|                                          | 0,04%               | 3150                      | 70,51 ± 0,42   | 42,86 ± 0,37   | 33,56 ± 0,73 | 9,92 ± 0,45  | 1,95 ± 0,08 |
|                                          | 0%                  | 3050                      | 69,07 ± 0,19*  | 40,69 ± 0,32*  | 33,82 ± 0,33 | 9,77 ± 0,27  | 1,92 ± 0,05 |
|                                          | 0,02%               | 3050                      | 70,23 ± 1,10   | 42,49 ± 0,78   | 32,93 ± 0,77 | 9,86 ± 0,34  | 1,96 ± 0,05 |
|                                          | 0,04%               | 3050                      | 69,42 ± 0,30   | 42,54 ± 0,46   | 33,90 ± 0,48 | 9,91 ± 0,36  | 1,92 ± 0,04 |
|                                          | 0%                  | 3150                      | 69,19 ± 0,43*  | 41,47 ± 0,45*  | 35,17 ± 0,99 | 9,94 ± 0,23  | 1,92 ± 0,24 |
| Cevada (18%)                             | 0,02%               | 3150                      | 70,46 ± 0,41   | 42,77 ± 0,77   | 33,73 ± 0,50 | 10,05 ± 0,20 | 1,95 ± 0,15 |
|                                          | 0,04%               | 3150                      | 70,58 ± 0,41   | 42,90 ± 0,43   | 33,65 ± 0,63 | 9,89 ± 0,18  | 1,98 ± 0,13 |
|                                          | 0%                  | 3050                      | 68,79 ± 0,44*  | 40,97 ± 0,74*  | 33,31 ± 0,78 | 9,68 ± 0,43  | 1,95 ± 0,04 |
|                                          | 0,02%               | 3050                      | 70,56 ± 0,83   | 42,19 ± 0,69   | 32,80 ± 0,56 | 9,72 ± 0,22  | 1,96 ± 0,11 |
|                                          | 0,04%               | 3050                      | 70,66 ± 0,44   | 42,25 ± 0,45   | 32,95 ± 0,48 | 9,74 ± 0,29  | 1,91 ± 0,09 |
|                                          | 0%                  | 3150                      | 69,93 ± 0,25   | 42,02 ± 0,32   | 33,65 ± 0,30 | 9,91 ± 0,07  | 1,94 ± 0,02 |
| <b>Alimento</b>                          |                     |                           |                |                |              |              |             |
| Centeio                                  |                     |                           | 69,93 ± 0,25   | 42,02 ± 0,32   | 33,65 ± 0,30 | 9,91 ± 0,07  | 1,94 ± 0,02 |
| Cevada                                   |                     |                           | 70,04 ± 0,24   | 42,10 ± 0,34   | 33,60 ± 0,34 | 9,84 ± 0,10  | 1,93 ± 0,05 |
| <b>Complexo enzimático</b>               |                     |                           |                |                |              |              |             |
| 0% complexo enzimático                   |                     |                           | 69,29 ± 0,25 B | 41,08 ± 0,23 B | 34,18 ± 0,40 | 9,81 ± 0,15  | 1,93 ± 0,06 |
| 0,02% complexo enzimático                |                     |                           | 70,38 ± 0,34 A | 42,46 ± 0,37 A | 33,17 ± 0,30 | 9,95 ± 0,09  | 1,94 ± 0,05 |
| 0,04% complexo enzimático                |                     |                           | 70,29 ± 0,22 A | 42,64 ± 0,45 A | 33,52 ± 0,39 | 9,87 ± 0,10  | 1,93 ± 0,04 |
| <b>Energia (kcal EM/kg)</b>              |                     |                           |                |                |              |              |             |
| 3150                                     |                     |                           | 70,14 ± 0,19   | 42,26 ± 0,36   | 33,96 ± 0,34 | 9,97 ± 0,08  | 1,94 ± 0,05 |
| 3050                                     |                     |                           | 69,84 ± 0,28   | 41,85 ± 0,29   | 33,79 ± 0,45 | 9,78 ± 0,10  | 1,93 ± 0,02 |
| <b>CV (%)<sup>2</sup></b>                |                     |                           | 2,70           | 3,81           | 4,45         | 4,51         | 14,13       |
| <b>ANOVA</b>                             |                     |                           | <b>p-valor</b> |                |              |              |             |
| Alimento                                 |                     |                           | 0,7543         | 0,8825         | 0,9193       | 0,5835       | 0,8370      |
| Complexo enzimático                      |                     |                           | 0,0202         | 0,0184         | 0,1924       | 0,7252       | 0,9987      |
| Energia (kcal EM/kg)                     |                     |                           | 0,3839         | 0,3924         | 0,1388       | 0,1853       | 0,9590      |
| Alimento x Complexo enzimático           |                     |                           | 0,3158         | 0,9341         | 0,8220       | 0,9183       | 0,9917      |
| Alimento x Energia                       |                     |                           | 0,5100         | 0,7109         | 0,2762       | 0,6838       | 0,8875      |
| Complexo enzimático x Energia            |                     |                           | 0,7886         | 0,9704         | 0,6332       | 0,7923       | 0,8712      |
| Alimento x Complexo enzimático x Energia |                     |                           | 0,7490         | 0,9637         | 0,9501       | 0,9766       | 0,9223      |

<sup>AB</sup> Médias seguidas de letras maiúsculas na mesma coluna diferem entre si pelo teste de Tukey (P<0,05). \* Médias que diferem entre si pelo Teste de Dunnett (P<0,05). <sup>1</sup>Energia Metabolizável (kcal/kg). <sup>2</sup>CV (%): Coeficiente de variação.

Com a adição do complexo enzimático nas dietas, as aves apresentaram rendimentos de carcaça e peito semelhantes ao observado para as aves que receberam o tratamento controle, independente do nível de adição do complexo enzimático, quando comparados mediante teste de Dunnett 5% (Tabela 4), demonstrando que a adição de 0,02% do complexo enzimático é suficiente para igualar o rendimento de carcaça das aves alimentadas com as dietas com centeio ou cevada aos rendimentos de carcaça e peito das aves alimentadas com o tratamento controle.

### **Peso relativo dos órgãos digestivos**

Não houve interação ( $P>0,05$ ) entre os fatores (alimento x complexo enzimático x energia) nem efeitos isolados da inclusão de centeio ou cevada ( $P>0,05$ ) e do nível energético da dieta ( $P>0,05$ ) sobre o peso relativo da moela, pró-ventrículo, pâncreas, fígado e intestino delgado (Tabela 6).

Houve efeito isolado da adição do complexo enzimático nas dietas contendo centeio ou cevada reduzindo o peso relativo ( $P=0,0060$ ) e o comprimento ( $P=0,0087$ ) do intestino delgado das aves, em relação as aves que receberam as dietas sem adição do complexo enzimático, independente do nível utilizado.

A elevada concentração de arabinosilanos e  $\beta$ -glucanos nos grãos de centeio e de cevada exercem efeitos também sobre características morfológicas intestinais das aves (Brenes et al. 1993; Masey O'Neill et al. 2014). Aumentos no peso relativo e no comprimento do intestino delgado podem ser observados como consequência da distensão da parede intestinal provocada pelo aumento da viscosidade intestinal (Pettersson and Aman, 1988; Jorgensen et al. 1996).

Ao se adicionar o complexo enzimático as dietas contendo centeio ou cevada foi possível reduzir tanto o peso relativo como o comprimento do intestino delgado das aves, isto pela atuação enzimática possivelmente reduzindo da viscosidade intestinal das aves e seus efeitos sobre a distensão da parede intestinal das aves (Brenes et al. 1993; Lázaro et al. 2004; Gao et al. 2008).

**Tabela 4.** Peso relativo (%) dos órgãos digestivos e comprimento do intestino delgado (média ± erro padrão) de frangos de corte (42 dias) alimentados com dietas contendo centeio ou cevada, com ou sem adição de complexo enzimático e redução no nível energético.

| Tratamento                               | Complexo enzimático | EM <sup>1</sup> (kcal/kg) | Pró-ventrículo | Pâncreas       | Fígado      | Intestino Delgado | Intestino Delgado (cm) |
|------------------------------------------|---------------------|---------------------------|----------------|----------------|-------------|-------------------|------------------------|
| Controle (Milho)                         | 0%                  | 3150                      | 0,38 ± 0,04    | 0,19 ± 0,01    | 2,06 ± 0,05 | 1,99 ± 0,09       | 193,33 ± 3,66          |
|                                          | 0%                  | 3150                      | 0,41 ± 0,02    | 0,19 ± 0,00    | 1,93 ± 0,13 | 2,04 ± 0,04       | 207,75 ± 8,04          |
|                                          | 0,02%               | 3150                      | 0,39 ± 0,04    | 0,19 ± 0,00    | 1,95 ± 0,05 | 1,83 ± 0,05       | 198,75 ± 4,98          |
|                                          | 0,04%               | 3150                      | 0,44 ± 0,02    | 0,21 ± 0,01    | 1,91 ± 0,06 | 1,88 ± 0,05       | 198,50 ± 2,10          |
| Centeio (18%)                            | 0%                  | 3050                      | 0,40 ± 0,03    | 0,22 ± 0,01    | 1,91 ± 0,06 | 1,94 ± 0,05       | 212,25 ± 7,82          |
|                                          | 0,02%               | 3050                      | 0,38 ± 0,04    | 0,20 ± 0,01    | 1,94 ± 0,12 | 1,93 ± 0,03       | 211,00 ± 3,67          |
|                                          | 0,04%               | 3050                      | 0,42 ± 0,05    | 0,19 ± 0,02    | 2,02 ± 0,05 | 1,89 ± 0,03       | 203,25 ± 5,09          |
|                                          | 0%                  | 3150                      | 0,41 ± 0,03    | 0,21 ± 0,01    | 1,95 ± 0,05 | 2,17 ± 0,09       | 212,00 ± 4,94          |
| Cevada (18%)                             | 0,02%               | 3150                      | 0,42 ± 0,05    | 0,16 ± 0,01    | 1,95 ± 0,07 | 1,88 ± 0,04       | 200,25 ± 5,35          |
|                                          | 0,04%               | 3150                      | 0,37 ± 0,05    | 0,19 ± 0,01    | 1,96 ± 0,05 | 1,89 ± 0,07       | 192,00 ± 3,93          |
|                                          | 0%                  | 3050                      | 0,39 ± 0,06    | 0,19 ± 0,02    | 1,98 ± 0,02 | 1,98 ± 0,08       | 208,25 ± 4,76          |
|                                          | 0,02%               | 3050                      | 0,38 ± 0,03    | 0,18 ± 0,02    | 2,01 ± 0,11 | 1,89 ± 0,12       | 202,00 ± 5,64          |
| 0,04%                                    | 3050                | 0,40 ± 0,08               | 0,20 ± 0,00    | 1,99 ± 0,06    | 1,84 ± 0,06 | 189,25 ± 3,88     |                        |
| <b>Alimento</b>                          |                     |                           |                |                |             |                   |                        |
| Centeio                                  |                     |                           | 0,41 ± 0,02    | 0,20 ± 0,00    | 1,94 ± 0,03 | 1,92 ± 0,02       | 205,25 ± 2,85          |
| Cevada                                   |                     |                           | 0,39 ± 0,01    | 0,18 ± 0,01    | 1,97 ± 0,02 | 1,94 ± 0,04       | 200,62 ± 2,42          |
| <b>Complexo enzimático</b>               |                     |                           |                |                |             |                   |                        |
| 0% complexo enzimático                   |                     |                           | 0,40 ± 0,02    | 0,20 ± 0,01    | 1,94 ± 0,04 | 2,03 ± 0,04 a     | 210,06 ± 2,99 a        |
| 0,02% complexo enzimático                |                     |                           | 0,40 ± 0,01    | 0,18 ± 0,01    | 1,96 ± 0,04 | 1,88 ± 0,03 b     | 203,02 ± 2,54 b        |
| 0,04% complexo enzimático                |                     |                           | 0,41 ± 0,02    | 0,19 ± 0,00    | 1,97 ± 0,02 | 1,87 ± 0,02 b     | 195,75 ± 3,32 b        |
| <b>Energia (kcal EM/kg)</b>              |                     |                           |                |                |             |                   |                        |
| 3150                                     |                     |                           | 0,41 ± 0,02    | 0,19 ± 0,00    | 1,94 ± 0,03 | 1,94 ± 0,03       | 201,54 ± 2,32          |
| 3050                                     |                     |                           | 0,39 ± 0,01    | 0,20 ± 0,01    | 1,98 ± 0,03 | 1,91 ± 0,02       | 204,33 ± 2,98          |
| <b>CV (%)<sup>2</sup></b>                |                     |                           | 11,49          | 8,34           | 6,22        | 7,71              | 6,22                   |
| <b>ANOVA</b>                             |                     |                           |                | <b>p-valor</b> |             |                   |                        |
| Alimento                                 |                     |                           | 0,6192         | 0,0895         | 0,4944      | 0,5356            | 0,2007                 |
| Complexo enzimático                      |                     |                           | 0,9524         | 0,1575         | 0,8585      | 0,0025            | 0,0087                 |
| Energia (kcal EM/kg)                     |                     |                           | 0,5975         | 0,2168         | 0,4671      | 0,3940            | 0,4366                 |
| Alimento x Complexo enzimático           |                     |                           | 0,6994         | 0,6568         | 0,9452      | 0,5328            | 0,4901                 |
| Alimento x Energia                       |                     |                           | 0,8035         | 0,6324         | 0,8309      | 0,2976            | 0,2256                 |
| Complexo enzimático x Energia            |                     |                           | 0,8180         | 0,5028         | 0,8016      | 0,1218            | 0,7042                 |
| Alimento x Complexo enzimático x Energia |                     |                           | 0,8204         | 0,0946         | 0,7480      | 0,9704            | 0,9840                 |

<sup>abc</sup>Médias seguidas de letras minúsculas na mesma coluna diferem entre si pelo teste de Tukey (P<0,05). <sup>1</sup>Energia Metabolizável (kcal/kg). <sup>2</sup>CV (%): Coeficiente de variação.

### **Conclusão**

Com a adição do complexo enzimático nas dietas foi possível melhorar o desempenho e os rendimentos de carcaça e peito das aves reduzindo os efeitos negativos exercidos pelos PNAs presentes no centeio e na cevada para frangos de corte na fase de 21 a 42 dias. Os efeitos da redução energética nas dietas contendo centeio ou cevada sobre o desempenho e o rendimento de carcaça das aves foram amenizados com adição de 0,02% do complexo enzimático.

## Referências

- Bederska-Lojewska, D., Swiatkiewicz, S., Arczewska-Wlosek, A., and Schwarz, T. 2017. Rye non-starch polysaccharides: their impact on poultry intestinal physiology, nutrients digestibility and performance indices—a review. *An. Anim. Sci.* 17, 351-369.
- Bolarinwa, O., and Adeola, O. 2012. Energy value of wheat, barley, and wheat dried distillers grains with solubles for broiler chickens determined using the regression method. *Poult. Sci.* 91, 1928-1935.
- Brenes, A., Smith, M., Guenter, W., and Marquardt, R. 1993. Effect of enzyme supplementation on the performance and digestive tract size of broiler chickens fed wheat-and barley-based diets. *Poult. Sci.* 72, 1731-1739.
- Cardoso, V., Ferreira, A., Costa, M., Ponte, P., Falcão, L., Freire, J., Lordelo, M., Ferreira, L., Fontes, C., and Ribeiro, T. 2014. Temporal restriction of enzyme supplementation in barley-based diets has no effect in broiler performance. *Anim. Feed Sci. and Technol.* 198, 186-195.
- Choct, M., Hughes, R., Wang, J., Bedford, M., Morgan, A., and Annison, G. 1996. Increased small intestinal fermentation is partly responsible for the anti-nutritive activity of non-starch polysaccharides in chickens. *Brit. Poult. Sci.* 37, 609-621.
- Classen, H. 1996. Cereal grain starch and exogenous enzymes in poultry diets. *Anim. Feed Sci. and Technol.* 62, 21-27.
- CONCEA, D. D. P. D. E. (2013). do Conceia. *Brasília/DF*.
- FEDNA, C. 2010. De Blas, GG Mateos, P. *Tablas FEDNA de composición y valor nutritivo de alimentos para la fabricación de piensos compuestos (3rd ed.)*, Fundación Española para el Desarrollo de la Nutrición Animal, Madrid, Spain.
- Gao, F., Jiang, Y., Zhou, G., and Han, Z. 2008. The effects of xylanase supplementation on performance, characteristics of the gastrointestinal tract, blood parameters and gut microflora in broilers fed on wheat-based diets. *Anim. Feed Sci. and Technol.* 142, 173-184.
- García, M., Lázaro, R., Latorre, M., Gracia, M., and Mateos, G. 2008. Influence of enzyme supplementation and heat processing of barley on digestive traits and productive performance of broilers. *Poult. Sci.* 87, 940-948.
- Jorgensen, H., Zhao, X. Q., Knudsen, K. E. B., and Eggum, B. O. 1996. The influence of dietary fibre source and level on the development of the gastrointestinal tract, digestibility and energy metabolism in broiler chickens. *Brit. J. Nutr.* 75, 379-395.
- Khadem, A., Lourenço, M., Delezie, E., Maertens, L., Goderis, A., Mombaerts, R., Höfte, M., Eeckhaut, V., Van Immerseel, F., and Janssens, G. 2016. Does release of encapsulated nutrients have an important role in the efficacy of xylanase in broilers? *Poult. Sci.* 95, 1066-1076.
- Knudsen, K. E. B. 1997. Carbohydrate and lignin contents of plant materials used in animal feeding. *Anim. Feed Sci. and Technol.* 67, 319-338.
- Knudsen, K. E. B. 2014. Fiber and nonstarch polysaccharide content and variation in common crops used in broiler diets. *Poult. Sci.* 93, 2380-2393.
- Lázaro, R., Garcia, M., Medel, P., and Mateos, G. 2003. Influence of enzymes on performance and digestive parameters of broilers fed rye-based diets. *Poult. Sci.* 82, 132-140.
- Lázaro, R., Latorre, M., Medel, P., Gracia, M., and Mateos, G. 2004. Feeding regimen and enzyme supplementation to rye-based diets for broilers. *Poult. Sci.* 83, 152-160.

- Masey O'Neill, H., Smith, J. & Bedford, M. 2014. Multicarbohydrase enzymes for non-ruminants. *Asian-Austr. J Anim. Sci.* 27, 290-301.
- Mathlouthi, N., Mallet, S., Saulnier, L., Quemener, B., and Larbier, M. 2002. Effects of xylanase and beta-glucanase addition on performance, nutrient digestibility, and physico-chemical conditions in the small intestine contents and caecal microflora of broiler chickens fed a wheat and barley-based diet. *Anim. Res.* 51, 395-406.
- Moftakharzadeh, S. A., Moravej, H., and Shivazad, M. 2017. Effect of using the Matrix Values for NSP-degrading enzymes on performance, water intake, litter moisture and jejunal digesta viscosity of broilers fed barley-based diet. *Acta Sci. Anim. Sci.* 39, 65-72.
- Pettersson, D., and Aman, P. 1988. Effects of enzyme supplementation of diets based on wheat, rye or triticale on their productive value for broiler chickens. *Anim. Feed Sci. and Technol.* 20, 313-324.
- Rostagno, H., Albino, L., Donzele, J., Gomes, P., Oliveira, R., Lopes, D., Ferreira, A., Barreto, S., and Euclides, P. 2017. Tabelas brasileiras para aves e suínos. *Composição de alimentos e exigências nutricionais. 4rd ed. UFV, Viçosa, MG, Brazil.*
- Smith, M. 1993. Parts yield of broilers reared under cycling high temperatures. *Poult Sci.* 72, 1146-1150.
- Smits, C. H., and Annison, G. 1996. Non-starch plant polysaccharides in broiler nutrition—towards a physiologically valid approach to their determination. *W. Poult. Sci. J.* 52, 203-221.
- van Krimpen, M., Torki, M., and Schokker, D. 2017. Effects of rye inclusion in grower diets on immune competence-related parameters and performance in broilers. *Poult. Sci.* 96, 3324-3337.
- Yan, F., Dibner, J., Knight, C., and Vazquez-Anon, M. 2017. Effect of carbohydrase and protease on growth performance and gut health of young broilers fed diets containing rye, wheat, and feather meal. *Poult. Sci.* 96, 817-828.

## VI- CONSIDERAÇÕES FINAIS

Os resultados obtidos neste estudo confirmam a eficácia do complexo enzimático, demonstrado sua atuação sobre as moléculas de arabinosilanos e  $\beta$ -glucanos presentes no centeio e na cevada.

A adição de 0,02% do complexo enzimático nas dietas contendo centeio ou cevada proporcionou melhoras na digestibilidade e metabolizabilidade da energia das rações, redução da viscosidade intestinal, melhora no desempenho produtivo, rendimento de carcaça, relação vilo:cripta e nos níveis séricos de glicose, colesterol total e triglicérides.