

## ENZIMAS EXÓGENAS SOBRE A MICROBIOTA INTESTINAL: A EXPRESSÃO DE GENES E O DESEMPENHO DE FRANGOS DE CORTE

*(Exogenous enzymes action on the intestinal microbiota: gene expression and perform of poultry)*

Janaína Thainara de Lima MACIEL<sup>1</sup>; Claudson Oliveira BRITO<sup>2</sup>; Camilla Mendonça SILVA<sup>3\*</sup>

<sup>1</sup>Programa de Pós-Graduação em Zootecnia da Universidade Federal de Sergipe (UFS), Av. Marechal Rondon, s/n, Cidade Universitária, Jd. Rosa Elze. CEP: 49.100-000, São Cristóvão, SE; <sup>2</sup>Dpto de Zootecnia (UFS); <sup>3</sup>Pesquisadora PNP/CAPEL. \*E-mail: [camillamsazoo@gmail.com](mailto:camillamsazoo@gmail.com)

### RESUMO

O uso de complexos enzimáticos influencia positivamente diversas características produtivas durante o desenvolvimento de frangos de corte. Essas enzimas exógenas atuam reduzindo os efeitos anti nutricionais, de compostos como os Polissacarídeos Não Amiláceos (PNAs), e fitato. A utilização desses aditivos visa melhorar o aproveitamento dos ingredientes da dieta, a partir do aumento da digestibilidade dos nutrientes. Essa maior absorção de nutrientes proporcionada pelos complexos enzimáticos influi positivamente em algumas características. Objetiva-se com esta revisão de literatura, compreender como o uso de enzimas exógenas na dieta influenciam a microbiota intestinal, a expressão de genes, e o desempenho produtivo de frangos de corte.

**Palavras-chave:** Avicultura, carboidratase, nutrigenômica, PNAs, xinalase.

### ABSTRACT

The use of enzymatic complexes positively influences several productive characteristics during the development of broilers. These exogenous enzymes act by reducing the anti-nutritional effects of compounds such as Non-Amylactic Polysaccharides (PNAs) and phytate. The use of these additives aims at improving the use of dietary ingredients, by increasing the digestibility of nutrients. This higher absorption of nutrients provided by the enzymatic complexes has a positive influence on some characteristics. The objective of this literature review is to understand how the use of exogenous enzymes in the diet influences the intestinal microbiota, the expression of genes, and the productive performance of broilers.

**Key words:** Aviculture, carbohydratase, nutrigenomics, PNAs, xinalase.

### INTRODUÇÃO

A avicultura de corte tem alcançado patamares expressivos mundialmente, e diversos fatores garantem o sucesso do setor, a nutrição destaca-se com o aparecimento de várias alternativas de incremento da produção baseadas na otimização da utilização dos nutrientes das rações (VARGAS *et al.*, 2017). A alta especificidade das dietas, com utilização de enzimas exógenas transparece o contexto atual da nutrição animal, que busca

o melhor aproveitamento dos nutrientes provenientes de alimentos vegetais (MUNIR e MAQSOOD, 2013).

Os fatores anti nutricionais mais evidentes que podem estar presentes numa ração são o fitato (fósforo fítico) e os Polissacarídeos Não Amiláceos (PNAs) em função da sua presença em maior concentração na dependência da matéria-prima (KRABBE e MAZZUCO, 2011). Os PNAs, contidos em alimentos de origem vegetal, são açúcares simples, de baixa digestibilidade, que causam transtornos no trânsito intestinal dos animais monogástricos, além do aumento na viscosidade da digesta (DELMASCHIO, 2018).

No Brasil a maioria das dietas é constituída por ingredientes altamente digestíveis, como o milho e farelo de soja, conhecida como dietas não viscosas, mas estes ingredientes ainda são passíveis de melhoria na digestibilidade a partir do uso de enzimas exógenas (BARBOSA *et al.*, 2014). De acordo com Ladeira (2016) o milho e farelo de soja apresentam em média 10,3% e 19,1% respectivamente, de PNAs em sua estrutura, estando distribuído principalmente na parede celular (CLASSEN, 1996).

A suplementação de enzimas exógenas na alimentação de aves possui dentre os objetivos complementar a ação de enzimas endógenas, assim como fornecer enzimas que não são sintetizadas pelo organismo (GERHARDT, 2013). O efeito da suplementação enzimática nas aves é influenciado pelo tipo e concentração de PNAs contido nos alimentos, além da idade dos animais, sendo as aves mais jovens as mais afetadas pelos efeitos anti nutricionais (MUNIR e MAQSOOD, 2013).

O uso de enzimas exógenas na ração pode contribuir para a maior eficiência produtiva das aves, devido à melhoria da digestão de produtos considerados de baixa qualidade (GERHARDT, 2013). Melhorar o processo de aproveitamento dos nutrientes, diminuir o custo de proteína produzida, aumentar a variabilidade de matéria prima para formular as rações e uniformizar a produção são as principais justificativas da utilização das enzimas exógenas nas dietas (VARGAS *et al.*, 2017).

Contudo, é essencial o estudo a respeito dos efeitos das enzimas exógenas sobre a expressão de genes da absorção, seus efeitos na microbiota intestinal e desempenho de frangos de corte. Portanto, objetiva-se com esta revisão de literatura, compreender como o uso destes aditivos na dieta influenciam essas características.

## DESENVOLVIMENTO

### **Polissacarídeos Não Amiláceos (PNAs)**

Os PNAs são os principais constituintes da parede celular dos alimentos de origem vegetal, e não podem ser digeridos pelas aves devido à natureza das ligações, sendo resistente à hidrólise no trato digestivo (CONTE *et al.*, 2003). As aves não apresentam enzimas endógenas para a degradação dos PNAs, e a quantidade elevada destes compostos reduz a digestibilidade e a absorção de carboidratos, proteínas e lipídeos, o que afeta o conteúdo energético da dieta (FIREMAN e FIREMAN, 1998).

Assim, esses carboidratos resistentes à digestão em animais não ruminantes, a depender do nível na dieta colaboram para a menor digestibilidade dos alimentos, influenciando negativamente o desempenho de frangos de corte. Porém, podem ser

hidrolisados com a ação das enzimas exógenas, proporcionando maior degradação da parede celular dos ingredientes utilizados nas rações, conseqüentemente, melhora o coeficiente de digestibilidade (GRACIA *et al.*, 2003).

Os PNAs solúveis, também são conhecidos por sua característica viscosa, em absorver água e formar um gel viscoso, sendo fermentado por microrganismos do intestino grosso, resultando na formação de gases e na sensação de flatulência, influenciando assim de forma negativa, pois comprometem a digestão e absorção dos nutrientes, por dificultar a ação das enzimas digestivas e a difusão das substâncias relacionadas com a digestão e absorção (OPALINSKI *et al.*, 2010). Os principais representantes dessa classe são os arabinosilanos,  $\beta$ -glucanos, D-mananos, galactomananos, xiloglucanos (LADEIRA, 2016). À medida que aumenta a viscosidade intestinal, diminui a difusão de enzimas, acarretando um aumento na liberação de enzimas endógenas para compensar estas deficiências digestivas, porém, esta capacidade é limitada, especialmente em animais jovens (GERHARDT, 2013).

Os PNAs insolúveis que não são fermentados, mas absorvem água durante sua passagem pelo sistema digestivo, resultam em volume e fezes macias de fácil eliminação. Níveis elevados afetam a taxa de passagem no intestino delgado, podendo ser decorrente da estimulação física da fibra insolúvel sobre as paredes do trato gastrointestinal (GERHARDT, 2013) os principais representantes dessa classe são as xiloses e xilanos (LADEIRA, 2016).

### **Enzimas exógenas na nutrição de não ruminantes**

Biologicamente, as enzimas são proteínas globulares, naturalmente presente no organismo dos animais, tendo por função catalisar reações químicas, estando assim envolvidas em todas as vias anabólicas e catabólicas da digestão e do metabolismo, (KHATTAK *et al.*, 2006). Sua atividade é específica para determinadas reações e substratos, possuem um sítio ativo que permite a essas enzimas atuarem sobre determinada ligação química sob condições favoráveis de temperatura, umidade e pH, no trato digestivo a enzima adicionada à ração é ativada quando se mistura aos fluidos digestivos e sob a temperatura do organismo (PENZ JÚNIOR *et al.*, 1999).

As carboidrases atuam diretamente sobre substratos específicos e na degradação da parede celular dos vegetais, permitindo o acesso dos substratos que, por estarem no conteúdo celular, se tornariam indispensáveis para o aproveitamento pelos animais não ruminantes (LEITE *et al.*, 2012). Existem dois principais tipos de enzimas comercializadas para diferentes características dos ingredientes sendo: baixa viscosidade (milho, sorgo, soja) e alta viscosidade (trigo, centeio, cevada, aveia) (FREITAS *et al.*, 2010).

Os principais objetivos da suplementação enzimática em animais não ruminantes são, remover ou quebrar os fatores antinutricionais dos grãos; aumentar a digestibilidade da ração; potencializar a ação das enzimas endógenas (GUENTER, 1997). A disponibilidade de nutrientes é frequentemente limitada pela presença de fatores antinutricionais, sendo crescente o número de pesquisas realizadas esclarecendo os benefícios da utilização das enzimas na redução de problemas digestivos provocados por esses fatores, assim como na redução da poluição ambiental proveniente do excesso de nutrientes excretados pelos animais.

Muitos fatores anti nutricionais não são tóxicos para os animais não ruminantes, mas sua presença nos alimentos causa crescimento reduzido, piora na conversão alimentar, alterações hormonais e esporádicas lesões nos órgãos (CAMPESTRINI *et al.*, 2005). O desenvolvimento de pesquisas ainda é necessário para um melhor domínio do perfil de substratos presentes nas matérias primas, associado ao desenvolvimento de recursos analíticos práticos e viáveis para serem implantados pelo controle de qualidade das fábricas de ração (KRABBE e LORANDI, 2014).

Dependendo do tipo de enzima adicionado, preconiza-se reduções percentuais em certos nutrientes da ração como nos teores de proteína, aminoácidos, fósforo, cálcio e energia metabolizável. Isso ocorre, devido a hidrólise das ligações glicosídicas, pois o conteúdo celular passa a ser disponível para absorção. Melhorar o processo de aproveitamento dos nutrientes, diminuir os custos de proteína produzida, aumentar a variabilidade de matéria prima para formular as rações e uniformizar a produção são as principais justificativas da utilização das enzimas exógenas. A suplementação com enzimas nas dietas pode ser por complexos enzimáticos (*blends* de enzimas) ou individualmente (BARBOSA *et al.*, 2014).

Os complexos enzimáticos são preparações comerciais que envolvem enzimas como a amilase, xilanase,  $\alpha$ -galactosidase, fitase,  $\beta$ -glucanase, pectinase, celulase, cuja suplementação na dieta das aves têm proporcionado melhorias no desempenho (NUNES *et al.*, 2013). Esse *blend* são enzimas trabalhando em conjunto afim de melhorar a digestibilidade, algumas são adicionadas na dieta com intuito de complementar quantitativamente a atuação de enzimas endógenas para hidrolisar compostos que prejudiquem a digestão (SCHRAMM, 2014).

De acordo com Leite *et al.* (2011), a suplementação com complexos enzimáticos diversos como amilase, protease, pectinase,  $\beta$ -glucanase, celulase, pentosanase, fitase em rações a base de sorgo e milho na forma “on top” para frangos de corte, proporcionou melhores coeficientes de digestibilidade de lipídeos, nitrogênio, energia metabolizável e matéria seca nas dietas experimentais formuladas. Estudos comprovam que fazer uso de diversas enzimas acarretam melhores resultados, pois uma enzima degrada determinado nutriente, e facilita para outra enzima agir sobre o produto gerado (LADEIRA, 2016). É improvável que o uso da xilanase independentemente de outras enzimas exógenas, como protease, amilase ou fitase, produza o valor ou a consistência de uma resposta que a combinação de atividades acima é capaz de fornecer (COWIESON, 2005).

As enzimas podem ser oriundas de vegetais, animais, ou microrganismos cuidadosamente selecionados para tal tarefa, e cultivados sob condições controladas. Em escala industrial grande parte das enzimas produzidas é oriunda de bactérias (*Bacillus subtilis*, *Bacillus lentus*, *Bacillus amyloliquifaciens* and *Bacillus stearothermophils*), fungos (*Trichoderma longibrachiatum*, *Asperigillus oryzae* and *Asperigillus niger*) e leveduras (*S. cerevisiae*) (KHATTAK *et al.*, 2006). Com isso estudos continuam sendo realizados buscando avaliar as especificidades de cada enzima, verificando a dinâmica enzimática, do uso em complexos ou individualmente.

### **Enzima Fitase**

Na maioria dos complexos enzimáticos comercializados, a fitase é utilizada pois as glicosidades presentes na maioria dos complexos são capazes de degradar a camada de PNAs

da membrana, facilitando o acesso da fitase ao fitato armazenado na membrana da parede celular e, conseqüentemente atuar sinergicamente com as outras enzimas para melhorar o aproveitamento dos nutrientes (BARBOSA *et al.*, 2014). Cerca de 2/3 do fósforo dos vegetais está ligado ao ácido fítico, o que leva a formação de um complexo orgânico que reduz a disponibilidade do fósforo (NUNES *et al.*, 2013).

O modo de ação da enzima fitase consiste no mecanismo de transferência do grupo fosfato do substrato para a enzima e posteriormente para a água, o fitato a ser hidrolisado produz cinco classes de produtos intermediários e libera o fosfato inorgânico juntamente com o nutriente preso a sua estrutura para a absorção (CAMPESTRINI *et al.*, 2005). A presença do fitato (Substrato para fitase) causa piora nos valores de energia metabolizável e a digestibilidade de aminoácidos não só pela ligação que esse composto possui com os nutrientes, ou dificultar o acesso de enzimas digestivas, mas também pelas perdas endógenas (SELLE *et al.*, 2006), conseqüência disso, as dietas são formuladas com alto teor de fósforo inorgânico, o que acaba aumentando o custo da ração, e excreção de nutrientes no ambiente.

A fitase age sobre o fitato que é a maior fonte de reserva de fósforo nas plantas, quando esterificado no álcool cíclico inositol com seis grupos de ácido fosfórico forma o ácido fítico, esse composto pode se complexar com outros cátions bivalentes como cálcio, manganês, magnésio, ferro e zinco (FIREMAN e FIREMAN,1998), esses compostos complexados podem formar a fitina nas sementes. O fitato é encontrado principalmente no gérmen e na soja, encontra-se associado aos corpos protéicos distribuído por toda semente (SCHRAMM, 2014).

### **Carboidrases**

As carboidrases não são secretadas no trato gastrointestinal das aves mesmo na presença de substrato (KRABBE e MAZZUCO, 2011) isso ocorre porque o código genético dos monogástricos não dispõe da indicação para sua síntese (PENZ JUNIOR *et al.*, 1998). As carboidrases são enzimas que catalisam a quebra dos carboidratos em açúcares simples e podem ser classificados em enzimas que degradam amido (Amilase), e as que degradam os PNAs (MENEGETTI, 2013).

As carboidrases decompõem os PNAs em pequenas unidades, perdendo assim a capacidade de retenção de água, com a diminuição da viscosidade a ação enzimática sobre o conteúdo intestinal se torna mais eficiente (SILVA *et al.*, 2015). Sua eficiência é o resultado da diminuição da viscosidade intestinal, com conseqüente aumento na taxa de difusão dos nutrientes do lúmen para a corrente sanguínea. Enzimas tendem a serem catalisadores de reações muito específicas, atuando em um ou no máximo um grupo limitado de compostos conhecidos (KRABBE e LORANDI, 2014).

O uso de carboidrases está vinculado a fatores geográficos, há registros de diferentes valores de digestibilidade relacionadas as variações na composição química e valor nutricional de milho (VIEIRA *et al.*, 2007). O efeito da suplementação enzimática é maior em alimentos de baixa digestibilidade, pois neles há uma maior oportunidade de melhora na digestibilidade, portanto deve-se utilizar uma estratégia de suplementação enzimática apropriada, nesse contexto as carboidrases compreendem uma gama de enzimas que podem ser suplementadas às rações com o objetivo de melhorar o aproveitamento da energia e a digestibilidade de nutrientes (RIOS, 2017).

As principais carboidrases exógenas comerciais são xilanase,  $\beta$ -glucanase,  $\beta$ -mananase, pectinase,  $\alpha$ -galactosidase, elas agem decompondo os PNAs em pequenas unidades, perdendo assim a capacidade de retenção de água (SILVA, 2016). A adição de complexos enzimáticos melhora a eficiência de produção das aves através de um aumento na digestibilidade dos componentes da fibra, de redução nos efeitos dos fatores antinutricionais e na variabilidade dos nutrientes presentes nos alimentos (KRABBE e MAZZUCO, 2011).

O principal substrato da xilanase é o arabinoxilano, atuando assim diretamente na redução da viscosidade da digesta intestinal (NUNES *et al.*, 2013). Cada complexo enzimático tem uma atividade característica conforme o substrato no qual atua (KRABBE e MAZZUCO, 2011). A viscosidade está entre os maiores efeitos dos  $\beta$ -glucanos e das arabinoxilanas, e apenas uma pequena fenda na molécula pesada do substrato é necessária para a enzima exógena aumentar a disponibilidade dos nutrientes (SILVA, 2016). Carboidrases como  $\beta$ -glucanase e xilanase podem atuar reduzindo a viscosidade da digesta e com isso melhorar a ação de algumas enzimas endógenas, melhorando assim a utilização da energia proveniente da dieta (FIREMAN e FIREMAN, 1998).

### **Microbiota intestinal das aves**

A diversidade da microbiota intestinal de aves, proporciona uma dinâmica e metabolismo, de alta complexidade, que influencia diretamente em fatores fisiológicos, histológicos, bioquímicos e imunológicos no animal hospedeiro, sendo esses microrganismos de fundamental importância para o desenvolvimento das aves em todas as fases de vida (MACARI *et al.*, 2014). O principal desafio da produção avícola hoje se refere à busca de um equilíbrio entre a microbiota e a ave hospedeira. Esse equilíbrio baseia-se na presença de microrganismos benéficos ao animal e que não promovam competição com o hospedeiro por nutrientes ou esteja envolvido em toxiinfecção em seres humanos, (PICKLER *et al.*, 2012).

A quantidade e composição dos microrganismos variam consideravelmente ao longo do trato gastrointestinal, alterando a espécie dominante de acordo com a região do intestino (JIANGRANG *et al.*, 2003). Ao que se refere à dieta, mudanças na composição, na densidade de nutrientes, características físicas e no processamento do alimento, o tipo e o nível de aditivo utilizado podem ter efeitos significativos sobre a dinâmica da microbiota, que conseqüentemente influi na habilidade dos animais em digerir e absorver nutrientes (OVIEDO-RONDÓN *et al.*, 2006). Uma melhor absorção dos nutrientes, proporcionado pelas enzimas exógenas, diminui a quantidade de substrato no intestino, o que resulta em alteração na quantidade e composição da população microbiana (MATHLOUTHI *et al.*, 2002a).

Os principais grupos patogênicos de importância comercial conhecidos são *Clostridium perfringens* e *Escherichia coli*, além de outros grupos patogênicos desconhecidos que estão presentes no trato gastrointestinal (APAJALAHTI *et al.*, 2004). O ceco é a estrutura de maior foco nos estudos microbiológicos, já que permite a proliferação de cepas patogênicas. Esta região é o principal local de fermentação microbiana, no intestino dos frangos e, por isso, o único local onde é possível aproveitar parte dos carboidratos estruturais dietéticos não degradáveis pelas enzimas endógenas (MACARI *et al.*, 2014).

A suplementação com enzimas exógenas pode reduzir o número de bactérias no intestino distal, podendo ainda haver uma associação entre o uso de xilanase, com a redução da viscosidade e a diminuição do número de *Campylobacter jejuni* no ceco de pintos (FERNANDEZ *et al.*, 2000). Dietas ricas em PNAs diminui o trânsito intestinal a ponto de microrganismos iniciarem competição por nutrientes com o animal, tendo dessa forma mais condições para reprodução, conseqüentemente aumento populacional (SHAKOURI *et al.*, 2008).

A microbiota intestinal das aves é formada por aproximadamente 400 espécies de microorganismos que convivem em equilíbrio com o hospedeiro, aderidas ao epitélio ou livres na luz intestinal, a quantidade e as espécies variam ao longo do trato conforme alterações de pH (CHAVES, 2018). A microbiota das aves pode ser classificada em dois grandes grupos, denominados de: microbiota residente, que é composta por bactérias, fungos e protozoários que vivem dentro do trato gastrointestinal, se estabelece permanentemente, mas não causa doenças no hospedeiro, ou a denominada microbiota transitória, que pode ser definida como a microbiota que perdura no trato gastrointestinal por um período definido, por dias ou semanas e depois desaparece, sendo as cepas patogênicas são inclusas nesse grupo (MACARI *et al.*, 2014).

A composição da população em microrganismos está diretamente ligada à digestibilidade dos componentes da dieta, já que um melhor aproveitamento dos componentes da parede celular dos vegetais através de enzimas pode reduzir o número de unidades formadoras de colônias de bactérias anaeróbias facultativas e *Escherichia coli* no ceco de frangos, em dietas suplementadas com as enzimas xilanase e  $\beta$  glucanase, (MATHLOUTHI *et al.*, 2002b). Verifica-se assim, que o uso de enzimas exógenas é uma estratégia nutricional eficaz para reduzir a carga microbiana patogênica (COWIESON, 2005).

### **Expressão Gênica – Genes da absorção**

A nutrigenômica estuda a relação entre os nutrientes e os genes, como a dieta e a genética podem influenciar, essa ciência parte do princípio que os nutrientes agem de formas diferentes em cada animal, de acordo com a herança genética (SILVA e SILVA, 2015). Sabe-se que a nutrição pode alterar a expressão fenotípica, sendo a nutrigenômica a ciência que busca compreender o impacto dos nutrientes sobre a expressão gênica e, também, como o genótipo de um indivíduo pode influenciar sua resposta aos nutrientes da dieta (DUCLOS, 2007).

O entendimento da interação entre genes e nutrição propicia uma das ferramentas mais poderosas para manipular os sistemas de produção (SILVA e SILVA, 2015). Avanços na nutrigenômica propiciam a explicação de perguntas chaves sobre a dieta e o seu efeito sobre o organismo. Ao concentrar na expressão genética, possivelmente possamos entender de forma mais apropriada a importância de determinados nutrientes na dieta e a partir disto estabelecer estratégias nutricionais que venham a trazer significativa melhora na saúde e produtividade animal (RUTZ *et al.*, 2009).

Tem sido sugerido que as carboidrases liberam oligossacarídeos fermentáveis no processo de despolimerização dos PNAs que são fermentados a ácidos graxos voláteis no ceco (KIARIE *et al.*, 2014). A nutrição pode influenciar a expressão gênica através da ação

hormonal sobre os seus receptores através de nutrientes específicos, o estado nutricional energético e alterações no consumo alimentar (BONAPARTE *et al.*, 2014)

Estudos já correlacionaram nutrição e expressão gênica, onde verificou a expressão de mRNA genes mitocondriais em codornas alimentadas com glicerol, verificando que a inclusão de 8% de glicerol na dieta não afeta a expressão da adenina nucleotídeo translocase (SILVA *et al.*, 2015). Sabe-se que genes podem se expressar de forma distinta somente pela diferença na temperatura de criação, logo, há uma interação da dieta e a condição térmica (ZEFERINO, 2013). O autor inferiu ainda que, sob efeito da restrição alimentar a expressão da *avUCP* foi maior na dieta controle e, além disso, o calor crônico e a suplementação isoladamente não apresentam efeito sobre a expressão da *avUCP*.

Nesse sentido, o uso de carboidrases otimizam a absorção de carboidratos, conseqüentemente, a expressão de genes que possuem a função de codificar transportadores de carboidratos relacionando assim a absorção de nutrientes a genes como *SLC15A1* (Transportador de Oligopeptídeos), *SLC2A2* (Transportador de glicose e galactose dependente de Na<sup>+</sup>) ambos os genes podem ser expressos de forma mais significativa em dietas com carboidrases, se comparado a dietas sem essas enzimas (ALARCON, 2015).

### **Desempenho de Frangos de Corte**

Existem vários mecanismos potenciais pelos quais as enzimas exógenas melhoram o valor nutritivo das dietas a base de milho e farelo de soja (COWIESON, 2005). Uma das alternativas mais versáteis para auxiliar o crescimento da rentabilidade na avicultura é a aplicação destes aditivos nas dietas visando melhorar a digestibilidade dos alimentos e conseqüente desempenho das aves, refletindo diretamente na eficiência produtiva (BARBOSA *et al.*, 2014).

Kiarie *et al.* (2014) verificaram que as aves alimentadas com dietas contendo a enzima (1,250 UI de xilanase/kg) apresentaram o melhor ganho de peso e conversão alimentar em relação as aves alimentadas sem a enzimas. Choct *et al.* (2010) analisaram que o aumento dos níveis de PNAs elevou a viscosidade da digesta e reduziu a energia metabolizável (EM) da dieta de frangos, levando à redução no ganho de peso e piora na conversão alimentar, a suplementação enzimática por sua vez, aumentou os níveis de EM e melhorou o desempenho dos frangos.

Diversos estudos avaliaram de forma positiva a atuação de várias enzimas exógenas utilizadas de forma combinada, nos índices produtivos (AMERAH *et al.*, 2017; STEFANELLO *et al.*, 2015; WOYENGO *et al.*, 2010; COWIESON e ADEOLA, 2006).

Não há dúvidas que a combinação enzimática entre carboidrases e fitases são eficazes na melhoria do desempenho, no entanto, para que os efeitos sejam consistentes e constantes uma boa qualidade dos ingredientes predominantes, ou seja, milho e farelo de soja, são essenciais (COWIESON e ADEOLA, 2006).

Embora as classes de enzimas hidrolisem substratos diferentes e gerem produtos diversos, um efeito líquido no aumento da digestibilidade do amido, proteína, aminoácidos e gordura com uma conseqüência energética cumulativa parece ser um resultado esperado de sua ação (STEFANELLO *et al.*, 2015) o que reflete no desempenho.

Sabe-se que a relação benéfica efetiva no uso de enzimas sobre o desempenho, está estritamente relacionado à melhoria da digestibilidade de nutrientes (SEBASTIAN *et al.*,



1997; RUTHERFURD *et al.*, 2007; COWIESON e BEDFORD, 2009; STEFANELLO *et al.*, 2016). Estudos também mostram que enzimas exógenas refletem positivamente na morfologia intestinal, com o uso combinado de enzimas como xilanase e amilase (GRACIA *et al.*, 2003). A suplementação enzimática aumenta a altura e largura das vilosidades, além da diminuição da profundidade de cripta (ZHU *et al.*, 2014). O aumento da altura das vilosidades e da área superficial pode indicar uma melhora geral da capacidade digestiva e de absorção do intestino delgado, em resposta ao maior fluxo de nutrientes (ZHU *et al.*, 2014), a melhora na integridade das estruturas absorptivas é benéfica ao desempenho das aves.

Alterações benéficas nesses parâmetros através do uso de enzimas exógenas combinadas ou não, resultam na melhoria da conversão alimentar (KIARIE *et al.*, 2014; KALANTAR *et al.*, 2019) no ganho de peso (WOYENGO *et al.*, 2010; CARDOSO *et al.*, 2011; STEFANELLO *et al.*, 2015; FERNANDES *et al.*, 2017) e no menor consumo de ração (AMERAH *et al.*, 2017). Esse efeito é causado muitas vezes pela maior degradação dos complexos de fibras insolúveis, e redução da viscosidade da digesta através da degradação das arabinosilanas solúveis das paredes celulares dos grãos (FORTES *et al.*, 2012).

Vale ressaltar que a resposta no desempenho sobre a adição de enzimas exógenas combinadas ou não, em dietas para frangos de corte, depende de vários aspectos como conteúdo dos fatores antinutricionais nos ingredientes, condições intestinais (RAZA *et al.*, 2019), idade das aves, condições ambientais, presença ou ausência de coccidiostáticos (COWIESON e ADEOLA, 2006), que devem ser avaliados para que a partir disso, decida-se a enzima ou grupo enzimático mais adequado a cada situação. A adição arbitrária de enzimas a uma matriz nutricional sem um entendimento claro dos substratos resultará, na melhor das hipóteses, em melhorias variáveis inconstantes no desempenho e, na pior das hipóteses, efeito negativo no uso de enzimas, como verificado por Yegani e Korver (2013), ou até mesmo sem influência no desempenho como verificado por Meng e Slominski (2005) e Kocher *et al.* (2000). Claramente, a variedade de respostas ao uso de enzimas e combinações é inaceitável para os produtores de produtos avícolas, sendo fundamental que mais informações sejam desenvolvidas baseadas em análise de dados, para mostrar o que a combinação enzimática ou enzima solitária podem oferecer, seja em efeito aditivo, subaditivo ou sinérgico no desempenho (COWIESON e ADEOLA, 2006).

## CONSIDERAÇÕES FINAIS

Verifica-se que é possível melhorar o aproveitamento de componentes vegetais estruturais e não estruturais, através da hidrólise enzimática aos (PNAs), que por muito tempo não foram explorados para animais não ruminantes. O milho e o farelo de soja são os ingredientes mais onerosos das dietas para aves, sendo necessário assim a busca pelo aproveitamento máximo dos nutrientes contidos, o que acarreta diversos benefícios ao animal, consequentemente ao produtor.

## REFERÊNCIAS

- ALARCON, M.F.F. Uso de probiótico e óleos essenciais na ração sobre a microbiota intestinal, atividade de enzimas digestivas e a expressão de genes relacionados aos processos de digestão e absorção de nutrientes em frangos. 2015. 128p. Tese (Doutorado em Zootecnia) – Programa de Pós-graduação em Zootecnia, Universidade Estadual Paulista, 2015.
- AMERAH, A.M.; ROMERO, L.F.; AWATI, A.; RAVINDRAN, V. Effect of exogenous xylanase, amylase, and protease as single or combined activities on nutrient digestibility and growth performance of broilers fed corn/soy diets. *Poultry Science*, v.96, p.807-816, 2017.
- BARBOSA, N.A.A.; BONATO, M.A.; SAKOMURA, N.K.; DOURADO, L.R.B.; FERNANDES, J.B.K.; KAWAUCHI, I.M. Digestibilidade ileal de frangos de corte alimentados com dietas suplementadas com enzimas exógenas. *Comunicata Scientiae*, v.5, n.4, p.361-369, 2014.
- BONAPARTE, T.B.; VARGAS JUNIOR, J.G.; BIZARRIA, D.G.; BARATA, A.L.; NASCIMENTO, H.S.; SILVA, B.M.F.; CARVALHO, R.B.; MESQUITA, C.B.; OLIVEIRA, L.R.S.; SOARES, R.T.R.N. Princípios da nutrigenômica e seu emprego na nutrição animal do futuro, In: DEMINICIS, B.B. e MARTINS, C.B. Tópicos especiais em ciência animal: 1ª ed., Calefes, cap. 19, p.201-206, 2014.
- CAMPESTRINI, E.; SILVA, V.T.M.; APPELT, M.D. Utilização de enzimas na alimentação animal. *Revista Eletrônica Nutritime*, v.2, n.6, p.259-272, 2005.
- CARDOSO, D.M.; MACIEL, M.P.; PASSOS, D.P.; SILVA, F.V.; REIS, S.T.; AIURA, F.S. Efeito do uso de complexo enzimático em rações para frangos de corte. *Archivos de Zootecnia*, v.60, n.232, p.1053-1064, 2011.
- CHAVES, N.R.B. Fitase e xilanase em dietas com ajustes nutricionais para frangos de corte. 2018. 109p. Tese (Doutorado em Zootecnia) Programa de Pós-Graduação em Ciência Animal da Universidade Federal de Mato Grosso do Sul, 2018.
- CLASSEN, H.L. Cereal grain starch and exogenous enzymes in poultry diets. *Animal feed Science technology*, Amsterdam, v.119, n.3/4, p.293-305, 1996.
- CONTE, A.J.; TEIXEIRA, A.S.; FIALHO, E.T.; SCHOULTEN, N.A.; BERTECHINI, A.G. Efeito da fitase e xilanase sobre o desempenho e as características ósseas de frangos de corte alimentados com dietas contendo farelo de arroz. *Revista Brasileira de Zootecnia*, v.32 n.5, p.1147-1156, 2003.
- COWIESON, A.J. Factors that affect the nutritional value of maize for broilers. *Animal feed science and technology*, v.199, n.3-4, p.293-305, 2005.
- COWIESON, A.J.; BEDFORD, M.R. The effect of phytase and carbohydrase on ileal amino acid digestibility in monogastric diets: complimentary mode of action? *World's Poultry Science Journal*. v.65, p.157-164. 2009.

COWIESON, A.J.; ADEOLA, O. Carbohydrases, protease, and phytase have an additive beneficial effect in nutritionally marginal diets for broiler chicks. *Poultry Science*, v. 84, p.1860-1867, 2006.

DELMASCHIO, I.B. Enzimas na alimentação de animais monogástricos. *Revista Científica de Medicina Veterinária -UNORP*, v.2, n.1, p.6-20, 2018.

DUCLOS, M.J. Which perspectives for nutrigenomics in chickens. *European Symposium on Poultry Nutrition. Proceedings*, p.16, 2007.

FERNANDEZ, F.; SHARMA, R.; HINTON, M.; BEDFORD, M.R. Diet influences the colonisation of *Campylobacter jejuni* and distribution of mucin carbohydrates in the chick intestinal tract. *CMLS Cellular and Molecular Life Sciences*, v.57 n.2000, p.1793-1801, 2000.

FERNANDES, J.I.M.; CONTINI, J.P.; PROKOSKI, K.; GOTTARDO, E.T.; CRISTO, A.B.; PERINI, R. Desempenho produtivo de frangos de corte e utilização de energia e nutrientes de dietas iniciais com milho classificado ou não e suplementadas com complexo enzimático. *Arquivo Brasileiro de Medicina Veterinária e Zootecnia*, v.69, n.1, p.181-190, 2017.

FIREMAN, A.K.B.A.T.; FIREMAN, F.A.T. Fitase na alimentação de poedeiras. *Revista Ciência Rural*, v.28, n.3, p.529-53, 1998.

FORTES, B.D.A.; CAFE, M.B.; STRINGHINI, J.H.; BRITO, J.A.G.; REZENDE, P.L.P.; SILVA, R.D. Avaliação de programas nutricionais com a utilização de carboidrases e fitase em rações de frangos de corte. *Ciência Animal Brasileira*, v.13, n.1, p.24-32, 2012.

FREITAS, T.C.; VALADARES, L.S.C.; BARBOSA, L.C.G.S.; FREITAS, B.V.; ALBUQUERQUE, R.; ARAÚJO, L.F.; ARAÚJO, C.S.S. Uso de enzimas exógenas na alimentação de frangos de corte. In: SANTOS, M.V.; ALBUQUERQUE, R.; RENNÓ, F.P.; SILVA, L.F. *Novos desafios da pesquisa em nutrição e produção animal*. p.147-162, 2010.

GERHARDT, G. Utilização de carboidrases em dietas à base de milho e farelo de soja para frangos de corte. 2013, 34p. Monografia (Graduação em Medicina Veterinária), Faculdade de Veterinária, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 2013.

GRACIA, M.I.; ARANÍBAR, M.J.; LÁZARO, R.; MEDEL, P.; MATEOS, GG. Alpha-amylase supplementation of broiler diets based on corn. *Poultry Science*, v.82, n.3 p.436-442, 2003.

GUENTER, W. Practical experience with the use of enzymes. In: MARQUARDT, R. R.; ZHENGKANG, H. *Enzymes in poultry and swine nutrition*, p.54-62, 1997.

JIANGRANG, L.; IDRIS, U.; HARMON, B.; HOFACRE, C.; MAURER, J.; LEE, M.D. Diversity and succession of the intestinal bacterial community of the maturing broiler chicken. *Applied and Environmental Microbiology*, v.69, p.6816-6824, 2003.

KHATTAK, F.; HAYAT, Z.; PASHA, T.N. MAHMUD, A. Enzymes in poultry nutrition. *Journal of Animal and Plant Sciences*, v.16 p.1-2, 2006.

KALANTAR, M.; SCHREURS, N.M.; RAZA, S.H.A.; KHAN, R.; AHMED, J.Z.; YAGHOBFAR, A.; SHAH, M.A.; KALANTAR, M.H.; HOSSEINI, S.M.; RAHMAN, S.U. Effect of different cereal-based diets supplemented with multi-enzyme blend on growth performance villus structure and gene expression (SGLT1, GLUT2, PepT1, and MUC2) in the small intestine of broiler chickens. *Gene Reports*, v.15, p.100-376, 2019.

KIARIE, E.; ROMERO, L.F.; RAVINDRAN, V. Growth performance, nutrient utilization, and digesta characteristics in broiler chickens fed corn or wheat diets without or with supplemental xylanase. *Poultry Science*, v.93, n.5, 2014.

KOCHER, A.; CHOCT, M.; PORTER, M.D.; BROZ, J.; The effects of enzyme addition to broiler diets containing high concentration of canola or sunflower meal. *Poultry Science*, v.79, p.1767-1774, 2000.

KRABBE, E.; MAZZUCO, H. Ouso de enzimas em dietas para poedeiras comerciais. *Estudos da Embrapa, Avicultura Industrial*, n.6, p.16-23, 2011.

KRABBE, E.L.; LORANDI, S. Atualidades e tendências no uso de enzimas na nutrição de aves, Estância de São Pedro, SP, 2014. In: VI Congresso Latino-Americano de Nutrição Animal - Sala Aves, (Anais) Colégio Brasileiro de Nutrição Animal, 2014.

LADEIRA, D.S. Influência da suplementação de enzimas exógenas no valor nutricional do farelo de soja para frangos de corte. 2016. 58p. Dissertação (Mestrado em Zootecnia) Programa de Pós-Graduação em Zootecnia, Universidade Federal de Viçosa, 2016.

LEITE, P.R.S.C.; LEANDRO, N.S.M.; STRINGHINI, J.H.; CAFÉ, M.B.; GOMES, N. A. FILHO, R.M.J. Desempenho de frangos de corte e digestibilidade de rações com sorgo ou milho e complexo enzimático. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, v.46, n.3, p.280-286, 2011.

LEITE, P.R.S.C.; LEANDRO, N.S.M.; STRINGHINI, J.H.; SOUZA, E.S.; CAFÉ, M.B.; CARVALHO, F.B.; ANDRADE, M.A. Microbiota intestinal e desempenho de frangos alimentados com rações elaboradas com sorgo e milho e complexo enzimático. *Arquivo Brasileiro de Medicina Veterinária e Zootecnia*, v.64, n.6, p.1673-1681, 2012.

MACARI, M.; LUNEDO, R.; PEDROSO, A.A. Microbiota intestinal de aves. In: MACARI, M.; MENDES, A.A.; MENTEN, J.F.; NAAS, I.A. Produção de frango de corte, p.03-22, 2014.

MATHLOUTHI, N.; LALLÉS, J.P.; LEPERCQ, P.; JUSTE, C.; LARBIER, M. 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. *Journal of Animal Science*, v.80, n.11, p.2773-2779, 2002a.

MATHLOUTHI, N.; MALLETT, S.; SAULNIER, L.; QUEMENER, B.; LARBIER, M. 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. *Animal Research*, v.51, p.395-406, 2002b.

MENEGHETTI, C. Associação de enzimas em rações para frangos de corte. 2013. 96p. Tese (Doutorado em Zootecnia) – Programa de Pós-Graduação em Zootecnia, Universidade Federal de Lavras, 2013.

MENG, X.; SLOMINSKI, B.A. Nutritive values of corn, soybean meal, canola meal, and peas for broiler chickens as affected by a multicarbohydrase preparation of cell wall degrading enzymes. *Poultry Science*, v.84, p.1242-1251, 2005.

MUNIR, K.; MAQSOOD, S. A review on role of exogenous enzyme supplementation in poultry production. *Animal Science, Emirates Journal of Food & Agriculture*, v.25, n.1, p.66-80, 2013.

NUNES, J.K.; CONTREIRA, C.L.; FARINA, G.; SANTOS, V.L.; LOPES, M.; NOVELINI, L. Suplementação de enzimas na dieta de aves. *Revista Eletrônica Nutritime*, v.10, n.5, p.2781-2524, 2013.

OPALINSKI, M.; MAIORKA, A.; CUNHA, F. ROCHA, C.; BORGES, S.A. Adição de complexo enzimático e da granulometria da soja integral desativada melhora desempenho de frangos de corte. *Ciência Rural Online*, v.40, n.3, p.628-632, 2010.

OVIDO-RONDÓN, E.O.; HUME, M.E.; HERNÁNDEZ, C.; CLEMENTE-HERNÁNDEZ, C. Intestinal microbial ecology of broilers vaccinated and challenged with mixed *Eimeria* species and supplemented with essential oil blends. *Poultry Science*, v.85, n.5, p.854-860, 2006.

PENZ Jr, A.M.; MEINERZ, C.E.T.; MAGRO, N. Efeito da nutrição na quantidade e na qualidade dos dejetos de suínos, Porto Alegre, RS, 1999. In: XXXVI Reunião Anual da Sociedade Brasileira de Zootecnia, 36, 1999, Anais...Porto Alegre: CD-ROOM, 1999, v.36, 343p.

PICKLER, L.; SANTIN, E.; SILVA, A.V.F.; Alternativas aos antibióticos para equilibrar a microbiota gastrointestinal de frangos. *Archives of Veterinary Science*, v.16, n.3, p.1-13, 2012.

RAZA, A.; BASHIR, S.; TABASSUM, R. Na update on carbohydrases: growth performance and intestinal health of poultry. *Heliyon*, v.5, p.14-37, 2019.

RIOS, H.V. Suplementação de um complexo enzimático de carboidrases em dietas milho-soja para frangos de corte. 2017. 127p. Dissertação (Mestrado em Zootecnia) – Programa de Pós-Graduação em Zootecnia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 2017.

RUTHERFURD, S.M.; CHUNG, T.K.; MOUGHAN, P.J. The effect of a commercial enzyme preparation on apparent metabolizable energy, the true ileal amino acid digestibility, and endogenous ileal lysine losses in broiler chickens. *Poultry Science*, v.86, p.665-672, 2007.

RUTZ, F.; GONÇALVES, F.M.; ANCIUTI, M.A.; XAVIER, E.G.; GENTILINI, F.P.; ROLL, V.F.B. Nutrigenômica na produção de aves e suínos. I Congresso Internacional sobre uso da levedura na alimentação animal. CBNA, 2009.

SCHRAMM, V.G. Interação de xilanase e fitase em dietas a base de milho e farelo de soja para frangos de corte. 2014. 63p. Dissertação (Mestrado em Ciências Veterinárias) - Programa de Pós-graduação em Ciências Veterinárias, Universidade Federal do Paraná, 2014.

SEBASTIAN, S.; TOUCHBURN, S.P.; CHAVEZ, E.R.; LAGUE, P.C. Apparent digestibility of protein and amino acids in broiler chickens fed a corn-soybean diet supplemented with microbial phytase. *Poultry Science*, v.76, p.1760-1769, 1997.

SELLE, P.H.; WALKER, A.R.; BRYDEN, W.L. Total and phytate-phosphorus contents and phytase activity of Australian-sourced feed ingredients for pigs and poultry. *Australian Journal of Experimental Agriculture*, v.43, p.475-479, 2006.

SHAKOURI, M.D.; IJI, P.A.; MIKKELSEN, L.L.; COWIESON, A.J. Intestinal function and gut microflora of broiler chickens as influenced by cereal grains and microbial enzyme supplementation. *Journal of Animal Physiology and Animal Nutrition*, v.93, n.5, p.647-658, 2008.

SILVA, D.L. Influência da suplementação de enzimas exógenas no valor nutricional do farelo de soja para frangos de corte. 2016. 58p. Dissertação (Mestrado em Zootecnia) – Curso de Pós-graduação em Zootecnia, Universidade Federal de Viçosa, 2016.

SILVA, H.O.; SILVA, L.F. Novos conceitos e tecnologias aplicadas à produção e nutrição de suínos aliados a sustentabilidade. *Ciência Animal*, v.25, n.1, p.109-120, 2015.

SILVA, S.C.C.; GASPARINO, E.; VOLTOLINI, D.M.; MARCATO, S.M.; TANAMATI, F. Expressão do mRNA de genes mitocondriais e desempenho produtivo de codornas alimentadas com glicerol. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, Brasília, v.48, n.2, p.228-233, 2015.

STEFANELLO, C.; VIEIRA, S.L.; SANTIAGO, G.O.; KINDLEIN, L.; SORBARA, J.O.B.; COWIESON, A.J. Starch digestibility, energy utilization, and growth performance of broilers fed corn-soybean basal diets supplemented with enzymes. *Poultry Science*, v.94, p.2472-2479, 2015.

STEFANELLO, C.; VIEIRA, S.L.; RIOS, H.V.; SIMÕES, C.T.; SORBARA, J.O.B. Energy and nutrient utilisation of broilers fed soybean meal from two different Brazilian production areas with an exogenous protease. *Animal Feed Science and Technology*, v.221, p.267-273, 2016.

VARGAS, R. C.; GERALDO, A.; ROCHA, T.C.; SILVA, I.M.; TELES, S.P.; NOGUEIRA, F.S.; CARVALHO, C.A.; GONÇALVES, R.A. Complexo multienzimático em dietas de poedeiras comerciais. *Revista de Ciências Agroveterinárias*, Lages, v.16, n.1, p.61-69, 2017.

VIEIRA, R.O.; RODRIGUES, P.B.; FREITAS, R.T.F.; NASCIMENTO, G.A.J., SILVA, E.L.; HESPANHOL, R. Composição química e energia metabolizável de híbridos de milho para frangos de corte. *Revista Brasileira de Zootecnia*, v.36, n.4, p.832-838, 2007.

ZEFERINO, C.P. Resposta fisiológica, qualidade da carne e expressão gênica no músculo esquelético de frangos de corte sob estresse por calor que receberam antioxidantes na dieta. 2013, 128p. Tese (Doutorado em Zootecnia), Programa de Pós-Graduação em Zootecnia, Faculdade de Medicina Veterinária e Zootecnia, 2013.

YEGANI, M.; KORVER, D.R. Effects of corn source and exogenous enzymes on growth performance and nutrient digestibility in broiler chickens. *Poultry Science*, v.92, p.1208-1220, 2013.

WOYENGO, T.A.; SLOMINSKI, B.A.; JONES, R.O. Growth performance and nutrient utilisation of broiler chickens fed diets supplemented with phytase alone or in combination with citric acid and multicarbohydase. *Poultry Science*, v.89, p.2221-2229, 2010.

ZHU, H.L.; HU, L.L.; HOU, Y.Q.; ZHANG, J.; DING, B.Y. The effects of enzyme supplementation on performance and digestive parameters of broilers fed corn-soybean diets. *Poultry Science*, v.93, p.1704-1712, 2014.