

BETA-GLUCANASES E XILANASES NA NUTRIÇÃO DE NÃO RUMINANTES

Bárbara Domingues Franzini¹
Stéfane Alves Sampaio¹
Hemylla Sousa Santos Barros¹
Fernanda Xavier de Castro Santana¹
Lorrayne Moraes de Paulo²
Alison Batista Vieira Silva Gouveia²
Fabiana Ramos dos Santos¹
Cibele Silva Minafra¹

RESUMO

A busca por custo x benefício na avicultura envolve compreender como melhorar o desempenho animal a partir da alimentação ao mesmo tempo em que haja diminuição dos custos. Tendo em vista o crescente aumento monetário da matéria prima da ração, várias pesquisas se voltam para novas fontes energéticas derivados de plantas, que contêm quantidades significativas de fibras e agem como fatores antinutricionais, interferindo no desempenho zootécnico das aves. Os principais componentes das fibras, as beta glucanas e xilanas, podem ser quebradas e melhor aproveitadas quando no uso de enzimas exógenas chamadas de carboidrases, sendo a beta glucanase e xilase as respectivas enzimas que fazem a lise desses componentes. É necessário, portanto, melhor compreensão da forma de ação de cada enzima, assim como a fonte nutritiva das bases alimentares alternativas. Esse artigo tem por objetivo abordar e revisar as duas principais fontes de fibras, beta glucanas e xilanas, e suas respectivas enzimas, beta glucanase e xilase.

Palavras chave: avicultura, beta-glucana, fibras, polissacarídeo não amiláceo, xilanas.

BETA-GLUCANASES AND XYLANASES IN NON-RUMINANT NUTRITION**ABSTRACT**

The pursuit for cost-benefit in poultry farming involves understanding how to improve animal performance through feeding while reducing costs. In view of the growing monetary increase in feed raw material, several researches are focused on new energy sources derived from plants, which contain significant amounts of fiber and act as anti-nutritional factors, interfering with the zootechnical performance of birds. The main components of fiber, beta glucans and xylans, can be broken down and better utilized when using exogenous enzymes called carbohydrases, with beta glucanase and xylase being the respective enzymes that lyse these components. It is therefore necessary to better understand the mode of action of each enzyme, as well as the nutritive source of alternative food bases. This work aims to address and review the two main sources of fiber, beta glucans and xylans, and their respective enzymes, beta glucanase and xylase.

Keywords: beta-glucan, fibers, non-starch polysaccharide, poultry, xylan.

¹ Mestrando no Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia Goiano. barbara.franzini@estudante.ifgoiano.edu.br

² Universidade Federal de Goiás. lorraynemoraesrv@gmail.com

BETA GLUCANASAS Y XILANASAS EN LA NUTRICIÓN DE NO RUMIANTES

RESUMEN

La búsqueda de la relación costo-beneficio en la avicultura implica comprender cómo mejorar el rendimiento animal mediante de la alimentación y reducir los costos. Ante el creciente aumento monetario de la materia prima de los alimentos, varias investigaciones se enfocan en nuevas fuentes de energía derivadas de las plantas, que contienen cantidades significativas de fibra y actúan como factores antinutricionales, interfiriendo en el desempeño zootécnico de las aves. Los principales componentes de la fibra, los betaglucanos y los xilanos, se pueden descomponer y utilizar mejor cuando se usan enzimas exógenas llamadas carbohidrasas, siendo la betaglucanasa y la xilasa las enzimas respectivas que lisan estos componentes. Por lo tanto, es necesario comprender mejor el modo de acción de cada enzima, así como la fuente nutritiva de las bases alimenticias alternativas. Este trabajo tiene como objetivo abordar y revisar las dos principales fuentes de fibra, beta glucanos y xilanos, y sus respectivas enzimas, beta glucanasa y xilasa.

Palabras clave: avicultura, beta glucano, fibras, polisacárido sin almidón, xilano.

INTRODUÇÃO

Os ingredientes de rações derivados de plantas contêm fibra, que é composta por um número de carboidratos complexos (polissacarídeos não amiláceos, ou PNA's) encontrados nas paredes celulares vegetais. A fibra é dividida em dois grupos: solúvel e insolúvel. Pode atuar como um antinutriente interferindo na absorção de alguns nutrientes (1,2).

Os polissacarídeos não amiláceos (PNAs) são componentes da parede celular vegetal, encontrados na forma de hemicelulose, celulose, pectina e quitina, e podem influenciar no desempenho zootécnico das aves (3).

Fatores antinutricionais contidos nas dietas à base dos principais cereais em rações animais parecem ser eliminados ou diminuídos com adição de enzimas exógenas na alimentação, tornando os nutrientes antes não utilizados, disponíveis para a absorção intestinal das aves. O uso de enzimas depende do tipo de cereal utilizado e da relação custo benefício que a suplementação enzimática poderá oferecer. A adição de enzimas exógenas pode, portanto, aumentar o valor produtivo dos alimentos comerciais e oferecer maior flexibilidade na formulação das dietas, diminuindo custos enquanto mantém os parâmetros nutricionais da alimentação (4).

Na tentativa de encontrar alternativas viáveis e de menor custo de ingredientes para ração, tem-se explorado matérias-primas de origem vegetal e animal. Apesar do interesse no emprego de coprodutos, sua utilização nas formulações depende do seu valor nutricional, tornando-se necessário determinar além de sua composição química, a disponibilidade de seus nutrientes e energia biodisponível (5).

Atrelado a este desenvolvimento, pesquisas sobre novas tecnologias com ingredientes econômicos e nutricionalmente viáveis estão sendo aperfeiçoadas. Dessa forma, estudos sobre fontes alternativas de nutrientes oferecem oportunidades para aprimorar as formulações, além de diminuir os custos de produção (6).

As carbohidrasas têm sido utilizadas nas dietas para hidrolisar os polissacarídeos não amiláceos, a fim de aumentar a digestibilidade dos alimentos utilizados nas rações (7).

O grão mais utilizado mundialmente em dietas de aves é o trigo com aplicação de xilanase para superar os problemas associados ao alto teor de arabinoxilano. Porém, devido à disponibilidade reduzida e o aumento do custo do trigo a indústria de ração para aves pesquisa

a utilização da cevada como fonte alternativa, mas seu uso tem sido limitado devido aos efeitos negativos observados no desempenho das aves, provavelmente consequência de seu alto nível de beta-glucana. Consequentemente, muitos nutricionistas acreditam que é necessário suplementar beta-glucanases em dietas de aves contendo cevada (8).

Dessa forma, objetivou-se com esta revisão abordar as xilanas e beta-glucanas e suas respectivas enzimas de degradação xilanase e beta-glucanase na nutrição das aves.

REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

Carboidratos

Os carboidratos, também conhecidos como glicídios ou açúcares, são moléculas constituintes dos seres vivos, assim como proteínas, lipídios e ácidos nucleicos. A combinação das diferentes funções bioquímicas de cada uma dessas moléculas permite a integridade da célula e de todos os processos metabólicos, fisiológicos e genéticos dos organismos vivos (9).

Os carboidratos mais simples são os monossacarídeos, os quais compreendem a glicose, a frutose e a galactose; os oligossacarídeos são carboidratos de cadeia curta, representados pela sacarose e celobiose; e os polissacarídeos são carboidratos de cadeias longas, dos quais fazem parte o amido e os PNAs (10).

A disponibilidade nutricional dos carboidratos depende da capacidade dos animais em quebrar as ligações glicosídicas nos diferentes carboidratos e outras substâncias (11).

Há décadas que a importância da correta quantificação da fração de fibra dos alimentos e dietas vêm sendo relegada a segundo plano na nutrição dos não ruminantes, além de seus efeitos digestivos e metabólicos. A maioria das abordagens quanto a esta fração sempre levaram em consideração apenas os aspectos negativos de sua presença na dieta desta categoria (12).

A fibra é constituída por um agregado de compostos, e não um grupo químico distinto. Portanto, a composição química da fibra é diretamente dependente da sua fonte e da metodologia usada na sua determinação laboratorial (13).

A primeira fração determinada, extraída em solução de detergente neutro, é composta pela celulose, hemicelulose e lignina, e a segunda, extraída em uma solução detergente ácida, pela celulose e lignina. A fibra pode também ser dividida de acordo com sua solubilidade em água, sendo definida como solúvel e insolúvel (14).

Na fração solúvel haverá polissacarídeos não amiláceos (PNA), hemiceluloses e substâncias pécticas e na fração insolúvel a lignina, celulose, hemiceluloses insolúveis, taninos, cutinas e compostos minoritários. Além disso, pode-se classificar a fibra de acordo com seu grau de fermentação: alta, baixa e moderada (15).

Polissacarídeos Não Amiláceos (PNAs)

Os polissacarídeos não amiláceos (PNAs) são definidos como macromoléculas de polímeros de açúcares simples ou, monossacarídeos, que resistem à hidrólise no trato gastrointestinal de animais monogástricos, devido ao tipo de ligações entre as unidades existentes de açúcares (16). O amido é a maior forma de carboidrato presente nos cereais, porém outras formas também são encontradas: celulose, hemicelulose e pentosanas, além de oligossacarídeos como: estaquiase e rafinose. Tais carboidratos são de baixa digestibilidade para aves e contribuem pouco para o fornecimento total de energia, provocando efeitos adversos na digestão quando em altas concentrações (17).

Os PNAs podem ser divididos em solúveis e insolúveis. Dentre os PNAs solúveis encontram-se a hemicelulose (xiloglucanos, arabinoxilanos, β -glucanos, dentre outros), gomas e pectinas. Possuem grande capacidade de absorver água, o que aumenta a viscosidade do quimo e o volume da digesta, diminui o trânsito intestinal e compromete a dissociação de enzimas e substratos, comprometendo assim, a digestibilidade e aproveitamento dos alimentos, com aumentos no conteúdo de água em fezes e excretas, além de incrementarem a hidrólise de sais biliares com conseqüente diminuição na digestão das gorduras (18).

No grupo dos PNAs insolúveis, encontram-se a celulose e a lignina como constituintes mais importantes, além de algumas hemiceluloses (18). Esse tipo de fibra prejudica a digestão dos ingredientes, pois aumenta a motilidade e a velocidade do trânsito intestinal, diminuindo o tempo de permanência da digesta em contato com as enzimas digestivas endógenas, além de terem um efeito de encapsulação de nutrientes dentro das estruturas da parede celular vegetal, tornando-as inacessíveis ao aproveitamento pelos não ruminantes (19). Na figura 1, observa-se uma classificação resumida dos PNAs.

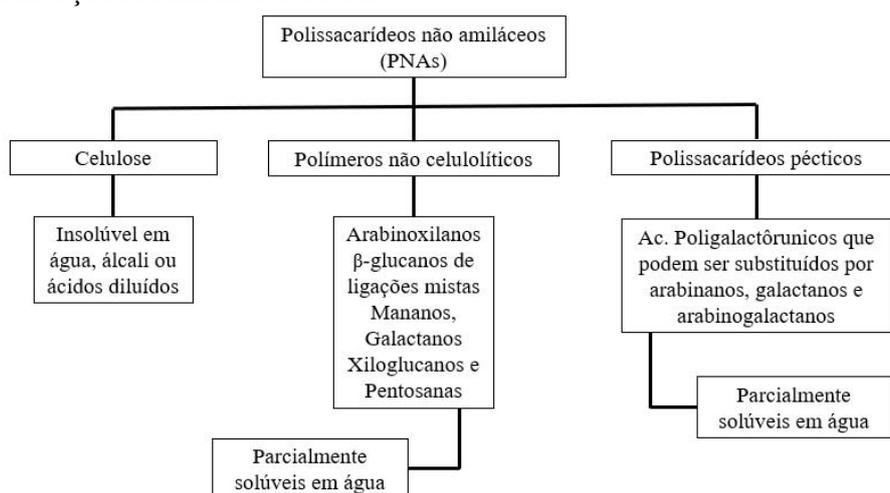


Figura 1. Classificação dos polissacarídeos não amiláceos (PNAs). Adaptado de Choct (20)

A celulose é o biopolímero mais abundante na Terra. As paredes das células vegetais normalmente consistem em cerca de 35–50% de celulose, 20–35% de hemicelulose e 10–25% de lignina por massa seca (21). A celulose é um β -glucano insolúvel em água que consiste em uma molécula de até 15.000 resíduos de D-anidroglicopiranosose ligados por um ligação β - (1 \rightarrow 4) (1). Na Figura 2, uma representação esquemática da celulose.

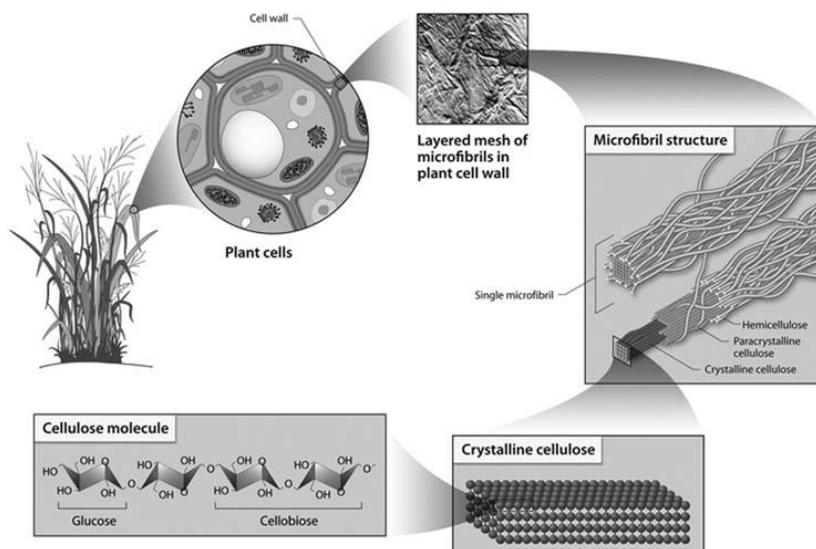


Figura 2. Apresentação esquemática da celulose. Bedford (1).

As β -glucanas são um grupo de polissacarídeos amplamente encontrados na natureza, fazendo parte da estrutura da parede celular de bactérias, fungos, algas e cereais. Além da função estrutural, possuem outras atividades biológicas (22). É um polissacarídeo solúvel, não ramificado, constituindo uma cadeia linear composta por unidades de glicose, formada de ligações glicosídicas β (1 \rightarrow 4 e 1 \rightarrow 3). As ligações β -1,4 (aproximadamente 70%) ocorrem em grupos, enquanto as ligações β -1,3 ocorrem isoladas (aproximadamente 30%), encontradas principalmente na aveia e na cevada, conforme demonstrado na Figura 3 (23).

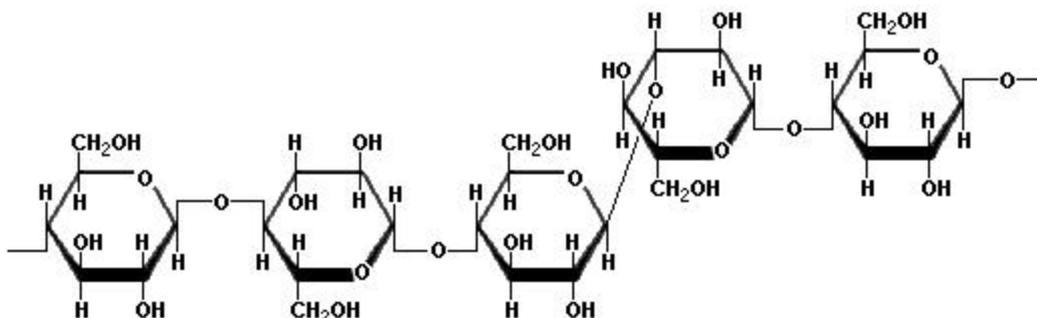


Figura 3. Estrutura molecular da β -glucana. Nörnber (23).

As xilanas são um tipo de hemicelulose que representa o terceiro biopolímero mais abundante da Terra. São encontradas nas plantas, nas paredes celulares secundárias das dicotiledôneas e em todas as paredes celulares das gramíneas (24). São formados por unidades de D-xilose ligadas por pontes glicosídicas β -1,4 na cadeia principal e diferentes carboidratos, tais como ácidos urônicos e seus derivados, L-arabinose e oligossacarídeos em cadeias laterais, como mostra a Figura 4 (25).

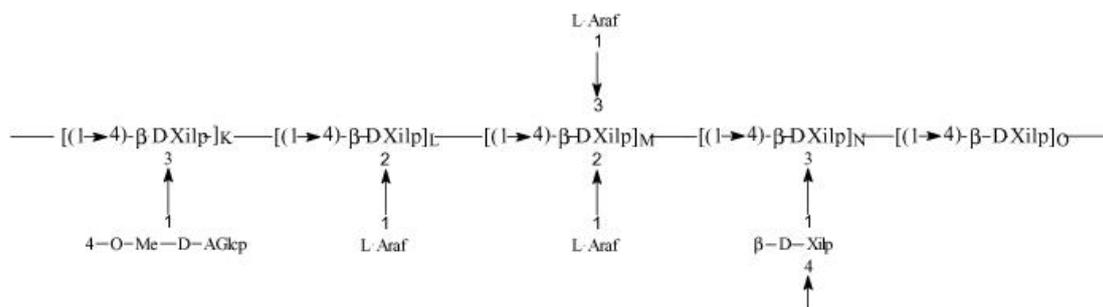


Figura 4. Estrutura química da xilana. Silva (25).

A solubilidade dos polissacarídeos da parede celular é variável de grão em grão, e, junto com o tamanho molecular da fração solúvel, é um fator importante, pois reduzem o desempenho animal, especialmente em frangos de corte (1), pois a capacidade de digestão de PNAs da microbiota intestinal do frango é limitada dentro do curto período de trânsito da digesta, causada pela alta viscosidade dos PNAs solúveis (26).

Carboidrases

As carboidrases compreendem as amilases, xilanases, pectinases, βglucanases, arabinoxilanases, celulases e hemicelulases, cujos substratos são respectivamente, o amido, pectinas, β-glucanos, arabinoxilanos, celulose e hemicelulose. As enzimas carboidrases (xilanase e a glucanase), são produzidas por fungos do gênero *Aspergillus*, sendo utilizadas para hidrolisar os polissacarídeos não amiláceos, aumentando a digestibilidade dos alimentos como a cevada, o trigo, o centeio, a aveia e o triticale que pelo rompimento da parede celular dos ingredientes de origem vegetal, realizam a quebra dos carboidratos em açúcares simples sendo classificadas em enzimas que degradam o amido e os polissacarídeos não amiláceos. As carboidrases são as enzimas que mais proporcionam redução nos custos de produção de ração (27).

O uso de enzimas na indústria, está ligado ao emprego de insumos com composição bromatológica de pouca digestibilidade. Este uso tem como finalidades complementar as enzimas endógenas – existentes no organismo - porém produzidas em quantidades insuficientes como as lipases e amilases ou fornecer enzimas que os animais não conseguem produzir, assim como as carboidrases e as fitases (28).

O Quadro 1 mostra as diferentes enzimas (carboidrases) com seus respectivos substratos e efeitos em dietas para aves.

Quadro 1. Enzimas, substratos e efeitos das enzimas utilizadas em dietas para aves. Adaptado de Vasconcellos (29).

ENZIMA	SUBSTRATO	EFEITOS
Xilanase	Arabinoxilanos	Redução da viscosidade da digesta.
Glucanase	B-glucanas	Redução da viscosidade da digesta. Menor umidade de cama.

Beta glucanase

As β-1,3-glucanases são produzidas por bactérias, leveduras, e fungos filamentosos e sua ação ocorre por meio de quebras hidrolíticas (Figura 5) sucessivas a partir da extremidade não-redutora da glucana, obtendo-se monossacarídeos (glicose) e oligossacarídeos como produtos finais da reação, e em um período mais longo, apenas moléculas de glicose (30).

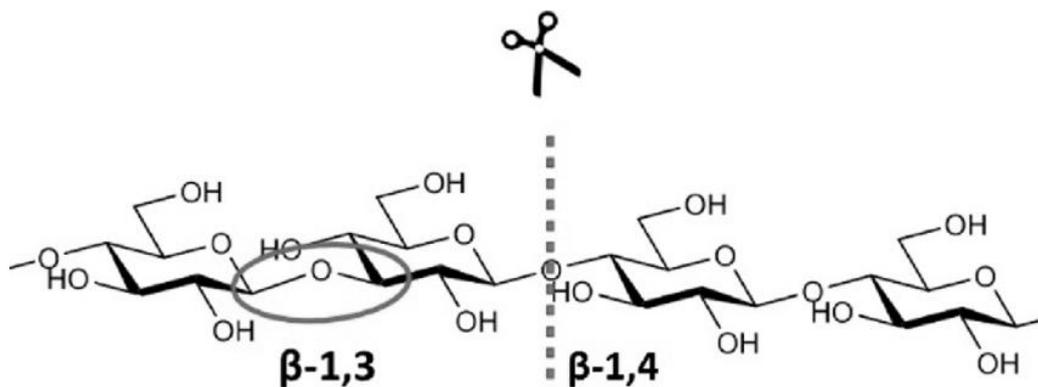


Figura 5. Modo de ação da endo-1,3-1,4- β -glucanase. K.Edison (31)

O principal local de fermentação no trato digestivo de frangos é o ceco, devido a uma população bacteriana mais diversificada. Seu acesso é restrito a partículas muito finas e moléculas solúveis menos viscosas. A beta glucana possui um alto peso molecular, e isso pode afetar a capacidade dessa molécula de entrar no ceco. A suplementação dietética com carboidrases do tipo beta glucanase aumenta a fermentação cecal enquanto reduz a fermentação ileal de carboidratos, o que aumenta a capacidade da fibra de entrar no ceco com o uso de enzimas (32).

Um estudo de Karunaratne et al. (33) em frangos de corte concluiu que o peso molecular total de β -glucano na digesta ileal (aves alimentadas com dietas à base de 60% de cevada sem casca) foi aproximadamente 10 vezes menor em comparação com o peso molecular de β -glucano encontrado nas dietas de 60% cevada sem casca sem a adição de beta glucanase exógena.

Sua utilização na alimentação de frangos visa um incremento no aproveitamento de dietas que contenham ingredientes com grandes quantidades de PNAs, diminuindo a viscosidade da dieta causada por esses polissacarídeos, melhorando, assim, a digestão de carboidratos estruturais e disponibilizando o conteúdo encapsulado dentro da célula vegetal (34).

Existem variações que o pesquisador deve compreender para melhorar a resposta da suplementação enzimática, tais como a forma dos ingredientes dietéticos, condições de criação sob as quais o animal é criado, variações individuais nas condições do trato digestivo do animal e na composição dos ingredientes para mitigar ou acentuar o efeito de uma enzima e, como resultado, otimizar o retorno econômico (1).

Xilanase

É uma carboidrase com ação a uma fração dos polissacarídeos não amiláceos (PNAs) com participação nas dietas à base de milho e farelo de soja, sendo quebrado em pequenas frações destas fibras, chamado de arabinosilo-oligômeros, no qual diminui a capacidade de reter água, redução da viscosidade intestinal e liberação dos nutrientes indisponíveis encapsulados nas estruturas da parede celular, como o amido, lipídeos, proteínas e aminoácidos antes ligados à fração fibrosa do alimento, proporcionando uma melhor digestibilidade dos nutrientes (35).

São glicosidases responsáveis principalmente pela hidrólise das ligações β -1,4 presentes na xilana vegetal (componente da hemicelulose). Tendo em vista que as hemiceluloses são

constituídas de vários polímeros (principalmente, xilana), formados por diferentes resíduos de açúcares, a sua degradação completa necessita da ação cooperativa de um consórcio de enzimas microbiais específicas. A enzima principal na despolimerização da xilana é a endo β -1,4 xilanase (36).

A quebra dos polímeros de xilanas por xilanase acarreta em vários produtos como, xilose, xilobioses e xilotrioses, bem como pela composição dos açúcares substituídos (37). Isso ocorre, dentre outros fatores, pelas diferenças no local de ação do substrato devido a diferentes grupos glicídicos. As xilanas promovem efeitos deletérios na nutrição das aves, devido não apresentar complexos enzimáticos que hidrolisem estes compostos glicídicos, sendo necessário o uso de enzimas exógenas para auxiliar na mitigação dos efeitos negativos provocados pela composição destas substâncias (38).

Uma das carboidrases que vem sendo introduzida nas dietas comerciais é a xilanase. Essas enzimas são produzidas essencialmente por fungos e bactérias, que provocam uma quebra parcial das ligações da cadeia dos arabinoxilanos, permitindo reduzir os efeitos negativos provocados por esse carboidrato estrutural nos frangos de corte. Esta quebra promove a diminuição da viscosidade do conteúdo digestivo, com consequentes aumentos da digestibilidade e melhores performances dos animais (39).

A xilanase é uma enzima do tipo glicosidase que atua na hidrólise de ligações β 1-4 das xilanas vegetal, atuando no rompimento das fibras possibilitando maior capacidade de ação de amilases e proteases, sendo uma importante característica desta enzima a sua atuação em ampla faixa de pH, que pode variar de 3,5 a 6,5, possibilitando sua ação ao longo de todo o intestino delgado (40).

Uma alternativa utilizada para poder neutralizar a ação dos polissacarídeos não amiláceos (PNAs) nas dietas das aves é a suplementação de enzimas exógenas. As xilanases podem agir sobre os arabinoxilanos e melhorar a disponibilidade de energia metabolizável e dos nutrientes da ração (41).

A enzima apresenta cinco modos distintos de ação, no qual agem degradando os PNAs da parede celular liberando os nutrientes encapsulados, promovendo uma diminuição da viscosidade do conteúdo digestivo no sistema intestinal e, consequentemente, aumentando a taxa de difusão de substratos, enzimas e produtos finais da digestão, melhorando a acessibilidade das enzimas endógenas aos nutrientes, estimulando a mobilidade intestinal e o trânsito digestivo ou ainda suplementando a capacidade enzimática em animais jovens (42).

A utilização de enzimas do tipo PNAs pode inibir a fermentação no íleo e estimular a fermentação nos cecos. A redução da fermentação no intestino delgado é benéfica para o organismo da ave, pois o amido e proteínas não digeridos contidos na digesta fermentada nesta região passam a ser hidrolisados e absorvidos. E com a ação enzimática da xilanase, os xilooligossacarídeos (XOS) resultantes da degradação dos PNAs podem apresentar efeito prébiótico no ceco, atuando como substrato para a proliferação de bactérias benéficas, e também como elas podem atuar como moléculas sinalizadoras para estimular o microbioma a se tornar mais ativo no ataque às fibras alimentares (43-46).

Espera-se, com adição de xilanase na alimentação, por meio da liberação energética, pela fermentação intestinal e minimização dos efeitos antinutricionais desse nutriente, um melhor aproveitamento dos PNA, ocasionando melhora digestibilidade (47). Twomey et al. (48) avaliaram a adição de amilase, beta-glucanase e xilanase em dietas com níveis crescentes de adição de PNA solúveis e verificaram maior coeficiente de digestibilidade para matéria seca, energia e gordura.

Já em estudo realizado por Sá (49), o qual objetivou avaliar os efeitos da adição de diferentes misturas de enzimas, incluindo glucanase, xilanase, celulase, glicoamilase, fitase e α -amilase em dietas extrusadas para cães em dietas com farelo de trigo, concluiu-se que a adição das nove misturas enzimáticas em dietas nas doses e maneiras empregadas no estudo não resultaram em mudanças significativas na digestibilidade e qualidade fecal.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

Adição de suplementação enzimática com β -1,3-glucanases traz benefícios na digestão animal, além de diminuir o custo com rações. A xilanase, tem atuação na hidrólise de ligações β 1-4 das xilanas vegetais, que trabalha no rompimento das fibras, possibilitando maior capacidade de ação da amilase e protease, que é uma característica importante na atuação do pH em todo o intestino delgado. A enzima também age degradando as PNAs (Polissacarídeos Não Amiláceos) da parede celular, liberando nutrientes encapsulados, promovendo uma diminuição da viscosidade do conteúdo digestivo no sistema intestinal.

Conhecer a composição estrutural do tipo de ração oferecida faz-se necessário, para encontrar o tipo exato de enzima e a porção correta de enzima exógena e substrato, para o melhor aproveitamento dos benefícios dessa modalidade.

REFERÊNCIAS

1. Bedford MR, Partridge G. Enzymes in farm animal nutrition [Internet]. 2a ed. Oxfordshire: Wallingford; 2010 [citado 13 Fev 2022]. Disponível em: <https://www.cabi.org/bookshop/book/9781845936747/>
2. Rezende PM. Associação de xilanase, protease e dois níveis de fitase em dietas de frangos [tese] [Internet]. Goiânia: Escola de Veterinária e Zootecnia, Universidade Federal de Goiás; 2020 [citado 17 Fev 2022]. Disponível em: <http://repositorio.bc.ufg.br/tede/handle/tede/10861>
3. Delmaschio IB. Enzimas na alimentação de animais monogástricos - revisão de literatura. Rev Cient Med Vet [Internet]. 2018 [citado 17 Fev 2022];2(1):6-20. Disponível em: <http://sivap.unorp.br:8083/ojs/index.php/revmedvetunorp/article/view/31/21>
4. Silva DM, Rodrigues DR, Gouveia ABVS, Mesquita SA, Santos FR, Minafra CS. Carboidratos em rações de frangos de corte. PUBVET. 2016;10(11):795-872. doi: <https://doi.org/10.22256/pubvet.v10n11.861-872>.
5. Generoso RAR, Gomes PC, Rostagno HS, Albino LFT, Barreto SLT, Brumano G. Composição química e energética de alguns alimentos para frangos de corte em duas idades. Rev Bras Zootec. 2008;37(7):1251-6. doi: <https://doi.org/10.1590/S1516-35982008000700016>.
6. Sabchuk TT, Bastos TS, Komarcheuski AS, Maiorka A, Félix AP, Oliveira SG. Uso do germen de milho desengordurado, com e sem adição de um complexo enzimático, em dietas para cães. Arq Bras Med Vet Zootec. 2021;73(1):239-46. doi: <https://doi.org/10.1590/1678-4162-11719>.
7. Conte AJ, Teixeira AS, Fialho ET, Schoulten NA, Bertechini AG. Efeito da fitase e xilanase sobre o desempenho e as características ósseas de frangos de corte alimentados com dietas contendo farelo de arroz. Rev Bras Zootec. 2003;32(5):1147-56. doi: <https://doi.org/10.1590/S1516-35982003000500015>.
8. Morgan NK, Gomes GA, Kim JC. Comparing the efficacy of stimbiotic and a combination of xylanase and beta-glucanase, in broilers fed wheat-barley based diets with high or low AME. Poult Sci. 2021;100(10):101383. doi: <https://doi.org/10.1016/j.psj.2021.101383>.
9. Pomin VH, Mourão PAS. Carboidratos: de adoçantes a medicamentos [Internet]. Rio de Janeiro: Ciência Hoje; 2022 [citado 17 Fev 2022]. Disponível em: <https://cienciahoje.org.br/artigo/carboidratos-de-adoçantes-a-medicamentos/>
10. Evers AD, O'Brien L, Blakeney AB. Cereal structure and composition. Aust J Agric Res. 1999;50(5):629-50. doi: <https://doi.org/10.1071/ar98158>.
11. Soest PJV. Nutritional ecology of the ruminant. Ithaca: Cornell University Press; 1994.
12. Goulart FR, Adoriam TJ, Mombach PI, Silva LP. Importância da fibra alimentar na nutrição de animais não ruminantes. Rev Cienc Inovação. 2016;1(1):141-54. doi: <https://doi.org/10.26669/2448-4091104>.

13. Mertens DR. Creating a system for meeting the fiber requirements of dairy cows. *J Dairy Sci.* 1997;80(7):1463-81. doi: [https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302\(97\)76075-2](https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302(97)76075-2).
14. McDonald P. *Animal Nutrition*. New York: Prentice Hall/Pearson; 2011.
15. Soest PJV, Robertson JB, Lewis BA. Methods for dietary fiber, neutral detergent fiber, and nonstarch polysaccharides in relation to animal nutrition. *J Dairy Sci.* 1991;74(10):3583-97. doi: [https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302\(91\)78551-2](https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302(91)78551-2).
16. Moss GP, Smith PAS, Tavernier D. Glossary of class names of organic compounds and reactivity intermediates based on structure (IUPAC recommendations 1995). *Pure Appl Chem.* 1995;67(8-9):1307-75. doi: <https://doi.org/10.1351/pac199567081307>.
17. Fortes BDA. Utilização de carboidratos em rações de frangos de corte [Internet]. In: *Seminários Aplicados; 2011; Goiânia (GO)*. Goiânia: Escola de Veterinária e Zootecnia, Universidade Federal de Goiás; 2011 [citado 17 Fev 2022]. Disponível em: https://files.cercomp.ufg.br/weby/up/67/o/semi2011_Bruno_Duarte_1c.pdf
18. Tavernari FC, Carvalho TA, Assis AP, Lima HJD. Polissacarídeo não-amiláceo solúvel na dieta de suínos e aves. *NutriTime* [Internet]. 2008 [citado 17 Fev 2022]. Disponível em: <https://www.nutritime.com.br/site/artigo-068-polissacarideo-nao-amilaceo-soluvel-na-dieta-de-suinos-e-aves/>
19. Warpechowski MB. Efeito da fibra insolúvel da dieta sobre a passagem no trato gastrointestinal de matrizes machos pesados intactos, cecectomizados e fistulados no íleo terminal [dissertação] [Internet]. Porto Alegre: Faculdade de Agronomia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul; 1996 [citado 17 Fev 2022]. Disponível em: https://docs.ufpr.br/~marson/Warpechowski_1996_Disserta_Color.pdf
20. Choct M. Enzyme for the feed industry: past, present and future. *Worlds Poult Sci J.* 2006;62(1):5-16. doi: <https://doi.org/10.1079/WPS200480>.
21. Sticklen MB. Plant genetic engineering for biofuel production: towards affordable cellulosic ethanol. *Nat Rev Genet.* 2008;9(6):433-43. doi: <https://doi.org/10.1038/nrg2336>.
22. Han B, Baruah K, Cox E, Vanrompay D, Bossier P. Structure-functional activity relationship of β -glucans from the perspective of immunomodulation: a mini-review. *Front Immunol* [Internet]. 2020 [citado 13 Fev 2022];11:658. Disponível em: <https://www.frontiersin.org/articles/10.3389/fimmu.2020.00658/full>
23. Nörnberg FR. Farelo de aveia e concentrados de β -glucana nativo e oxidado: efeito sobre parâmetros endócrinos e metabólicos em ratos submetidos a uma dieta hipercolesterolêmica [dissertação] [Internet]. Pelotas (RS): Faculdade de Nutrição, Universidade Federal de Pelotas; 2014 [citado 17 Fev 2022]. Disponível em: <http://repositorio.ufpel.edu.br:8080/handle/ri/2704>

24. Mellerowicz EJ, Gorshkova TA. Tensional stress generation in gelatinous fibres: a review and possible mechanism based on cell-wall structure and composition. *J Exp Bot.* 2012;63(2):551-65. doi: <https://doi.org/10.1093/jxb/err339>.
25. Silva SS, Carvalho RR, Fonseca JLC, Garcia RB. Extração e caracterização de xilanas de sabugos de milho. *Polimeros.* 1998;8(2):25-33. doi: <https://doi.org/10.1590/S0104-14281998000200005>.
26. Choct M, Dersjant-Li Y, Mcleish J, Peisker M. Soy oligosaccharides and soluble non-starch polysaccharides: a review of digestion, nutritive and anti-nutritive effects in pigs and poultry. *Asian-Australas J Anim Sci.* 2010;23(10):1386-98. doi: <https://doi.org/10.5713/ajas.2010.90222>.
27. Plácido VP. Enzimas exógenas utilizadas na dieta de aves: revisão bibliográfica [trabalho de conclusão de curso] [Internet]. Curitiba (SC): Centro de Ciências Rurais, Universidade Federal de Santa Catarina; 2019 [citado 17 Feb 2022]. Disponível em: <https://repositorio.ufsc.br/bitstream/handle/123456789/199581/TCC%20Vania%20Pacagnan%20Placido.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
28. Fischer G, Maier JC, Rutz F, Bermudez VL. Desempenho de frangos de corte alimentados com dietas à base de milho e farelo de soja, com ou sem adição de enzimas. *Rev Bras Zootec.* 2002;31(1):402-10. doi: <https://doi.org/10.1590/S1516-35982002000200015>.
29. Vasconcellos CHF, Fontes DO, Baião NC, Vidal TZB, Corrêa GSS, Silva MA. Enzimas exógenas frango de corte [Internet]. São Paulo: Engormix; 2011 [citado 17 Feb 2022]. Disponível em: <https://pt.engormix.com/avicultura/artigos/enzimas-exogenas-frango-de-corte-t37031.htm>
30. Bauermeister A, Rezende MI, Giese EC, Dekker RFH, Barbosa AM. Fungal beta-1,3-Glucanases: production and biotechnological applications. *Semina, Cienc Exatas Tecnol.* 2010;31(2):75-86. doi: <https://doi.org/10.5433/1679-0375.2010v31n2p75>.
31. Edison LK, Shiburaj S, Pradeep NS. Microbial beta glucanase in agriculture. In: Kumar P, Patra JK, Chandra P. *Advances in microbial biotechnology.* New York: Apple Academic Press; 2018. Chap. 2, p. 53-72. doi: <https://doi.org/10.1201/9781351248914-2>.
32. Karunaratne ND, Classen HL, Ames NP, Bedford MR, Newkirk RW. Effects of diet hullless barley and beta-glucanase levels on ileal digesta soluble beta-glucan molecular weight and carbohydrate fermentation in laying hens. *Poult Sci.* 2022;101(5):101735. doi: <https://doi.org/10.1016/j.psj.2022.101735>.
33. Karunaratne ND, Newkirk RW, Ames NP, Kessel AGV, Bedford MR, Classen HL. Hullless barley and β -glucanase affect ileal digesta soluble β -glucan molecular weight and digestive tract characteristics of coccidiosis-vaccinated broilers. *Anim Nutr.* 2021;7(3):595-608. doi: <https://doi.org/10.1016/j.aninu.2020.09.006>.
34. Macambira GM, Rabello CBV, Lopes CC, Santos MJB, Ribeiro AG, Oliveira HSH, et al. Carbohidrases exógenas e a saúde intestinal de aves. *Res Soc Dev.* 2021;7(10):1-16. doi: <https://doi.org/10.33448/rsd-v10i7.16774>.

35. Khadem A, Lourenço M, Delezie E, Maertens L, Goderis A, Mombaerts R, et al. Does release of encapsulated nutrients have an important role in the efficacy of xylanase in broilers? *Poult Sci.* 2016;95(5):1066-76. doi: <https://doi.org/10.3382/ps/pew002>.
36. Coughlan MP, Hazlewood GP. Beta-1,4-D-xylan-degrading enzyme systems: biochemistry, molecular biology and applications. *Biotechnol Appl Biochem.* 1993;17(3):259-89.
37. Biely P. Microbial xylanolytic systems. *Trends Biotechnol.* 1985;3(11):286-90. doi: [https://doi.org/10.1016/0167-7799\(85\)90004-6](https://doi.org/10.1016/0167-7799(85)90004-6).
38. Machado NJB. Xilanase e probiótico em dietas para frangos de corte. Xylanase and probiotic in broiler diets [tese] [Internet]. Seropédica (RJ): Instituto de Zootecnia, Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro; 2019 [citado 16 Fev 2022]. Disponível em: <https://tede.ufrj.br/handle/jspui/5209>
39. Lima GS. Adição de xilanase em diferentes níveis de energia metabolizável em rações para frangos de corte [dissertação] [Internet]. Areia (PB): Centro de Ciências Agrárias, Universidade Federal da Paraíba; 2015 [citado 16 Fev 2022]. Disponível em: <https://repositorio.ufpb.br/jspui/handle/123456789/15912>
40. Barbosa NAA, Bonato MA, Sakomura NK, Dourado LRB, Fernandes JBK, Kawauchi IM. Digestibilidade ileal de frangos de corte alimentados com dietas suplementadas com enzimas exógenas. *Comunicata Sci.* 2014;5(4):361-9. doi: <https://doi.org/10.14295/cs.v5i4.460>.
41. Conte AJ, Teixeira AS, Bertechini AG, Fialho ET. Efeito da fitase e xilanase sobre a energia metabolizável do farelo de arroz integral em frangos de corte. *Cienc Agrotec.* 2002;26(6):1289-96.
42. Wu YB, Ravindran V, Thomas DG, Birtles MJ, Hendriks WH. Influence of phytase and xylanase, individually or in combination, on performance, apparent metabolisable energy, digestive tract measurements and gut morphology in broilers fed wheat-based diets containing adequate level of phosphorus. *Br Poult Sci.* 2004;45(1):76-84. doi: <https://doi.org/10.1080/00071660410001668897>.
43. Maesschalck C, Eeckhaut V, Maertens L, Lange L, Marchal L, Nezer C, et al. Effects of xylo-oligosaccharides on broiler chicken performance and microbiota. *Appl Environ Microbiol.* 2015;81(17):5880-8. doi: <https://doi.org/10.1128/AEM.01616-15>.
44. Gehring CK, Bedford MR, Dozier WA. Extra-phosphoric effects of phytase with and without xylanase in corn-soybean meal-based diets fed to broilers. *Poult Sci.* 2013;92(4):979-91. doi: <https://doi.org/10.3382/ps.2012-02769>.
45. Schramm VG, Durau JF, Barrilli LNE, Sorbara JOB, Cowieson AJ, Félix AP, et al. Interaction between xylanase and phytase on the digestibility of corn and a corn/soy diet for broiler chickens. *Poult Sci.* 2017;96(5):1204-11. doi: <https://doi.org/10.3382/ps/pew356>.

46. Boerboom G, Kempen T, Navarro-Villa A, Pérez-Bonilla A. Unraveling the cause of white striping in broilers using metabolomics. *Poult Sci.* 2018;97(11):3977-86. doi: <https://doi.org/10.3382/ps/pey266>.
47. Campestrini E, Silva VTM, Appelt MD. Utilização de enzimas na alimentação animal. *Nutritime.* 2005;2(6):259-72.
48. Twomey LN, Pluske JR, Rowe JB, Choct M, Brown W, McConnell MF, et al. The effects of increasing levels of soluble non-starch polysaccharides and inclusion of feed enzymes in dog diets on faecal quality and digestibility. *Anim Feed Sci Technol.* 2003;108(1-4):71-82. doi: [https://doi.org/10.1016/S0377-8401\(03\)00161-5](https://doi.org/10.1016/S0377-8401(03)00161-5).
49. Sá FC. Efeito da suplementação de enzimas sobre o processamento e digestibilidade de dietas extrusadas para cães contendo farelo de trigo [dissertação] [Internet]. Jaboticabal (SP): Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias, Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho”; 2011 [citado 16 Fev 2022]. Disponível em: <https://repositorio.unesp.br/handle/11449/89239>

Recebido em: 23/02/2022

Aceito em: 15/07/2022