Carboidrases em rações de frangos de corte: Revisão

Diones Montes da Silva¹, Denise Russi Rodrigues², Alison Batista Vieira Silva Gouveia³, Sabina Alves Mesquita⁴, Fabiana Ramos dos Santos⁵, Cibele Silva Minafra^{*6}

¹Pós-Graduação Mestrado em Zootecnia do Instituto Federal Goiano, Campus Rio Verde, Rodovia Sul Goiana, Km 01, Zona Rural, Caixa Postal 66, CEP – 75.901-970, Rio Verde, Goiás, Brasil. E-mail: diones_rv@hotmail.com

²Doutoranda em Ciência Animal-Universidade Federal de Goiás- UFG, Goiânia, Goiás, Brasil. E-mail: veterinariadenise@hotmail.com

³Graduando em Zootecnia do Instituto Federal Goiano, Campus Rio Verde, Rodovia Sul Goiana, Km 01, Zona Rural, Caixa Postal 66, CEP – 75.901-970, Rio Verde, Goiás, Brasil. E-mail: alisonmestre@hotmail.com

⁴Pós-Graduação Mestrado em Zootecnia do Instituto Federal Goiano, Campus Rio Verde, Rodovia Sul Goiana, Km 01, Zona Rural, Caixa Postal 66, CEP – 75.901-970, Rio Verde, Goiás, Brasil. E-mail: sabina.mesquita07@hotmail.com

⁵Docente Instituto Federal Goiano – Campus Rio Verde, Rodovia Sul Goiana, Km 01, Zona Rural, Caixa Postal 66, CEP – 75.901-970, Rio Verde, Goiás, Brasil. E-mail: framosantos@yahoo.com

⁶Docente Instituto Federal Goiano – Campus Rio Verde, Rodovia Sul Goiana, Km 01, Zona Rural, Caixa Postal 66, CEP – 75.901-970, Rio Verde, Goiás, Brasil. *Autor para correspondência E-mail: cibele.minafra@ifgoiano.edu.br

RESUMO. A suplementação de enzimas exógenas em rações avícolas tem sido motivo de diversos estudos nos dias atuais, pois com a inclusão de carboidrases melhora o valor nutritivo das dietas de frangos de corte, principalmente àquelas a base de milho, sorgo e farelo de soja. Os fatores antinutricionais contidos nestas dietas reduzem a performance do animal, porém as enzimas exógenas adicionadas à alimentação, tornam os nutrientes, que não seriam utilizados, acessíveis a absorção intestinal das aves, melhorando o desempenho zootécnico e aumentando a digestibilidade. Esta revisão é feita com intuito de mostrar a ação de carboidrases (arabinase, β -glucanase, celulase, hemicelulase, pectinase e xilanase) na alimentação de frangos de corte e o aproveitamento de compostos orgânicos pelo organismo animal para melhorar os índices zootécnicos, desempenho e digestibilidade.

Palavras chave: Avicultura, enzimas exógenas, nutrição animal

Carbohydrases in broiler feed: Review

ABSTRACT. Supplementation of exogenous enzymes in poultry diets has been the subject of several studies today and the inclusion of carbohydrases has promoted improvement in the nutritional value of diets of broilers, especially those based on corn, sorghum and soybean meal. The anti-nutritional factors contained in the diets of corn, sorghum and soybean meal, have limited effects. However, exogenous enzymes added to food, make the nutrients that would not be used, accessible intestinal absorption of birds, improve the performance and increase the digestibility of these diets by birds. This review is done with the intention of showing the carbohydrases action (arabinase, β -glucanase, cellulase, hemicellulase, pectinase and xylanase) for the feeding of broilers and the use of organic compounds in the animal body to improve performance parameters, performance and digestibility.

Keywords: Aviculture, exogenous enzymes, animal nutrition

Introdução

O uso de enzimas na alimentação de animais monogástricos tem sido interesse de vários pesquisadores, pois estes aditivos quando incorporados nas rações aumentam a utilização

dos nutrientes pouco disponíveis, proporcionando melhor desempenho às aves.

As enzimas exógenas vêm sendo amplamente estudadas devido principalmente às características que lhes são conferidas. Segundo

[Lima et al. \(2008\)](#), as enzimas exógenas adicionadas nas rações dos animais visam quatro objetivos distintos, que são a remoção ou hidrólise de fatores anti-nutricionais; o aumento da digestibilidade dos nutrientes; a quebra dos polissacarídeos não amiláceos (PNAs) e a suplementação das enzimas endógenas. [Strada et al. \(2005\)](#) consideraram a utilização de enzimas como alternativa para o uso de antibióticos e promotores de eficiência alimentar, pois promovem efeitos benéficos ao desempenho e à saúde animal. Tem ocorrido um esforço concentrado para melhorar o valor nutritivo dos alimentos usando as enzimas exógenas, já que o milho, o farelo de soja e outros ingredientes comumente utilizados em dietas de aves podem ser potencializados por meio da adição adequada de complexo multi-enzimático (CM) ([Slominski, 2011](#)). Assim, as enzimas exógenas além de viabilizar a eficiência de utilização dos alimentos, melhoram o uso de ingredientes de baixo custo para a alimentação animal, pois com o uso de CM há diminuição da viscosidade da digesta, potencializando a ação das enzimas endógenas sobre os substratos específicos ([Ribeiro et al., 2011](#)).

Portanto, objetivou-se com este trabalho revisar a ação das carboidrases (arabinase, β -glucanase, celulase, hemicelulase, pectinase e xilanase) na alimentação de frangos de corte e o aproveitamento de compostos orgânicos pelo organismo animal para melhorar os índices zootécnicos, desempenho e digestibilidade.

Carboidratos

Os carboidratos são definidos como polihidroxialdeídos ou cetonas e representam a principal fonte de energia para as aves e suínos. Nas aves não há síntese de amilase salivar e, deste modo, a digestão do amido ocorre no duodeno, quando as amilases pancreáticas atuam sobre a molécula de amido, transformando-o em maltose, isomaltose, maltorriose e dextrinas. Estes resíduos serão ainda digeridos pelas enzimas de membranas, maltase e dextrinases. A α -amilase é a principal enzima pancreática das aves que degrada o amido atuando em ligações α -1,4, entretanto, a velocidade de digestão da amilopectina (α -1,4 e α -1,6) é mais elevada devido a principal conformação da cadeia, com numerosas ramificações, aumentando a eficácia enzimática no processo digestivo intestinal ([Bertechini, 2006](#)).

O processo de digestão do amido ocorre eficazmente nas aves, cerca de 95%, e aumenta no decorrer de sua idade. Vários autores mencionaram uma melhora na digestibilidade do amido com a inserção de amilase em rações avícolas, obtendo-se uma melhora da digestibilidade da matéria seca e da energia metabolizável ([Gracia et al., 2003](#), [Rodrigues et al., 2003](#)).

Amido

O amido é o principal componente energético dos grãos utilizados na alimentação de monogástricos, mesmo que suas fontes apresentem custo elevado. Devido as suas características como fonte de reserva, apresenta disponibilidade energética superior à dos carboidratos estruturais presentes nas dietas. A utilização de fontes de amido é fundamental na exploração de animais de alta produção, os quais exigem níveis elevados de energia na dieta para que possam atingir todo o seu potencial genético ([Wiseman, 2006](#)). O amido é constituído por duas cadeias, a amilose que é uma cadeia linear e a amilopectina, que é ramificada. A amilopectina está arranjada em grânulos, mas sua estrutura ramificada permite um maior espaçamento entre as moléculas, facilitando a entrada de água que, por sua vez, carrega com grande facilidade as enzimas digestivas, amilases e amiloglicosidases, no processo de digestão. Desta forma, não somente as extremidades, mas todo o grânulo sofre o ataque enzimático ao mesmo tempo, liberando grandes quantidades de glicose rapidamente ([Chesson, 2001](#), [Meneghetti, 2013](#)), assim, a digestibilidade da amilopectina é maior do que da amilose. O percentual de amilose e amilopectina no amido depende do tipo de alimento. No caso de um dos alimentos mais utilizados na avicultura, que é o milho, esse percentual é de 28 e 72% respectivamente ([Carvalho et al., 2009](#)).

Nas aves o amido somente é hidrolisado em unidades menores pela amilase produzida no pâncreas para, posteriormente, ser absorvido pelo organismo animal. A amilase pancreática é uma enzima de tamanha especificidade que atua nas ligações glicosídicas α -1,4, fazendo com que se tenha como resultado desta hidrólise, moléculas de maltose (glicose-glicose α -1,4) ([Cardoso et al., 2011](#)). Conforme [Tavernari & Mendes \(2009\)](#), a maltose é o principal produto da digestão do amido em dietas a base de milho e soja.

Polissacarídeos não amiláceos

A maior parte das dietas de frangos de corte no Brasil é composta por alimentos de origem vegetal e dentre os mais utilizados estão o milho e o farelo de soja, instituindo a base da alimentação das aves. Entretanto, esses alimentos oferecem constituintes que não são digeríveis pelas aves, representados pelos PNAs e o ácido fítico ([Fortes et al., 2012](#)).

O milho, sorgo e farelo de soja possuem quantidades significativas de PNAs ([Tabela 1](#)) sendo em torno de 8% no milho, e na grande maioria, sua parte é cerca de 6% na forma insolúvel que compõe essencialmente de arabinoxilanos, enquanto o farelo de soja possui em torno de 27% de PNAs, sendo apenas 6% na forma solúvel ([Bertechini, 2012](#)).

Tabela 1. Composição em PNAs de alguns ingredientes utilizados em de frangos de corte

Ingredientes	Tipo de PNA	%
Milho	PNA totais	8,00
	Arabinoxilanos	4,20
	β -glucanos	0,10
Farelo de Soja	PNA totais	27,00
	Polímeros complexos	13,90
Sorgo	Arabinoxilanos	2,8
	β -glucanos	0,1

Fonte: Adaptado de [Souza \(2005\)](#)

Os PNAs são macromoléculas compostas de polímeros de açúcares simples que são conhecidos como monossacarídeos, resistentes à hidrólise no trato gastrointestinal de animais monogástricos, em razão ao tipo de ligações entre as unidades existentes de açúcares ([IUPAC, 2014](#)).

Na [Figura 1](#) estão representados os PNAs que não são digeridos pelas aves ([Rosa & Utt Patel, 2007](#)). O modo de ação é diferente entre os PNAs solúveis e insolúveis e vai depender da quantidade dos mesmos presentes no alimento, podendo ser considerado nutriente diluente ou fator antinutritivo, de acordo com sua solubilidade ([Hetland et al., 2004](#)). A capacidade de aumentar a viscosidade é maior nos polissacarídeos solúveis em água se comparado aos insolúveis. Exemplo de moléculas insolúveis são xiloses e os xilanos ([Cowieson, 2010](#)), enquanto os PNAs solúveis são representados pelos arabinoxilanos, β -glucanos, D-mananos, galactomananos, xiloglucanos, substâncias pépticas etc ([Torres et al., 2003](#)).

O aumento da viscosidade intestinal causada pela presença de PNAs nas rações de aves age como barreira entre enzima e substrato e os produtos da digestão, influenciando os valores de digestibilidade. Efeitos secundários do aumento na viscosidade da dieta podem acontecer, como a

modificação da estrutura e função do intestino e outros órgãos das aves, caracterizando aumento do peso e da atividade secretória do pâncreas, fígado e intestino ([Meneghetti, 2013](#)).

Os efeitos negativos desses polissacarídeos, sobre a digestão de nutrientes e viscosidade intestinal estão diretamente relacionados à sua localização nos grãos de cereais. A maioria dos arabinoxilanos é insolúvel, mas os que não estão ligados às paredes celulares podem formar soluções altamente viscosas e podem absorver cerca de 10 vezes o seu peso de água.

Uma estreita relação entre os PNAs e outras moléculas, como lignina e proteína ([AFTAB, 2012](#)), e uma complexidade de ramificações desses polissacarídeos, são reportados no farelo de soja ([Chesson, 2001](#)). Geralmente, os PNAs insolúveis afetam o aproveitamento da energia da dieta, por manterem no interior de suas estruturas os nutrientes geradores de energia (carboidratos, lipídeos e proteínas) ([Fireman & Fireman, 1998](#)). As pesquisas com enzimas em rações, contendo milho e farelo de soja abordam os efeitos desses polissacarídeos insolúveis, pois são ingredientes de baixa viscosidade. Dessa forma, a utilização de enzimas que degradem os PNAs é justificada pela interferência deles no processo digestivo das aves ([Meneghetti, 2013](#)).

Na literatura são encontrados vários exemplos de enzimas exógenas com eficácia comprovada,

tais como a xilanase, a arabinoxilanase, a β – glucanase e a celulase ([Brufau et al., 2006](#)).

Figura 1. Classificação dos polissacarídeos não amídicos (PNAs) (adaptado de Choct (2006).

Autores demonstraram melhorias na digestibilidade do amido, da gordura e de proteínas com o uso de enzimas por meio da liberação dos nutrientes encapsulados na parede celular dos vegetais. A quebra dessa estrutura e a hidrólise das moléculas de polissacarídeos complexados com proteínas, por exemplo, leva a exposição desse nutriente a enzimas endógenas com atividade proteolítica. Este fato se confirma pelo aumento na digestibilidade ileal de todos os aminoácidos em rações a base de milho e soja contendo carboidrases (α -amilase, β -glucanase e xilanase), entretanto, a magnitude do efeito é diferente entre os aminoácidos ([Cowieson & Ravindran, 2008](#), [Cowieson, 2010](#)). O aproveitamento da fração indigestível pela glucanase e xilanase chega a 27% e 20%, respectivamente ([Cowieson, 2010](#)).

A ação das enzimas sobre os PNAs, provavelmente, não proporciona grande aproveitamento pelas aves dos monossacarídeos que os compõem. Na verdade, a despolimerização dos polissacarídeos, quando solúveis, diminui a viscosidade das soluções aquosas na digesta e, conseqüentemente, aumenta o aproveitamento dos nutrientes e da energia do alimento ([Choct, 1997](#)). Ao mesmo tempo, a redução no comprimento da cadeia afeta propriedades físicas dos PNAs, proporcionando uma menor capacidade de ligação com outros elementos ([Meneghetti, 2013](#)).

As enzimas, em particular as glucanases, aumentam o valor nutritivo de algumas dietas a

base de milho e soja, provavelmente após alterar a arquitetura das paredes celulares dos grãos ([Cowieson & Adeola, 2005](#)). Outros estudos demonstram benefícios de xilanases na melhoria da viscosidade intestinal devido à melhor utilização dos compostos do conteúdo celular. [Cowieson & Adeola \(2005\)](#) sugere que o uso de xilanase não produz resposta semelhante às obtidas com a combinação das enzimas. Tais melhorias na disponibilidade de nutrientes com suplementação de carboidrases muitas vezes resultam em reduzidos consumos de ração, como consequência da maior disponibilidade de energia, levando a uma melhor eficiência alimentar ([Kocher et al., 2003](#)).

Vários fatores influenciam as respostas com o uso de enzimas específicas para PNAs em rações com milho e farelo de soja, são qualidade e composição dos ingredientes, forma de processamento da ração, presença de ácidos orgânicos e acidificantes como moduladores de pH, nível de energia e de nutrientes na ração basal, idade das aves, atividade única ou multienzimática, dose utilizada e presença da enzima fitase ([Aftab et al., 2006](#)).

Enzimas

As enzimas são geradas por todos os organismos vivos e, como catalisadores da natureza, aceleram as reações químicas que concede a vida, desde aos mais simples organismos unicelulares, passando por plantas e insetos até aos humanos e sem elas o alimento

não pode ser digerido ([Ruiz et al., 2008](#)). O uso de enzimas pelo homem tem sido analisado ao longo da história da humanidade e, como exemplos disso, temos a fabricação de queijos, fabricação de detergentes, clarificação de vinhos, produção de bebidas alcoólicas e na indústria da panificação ([Choct, 2006](#)). Mais contemporâneo, começou-se a recorrer às enzimas para a suplementação das dietas para animais, com a finalidade de melhorar o valor nutritivo das diferentes matérias primas, melhorar o valor nutricional do produto final e atender às exigências do consumidor por um produto mais barato, seguro, saudável e mais favorável ao ambiente ([Grunert, 2006](#)).

No momento atual, pode-se resumir o emprego de enzimas na alimentação animal à avicultura e suinocultura. A suplementação nestas dietas tem como objetivo facilitar a liberação do fósforo, a exclusão do efeito de encapsulação dos nutrientes pelas paredes celulares, a solubilização e eliminação dos efeitos anti-nutritivos dos polissacarídeos não amiláceos das paredes celulares e a hidrólise de ligações proteína-hidrato de carbono ([Slominski, 2011](#)).

Atuação das enzimas

As enzimas oferecem estruturas bastante frágeis, podendo ser desarranjadas, tornando-as impotentes. Vários procedimentos podem contribuir para a ocorrência da desnaturação enzimática, como por exemplo, em situação de calor excessivo, presença de ácidos ou agentes oxidantes ([Osera et al., 2008](#)).

[Strada et al. \(2005\)](#) citaram os fatores que induzem a atuação das enzimas no organismo animal, destacando-se aqueles associados ao processamento da ração, pH do meio, comprimento do trato gastrointestinal, grau de hidratação, temperatura corporal, susceptibilidade da enzima exógena a ação da endógena, concentração do produto e tipo de ingrediente utilizado na ração. Para [Uni et al. \(1998\)](#) muitas enzimas estão ligadas à membrana intestinal e apresentam sensibilidade a alterações que, porventura, ocorram na superfície. Este fato sugere que tanto a digestão como a absorção de nutrientes pelas aves não são fixas, mas são altamente variáveis de acordo com a presença de substrato na ração. As enzimas restringem sua capacidade catalítica às condições ambientais sob

as quais elas operam. Portanto, o sucesso do emprego das enzimas exógenas necessita de conhecimento sobre os possíveis substratos a serem hidrolisados, juntamente com as condições nas quais as reações são atingidas ([Lima et al., 2002](#)). O emprego de CM com diferentes especificidades tem sido indicado para dietas à base de milho e farelo de soja que, apesar de apresentarem boa qualidade nutricional, acredita-se que poderiam melhorar ainda mais o desempenho das aves ([Brum et al., 2007](#)). A benfeitoria esperada seria a atuação sinérgica das mesmas, em locais específicos, permitindo assim uma resposta mais expressiva no desempenho animal ([Tabela 2](#)).

O emprego de enzimas carboidrases vem aumentando com objetivo de utilizar alimentos que possuem amplas quantidades de polissacarídeos não amiláceos (PNAs). Os PNAs são carboidratos polissacarídeos, exceto o amido, que elevam a viscosidade das dietas. Estes compostos se ligam a grandes quantidades de água formando um gel viscoso, reduzindo a taxa de difusão de substratos e enzimas digestivas e impedem sua influência mútua na superfície da mucosa intestinal, acarretando o comprometimento da digestão e a absorção de nutrientes, além de interferir na microflora intestinal e nas funções fisiológicas do intestino ([Choct et al., 2004](#)).

O emprego das carboidrases melhora a energia metabolizável e diminui a viscosidade da digesta, fator esse considerado antinutritivo, pois diminui a disponibilidade de todos os nutrientes. As aves não possuem enzimas endógenas aptas a degradar estes polissacarídeos e, desta forma, altos níveis de PNAs na dieta poderiam resultar em menor digestibilidade e absorção dos nutrientes da dieta. Além disso, a falta de enzimas pode comprometer o conteúdo de energia dos alimentos, pois mantêm os nutrientes geradores de energia, como carboidratos, lipídeos e proteínas, no interior de suas estruturas ([Choct et al., 2010](#)). De forma geral, a adição de enzimas pode ser avaliada em termos de melhorias no desempenho, ganho de peso ou conversão alimentar. No entanto, a dimensão destes efeitos depende da espécie, idade, tipos de dietas, taxa de inclusão de carboidratos complexos ou concentração e solubilidade destas moléculas ([Choct et al., 2004](#)).

Tabela 2. Enzimas utilizadas na ração de aves

Enzimas	Substrato	Efeitos
Xilanase	Arabinosilanos	Redução da viscosidade da ração
Glucanases	β - glucanos	Redução da viscosidade da ração e menor umidade na cama
Pectinases	Pectinas	Redução da viscosidade da ração
Celulases	Celulose	Degradação de celulose e liberação de nutrientes
Proteases	Proteínas	Suplementação das enzimas endógenas: degradação mais eficiente de proteínas
Amilases	Amido	Suplementação das enzimas endógenas: degradação mais eficiente do amido
Fitase	Ácidofítico	Melhor a utilização do fósforo dos vegetais. Remoção do ácido fítico.
Galactosidade	Galactosídios	Remoção de galactosídios
Lipases	Lipídios e ác. Graxos	Melhora a utilização de gorduras animais e vegetais

Fonte: Adaptado de [Gonzales \(2011\)](#).

Carboidrases

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, acarretando em melhora na capacidade de digestão dos nutrientes, aumentando assim a velocidade de trânsito intestinal e a redução da quantidade de água nas fezes, o que proporciona melhor qualidade à cama de frango ([Opalinski et al., 2010](#)).

Carboidrases utilizadas na nutrição de frangos de corte

Carboidrases que hidrolisam PNAs são utilizadas com sucesso quando cereais viscosos (trigo, cevada, centeio, aveia ou triticale) são usados nas rações de frangos. Apesar de milho e farelo de soja serem considerados ingredientes de fácil digestão, há possibilidade de melhorias no seu valor nutricional ([Zanella et al., 1999](#)) com a utilização destas enzimas.

O milho contém quantidades insignificantes de PNAs solúveis, não gerando grandes problemas de viscosidade da digesta, entretanto, possui cerca de 8% de PNAs insolúveis, principalmente arabinosilanos. O farelo de soja contém cerca de 3% de PNAs solúveis e 16% de insolúveis. As enzimas capazes de quebrar a matriz da parede celular, especialmente os componentes insolúveis, podem facilitar a liberação de nutrientes encapsulados ou incorporados na parede da célula em si, o que

resulta num acesso mais fácil de enzimas digestivas ([Choct, 2006](#)).

[Choct et al. \(2010\)](#) analisaram que o aumento dos níveis de PNAs solúveis 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. Os autores ainda ressaltaram que as aves que receberam dietas enriquecidas com PNAs solúveis, sofreram intensa fermentação no intestino delgado, prejudicando o desempenho e o bem-estar dos animais, já que o odor de amônia nos galpões tende a aumentar, entretanto, estes efeitos deletérios foram minimizados com a suplementação de enzimas exógenas.

As carboidrases exógenas são, assim, uma estratégia em dietas com redução energética e de aminoácidos, visando reduzir o custo com a formulação para frangos de corte. Suplementada de forma isolada ou como complexo de carboidrases, alcança-se melhores resultados de digestibilidade e ganho de peso; embora seja difícil escolher qual enzima seja mais relevante tendo em vista todos os fatores que influenciam a sua atividade e ação sobre o substrato ([Meneghetti, 2013](#)).

Diversos autores relataram os efeitos positivos da suplementação de carboidrases em rações de frangos de corte preparadas com milho e farelo de soja sobre a conversão alimentar e ganho de peso ([Kidd et al., 2001](#), [Cowieson et al., 2003](#), [Iji et al., 2003](#), [Carvalho et al., 2009](#)) (Tabela 3).

Tabela 3. Efeito do uso de enzimas na conversão alimentar (CA) e ganho de peso (GP) de frangos de corte alimentados com dietas à base de milho e farelo de soja

Referências	Enzimas	Melhora na CA	Melhora no GP (%)
Iji et al. (2003)	Xilanase, amilase	10,5	10,3
Kidd et al. (2001)	α -galactosidase	0,88	2,22
Cowieson et al. (2003)	Pectinase	2,50	0,50
Carvalho et al. (2009)	Amilase e β -glucanase	5,82	7,64
Carvalho et al. (2009)	Amilase, xilanase e β -glucanase	6,88	6,67

Fonte: Adaptado de [Carvalho et al. \(2009\)](#).

Xilanase

A xilana é um biopolímero encontrado em abundância nas paredes celulares em tecidos vegetais, sendo composta de unidades de D-xilopirasil unidas por ligações β -1,4, com graus variados de substituição ([Adeola et al., 2010](#)).

A inserção da xilanase diminui os efeitos antinutricionais dos PNAs por meio da diminuição da viscosidade da dieta. Outros benefícios são o aumento da despolimerização dos arabinoxilanos em componentes de menor peso molecular, assim como a elevação da disponibilidade de nutrientes devido à hidrólise de PNAs insolúveis encontrados na parede celular. Deste modo, os efeitos são mais destacados em dietas contendo trigo, centeio e cevada.

Distúrbios digestórios consequentes da presença de material fibroso não-digerido no trato gastrointestinal de aves são evitados com o uso de xilanase nas dietas. Apesar disso, acredita-se que apenas a xilanase não produza respostas similares às obtidas com a combinação de enzimas como proteases, amilases ou fitase. [Singh et al. \(2012\)](#) ao utilizarem dietas suplementadas com 16.000 U/kg de ração de xilanase, não encontraram diferenças no desempenho de frangos e nem nos pesos dos cortes nobres. De acordo com [Zou et al. \(2013\)](#), a suplementação de 0,05% de xilanase pode melhorar a conversão alimentar de frangos de corte alimentados com dietas a base de milho e farelo de soja devido à melhor utilização da energia dietética. Segundo os mesmos autores, a ação da xilanase é mais eficiente em dietas pobres em energia.

Celulase

A celulose é o principal constituinte das paredes celulares das plantas e é o composto

orgânico mais abundante da superfície terrestre ([Leeson et al., 2001](#)). Este glicídeo estrutural é um polissacarídeo linear produzido por monômeros de β -D-glicose, sob a conformação de anel piranósico, juntos entre si por ligações glicosídicas β -1,4 ([Cosgrove, 2005](#)).

As hemiceluloses é uma classe de heteropolímeros de amorfos ramificados, no qual estão estreitamente associadas à celulose e à lignina representando o segundo principal componente das paredes celulares das plantas ([Brienzo et al., 2012](#)). As hemiceluloses são definidas pela elevada ramificação da sua cadeia principal e são frequentemente classificadas pelos resíduos de açúcares presentes na cadeia principal, por exemplo, os xilanos, arabinanos, mananos, glucanos e galactanos.

Três enzimas com atividade de celulasas são responsáveis pela a quebra da celulose, são a: beta-1,4-glucano glucanohidrolase (uma endoglucanase) que quebra a cadeia longa da celulose em fragmentos menores; a beta-1,4 glucanocelobiohidrolase (uma exoglucanase) atuando a partir de extremidade não-redutora da cadeia de celulose; e a beta-1,4 glicosidase, que quebra ligações glicosídicas de celobiose e celodextrinas produzindo moléculas de glicose, que podem facilmente ser absorvidas pelas células ([Acharya & Chaudhary, 2012](#)).

[Esonu et al. \(2004\)](#) conduziram ensaio sobre a inclusão de celulase em dietas para frangos de 28 a 35 dias de idade, contendo farelo da folha de *Microdemispuberula* e constataram que o ganho de peso diminuiu e o consumo de ração aumentou com a inclusão da enzima, não havendo, entretanto, diferença no peso final e na conversão alimentar. Os autores concluíram que a enzima não melhorou a utilização dos nutrientes.

[Pinheiro et al. \(2004\)](#), entretanto, também avaliaram o uso de celulase em dieta à base de

milho e de farelo de soja para frangos de corte, observando maior peso corporal para as aves que receberam a suplementação enzimática, indicando, neste caso, melhor eficiência no uso dos nutrientes devido a presença da enzima.

Pectinase

A estrutura química das pectinas é representada por dois tipos de polímeros, os galacturonanos, no qual a sua cadeia principal é constituída por resíduos de ácido galacturônico unidos entre si por ligações α -1,4, e os ramnogalacturonanos, constituídos por resíduos alternados de ácido galacturônico e ramnose.

A pectinase é a enzima que age sobre a pectina e libera sacarídeos e sua utilização na nutrição animal é atribuída a redução dos efeitos antinutricionais observados pelo uso de leguminosas, que apresentam grande quantidade de substâncias pécticas ([Lima et al., 2007](#)).

[Silva et al. \(2012\)](#) testaram rações para frangos contendo 0, 1, 3 e 5% de pectina e reportaram que a ingestão contínua de até 1% de pectina na ração ainda mantém o desempenho máximo das aves, no entanto, o consumo contínuo acima desse nível de fibra prejudica os parâmetros zootécnicos e aumenta o consumo de água na fase de maior crescimento.

Estudos têm demonstrado que dietas contendo elevados níveis de pectina também diminuem a concentração plasmática de colesterol, particularmente da lipoproteína de baixa densidade (LDL) e outros lipídios relacionados ao colesterol em monogástricos ([Eufrásio et al., 2009](#)).

β – glucanase

A viscosidade ou encapsulação são os maiores efeitos dos β -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 ([Tachibana et al., 2010](#)).

[Yu & Chung \(2004\)](#) analisaram que a adição de um CM a base de amilase, xilanase e β -glucanase, presente em dietas com redução de 3% na EM, resultou em desempenho produtivo semelhante ao obtido com dieta controle, com valores normais de EM para frangos de corte. Em outra pesquisa, [Gracia et al. \(2003\)](#) observaram melhor peso corporal e conversão alimentar para frangos de corte alimentados com dietas a base

de centeio e farelo de soja suplementadas com xilanase e β -glucanase no período de 4 a 25 dias.

As β -glucanases utilizadas na degradação dos β -glucanos na cevada têm provado ser eficientes no aumento do valor nutritivo deste grão na alimentação das aves em particular nos frangos de corte. Por isso, no futuro o uso de enzimas para obter os PNA como fontes de energia irão aumentar ([Choct, 2006](#)).

Segundo [Brenes & Roura \(2010\)](#) os β – glucanos fazem com que as aves eliminem fezes mais líquidas, tendo efeito adverso sobre a unidade da cama do aviário e aumento de amoníaco.

A inclusão da β -glucanase em dietas à base de cevada melhora o desempenho, pode reduzir o peso do aparelho digestivo em até 13%, que representa 1% do peso total da ave, e pode melhorar o rendimento da carcaça ([Ribeiro et al., 2011](#)).

[Wang et al. \(2005\)](#) suplementaram rações para frangos de 18 a 21 dias com 250 e 500 U/kg de alfa-glucanase e notaram que os coeficientes de digestibilidade da matéria seca, da matéria orgânica e da proteína bruta e os valores de EM melhoraram com a adição de enzima. Porém, como os resultados entre 250 e 500 não diferiram entre si, os autores recomendam utilizar 250 U/kg.

Segundo [Leslie et al. \(2007\)](#), a adição de beta-glucanase nas dietas a base de milho e farelo de soja, para frangos, melhoram os coeficientes de digestibilidade ileal da energia e da matéria seca em diferentes idades.

Em uma revisão, [Aftab et al. \(2006\)](#) encontraram que a dietas contendo diversos tipos de carboidrases isoladas ou complexos multienzimáticos de carboidrases apresentam maiores valores de EM em 1,6 a 6,2%, maiores coeficientes de digestibilidade da proteína bruta em 3,3 a 7,1% e maior disponibilidade dos diferentes aminoácidos 1,7 a 12,2%, comparado com a dieta sem a enzima.

Amilase

A alimentação de pintos estimula a secreção de amilase e outras enzimas. Nesta fase, a atividade da amilase é praticamente desprezível até o segundo dia de idade, mas existe um aumento entre o segundo e o sétimo dia. Esse fato pode ser explicado pela falta de carboidratos no saco vitelino e a demora na secreção de

enzimas se deve a adaptação das secreções aos nutrientes ingeridos pelo pinto nas primeiras horas, sendo assim a α -amilase é substrato dependente (Tavernari and Mendes, 2009).

[Sakamoto et al. \(2011\)](#) descreveram que a maior atividade da amilase nas aves se dá aos 14 dias de idade, coincidindo com o maior crescimento do pâncreas. A ação diminui com o avançar da idade e o desenvolvimento máximo do pâncreas ocorre na segunda semana.

Existe certa dificuldade, segundo [Minafra et al. \(2010\)](#) para avaliar o efeito da aplicação de α -amilase sobre a disponibilidade de nutrientes na dieta, pois a maioria das pesquisas utilizam complexos enzimáticos, dificultando mensurar a ação de cada enzima.

[Gracia et al. \(2003\)](#) ao avaliarem dietas contendo 40 ppm de α -amilase verificaram que aumentou o consumo de ração e o ganho de peso, porém, não houve efeito sobre a conversão alimentar. Já [Sorbara et al. \(2009\)](#), ao utilizarem um complexo enzimático contendo a enzima amilase, relataram que as aves alimentadas com rações sem enzimas apresentaram menores consumo de ração e de ganho de peso, não havendo diferenças na conversão alimentar.

[Cardoso et al. \(2011\)](#) analisando rações com a inclusão de α -amilase exógena na dieta de frangos de corte de 1 a 42 dias de idade, observaram que não houve alteração no desempenho produtivo e nos custos da alimentação das aves com a adição de α -amilase.

Considerações Finais

Os fatores antinutricionais contidos nas dietas à base de milho, sorgo e farelo de soja parecem ser eliminados ou reduzidos pelas enzimas exógenas adicionadas à alimentação, tornando os nutrientes que não seriam utilizados acessíveis a absorção intestinal das aves. A decisão do uso de enzimas depende do tipo de ingrediente utilizado e da relação custo benefício que a suplementação enzimática poderá acarretar. A suplementação de enzimas pode, portanto, melhorar o valor produtivo dos alimentos comerciais e permitir maior flexibilidade na formulação das dietas, diminuindo o custo e conservando os parâmetros nutricionais da alimentação.

Referências Bibliográficas

Acharya, S. & Chaudhary, A. (2012). Bioprospecting thermophiles for cellulase

production: a review. *Brazilian Journal of Microbiology*, 43, 844-856.

Adeola, O., Jendza, J. A., Southern, L. L., Powell, S. & Owusu-Asiedu, A. (2010). Contribution of exogenous dietary carbohydrases to the metabolizable energy value of corn distillers grains for broiler chickens. *Poultry Science*, 89, 1947-1954.

Aftab, U., Ashraf, M. & Jiang, Z. (2006). Low protein diets for broilers. *World's Poultry Science Journal*, 62, 688-701.

Bertechini, A. G. (2006). *Nutrição de monogástricos*, 1 edn. Universidade Federal de Lavras, Lavras.

Bertechini, A. G. (2012). *Nutrição de monogástricos*, 2 edn. Universidade Federal de Lavras, Lavras.

Brenes, A. & Roura, E. (2010). Essential oils in poultry nutrition: Main effects and modes of action. *Animal Feed Science and Technology*, 158, 1-14.

Brienzo, M., Monte, J. R. & Milagres, A. M. F. (2012). Induction of cellulase and hemicellulase activities of *Thermoascus aurantiacus* by xylan hydrolyzed products. *World Journal of Microbiology and Biotechnology*, 28, 113-119.

Brufau, J., Francesch, M. & Pérez- Vendrell, A. M. (2006). The use of enzymes to improve cereal diets for animal feeding. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 86, 1705-1713.

Brum, P. A. R., Lima, G. J. M. M., Avila, V. S., Coldebella, A., Zanotto, D. L. & Toigo, G. C. (2007). Uso de alfa-amilase em dietas, superestimando ou não a energia metabolizável do farelo de soja, no desempenho de frangos de corte. *Embrapa. Concórdia*.

Cardoso, D. M., Maciel, M. P., Passos, D. P., Silva, F. V., Reis, S. T. & Aiura, F. S. (2011). Efeito do uso de complexo enzimático em rações para frangos de corte. *Archivos de Zootecnia*, 60, 1053-1064.

Carvalho, J. C. C., Bertechini, A. G., Fassani, É. J., Rodrigues, P. B. & Pereira, R. A. N. (2009). Desempenho e características de carcaça de frangos de corte alimentados com dietas à base de milho e farelo de soja

- suplementadas com complexos enzimáticos. *Revista Brasileira de Zootecnia*, 38, 292-298.
- Chesson, A. (2001). Non-starch polysaccharide degrading enzymes in poultry diets: influence of ingredients on the selection of activities. *World's Poultry Science Journal*, 57, 251-263.
- Choct, M. (1997). Feed non-starch polysaccharides: chemical structures and nutritional significance. *Feed milling International*, 191, 13-26.
- Choct, M. (2006). Enzymes for the feed industry: past, present and future. *World's Poultry Science Journal*, 62, 5-16.
- Choct, M., Dersjant-Li, Y., McLeish, J. & Peisker, M. (2010). Soy oligosaccharides and soluble non-starch polysaccharides: a review of digestion, nutritive and anti-nutritive effects in pigs and poultry. *Asian-Australasian Journal of Animal Sciences*, 23, 1386-1398.
- Choct, M., Kocher, A., Waters, D. L. E., Pettersson, D. & Ross, G. (2004). A comparison of three xylanases on the nutritive value of two wheats for broiler chickens. *British Journal of Nutrition*, 92, 53-61.
- Cosgrove, D. J. (2005). Growth of the plant cell wall. *Nature Reviews Molecular Cell Biology*, 6, 850-861.
- Cowieson, A. J. (2010). Strategic selection of exogenous enzymes for corn/soy-based poultry diets. *The journal of Poultry Science*, 47, 1-7.
- Cowieson, A. J., Acamovic, T. & Bedford, M. R. (2003). Supplementation of diets containing pea meal with exogenous enzymes: effects on weight gain, feed conversion, nutrient digestibility and gross morphology of the gastrointestinal tract of growing broiler chicks. *British Poultry Science*, 44, 427-437.
- Cowieson, A. J. & Adeola, O. (2005). Carbohydrases, protease, and phytase have an additive beneficial effect in nutritionally marginal diets for broiler chicks. *Poultry Science*, 84, 1860-1867.
- Cowieson, A. J. & Ravindran, V. (2008). Effect of exogenous enzymes in maize-based diets varying in nutrient density for young broilers: growth performance and digestibility of energy, minerals and amino acids. *British Poultry Science*, 49, 37-44.
- Esonu, B. O., Azubuike, J. C., Emenalom, O. O., Etuk, E. B., Okoli, I. C., Ukwu, H. O. & Nneji, C. S. (2004). Effect of enzyme supplementation on the performance of broiler finisher fed *Microdesmis puberula* leaf meal. *International Journal of Poultry Science*, 3, 112-114.
- Eufrásio, M. R., Barcelos, M. d. F. P., Sousa, R. V., Abreu, W. C., Lima, M. A. C. & Pereira, M. C. A. (2009). Efeito de diferentes tipos de fibras sobre frações lipídicas do sangue e fígado de ratos wistar. *Ciência e Agrotecnologia*, 33, 1608-161.
- Fireman, F. A. T. & Fireman, A. K. B. A. T. (1998). Enzimas na alimentação de suínos. *Ciência Rural*, 28, 173-178.
- Fortes, B. D. A., Café, M. B., Stringhini, J. H., Brito, J. Á. G., Rezende, P. L. d. P. & Silva, R. D. (2012). Avaliação de programas nutricionais com a utilização de carboidratos e fitase em rações de frangos de corte. *Ciência Animal Brasileira*, 13, 24-32.
- Gracia, M. I., Aranibar, M. J., Lazaro, R., Medel, P. & Mateos, G. G. (2003). Alpha-amylase supplementation of broiler diets based on corn. *Poultry Science*, 82, 436-442.
- Grunert, K. G. (2006). Future trends and consumer lifestyles with regard to meat consumption. *Meat Science*, 74, 149-160.
- Hetland, H., Choct, M. & Svihus, B. (2004). Role of insoluble non-starch polysaccharides in poultry nutrition. *World's Poultry Science Journal*, 60, 415-422.
- Iji, P. A., Khumalo, K., Slippers, S. & Gous, R. M. (2003). Intestinal function and body growth of broiler chickens on diets based on maize dried at different temperatures and supplemented with a microbial enzyme. *Reproduction Nutrition Development*, 43, 77-90.
- Kidd, M. T., Morgan, G. W., Zumwalt, C. D., Price, C. J., Welch, P. A., Brinkhaus, F. L. & Fontana, E. A. (2001). α -Galactosidase enzyme supplementation to corn and soybean meal broiler diets. *The Journal of Applied Poultry Research*, 10, 186-193.
- Kocher, A., Choct, M., Ross, G., Broz, J. & Chung, T. K. (2003). Effects of enzyme combinations on apparent metabolizable energy of corn-soybean meal-based diets in

- broilers. *The Journal of Applied Poultry Research*, 12, 275-283.
- Leeson, S., Summers, J. D. & Scott, M. L. (2001). *Nutrition of the chicken*, 4th ed. edn. Guelph University Books, Guelph.
- Leslie, M. A., Moran, E. T. & Bedford, M. R. (2007). The effect of phytase and glucanase on the ileal digestible energy of corn and soybean meal fed to broilers. *Poultry Science*, 86, 2350-2357.
- Lima, A. C. F., Macari, M., Pizauro Júnior, J. M. & Malheiros, E. B. (2002). Atividade enzimática pancreática de frangos de corte alimentados com dietas contendo enzima ou probiótico. *Revista Brasileira de Ciência Avícola*, 4, 187-194.
- Lima, M. R., Silva, J. H. V., Araujo, J. A., Lima, C. B. & Oliveira, E. R. A. (2008). Enzimas exógenas na alimentação de aves. *Acta Veterinaria Brasilica*, 1, 99-110.
- Lima, S. O., Fidelis, R. R. & Costa, S. J. (2007). Avaliação de fontes e doses de fósforo no sul do Tocantins. *Pesquisa Agropecuária Tropical*, 37, 100-105.
- Meneghetti, C. (2013). Associação de enzimas em rações para frangos de corte.
- Minafra, C. S., Marques, S. F. F., Stringhini, J. H., Ulhoa, C. J., Rezende, C. S. M., Santos, J. S. & Moraes, G. H. K. (2010). Perfil bioquímico do soro de frangos de corte alimentados com dieta suplementada com alfa-amilase de *Cryptococcus flavus* e *Aspergillus niger* HM2003. *Revista Brasileira de Zootecnia*, 39, 2691-2696.
- Opalinski, M., Maioryka, A., Cunha, F., Rocha, C. & Borges, S. A. (2010). Adição de complexo enzimático e da granulometria da soja integral desativada melhora desempenho de frangos de corte. *Ciência Rural*, 40, 628-632.
- Osera, R. H., Dalanezi, J. A., Junqueira, O. M., Dalanezi, L. M. & Dalanezi, F. M. (2008). Efeito da inclusão de enzimas digestivas sobre o rendimento de partes nobres de frangos de corte. *Pubvet*, 2.
- Pinheiro, D. F., Cruz, V. C. & Paulino, M. L. V. (2004). Effect of early feed restriction and enzyme supplementation on digestive enzyme activities in broilers. *Poultry Science*, 83, 1544-1550.
- Ribeiro, T., Lordelo, M. M. S., Ponte, P. I. P., Maças, B., Prates, J. A. M., Fontes, M. A., Falcão, L., Freire, J. P. B., Ferreira, L. M. A. & Fontes, C. M. G. A. (2011). Levels of endogenous β -glucanase activity in barley affect the efficacy of exogenous enzymes used to supplement barley-based diets for poultry. *Poultry Science*, 90, 1245-1256.
- Rodrigues, P. B., Rostagno, H. S., Albino, L. F. T., Gomes, P. C., Barboza, W. A. & Toledo, R. S. (2003). Desempenho de frangos de corte, digestibilidade de nutrientes e valores energéticos de rações formuladas com vários milhos, suplementadas com enzimas. *Revista Brasileira de Zootecnia*, 32, 171-182.
- Ruiz, U. d. S., Thomaz, M. C., Hannas, M. I., Fraga, A. L., Watanabe, P. H. & Silva, S. Z. (2008). Complexo enzimático para suínos: digestão, metabolismo, desempenho e impacto ambiental. *Revista Brasileira de Zootecnia*, 37, 458-468.
- Sakamoto, M. I., Faria, D. E., Nakagi, V. S., Negrão, J. A., Araújo, R. B., Souza, K. M. & Previero, T. C. (2011). Utilização da glutamina, associada ao ácido glutâmico, sobre o desenvolvimento e a atividade enzimática em frangos de corte. *Arquivo Brasileiro de Medicina Veterinária e Zootecnia*, 63, 962-972.
- Silva, V. K., Morita, V. S. & Boleli, I. C. (2012). Desempenho e rendimento de carcaça de frangos de corte alimentados com pectina na ração. *Arquivo Brasileiro de Medicina Veterinária e Zootecnia*, 64, 1017-1026.
- Singh, A., O'Neill, H. V. M., Ghosh, T. K., Bedford, M. R. & Haldar, S. (2012). Effects of xylanase supplementation on performance, total volatile fatty acids and selected bacterial population in caeca, metabolic indices and peptide YY concentrations in serum of broiler chickens fed energy restricted maize-soybean based diets. *Animal Feed Science and Technology*, 177, 194-203.
- Slominski, B. A. (2011). Recent advances in research on enzymes for poultry diets. *Poultry Science*, 90, 2013-2023.
- Sorbara, J. O. B., Murakami, A. E., Nakage, E. S., Piracés, F., Potença, A. & Guerra, R. L. H. (2009). Enzymatic programs for broilers. *Brazilian Archives of Biology and Technology*, 52, 233-240.

- Strada, E. S. O., Abreu, R. D., Oliveira, G. J. C., Franca, S., Clarton, L. & de Azevedo, J. L. M. (2005). Uso de enzimas na alimentação de frangos de corte. *Revista Brasileira de Zootecnia*, 34, 2369-2375.
- Tachibana, L., Pinto, L. G. Q., Gonçalves, G. S. & Pezzato, L. E. (2010). Xilanase e β -glucanase na digestibilidade aparente de nutrientes do triticale pela Tilápia-do-nilo. *Arquivo Brasileiro de Medicina Veterinária e Zootecnia*, 62, 445-452.
- Tavernari, F. C. & Mendes, A. M. P. (2009). Desenvolvimento, crescimento e características do sistema digestório de aves. *Revista Eletrônica Nutritime*, 6, 1103-1115.
- Torres, D. M., Teixeira, A. S., Rodrigues, P. B., Bertechini, A. G., Freitas, R. T. F. & Santos, E. C. (2003). Eficiência das enzimas amilase, protease e xilanase sobre o desempenho de frangos de corte. *Ciência e Agrotecnologia*, 27, 1401-1408.
- Uni, Z., Ganot, S. & Sklan, D. (1998). Posthatch development of mucosal function in the broiler small intestine. *Poultry Science*, 77, 75-82.
- Wang, Z. R., Qiao, S. Y., Lu, W. Q. & Li, D. F. (2005). Effects of enzyme supplementation on performance, nutrient digestibility, gastrointestinal morphology, and volatile fatty acid profiles in the hindgut of broilers fed wheat-based diets. *Poultry Science*, 84, 875-881.
- Wiseman, J. (2006). Variations in starch digestibility in non-ruminants. *Animal Feed Science and Technology*, 130, 66-77.
- Yu, B. & Chung, T. K. (2004). Effects of multiple-enzyme mixtures on growth performance of broilers fed corn-soybean meal diets. *The Journal of Applied Poultry Research*, 13, 178-182.
- Zanella, I., Sakomura, N. K., Silversides, F. G., Figueirido, A. & Pack, M. (1999). Effect of enzyme supplementation of broiler diets based on corn and soybeans. *Poultry Science*, 78, 561-568.
- Zou, J., Zheng, P., Zhang, K., Ding, X. & Bai, S. (2013). Effects of exogenous enzymes and dietary energy on performance and digestive physiology of broilers. *Journal of Animal Science and Biotechnology*, 4, 1-9.

Article History:

Received 16 August 2016

Accepted 8 September 2016

Available on line 31 October 2016

License information: This is an open-access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution License 4.0, which permits unrestricted use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.