

**UNIVERSIDADE FEDERAL DE MATO GROSSO DO SUL  
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM CIÊNCIA ANIMAL  
CURSO DE DOUTORADO**

**XILANASE EM DIETAS PARA AVES: REVISÃO SISTEMÁTICA**

**GISLAINE DA CUNHA DE ANDRADE**

**CAMPO GRANDE- MS**

**2023**

**UNIVERSIDADE FEDERAL DE MATO GROSSO DO SUL**  
**PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM CIÊNCIA ANIMAL**  
**CURSO DE DOUTORADO**

**XILANASE EM DIETAS PARA AVES: REVISÃO SISTEMÁTICA**

Xylanase in diets for poultry : systematic review

**GISLAINE DA CUNHA DE ANDRADE**

Orientador: Prof<sup>o</sup>. Dr. Charles Kiefer

Coorientadora: Prof<sup>a</sup>. Dr<sup>a</sup>. Karina Márcia Ribeiro de Souza Nascimento

Prof<sup>a</sup>. Dr<sup>a</sup>. Elis Regina de Moraes Garcia

Tese apresentada à Universidade Federal de Mato Grosso do Sul, como requisito à obtenção do título de Doutora em Ciência Animal.

Área de concentração: Produção Animal.

**CAMPO GRANDE- MS**

**2023**

# XILANASE EM DIETAS PARA AVES: REVISÃO SISTEMÁTICA

GISLAINE DA CUNHA DE ANDRADE

Orientador: Prof. Dr. Charles Kiefer  
Co-orientadora: Prof<sup>ª</sup>. Dr<sup>ª</sup>. Karina Márcia Ribeiro de Souza Nascimento  
Profa. Dr<sup>ª</sup>. Elis Regina de Moraes Garcia

Tese apresentada à Universidade Federal de Mato Grosso do Sul, como parte das exigências para a obtenção do título de Doutora em Ciência Animal.  
Área de concentração: Produção Animal

APROVADA: 30/06/2023.

Documento assinado digitalmente  
 **CHARLES KIEFER**  
Data: 31/08/2023 16:08:50-0300  
Verifique em <https://validar.itb.gov.br>

Prof. Dr. Charles Kiefer  
Orientador – UFMS

Documento assinado digitalmente  
 **DANILO ALVES MARÇAL**  
Data: 01/09/2023 17:49:07-0300  
Verifique em <https://validar.itb.gov.br>

Dr. Danilo Alves Marçal  
UNESP

Documento assinado digitalmente  
 **ELIS REGINA DE MORAES GARCIA**  
Data: 03/09/2023 20:32:20-0300  
Verifique em <https://validar.itb.gov.br>

Profa. Dra. Elis Regina de Moraes Garcia  
UEMS

Documento assinado digitalmente  
 **GIOVANA CRISTINA GIANNESI**  
Data: 01/09/2023 07:48:48-0300  
Verifique em <https://validar.itb.gov.br>

Profa. Dra. Giovana Cristina Giannesi  
UFMS

Documento assinado digitalmente  
 **RICARDO CARNEIRO BRUMATTI**  
Data: 01/09/2023 15:15:46-0300  
Verifique em <https://validar.itb.gov.br>

Prof. Dr. Ricardo Carneiro Brumatti  
UFMS

CAMPO GRANDE – MS  
2023

Aos meus filhos Heitor e Adele.

**DEDICO**

## AGRADECIMENTOS

Primeiramente gostaria de agradecer a Deus por todas as bênçãos proporcionadas na minha vida, por toda essa caminhada e por todas as coisas boas que me foram proporcionadas.

Aos meus filhos que são a luz que ilumina meu caminho, vocês serão sempre minha maior conquista.

Ao meu companheiro Luiz Fernando, que esteve ao meu lado em todos os dias de sol e naqueles de chuva, você é parte fundamental nesse processo, amo você.

Aos meus pais Adenilda e Waldomiro, por todo o apoio durante essa caminhada, sem a base de vocês jamais isso seria possível.

A minha avó Neusa obrigada por tudo, por todos os momentos ao meu lado os bons e ruins, eu sempre ei de me espelhar na sua força e coragem.

A minha avó Nilza "*in memorian*", seu sorriso e sua trajetória sempre me inspiraram e sua garra em lutar por tudo que acreditava foi uma escada para minha jornada, saudades para sempre.

Ao meu avó Argemiro," *in memorian*", sua voz e sua música fazem muita falta, enfim vou virar sua "Doutorinha", esse diploma com certeza é para ser comemorado com pessoas como você foi para mim.

Ao meu orientador, professor Charles Kiefer, por todo apoio, por todos os dias de compreensão, aprendizado e carisma, meu muito obrigada.

A minha coorientadora, professora Elis Regina, por ter me dado a primeira oportunidade de chegar até aqui, seus ensinamentos foram extremamente valiosos para trilhar esse caminho.

Ao programa de Pós-Graduação em Ciência Animal da Universidade Federal de Mato Grosso do Sul, pela oportunidade da realização do curso. Agradecimento a Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES) pela concessão de bolsa durante o período de doutorado.

**MUITO OBRIGADA!**

O segredo não é correr atrás das borboletas, é cuidar do jardim  
para que elas venham.

**Mário Quintana**

## Resumo

ANDRADE, G. C. Xilanase em dietas para aves: revisão sistemática. 2023. 64f. Tese (Doutorado)- Faculdade de Medicina Veterinária e Zootecnia, Universidade Federal de Mato Grosso do Sul, Campo Grande, MS, 2023.

O uso de enzimas exógenas tornou-se indispensável ao longo dos anos em dietas para não ruminantes. Realizou-se um estudo com o objetivo de avaliar o desempenho técnico-econômico de frangos de corte alimentados com dietas suplementadas com xilanase por meio de uma revisão sistemática. As publicações revisadas por pares foram incluídas nessa revisão por meio da plataforma de banco de dados on-line Google Acadêmico. As buscas foram realizadas entre os meses de janeiro de 2021 a janeiro de 2023, sendo selecionados estudos envolvendo o uso de xilanases comerciais a partir de 2011 com as palavras-chave utilizadas “xilanase”, “frangos de corte” para as pesquisas. Os critérios secundários de elegibilidade foram: estudos de desempenho com no mínimo 40 dias, com três dietas (formulação de acordo com as exigências nutricionais sem xilanase, dieta com redução energética sem xilanase e dieta com redução energética contendo xilanase), o banco de dados on-line continha cerca de 10.390 publicações. Uma vez averiguadas as publicações, oito artigos foram selecionados, com total de 11.761 animais utilizados, a atividade enzimática variando entre 12.000 e 24.000 BXU e as reduções energéticas variando entre 50 e 150 Kcal de EM/kg. Foram avaliados dados de desempenho e esses foram submetidos a uma avaliação econômica ao final das análises. Os resultados demonstram que, dietas com redução energética com inclusão de xilanase apresentam custo por tonelada, custo, receita, lucro e margem bruta superior as dietas dieta basal e a dieta com redução energética. Os cenários padrão e pessimista demonstram que as dietas com xilanase são mais lucrativas em relação às demais, mesmo com valores quatro vezes maiores da enzima no mercado. As variáveis de desempenho foram superiores para dieta basal em relação as dietas dieta com redução energética e dieta com redução energética com xilanase. Ainda que haja eficiência econômica por parte das dietas com inclusão de xilanase e redução energética, proporcionando um custo nutricional inferior em relação a dieta basal e dieta com redução energética. A inclusão de

xilanase em dietas com redução energética para frangos de corte proporciona resultados inferiores a dieta basal e resultados superiores a dieta com redução energética.

**Palavras-chave:** aditivos, avicultura, carboidrases, custos, desempenho, fatores antinutricionais;

## **Abstract**

ANDRADE, G. C. Xylanase in diets for poultry: systematic review. 2023. 64f. Thesis (Doctorate)- Faculty of Veterinary and Animal Science, Federal University of Mato Grosso do Sul, Campo Grande, MS, 2023.

The use of exogenous enzymes has become indispensable over the years in diets for non-ruminants. A study was conducted with the objective of evaluating the techno-economic performance of broilers fed diets supplemented with xylanase through a systematic review. Peer-reviewed publications were included in this review through the online database platform Google Scholar. The searches were conducted between the months of January 2021 to January 2023, and studies involving the use of commercial xylanases from 2011 onwards were selected with the keywords used "xylanase", "broilers" for the searches. The secondary eligibility criteria were: performance studies with at least 40 days, with three diets (formulation according to nutritional requirements without xylanase, energy-reduced diet without xylanase and energy-reduced diet containing xylanase), the online database contained about 10,390 publications. Once the publications were checked, eight articles were selected, with a total of 11,761 animals used, enzyme activity ranging from 12,000 to 24,000 BXU and energy reductions ranging from 50 to 150 Kcal ME/kg. Performance data were evaluated and these were submitted to an economic evaluation at the end of the analyses. The results show that, diets with energy reduction with inclusion of xylanase present cost per ton, cost, revenue, profit and gross margin higher than the basal diet and the diet with energy reduction. The standard and pessimistic scenarios show that diets with xylanase are more profitable than the others, even with four times higher values of the enzyme on the market. The performance variables were higher for the basal diet compared to the energy-reduced diet and energy-reduced diet with xylanase. Although there is economic efficiency on the part of diets with xylanase inclusion and energy reduction, providing a lower nutritional cost in relation to basal diet and energy reduction diet. The inclusion of xylanase in diets with energy reduction for broilers provides lower results than basal diet and higher results than energy reduction diet.

**Keywords:** additives, antinutritional factors, aviculture, carbohydrases, costs, performance

## LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1. Oscilação no valor (US\$) da xilanase .....	41
---	----

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1- Classificação de polissacarídeos não amiláceos (PNA's) .....	5
Tabela 2- Fatores responsáveis pelos efeitos antinutritivos de PNA's .....	5
Tabela 3- Enzimas , substratos de ação e suas especificidades .....	9
Tabela 4. Microrganismos utilizados para a obtenção de xilanase .....	12
Tabela 5. Relação de artigos utilizados no banco de dados .....	29
Tabela 6. Composição percentual e valores calculados das dietas experimentais para frangos de corte (1 a 7 dias) .....	34
Tabela 7. Composição percentual e valores calculados das dietas experimentais para frangos de corte (8 a 21 dias).....	35
Tabela 8. Composição percentual e valores calculados das dietas experimentais para frangos de corte (22 a 33 dias) .....	36
Tabela 9. Composição percentual e valores calculados das dietas experimentais para frangos de corte (34 a 42 dias) .....	37
Tabela 10. Desempenho de frangos de corte machos e lotes mistos alimentados com dietas contendo xilanase.....	38
Tabela 11. Custos nutricionais de dietas contendo xilanase para frangos de corte	39
Tabela 12. Oscilação do valor médio da g da Xilanase .....	40

## SUMÁRIO

INTRODUÇÃO.....	1
1. Fatores antinutricionais .....	2
1.1 Polissacarídeos não-amiláceos.....	3
2. Enzimas exógenas na nutrição de não ruminantes .....	7
2.2. Carboidrases.....	10
2.2.1. Xilanase .....	10
3. Principais resultados na alimentação de frangos de corte .....	13
REFERÊNCIAS.....	14
Suplementação de xilanase sobre o desempenho técnico-econômico de frangos de corte: revisão sistemática.....	24
Material e Métodos .....	27
Resultados.....	38
Discussão .....	41
Conclusões .....	45
Referências.....	46

## INTRODUÇÃO

As dietas para não ruminantes sofreu inúmeras modificações em sua composição com o passar dos anos a fim de melhorar a digestibilidade e o aproveitamento dos nutrientes, assim como a produtividade. Com isso, ganharam a forma farelada que vem sendo mais utilizada atualmente (Munyaka et al., 2016).

No contexto de produção mundial de proteína animal, essa mudança no padrão da composição das dietas está diretamente relacionada aos custos e a eficiência na produção de não ruminantes, dessa forma, a produção pode tornar-se limitada e onerosa, conforme o aumento de preço no mercado de grãos, assim como escassez de produto (Abreu et al., 2018).

Os custos relacionados com a alimentação de não ruminantes podem chegar a 70% dos custos totais de produção (Balasubramanian et al., 2020). Além disso, estão presentes nesses ingredientes fatores antinutricionais, os quais influenciam diretamente na digestibilidade, limitando a absorção de nutrientes e causando prejuízos na produtividade dos animais (Chuang et al., 2021).

Dentre os principais fatores antinutricionais ligados aos alimentos de origem vegetal, estão os polissacarídeos não amiláceos (PNA's), responsáveis pelo aumento da viscosidade da digesta prejudicando a ação das enzimas endógenas na digestão dos nutrientes (Chuang et al., 2021; Kouzounis et al., 2023).

Os estudos com a utilização de enzimas exógenas como aditivos em dietas para não ruminantes iniciaram na década de 50 nos Estados Unidos, devido a intensa utilização de grãos de cevada, centeio, trigo e triticale, alimentos ricos em PNA's (Pereira Junior et al., 2008; Pasquali, 2019).

A utilização de enzimas exógenas tem sido sugerida a fim de mitigar os efeitos negativos dos PNA's, melhorando a digestibilidade e diminuindo as perdas via excreção. As enzimas exógenas são denominadas substrato dependente, ou seja, atuam diretamente em um substrato específico, com especificidade para PNA's ou ingredientes alimentares específicos (Chesson, 2001; Selle et al., 2003 ; Jozefiak et al., 2010 ; Smeets et al., 2014; Munyaka et al., 2016).

As carboidrases são as enzimas exógenas utilizadas para atuar sobre os PNA's (Lallès e Montoya, 2021). As xilanases,  $\beta$ -glucanases,  $\beta$ -mananases,  $\beta$ -galactosidases e pectinases são as principais constituintes dessa classe.

Existem diversos estudos publicados (Jozefiak et al., 2010; Mendes et al., 2013; Kiarie et al., 2014; Craig et al., 2019; Kouzounis et al., 2023; Kolade et al., 2023) que demonstram o potencial de ação das enzimas exógenas em melhorar o desempenho de não ruminantes.

Considerando a potencialidade da aplicação das enzimas endógenas na nutrição animal visando a melhora na eficiência alimentar e considerando a necessidade de redução dos custos de produção, realizou-se esse estudo com o objetivo de avaliar a eficiência técnica e econômica da utilização de xilanase em dietas para frangos de corte.

## **1. Fatores antinutricionais**

Os fatores antinutricionais mesmo que em porções vestigiais são substâncias presentes em alimentos de origem vegetal e podem afetar o aproveitamento de um nutriente.

Em sua grande maioria os fatores antinutricionais são metabólitos secundários que podem ser estabelecidos como compostos ao qual não apresentam função definida quanto aos processos vitais para manutenção da planta como no crescimento, desenvolvimento e reprodução (Patra e Saxena, 2010), por outro lado, apresentam papel fundamental quanto a interação da planta com o ambiente em que está inserida (Souza et al., 2019).

Os fatores antinutricionais atuam de forma ativa na defesa das plantas, produzem mecanismos a fim de proteger a planta de possíveis predadores, seja por meio da inibição da absorção e/ou digestão dos nutrientes (Patra e Saxena, 2009).

Estudos relacionados a interação dos fatores antinutricionais com o organismo animal tornam-se de suma importância, pois apesar de alimentos de origem vegetal apresentarem alto valor nutricional, ao entrarem em contato com o trato gastrointestinal podem apresentar baixa biodisponibilidade em consequência dos fatores antinutricionais (Hilgemberg, 2021).

### **1.1 Polissacarídeos não-amiláceos**

As dietas para não ruminantes são compostas em sua grande maioria por ingredientes de origem vegetal e esses por sua vez são compostos por dois grupos de carboidratos, sendo eles os polissacarídeos amídicos e os polissacarídeos não amiláceos (PNA's) (Adeola e Cowieson, 2011).

Os polissacarídeos de armazenamento são absorvidos de forma mais facilmente pelas enzimas endógenas quando comparados aos polissacarídeos da parede celular como a celulose, lignina e hemicelulose, uma vez que as enzimas endógenas não são capazes de complexar esses substratos em moléculas menores

(oligossacarídeos), interferindo diretamente na absorção e digestibilidade dos nutrientes, além disso, a energia presentes nesse substrato acaba por se perder, uma vez que torna-se indisponível ao ser complexada a água (Castro Dereck, 2020).

Os PNA's podem ser divididos em celulose ou polímeros não celulósicos como os pentosanos, arabinosilanos, xilanos e  $\beta$ -glucanos; polissacarídeos pécnicos (glicomananos, galactomananos, arabinanos, xiloglucanos e galactanos) e demais moléculas (Tabela 1) (Cruz, 2016).

O aumento da viscosidade das dietas em nível intestinal está diretamente ligado a esse fator antinutricional, ou seja, suas ligações químicas impedem a hidrólise dos PNA's e com isso essa fração diminui a capacidade de digestão dos nutrientes (Farias, 2021).

Os PNA's interagem com o glicocálix da borda em escova das células intestinais, aumentando a espessura da camada de água na mucosa, dificultando a absorção de nutrientes pela parede intestinal (Sousa et al., 2014). Com isso, aumenta a viscosidade do quimo, formando uma substância gelatinosa, diminuindo a taxa de passagem no trato gastrointestinal dos não ruminantes (Farias, 2021).

Ao aumentar a viscosidade do quimo, o acesso das enzimas endógenas aos nutrientes como os lipídeos, amido e proteínas torna-se menos disponível ao diminuir a taxa de difusão dos substratos com as enzimas endógenas, a interação com a superfície da mucosa pode ser comprometida, limitando a digestão e a absorção dos nutrientes (Tabela 2).

Por outro lado, as alterações causadas na microbiota intestinal pode ocasionar um aumento de microrganismos nocivos como, *Clostridium spp.* (clostridiose) e *Eimeria spp.* (coccidiose) (Andrade, 2019).

Tabela 1- Classificação de polissacarídeos não amiláceos (PNA's)

Categoria	Resíduo	Alimentos	
	Monomérico		
Celulose	Glicose	Cereais ( cevada, milho, trigo) e leguminosas (soja, caroço de algodão, canola)	Insolúvel em água
Polímeros não celulolíticos			
Arabinoxilanos	Arabinose e xilose	Cereais (cevada, milho, trigo, aveia e sorgo);	Parcialmente solúveis em água
B-glucanos de ligação mista	Glicose	Cevada e aveia	Parcialmente solúveis em água
Polissacarídeos pécticos			
Arabinanas	Arabinose	Subprodutos de cereais	Parcialmente solúveis em água
Galactanos	Galactose	Tremoço, soja	Parcialmente solúveis em água
Arabinogalactanos tipo 1	Arabinose e galactose	Grãos de leguminosas	Parcialmente solúveis em água
Arabinogalactanos tipo 2	Arabinose e galactose	Canola	Parcialmente solúveis em água

Adaptado de Sinha et al. (2011).

Tabela 2- Fatores responsáveis pelos efeitos antinutritivos de PNA's

Fatores	Efeitos	Referências
Alterações na viscosidade da digesta	Redução da mistura de enzimas digestivas e Substratos Interação efetiva dificultada das enzimas digestivas na	Choct et al. (1996); Ikegami et al. (1990); Hossain et al. (2001); Amirkolaie, Leenhouwers, Verreth, and Schrama (2005); Leenhouwers et al. (2007a,

		superfície da mucosa intestinal	2007b)
		Aumento do tempo de residência da digesta	
		Absorção reduzida de minerais, especialmente íon sódio	
Alteração no esvaziamento gástrico e taxa de passagem		Taxa reduzida de esvaziamento gástrico	Kaushik et al. (1995); Refstie et al. (1999);
		Aumento da taxa de passagem do conteúdo do estômago	Bach Knudsen (2001); Hossain et al. (2001); Leenhouders et al. (2007a, 2007b)
		Absorção intestinal tardia de glicose	
Alteração da fisiologia intestinal		Dificulta a secreção endógena de água, proteínas, eletrólitos e lipídios	Pettersson and Åman (1989); Angkanaporn et al. (1994); Choct (1997); Hossain et al. (2001)
		Aumento da secreção de ácidos biliares	
		Absorção dificultada de lipídios e colesterol no intestino	
Tabela 2. Continuação			
Alteração na morfologia intestinal		Atividade enzimática intestinal limitada	Baserga, (1985); Jin et al. (1994);
		Aumento do tamanho e comprimento dos órgãos digestivos	Nabuurs (1998); McDonald (2001); Iji et al. (2001);
		Comprimento das vilosidades reduzido	Leenhouders et al. (2006)
		Aumento da	

---

profundidade de  
criptas intestinais no  
jejuno e íleo  
Absorção de água  
prejudicada, pode  
levar à desidratação

---

Adaptado de Sinha et al. (2011)

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

A utilização de aditivos vem ganhando espaço nas formulações de dietas para não ruminantes. As enzimas exógenas estão dentre os principais aditivos utilizados nas dietas devido a sua eficácia em aumentar a digestibilidade de alimentos ricos em fibra, além do milho e farelo de soja (Abreu et al., 2018).

As enzimas são proteínas globulares, possuem uma estrutura tridimensional e aceleram reações químicas (Angel e Sorbara, 2014), sob condições específicas, como pH, temperatura e umidade, exercem poder catalítico e apresentam especificidade do substrato.

Após catalisarem o substrato e completarem a reação, as enzimas retornam ao seu estado original e são liberadas para novas reações (Angel e Sorbara, 2014), sem serem alteradas nesse processo, portanto a quantidade de enzima necessária para ser efetiva são de pequenas proporções em comparação ao substrato (Quaresma, 2019). Contudo, para que ocorram essas reações enzimáticas no trato gastrointestinal, é necessário que o substrato esteja acessível a ação das enzimas.

A acessibilidade do substrato pode ser influenciada por vários fatores, como a estrutura e a conformação do substrato e do catalisador, a presença de solventes

ou moléculas auxiliares e as condições ambientais, como temperatura e pressão. A disponibilidade do substrato pode ser afetada por barreiras estéricas, solubilidade ou propriedades físicas do sistema.

Existem diversas enzimas exógenas, sendo divididas de acordo com seu sítio de atuação (Gomes et al., 2019). Essa região específica forma uma superfície tridimensional com cadeias laterais de aminoácidos complementar ao substrato (Champe et al., 2009).

As enzimas exógenas utilizam do mecanismo denominado ajuste induzido, caracterizado pela hidrólise que ocorre por meio da ligação da cadeia de aminoácidos entre substrato específico e enzima. Esse complexo é convertido em enzima produto (Champe et al., 2009; Gomes et al., , 2019),).

Por meio dessa interação ocorrem as reações que possibilitam a quebra em menores moléculas denominados oligossacarídeos (Gomes et al., , 2019). A energia química dessas reações é conservada, transformada e utilizada (Nelson e Cox, 2011).

Conforme Dourado (2008), as enzimas podem ser divididas por classes como: oxidoreduases, transferases, hidrolases, liases, isomerases e ligases. Dessas, apenas as hidrolases apresentam interesse para a nutrição animal. As hidrolases por sua vez podem ser classificadas conforme os seus substratos (Tabela 3).

Tabela 3- Enzimas , substratos de ação e suas especificidades

Enzimas	Substratos	Especificidades
Amilase	Amido	Degradação mais eficiente de amido
Celulase	Celulose	Degradação da celulose e liberação de nutrientes
Xilanase	Arabinosilanos	Redução da viscosidade da dieta
Galactosidase	Galactosídeos	Remoção de galactosídeos
Glucanase	B-glucanos	Redução da viscosidade da dieta
Pectinase	Pectinas	Redução da viscosidade da dieta
Fitase	Ácido Fítico	Liberação do fósforo
Protease	Proteínas	Degradação mais eficiente de proteínas
Lipase	Lipídeos e ácidos graxos	Melhoria na utilização de gorduras animais e vegetais

Adaptado de Silva et al. (2016).

O uso das enzimas em dietas para não ruminantes se dá de suas formas, sendo isolada ou na forma de complexo enzimático composto por duas enzimas ou ainda formar um “*Blend*” enzimático, composto por mais de duas enzimas (Albino et al., 2007).

Para não ruminantes as enzimas podem ser inclusas nas formulações das dietas: a primeira consiste no método “*specified dow*”, alteração da matriz nutricional da dieta por meio da modificação da formulação, utilizando as enzimas visando incluir todos os elementos nutricionais presentes na matriz das enzimas (Meneghetti, 2013), já a segunda é denominada de “*on top*”, consistindo na suplementação enzimática na formulação padrão sem que altere os níveis nutricionais da dieta basal (Dourado, 2008). Ambas as formas são utilizadas a fim de melhorar o desempenho dos animais, a digestibilidade dos nutrientes e com isso reduzir custos com as dietas e tornar a produção economicamente viável.

## **2.2 Carboidrases**

As carboidrases compreendem uma das classes de enzimas exógenas, sendo ainda subdivididas em amilases e enzimas degradadoras de polissacarídeos da parede vegetal, sendo as xilanases, pectinases,  $\beta$ -glucanases, celulasas e hemicelulasas, que possuem como substratos, respectivamente, o amido, pectinas,  $\beta$ -glucanos, arabinosilanos, celulose e hemicelulose (Lima et al., 2007). Todavia, as xilanases e  $\beta$ -glucanases lideram o uso das carboidrases (Adeola e Cowieson, 2011).

A maior parte dos produtos enzimáticos utilizados na alimentação animal são extratos de fermentação preparados a partir de fungos, bactérias e leveduras, e que contêm principalmente amilases, pectinases, celulasas e proteases (Sakomura et al., 2014).

De acordo com Gonzales- Ortiz (2017), a adição de enzimas exógenas nas dietas dos animais visa quatro objetivos distintos: remoção ou hidrólise de fatores antinutricionais, aumento da digestibilidade dos nutrientes existentes, hidrólise dos PNA's e suplementação das enzimas endógenas.

### **2.2.1 Xilanase**

A xilana é a principal constituinte da parede celular vegetal e o segundo polissacarídeo mais encontrado na natureza depois da celulose (Li et al., 2005; Lee et al., 2009; Chaves et al., 2021).

De acordo com Vieira (2007), as xilanases são as principais enzimas exógenas que atuam sobre a cadeia das xilanas. Esse polissacarídeo está presente em 2,2%

dos PNA's do milho e 1,33% do farelo de soja, principais ingredientes das dietas para não ruminantes (Rostagno et al., 2017). Estima-se que as xilanases possuem a capacidade de degradar apenas 25% das xilanas presente na parede celular dos ingredientes de origem vegetal (Onysko, 1993).

As xilanases exógenas são produzidas por uma grande variedade de fungos, bactérias, protozoários, algas (tabela 4) e conforme o microrganismo de origem, o modo de ação e os produtos liberados na reação catalítica podem diferir (Haltrick et al., 1996; Sakomura et al., 2014). Os fungos filamentosos são considerados os principais produtores dessa enzima, em destaque os gêneros *Aspergillus* e *Trichoderma* (Chaves et al., 2021).

As xilanases são comumente utilizadas em estudos envolvendo déficit de energia em dietas para não ruminantes, uma vez que a produção de enzimas endógenas capazes de hidrolisar os PNA's é tida como inexistente (Bobeck et al., 2014), o principal produto de sua reação é a liberação de energia (Sakomura et al., 2014; Souza, 2017; Chaves et al., 2021).

As xilanases podem ser divididas em duas famílias principais: F (ou 10) e G (ou 11) e a principal diferença entre elas encontra-se na complexidade e produção de oligossacarídeos menores na F e a maior especificidade para xilanas na família G (Motta, 2008), (endo- $\beta$ -1,4-xilanases) são conhecidas por reduzirem a viscosidade da digesta por meio da despolarização das ligações  $\beta$  (1-4) glicosídicas das xilanas, esses são reduzidos em componentes moleculares de menor peso (Stefanello et al., 2016; Chaves et al., 2021).

Tabela 4. Microrganismos utilizados para a obtenção de xilanase

	Condições de cultivo	
	pH	Temperatura (°C)
<b>Bactérias</b>		
<i>Acidobacterium capsulatum</i>	5,0	65
<i>Bacillus circulans</i> WL-12	5,5-7,0	-
<i>Bacillus stearothermophilus</i> T-6	6,5	55
<i>Bacillus polymyxa</i> CECT 153	6,5	50
<i>Bacillus</i> sp. strain K-1	5,5	60
<i>Bacillus</i> sp. NG-27	7,0-8,4	70
<i>Cellulomonas fimi</i>	5,0-6,5	40-45
<i>Cellulomonas</i> sp. N.C.I.M. 2353	6,5	55
<i>Staphylococcus</i> sp. SG-13	7,5-9,2	50
<i>Thermoanaerobacterium</i> sp. JW/SL-YS485	6,2	80
<i>Thermotoga maritima</i> MSB8	5,4-6,2	92-105
<b>Fungos</b>		
<i>Aspergillus niger</i> ANL-301	5,5	45
<i>Aspergillus kawachii</i> IFO 4308	2,0-5,5	50-60
<i>Aspergillus sojae</i>	5,0-5,5	60
<i>Aspergillus sydowii</i> MG 49	5,5	60
<i>Cephalosporium</i> sp.	8,0	40
<i>Fusarium oxysporum</i>	6,0	60,5
<i>Geotrichum candidum</i>	4,0	50
<i>Penicillium purpurogenum</i>	7,3-7,5	60,5
<i>Thermomyces lanuginosus</i> DSM 5826	7,0	60,7
<i>Trichoderma harzianum</i>	5,0	50
<i>Trichoderma reesei</i>	5,0-5,5	45,5

Adaptado de Goswami e Pathak (2013)

Além de contribuir na diminuição da viscosidade das dietas em nível intestinal, as xilanases apresentam efeitos secundários, tais como: a liberação de proteína no processo de quebra dos arabinoxilanos e xilanas, induzem um aumento

de microrganismos benéficos para o trato gastrointestinal dos não ruminantes (Choct et al., 1996; Yang et al., 2008; Nian et al., 2011), diminui a excreção de dejetos nitrogenados no meio ambiente, minimizando níveis de poluição no meio ambiente (Patterson et al., 1998; Selle e Ravindran, 2007) e ainda atuam reduzindo os custos com alimentação, melhorando a eficiência alimentar e o ganho de peso dos animais (Tahir et al., 2005; Woyengo et al., 2010).

### **3. Principais resultados na alimentação de frangos de corte**

Há um claro entendimento que o desempenho de frangos de corte alimentados com dietas ricas em PNA's aumenta a viscosidade em nível intestinal e conseqüentemente reduz a digestão e absorção de nutrientes (Annison, 1991; Choct et al., 1996). Notoriamente está bem documentado na literatura (Wang et al., 2005; Kalmendal e Tauson, 2012; Masey-O'Neill et al., 2014) que a suplementação de xilanase diminui os efeitos causados por dietas ricas em PNA's, melhorando desempenho por meio do aumento de ganho de peso e melhora na conversão alimentar.

Estudos realizados por diversos autores (Cowieson et al., 2010; Kiarie et al., 2014; Munyaka et al., 2016; Stefanello et al., 2016; Chao e Kim, 2017; Singh et al., 2021) corroboram os efeitos da enzima xilanase sobre as variáveis de desempenho, metabolizabilidade e saúde intestinal. Os pesquisadores citados acima observaram que, aves alimentadas com dietas suplementadas com xilanase apresentaram melhor ganho de peso corporal e melhor conversão alimentar em relação às aves alimentadas com dietas sem suplementação de xilanase, assim como melhora na

digestibilidade das dietas e diminuição da viscosidade em nível intestinal (Choct et al., 2010).

Diversos estudos correlacionam a suplementação de xilanase em dietas para suínos a melhora o desempenho, na melhora da digestibilidade e a efeitos positivos na microecologia intestinal (Ye et al., 2011; Liu et al., 2012; Kiarie et al., 2013; Kiarie e Petracek, 2015; Zier-Rush et al., 2016), podendo ser utilizada como probiótico na saúde intestinal de aves e suínos (Liu et al., 2012; Pollet et al., 2012). Contudo, há uma grande carência de informações na literatura que tenham avaliado a eficiência técnica/econômica da utilização de xilanase para determinar o custo/benefício desse aditivo na nutrição.

Com os resultados obtidos no presente estudo, foi elaborado o artigo intitulado: Suplementação de xilanase sobre o desempenho técnico-econômico de frangos de corte: revisão sistemática, redigido conforme as normas da Revista Brasileira de Zootecnia e adaptações às normas de elaboração de dissertações e teses do Programa de Pós-Graduação em Ciência Animal/FAMEZ/UFMS.

## REFERÊNCIAS

Abreu, M. T., Fassani, E. J., Silveira, M. M. B. M., e Viveiros, M. P. 2018. Complexo enzimático à base de xilanase,  $\beta$ -glucanase e fitase em rações para poedeiras comerciais leves em pico de produção. Boletim de indústria animal, 75.

<https://doi.org/10.17523/bia.v75n1p17>

Adeola, O. and Cowieson, A. J. 2011. Opportunities and challenges in using exogenous enzymes to improve nonruminant animal production. *Journal of Animal Science*, 89:3189–3218. <https://doi.org/10.2527/jas.2010-3715>

Andrade, G. C. Xilanases em rações para poedeiras comerciais. 2019. 65f. Dissertação (Mestrado)- Universidade Estadual de Mato Grosso do Sul, Aquidauana, 2019.

Albino, L.F.T.; Bünzen, S. e Rostagno, H.S. Ingredientes promotores de desempenho para frangos de corte. In: VII SEMINÁRIO DE AVES E SUÍNOS, 2007, Belo Horizonte. Anais... Belo Horizonte: AVESUI, 2007. 73-90.

Balasubramanian, B., Park, J. H., Shanmugam, S., and Kim, I. H. 2020. Influences of enzyme blend supplementation on growth performance, nutrient digestibility, fecal microbiota and meat-quality in grower-finisher pigs. *Animals*, 10:386. <https://doi.org/10.3390/ani10030386>

Bedford, M. R. 2018. The evolution and application of enzymes in the animal feed industry: the role of data interpretation. *British Poultry Science*, 59:486-493. <https://doi.org/10.1080/00071668.2018.1484074>

Bobek, E. A.; Nachtrieb, A. B. Batal, A. B. and Persia, M. E. 2014. Effects of xylanase supplementation of corn-soybean meal-dried distiller's grain diets on performance, metabolizable energy, and body composition when fed to first-cycle

laying hens. *Journal Applied Poultry Research*, 23: 74–180  
<https://doi.org/10.3382/japr.2013-00841>

Castro Dereck, B. F. Efeito de xilanase e glucanase sobre a digestibilidade de dietas contendo coproduto de etanol de milho para suínos. 2020. 60f. Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal de Mato Grosso, Instituto de Ciências Agrárias e Ambientais, Programa de Pós- Graduação em Zootecnia, Sinop, 2020

Champe, P. C.; Harvey, R. A.; Ferrier, D.R. *Bioquímica Ilustrada*. Tradução Carla Dalmaz et. al., 4 ed. Porto Alegre: Artmed, 2009, p. 528.

Chaves, N. R. B.; Nascimento, K. M. R. S. e Teixeira, C. K. S. 2021. Fitase e Xilanase em dietas de frangos de corte. *Archivos de Zootecnia*, 70: 404-416.  
<https://doi.org/10.21071/az.v70i272.5580>

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. <https://doi.org/10.1079/WPS20010018>

Choct, M.; Hughes, R. J. e Bedford, M. R. 2010. Effects of a xylanase on individual bird variation, starch digestion throughout the intestine, and ileal and caecal volatile fatty acid production in chickens fed wheat. *British Poultry Science* 40:419-422. <https://doi.org/10.1080/00071669987548>

Chuang, W. Y.; Lin, L. J.; Der Shih, H.; Shy, Y. M.; Chang, S. C.; Lee, T. T. 2021. The potential utilization of high-fiber agricultural by-products as monogastric animal feed and feed additives: a review. *Animals* 11:1-17.

<https://doi.org/10.3390/ani11072098>

Cowieson, A. J.; Bedford, M. R. e Ravindran, V. 2010. Interaction between xylanase and glucanase in maize-soy-based diets for broilers. *British Poultry Science* 51:246-257. <https://doi.org/10.1080/00071661003789347>

Cruz, T. A. Combinação de enzimas e peletização na digestibilidade dieta em suínos na fase de creche. 2016. 46f. Dissertação (Mestrado)- Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2016.

Dourado, L. R. B. Enzimas exógenas em dietas para frangos de corte. 2008. 80f. Tese (Doutorado) - Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias, Universidade Estadual Paulista, Jaboticabal, 2008.

Farias, T. V. A. Xilanase, fitase e protease isoladas e associadas em dietas com ajustes nutricionais para suínos machos castrados dos 30 aos 100 kg. 2021. 72f. Tese (Doutorado) - Faculdade de Medicina Veterinária e Zootecnia, Universidade Federal de Mato Grosso do Sul, Campo Grande, MS, 2021.

Gomes, B. K.; Cony, B. S. De L. and Stella, L. 2019. Enzimas exógenas na alimentação de suínos. *Nutritime*, 16:8477-8487

Gonzalez-Ortiz, G., Sola-Oriol, D., Martinez-Mora, M., Perez, J.F., and Bedford, M.R. 2017. Response of broiler chickens fedwheat-based diets to xylanase supplementation. *Poultry Science*. 96: 2776–2785.

<https://doi.org/10.3382/ps/pex092>

Goswami, G. K. and Pathak, R. R. 2013. Microbial xylanases and their biomedical applications: a review. *International Journal of Basic & Clinical Pharmacology*, 2:237-246. [10.5455/2319-2003.ijbcp20130602](https://doi.org/10.5455/2319-2003.ijbcp20130602)

Haltrich, D.; Nidetzky, B.; Kulbe, K.D; Steiner, W. and Zupanic, S. 1996. Production of fungal xilanases. *Bioresource Technology*, 58: 137-161.

[https://doi.org/10.1016/S0960-8524\(96\)00094-6](https://doi.org/10.1016/S0960-8524(96)00094-6)

Hilgemberg, R. Enzimas exógenas na nutrição de suínos: uma Meta-análise. 2021. 31f. Trabalho de conclusão de curso- Universidade Estadual de Ponta Grossa, PR, 2021.

Jozefiak, D., Rutkowski, A., Kaczmarek, S., Jensen, B. B., Engberg, R. M., and Højberg, O. 2010. Effect of  $\beta$ -glucanase and xylanase supplementation of barley-and rye-based diets on caecal microbiota of broiler chickens. *British Poultry Science*, 51(4), 546-557. <https://doi.org/10.1080/00071668.2010.507243>

Kiarie, E., Romero, L. F., and Ravindran, V. J. P. S. 2014. Growth performance, nutrient utilization, and digesta characteristics in broiler chickens fed corn or

wheat diets without or with supplemental xylanase. *Poultry Science*, 93:1186-1196. <https://doi.org/10.3382/ps.2013-03715>

Lalles, J. P., and Montoya, C. A. 2021. Dietary alternatives to in-feed antibiotics, gut barrier function and inflammation in piglets post-weaning: Where are we now?. *Animal Feed Science and Technology*, 274: 114836.

<https://doi.org/10.1016/j.anifeedsci.2021.114836>

Lee, J.W., Park, J.Y., Kwon, M. and Choi, I.G. 2009. Purification and characterization of a thermostable xylanase from the brown-rot fungus *Laetiporus sulphureus*. *Journal of Bioscience and Bioengineering* 107:33-37.

<https://doi.org/10.1016/j.jbiosc.2008.09.006>

Li, X.T.; Jiang, Z.Q.; Li, L.T.; Yang, S.Q.; Feng, W.Y.; Fan, J.Y. and Kusakabe, I. 2005. Characterization of a cellulose-free neutral xylanase from *Thermomyces lanuginosus* CBS 288.54 and its biobleaching effect on wheat straw pulp. *Bioresouce Technology* 96:1370–1379.

<https://doi.org/10.1016/j.biortech.2004.11.006>

Lima, M.R.; Silva, J.H.V.; Araújo, J.A.; Lima, C.B. e Oliveira, E.R.A. 2007. Enzimas exógenas na alimentação de aves. *Acta Veterinaria Brasilica*, 1:99-110.

<https://doi.org/10.21708/avb.2007.1.4.485>

Masey-O Neill, H. V., Singh, M. and Cowieson, A. J. 2014. Effects of exogenous xylanase on performance, nutrient digestibility, volatile fatty acid production and

digestive tract thermal profiles of broilers fed on wheat-or maize-based diet. *British Poultry Science*, 55:351–359.

<https://doi.org/10.1080/00071668.2014.898836>

Mendes, A. R., Ribeiro, T., Correia, B. A., Bule, P., Macas, B., Falcao, L., Freire, J. P. B., Ferreira, L. M. A., Fontes, C. G. A. and Lordelo, M. M. 2013. Low doses of exogenous xylanase improve the nutritive value of triticale-based diets for broilers. *Journal of Applied Poultry Research*, 22:92-99. <https://doi.org/10.3382/japr.2012-00610>

Meneghetti, C. Associação de enzimas para frangos de corte. 2013. 93f. Tese (doutorado). Universidade Federal de Lavras. Lavras- MG, 2013.

Munyaka, P. M.; Nandha, N. K.; Kiarie, E.; Nyachoti, C. M. and Khafipour, E. 2016. Impact of combined  $\beta$ -glucanase and xylanase enzymes on growth performance, nutrients utilization and gut microbiota in broiler chickens fed corn or wheat-based diets. *Poultry Science* 95:528–540. <http://dx.doi.org/10.3382/ps/pev333>

Nian, F.; Guo, Y.M.; Ru, Y.J.; Li, F.D. and Péron, A. 2011. Effect of Exogenous Xylanase Supplementation on the Performance, Net Energy and Gut Microflora of Broiler Chickens Fed Wheat-based Diets. *Asian-Australasian Journal of Animal Science* 24:400-406. <https://doi.org/10.5713/ajas.2011.10273>

Onysko, K.A. Biological bleaching of chemical pulps: a review. *Biotechnology advances*, 11: 179-198, 1993.

Pasquali, G. A. M. Uso de carboidrases em dietas à base de milho e farelo de soja para frangos de corte. 2019. 91f. Tese (Doutorado) - Universidade Estadual Paulista "Júlio de Mesquita Filho", Faculdade de Medicina Veterinária e Zootecnia. Botucatu, 2019.

Patra, A. K. and Saxena, J. 2009. The effect and mode of action of saponins on the microbial populations and fermentation in the rumen and ruminant production. *Nutrition Research Reviews*, 22:204-219.

<https://doi.org/10.1017/s0954422409990163>

Patra, A. K. and Saxena, J. 2010. A new perspective on the use of plant secondary metabolites to inhibit methanogenesis in the rumen. *Phytochemistry*, 71:1198-1222. <http://dx.doi.org/10.1016/j.phytochem.2010.05.010>

Pereira Junior, N.; Bon, E.P. e Ferrara, M.A. Tecnologia de Bioprocessos. Rio de Janeiro: Escola de Química – UFRJ, 2008.

Quaresma, D. V. Utilização de xilanase e óleo essencial de orégano (*Origanum vulgare*) em dietas de frangos de corte. 2019. 88 f. Tese (Doutorado)- Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro- RJ, 2019.

Rostagno H. S., Albino L. F. T., Hannas, M. I., Donzele, J. L., Sakomura, N. K., Perazzo, F. G., Saraiva, A., Abreu, M. L. T., Rodrigues, P. B., Oliveira, R. T., Barreto, S. L. T. e Brito C. O. 2017. Tabelas brasileiras para aves e suínos (composição de alimentos e exigências nutricionais). 4.ed. Viçosa, MG: Editora UFV, 2017. 488p

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

Selle, P. H., Huang, K. H., and Muir, W. I. 2003. Effects of nutrient specifications and xylanase plus phytase supplementation of wheat-based diets on growth performance and carcass traits of broiler chicks. Asian-australasian journal of animal sciences, 16:1501-1509. <https://doi.org/10.5713/ajas.2003.1501>

Silva, D. M. da, Rodrigues, D. R., Gouveia, A. B. V. S., Mesquita, S. A., dos Santos, F. R., & Minafra, C. S. 2016. Carboidrases em rações de frangos de corte. Pubvet 10: 795–872. <http://doi.org/1022256/pubvet.v10n11.861-872>

Singh, A.K., Mishra, B., Bedford, M.R. and Jha, R. 2021. Effects of supplemental xylanase and xylooligosaccharides on production performance and gut health variables of broiler chickens. Journal Animal Science Biotechnology, 12:98. <https://doi.org/10.1186/s40104-021-00617-8>

Smeets, N., Nuyens, F., Van Campenhout, L. and Niewold, T. 2014. Variability in the in vitro degradation of non-starch polysaccharides from wheat by feed enzymes. Animal Feed Science and Technology, 187:110-114. <https://doi.org/10.1016/j.anifeedsci.2013.10.020>

Souza, C. G.; Moura, A. K. B.; Silva, J. N. P.; Soares, K. O.; Silva, J. V. C e Vasconcelos, P. C. 2019. Fatores antinutricionais de importância na nutrição animal: Composição e função dos compostos secundários. PUBVET 13:1-19.

<https://doi.org/10.31533/pubvet.v13n5a327.1-19>

Sousa, J.P.L.; Albino, L.F.T.; Vaz, R.G.M.V.; Rodrigues, K.F.; Stringhini, J.H.; Knopp, R. M.; Kaneko, I.N. e Kreuz, B.S. 2014. Balanços nutricionais e excreção de nutrientes para frangos alimentados com dietas contendo fitase do 14<sup>o</sup> ao 24<sup>o</sup> dias de idade. *Revista Brasileira de Saúde e Produção Animal*, 15:493-503.

Stefanello, C.; Vieira, S.L.; Carvalho, P.S.; Sorbara, J.O.B. and Cowieson, A.J. 2016. Energy and nutrient utilization of broiler chickens fed corn-soybean meal and corn-based diets supplemented with xylanase. *Poultry Science*, 95:1881-1887.

<https://doi.org/10.3382/ps/pew070>

Wang, Z.R.; Qiao, S.Y.; Lu, W.Q. and 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. <https://doi.org/10.1093/ps/84.6.875>

Yang, Y.; Iji, P.A.; Kocher, A.; Mikkelsen, L.L. and Choct, M. 2008. Effects of xylanase on growth and gut development of broiler chickens given a wheat-based diet. *Asian-Australasian Journal of Animal Science*, 21:659-1664.

<https://doi.org/10.5713/ajas.2008.80074>

## **Suplementação de xilanase sobre o desempenho técnico-econômico de frangos de corte: revisão sistemática**

**RESUMO:** Realizou-se este estudo com o objetivo de avaliar a suplementação de xilanase em dietas sobre o desempenho técnico-econômico de frangos de corte por meio de uma revisão sistemática. Um banco de dados foi construído a partir de artigos científicos disponíveis na plataforma Google Acadêmico, as buscas foram realizadas entre julho de 2021 a janeiro de 2023 e com isso foram localizadas 10.390 publicações, sendo oito artigos elegíveis. Como critério de seleção, adotou-se as palavras-chave "xilanase" e "frangos de corte", publicadas a partir de 2011 e os critérios secundários de elegibilidade foram: estudos de desempenho, com no mínimo 40 dias e com três dietas sendo: formulação de acordo com as exigências nutricionais sem xilanase, dieta com redução energética sem xilanase e dieta com redução energética contendo xilanase. A atividade enzimática variou entre 12.000 e 24.000 BXU e as reduções energéticas variaram entre 50 e 150 Kcal de EM. Os resultados demonstraram que para as variáveis custo dietas DRE + X apresentam custo inferior a DB. Os cenários propostos como padrão e pessimista demonstram que as dietas com xilanase são mais lucrativas em relação às demais. Quanto as variáveis de desempenho a dieta basal (DB) foi superior a dieta com redução energética + xilanase (DRE + X). Ainda que haja eficiência econômica por parte das dietas com inclusão de xilanase e redução energética, proporcionando um custo nutricional inferior em relação a DB e DRE. A inclusão de xilanase em dietas com redução energética para frangos de corte proporciona resultados inferiores a DB e resultados superiores a DRE.

**Palavras-chave:** aditivos, avicultura, custos, enzimas, polissacarídeos não amiláceos

## **Xylanase supplementation on the technical-economic performance of broilers: systematic review**

**ABSTRACT:** This study was carried out with the objective of evaluating the supplementation of xylanase in diets on the technical-economic performance of broilers through a systematic review. A database was built from scientific articles available on the Google Scholar platform, the searches were carried out between July 2021 and January 2023 and with this 10,390 publications were located, with eight eligible articles. As a selection criterion, the keywords "xylanase" and "broilers" were adopted, published from 2011 and the secondary eligibility criteria were: performance studies, with at least 40 days and with three diets: formulation according to nutritional requirements without xylanase, diet with energy reduction without xylanase and diet with energy reduction containing xylanase. The enzymatic activity ranged from 12,000 to 24,000 BXU and the energy reductions ranged from 50 to 150 Kcal of ME. The results showed that for the cost variables ERD + X diets present lower cost than BD. The scenarios proposed as standard and pessimistic show that diets with xylanase are more profitable than the others. As for the performance variables, the basal diet (BD) was superior to the diet with energy reduction + xylanase (ERD + X). Although there is economic efficiency on the part of diets with xylanase inclusion and energy reduction, providing a lower nutritional cost compared to BD and ERD. The inclusion of xylanase in diets with energy reduction for broilers provides lower results than DB and higher results than ERD.

**Keywords:** additives, aviculture, costs, enzymes, non-starchy polysaccharides

## Introdução

A ocorrência de um decréscimo no desempenho de frangos de corte alimentados com dietas ricas em polissacarídeos não amiláceos (PNA's) pode ser comumente observada devido ao aumento da viscosidade da digesta em nível intestinal dos não ruminantes (Jia et al., 2009; Craig et al., 2019).

As enzimas degradadoras de carboidratos exercem papel expressivo sobre os PNA's, auxiliam de forma eficiente na hidrólise desse fator antinutricional presente na parede celular dos vegetais, variando apenas em quantidade e tipo (Bedford, 2018).

Por sua vez, as enzimas exógenas são adicionadas às dietas a fim de melhorar a absorção dos nutrientes (Collins et al., 2005; Cowieson et al., 2006 ) e com isso aumentar a digestibilidade (Slominski, 2011; Bautil et al., 2021), podem ser classificadas de acordo com o tipo de reação que catalisam, sendo altamente eficazes desempenhando um papel crucial em muitos processos industriais e biológicos, permitindo que as reações ocorram de forma mais rápida e eficiente.

As carboidrases vem sendo estudadas ao longo dos anos pelas indústrias de nutrição animal, assim como a inclusão de ingredientes com aporte fibroso superior ao milho, como farelo de trigo e cevada (Bedford e Cowieson, 2012; Knudsen, 2014; Bedford, 2018).

Dentre as carboidrases mais utilizadas estão as xilanases, enzima frequentemente utilizada em dietas ricas em fibra e redução energética . Ao interagir com os PNA's, as xilanases são capazes de hidrolisá-los, resultando em oligossacarídeos menores, que são absorvidos pela mucosa intestinal com grande facilidade (Kouzounis et al., 2023).

A xilanase permite que ingredientes ricos em fibra sejam utilizados com maior porcentagem nas dietas para aves e suínos, sendo possível observar que mesmo em dietas baseadas em milho e farelo de soja, a xilanase promove melhoras significativas no aproveitamento da energia melhorando a digestibilidade dos nutrientes (Singh et al., 2019).

Além da redução da viscosidade, as xilanasas podem melhorar a imunidade das aves, por meio de efeito prebiótico (Singh et al., 2021), ou seja, podem aumentar os metabólitos de fermentação por meio do aumento do conteúdo de xilo-oligosacarídeos (XOS) e xilose no cólon e no ceco, conseqüentemente influenciam no microbioma cecal (Dale et al., 2020).

Considerando que a xilanase é uma das principais enzimas aplicada na nutrição de frangos de corte e que realizar um estudo visando comparações individuais dessa enzima poderá gerar novas informações que possibilitem estabelecer estratégias técnicas e econômicas quanto a sua utilização. Portanto, realizou-se este estudo com o objetivo de avaliar a suplementação de xilanase em dietas no desempenho técnico-econômico de frangos de corte por meio de uma revisão sistemática.

## **Material e Métodos**

Um banco de dados foi construído a partir de artigos científicos disponíveis na plataforma Google Acadêmico. As buscas foram realizadas entre julho de 2021 a janeiro de 2023. Como critério de seleção, adotou-se as palavras-chave "xilanase" e "frangos de corte", publicadas a partir de 2011 (últimos doze anos).

Foram localizadas 10.390 publicações. Uma vez coletadas todas as publicações, apenas aquelas que preenchiam os critérios de elegibilidade secundários foram mantidas. Os critérios secundários foram: a) estudos *in vivo*; b) estudos de desempenho com no mínimo 40 e no máximo 45 dias; c) estudos com resultados nas fases iniciais, de crescimento e final; d) estudos compostos por no mínimo três dietas (dieta formulada de acordo com as exigências nutricionais sem xilanase; dieta formulada com redução energética sem xilanase e dieta formulada com redução energética contendo xilanase). Foram aceitos estudos compostos por lotes mistos.

Após a aplicação dos critérios secundários de elegibilidade foram selecionados somente oito artigos (Tabela 5). Os dados dos artigos foram tabulados em planilha eletrônica. Foram utilizadas codificações dos dados para facilitar a visualização e interpretação. Da mesma forma, foram utilizadas codificações para agrupar as dietas sem xilanase com redução de energia e com xilanase e redução de energia. As xilanases utilizadas nos experimentos eram de origem comercial e oriundas de diversos microrganismos.

Foram contabilizados 11.761 animais utilizados nos estudos levantados. A atividade enzimática dos estudos variou entre 12.000 e 24.000 BXU, devido a origem variada dos microrganismos produtores de enzima.

As reduções energéticas variaram entre 50 e 150 Kcal de EM. Os artigos segundo que apresentavam dois experimentos e foram utilizados em seu total, duplicando a base de dados.

As variáveis de desempenho analisadas foram: peso final, ganho de peso, consumo de ração, ganho de peso diário, consumo diário de ração e conversão alimentar. As variáveis de desempenho são apresentadas no período de 0 a 45 dias,

a fim de padronizar o período, uma vez que os artigos elegíveis não apresentaram fases iguais ou similares, as mesmas são observadas nos artigos citados na tabela 5.

Tabela 5. Relação de artigos utilizados no banco de dados

Artigos	Nº animais	RE, Kcal de EM	Níveis de Xilanase, BXU
Amerah et al. (2017) Effect of exogenous xylanase, amylase, and protease as single or combined activities on nutrient digestibility and growth performance of broilers fed corn/soy diets	1000	86	16.000
El-Wafa et al. (2013) Response of broiler chicks to xylanase supplementation of corn/rye containing diets varying in metabolizable energy	3361	50/100	16.000
Gonzalez-Ortiz et al. (2017) Response of broiler chickens fed wheat-based diets to xylanase supplementation	288	150	16.900/23.900
McCafferty et al. (2019) Effects of cereal grain source and supplemental xylanase concentrations on broiler growth performance and cecal volatile fatty acid concentrations from 1 to 40 d of age	1536	66	12.000/24.000
Nusairat & Wang (2020) Xylanase and direct-fed microbials (DFM) potential for improvement of live performance, energy digestibility, and reduction of environmental microbial load of broilers	2496	130	16.000

Tabela 5. Continuação			
Nusairat et al. (2021)	2080	130	16.000
The effect of a modified GH11 Xylanase on live performance, gut health, and Clostridium perfringens excretion of broilers fed corn-soy diets			
O'Neill et al. (2012)	600	100	16.000
The effect of reduced calorie diets, with and without fat, and the use of xylanase on performance characteristics of broilers between 0 and 42 days			
Singh et al. (2012)	400	100	16.000
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			
RE: Redução energética.			

### Análise Econômica

Para a análise econômica foram realizadas formulações de dietas (Tabela 6, 7, 8 e 9) por meio do software *Supercrac* elaboradas à base de milho e farelo de soja, seguindo as exigências nutricionais das fases para frangos de corte de desempenho médio-regular (1 a 7 dias; 8 a 21 dias; 22 a 33 dias e 34 a 42 dias), conforme recomendações nutricionais de Rostagno et al. (2017).

Os preços médios dos ingredientes praticados na formulação das dietas para custo de cada dieta, foram adquiridos por meio de levantamento de cada ingrediente em bases de dados como a bolsa de Chicago.

Os valores encontrados em R\$ (reais) foram transformados em dólar (US\$) de acordo com a cotação da moeda no período de Abril/2023. Foram calculadas as variáveis de custo nutricional das dietas por fase, custo total das dietas, custo/kg de frango, do custo/tonelada de frango, da variação de custos, das receitas, dos lucros e margens bruta. O preço do kg do frango foi expresso *in vivo* (Fonte: IEA, DERAL/DEB - SEAB/PR, Epagri/Cepa).

As equações são citadas a seguir:

Equação 1:

$$\text{Custo nutricional da dieta por fase} = \text{custo do kg da dieta na fase} \times \text{consumo total da ração na fase}$$

Equação 2:

$$\text{Custo nutricional total} = \text{somatório dos custos de todas as fases}$$

Equação 3:

$$\text{Custo nutricional total por kg de ganho de peso} = \text{custo nutricional total} \div \text{ganho de peso total}$$

Equação 4:

*\*\* Para a determinação da variação percentual de custo, realizou-se um cálculo comparativo das dietas individualmente em relação a dieta basal, conforme as equações:*

*Varição dos custos = ((custo nutricional por kg de ganho de peso da dieta com redução de energia × 100) ÷ custo nutricional por kg de ganho de peso da dieta basal) - 100;*

*e ((custo nutricional por kg de ganho de peso da dieta com redução de energia + xilanase × 100) ÷ custo nutricional por kg de ganho de peso da dieta basal) - 100*

Equação 5:

*Custo por kg de frango = custo nutricional por kg de dieta ÷ peso final*

Equação 6:

*Custo por tonelada de frango = custo por kg de frango × 1000*

Equação 7:

*Receita = Preço do kg do frango (US\$) × peso final (kg)*

Equação 8:

*Lucro bruto = Receita - Custo por kg de frango*

Equação 9:

*Margem bruta = Lucro / Receita*

Para a análise de sensibilidade econômica foram determinados cenários. Para tal, foram testados dois cenários para cada tipo de sistema de receita: um cenário padrão de suplementação, com uma suplementação comumente utilizada em artigos científicos e a mesma com dosagem duas e quatro vezes maior (*superdosing*), sendo esse o cenário mais provável e um cenário pessimista, com uma suplementação comumente utilizada nos artigos e com superdosagem, contudo, com custo nutricional elevado em relação ao cenário padrão, tanto para o raciocínio de oscilação na receita como no custo, independentemente. Foi determinado o cenário padrão (valores atuais), oscilando os valores da xilanase e os custos nutricionais relacionados a redução do nível de energia das dietas para avaliar as oscilações dos custos nutricionais.

#### Análise estatística

O conjunto de dados foram analisados usando o software estatístico SAS (SAS, 2004). A análise das médias foi realizada pelo teste F de Fisher e a comparação das médias com o teste de Tukey a 5% de probabilidade.

Tabela 6. Composição percentual e valores calculados das dietas experimentais para frangos de corte (1 a 7 dias)

Ingredientes %	DB	Redução Energética	
		DRE 100	DRE+ X 100
Milho 7,86%	50,50	50,52	50,52
Farelo de soja 48%	40,70	40,75	40,75
Óleo de soja	3,245	2,100	2,100
Fosfato bicálcico	2,024	2,024	2,024
Calcário calcítico	0,941	0,942	0,942
Sal comum	0,550	0,550	0,550
Supl. min-vit <sup>1</sup>	0,400	0,400	0,400
DL- Metionina	0,404	0,404	0,404
L-Lisina HCl	0,409	0,409	0,409
L-Treonina	0,168	0,168	0,168
L-Triptofano	0,030	0,030	0,030
Inerte	-----	1,698	1,688
BHT	0,01	0,01	0,01
Xilanase	-----	-----	0,01
Total	100	100	100
Valores calculados			
EM (Kcal/Kg) <sup>2</sup>	2,977	2,880	2,880
PB (%)	24,32	24,35	24,35
Cálcio (%)	1,000	1,000	1,000
Fósforo dig. (%)	0,417	0,418	0,418
Sódio (%)	0,227	0,227	0,227
Lisina dig. (%)	1,507	1,509	1,509
Met+ cist dig. (%)	1,035	1,035	1,035
Treonina dig. (%)	0,966	0,967	0,967
Triptofano dig. (%)	0,307	0,307	0,307

DB: dieta basal; DRE50: dieta com redução energética de 50 kcal; DRE100: dieta com redução energética de 100 kcal; DRE150: dieta com redução energética de 150 kcal.

Tabela 7. Composição percentual e valores calculados das dietas experimentais para frangos de corte (8 a 21 dias)

Ingredientes %	DB	Redução Energética	
		DRE 100	DRE + X 100
Milho 7,86%	53,51	50,00	50,00
Farelo de soja 48%	38,20	39,60	39,60
Óleo de soja	3,600	3,500	3,500
Fosfato bicálcico	1,745	1,733	1,733
Calcário calcítico	0,892	0,901	0,901
Sal comum	0,534	0,534	0,534
Supl. min-vit <sup>1</sup>	0,400	0,400	0,400
DL- Metionina	0,381	0,378	0,378
L-Lisina HCl	0,395	0,398	0,398
L-Treonina	0,156	0,153	0,153
L-Triptofano	0,030	0,03	0,03
Inerte	-----	2,400	2,390
BHT	0,01	0,01	0,01
Xilanase	-----	-----	0,01
Total	100	100	100
Valores Calculados			
EM (Kcal/Kg) <sup>2</sup>	3,051	2,953	2,953
PB (%)	23,32	23,69	23,69
Cálcio (%)	0,904	0,909	0,909
Fósforo dig. (%)	0,378	0,377	0,377
Sódio (%)	0,220	0,220	0,220
Lisina dig. (%)	1,435	1,468	1,468
Met+ cist dig. (%)	0,991	0,994	0,994
Treonina dig. (%)	0,923	0,933	0,933
Triptofano dig. (%)	0,293	0,272	0,272

DB: dieta basal; DRE50: dieta com redução energética de 50 kcal; DRE100: dieta com redução energética de 100 kcal; DRE150: dieta com redução energética de 150 kcal.

Tabela 8. Composição percentual e valores calculados das dietas experimentais para frangos de corte (22 a 33 dias)

Ingredientes %	Redução Energética		
	DB	DRE 100	DRE + X 100
Milho 7,86%	60,63	60,60	60,60
Farelo de soja 48%	31,55	31,55	31,55
Óleo de soja	3,800	2,700	2,700
Fosfato bicálcico	1,459	1,447	1,447
Calcário calcítico	0,801	0,811	0,811
Sal comum	0,510	0,511	0,511
Supl. Min-vit <sup>1</sup>	0,400	0,400	0,400
DL- Metionina	0,324	0,320	0,320
L-Lisina HCl	0,366	0,368	0,368
L-Treonina	0,125	0,122	0,122
L-Triptofano	0,030	0,030	0,030
Inerte	-----	2,693	2,683
BHT	0,01	0,01	0,01
Xilanase	-----	-----	0,01
Total	100	100	100
Valores calculados			
EM (Kcal/Kg) <sup>2</sup>	3,152	3,054	3,000
PB (%)	20,60	20,59	20,66
Cálcio (%)	0,776	0,776	0,778
Fósforo dig. (%)	0,331	0,329	0,328
Sódio (%)	0,209	0,209	0,209
Lisina dig. (%)	1,247	1,248	1,257
Met+ cist dig. (%)	0,875	0,871	0,870
Treonina dig. (%)	0,806	0,804	0,804
Triptofano dig. (%)	0,257	0,257	0,258

DB: dieta basal; DRE50: dieta com redução energética de 50 kcal; DRE100: dieta com redução energética de 100 kcal; DRE150: dieta com redução energética de 150 kcal.

Tabela 9. Composição percentual e valores calculados das dietas experimentais para frangos de corte (34 a 42 dias)

Ingredientes %	Redução Energética		
	DB	DRE 100	DRE + X 100
Milho 7,86%	64,70	64,40	64,40
Farelo de soja 48%	27,00	27,00	27,00
Óleo de soja	3,900	2,900	2,900
Fosfato bicálcico	1,590	1,590	1,590
Calcário calcítico	0,500	0,406	0,406
Sal comum	0,520	0,483	0,483
Supl. Min-vit <sup>1</sup>	0,400	0,400	0,400
DL- Metionina	0,452	0,452	0,452
L-Lisina HCl	0,429	0,429	0,429
L-Treonina	0,030	0,030	0,030
L-Triptofano	0,030	0,030	0,030
Inerte	0,439	1,860	1,850
BHT	0,010	0,010	0,010
Xilanase	-----	-----	0,010
Total	100	100	100
Valores calculados			
EM (Kcal/Kg) <sup>2</sup>	3,200	3,103	3,103
PB (%)	18,79	18,77	18,77
Cálcio (%)	0,676	0,640	0,640
Fósforo dig. (%)	0,340	0,340	0,340
Sódio (%)	0,212	0,197	0,197
Lisina dig. (%)	1,181	1,180	1,180
Met+ cist dig. (%)	0,957	0,957	0,957
Treonina dig. (%)	0,658	0,656	0,656
Triptofano dig. (%)	0,231	0,232	0,232

DB: dieta basal; DRE50: dieta com redução energética de 50 kcal; DRE100: dieta com redução energética de 100 kcal; DRE150: dieta com redução energética de 150 kcal.

## Resultados

### Desempenho

Os frangos de corte alimentados com a dieta basal (DB) apresentaram melhores ( $P<0,05$ ) resultados de peso final (PF), ganho de peso diário (GPD), consumo de ração diário (CRD) e conversão alimentar (CA) (Tabela 10).

Tabela 10. Desempenho de frangos de corte machos e lotes mistos alimentados com dietas contendo xilanase

Dietas	PF, kg	GPD, g	CRD, g	CA
DB	2.582 a	63,76a	105,87a	1,68a
DRE	2.507c	61,93c	106,98b	1,74c
DRE+X	2.542b	62,80b	106,33b	1,70b
CV, %	0,94	0,92	0,88	1,45
P- value	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001

PF: peso final; GPD: ganho de peso diário; CRD: consumo de ração diário; CA: conversão alimentar; DB: Dieta basal; DRE: dieta com redução energética; DRE + X: dieta com redução energética + xilanase; Médias seguidas com a mesma letra não diferem significativamente ao nível de 5% de probabilidade, teste de Tukey.

### Análise Econômica

A suplementação de xilanase proporcionou ( $P<0,05$ ) um custo menor por kg de frango vivo, assim como por tonelada de frango, a dieta com redução energética + xilanase (DRE +X) obteve ao longo do período avaliado um custo nutricional menor quando comparado as dietas DB e DRE (Tabela 10).

A variação em relação as dietas, permite averiguar que apenas a dieta DRE + X apresenta queda nos valores de produção.

Ao apresentar uma margem lucrativa maior em relação as demais dietas, 1,29% em relação a DB e 1,57% em relação a DRE, respectivamente. Essas porcentagens indicam uma melhora de 14,43 % em relação a dieta DB e 17,56% em relação a DRE.

Tabela 11. Custos nutricionais de dietas contendo xilanase para frangos de corte

Dietas	Custo/ kg de frango	Custo/ Ton de frango	Varição	Custo	Receita	Lucro	Margem Bruta
DB	0,89b	894,34b	0,00b	2,30b	2,50a	0,201b	7,65% b
DRE	0,90b	896,98b	0,110b	2,23a	2,43c	0,195b	7,37%b
DRE + X	0,88 <sup>a</sup>	881,83a	-1,396a	2,23a	2,46b	0,231a	8,94%a
P- value	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001
CV, %	1,32	1,35	-318,90	1,31	0,94	13,27	15,26

DB- Dieta basal; DRE- dieta com redução energética; DRE+X- Dieta com redução energética com inclusão de xilanase; Médias com a mesma letra não são significativamente diferentes.

Observou-se que mesmo no cenário pessimista em relação a oscilação de valor da enzima xilanase, as dietas ainda apresentam um menor custo em relação ao valor referência (Tabela 12).

Tabela 12. Oscilação do valor médio da g da Xilanase

<b>Cenário padrão</b>					
Valor Médio US\$/g de					
Xilanase		0,03			
Valor Referência			Receita	Custo	Lucro
Dieta basal			2,50	2,30	0,20
Dosagem de xilanase	Quantidade (g/ ton)		Receita	Custo	Lucro
Média de inclusão de					
xilanase nos experimentos	100		2,46	2,23	0,23
2x ( <i>superdosing</i> )	200		2,46	2,23	0,23
4x ( <i>superdosing</i> )	400		2,46	2,24	0,22
<b>Cenário pessimista</b>					
Valor Médio US\$/ g de					
Xilanase		0,06			
Valor Referência			Receita	Custo	Lucro
Dieta basal			2,50	2,30	0,20
Dosagem de xilanase	Quantidade (g/ ton)		Receita	Custo	Lucro
Média de inclusão de					
xilanase nos experimentos	100		2,46	2,24	0,23
2x ( <i>superdosing</i> )	200		2,46	2,24	0,22
4x ( <i>superdosing</i> )	400		2,46	2,26	0,21

Na figura 1, são observados os valores de oscilação de xilanase e seu comportamento em dietas para frangos de corte. Estão agrupados em termos de custos e lucratividade para evidenciar a eficiência em custos mínimos e lucros máximos em relação ao cenário pessimista.

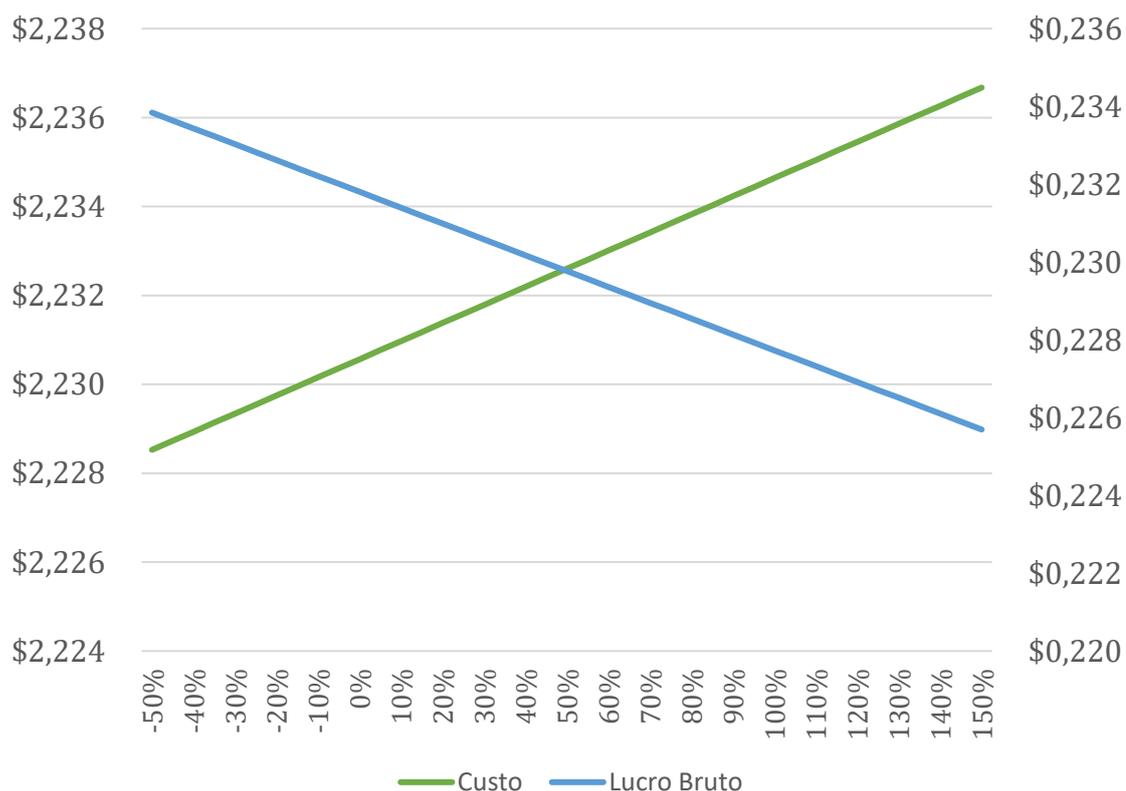


Figura 1. Oscilação no valor (US\$) da xilanase

## Discussão

### Desempenho

Dietas com redução energética prejudicam o desempenho de frangos de corte. Uma vez que, a densidade energética influencia no consumo voluntário dos animais (Quiniou e Noblet, 2012). Ou seja, aves alimentadas com dietas com redução energética tendem a aumentar o consumo de ração, a fim de compensar a baixa energia (Leeson e Summers, 2009).

As dietas dieta com redução energética (DRE) e dieta com redução energética suplementada com xilanase (DRE +X), foram inferiores a dieta basal

dieta basal (DB). A densidade energética das dietas influenciou de forma negativa o GPD, o CRD, o PF e a CA.

A inclusão de xilanase em dietas para frangos de corte com redução energética alterou seu desempenho, uma vez que apresentasse inferior a dieta basal DB para GPD, CRD, PF e CA, no entanto mostrou-se superior ao DRE.

A melhora das variáveis GPD, CRD, CA e PF dos frangos de corte alimentados com a dieta DB, pode ser associado a formulação da dieta elaborada para atender as exigências desses animais em todas as fases, apresentando uma maior densidade nutricional quando comparada as dietas DRE e DRE +X, que apresentam redução energética.

Além disso, o fato da dieta DRE + X ter sido superior a dieta DRE, pode indicar que a inclusão de xilanase foi eficiente em degradar os PNA's que interferem na digestão e absorção dos nutrientes, mesmo em dietas de alta qualidade compostas por ingredientes como milho e farelo de soja.

A diferença observada entre DRE + X e DRE demonstram que a enzima inclusa na dieta foi capaz de disponibilizar parte dos nutrientes complexados na parede dos ingredientes e com isso liberar energia no processo. No entanto, os níveis de inclusão não foram capazes de suprir a redução energética de forma excepcional a ponto de apresentar melhora ou igualar-se a dieta DB.

A literatura atribui a queda no desempenho de frangos de corte alimentados com dietas com redução energética e inclusão de xilanase ao tipo de ingredientes, a forma da ração, baixo teor de proteína e baixo teor energético quando comparado a dieta basal (Kamran et al., 2008; Williams et al., 2014; Govil et al., 2017; Craig et al., 2019).

Do mesmo modo que, dietas suplementadas com xilanase apresentaram melhores resultados ao serem comparadas a dietas com redução energética sem inclusão de xilanase. Atribuindo essa melhora a clivagem do exoesqueleto de arabinoxilanos presentes nos PNA's, liberando nutrientes complexados nas paredes dos ingredientes de origem vegetal (Meng e Slominski, 2005), além da redução da viscosidade em nível intestinal (Lentle, 2005).

De acordo com Meng e Slominski (2005), o desempenho pode ser afetado de duas formas. A primeira está relacionada ao aumento de nutrientes disponíveis após a clivagem de arabinoxilanos. Em seguida, a redução na viscosidade permite que ocorra uma mistura mais eficiente da digesta, permitindo aumento na absorção no intestino delgado dos nutrientes (Lentle, 2005). Além disso, Zhang et al. (2014), ainda afirmam que ao hidrolisar os PNA's, a liberação dos oligossacarídeos age de forma semelhante a prebióticos.

Ao atuarem de forma semelhante aos prebióticos, as xilanases reduzem a disponibilidade de substrato para o crescimento microbiano no íleo, por meio da melhora da absorção de nutrientes (Jia et al., 2009).

### Análise Econômica

Por algum tempo, foi considerado na literatura que os custos nutricionais deveriam ser menores em dietas à base de milho e farelo de soja, uma vez que esses ingredientes apresentavam quantidades menores de PNA's em relação ao trigo, cevada e centeio.

Contudo, Bavaresco et al. (2020) identificaram que a suplementação enzimática nessas dietas se faz relevante, apresentando maiores valores para dieta

basal. Kolade et al. (2023), observaram que a suplementação das dietas com casca de arroz tratada com xilanase influenciou significativamente o ganho de peso, o consumo de ração e a conversão alimentar, o que levou à redução do custo de produção e, conseqüentemente, melhorou a margem de lucro.

Ao avaliar o desempenho, parâmetros de carcaça, ósseos e econômicos de frangos de corte alimentados com dietas contendo farelo de algodão com ou sem suplementação enzimática, Tavares-Samay (2012), inferiu que dietas com modificações em sua matriz nutricional por meio da adição de enzimas (método *specified dow*), apresentaram redução dos custos das rações. Ratificando os resultados observados no presente estudo.

Do mesmo modo, Bis (2007), inferiu que a suplementação da enzima xilanase em uma dieta rica em fibras pode ter uma melhor relação custo-benefício do que a de uma dieta pobre em fibras sem enzima.

Esses resultados ficam evidentes nos cenários apresentados no presente trabalho, uma vez que as dietas suplementadas com xilanase oferecem um maior custo nutricional, no entanto, essas dietas permanecem mais lucrativas, apresentam um maior lucro mesmo em um cenário pessimista de *superdosing* e alta do aditivo no mercado.

De acordo Craig et al. (2020), a inclusão de *superdosing* de xilanase para frangos de corte, aumenta o ganho de peso e o consumo de ração e diminui a conversão alimentar em comparação a uma dose mais baixa, recomendada pelo fabricante.

Além disso, Masey O' Neil et al. (2014), observaram que ao suplementar as dietas com *superdosing* de xilanase, houve uma melhora dos coeficientes de

digestibilidade ileal aparente da energia e do nitrogênio, como a digestibilidade ileal aparente da energia. Sendo esse o componente mais caro da dieta.

Esses resultados reiteram os cenários avaliados no presente trabalho, ou seja, o cenário padrão e o cenário pessimista, indicam uma melhora de custos em dietas com inclusão de *superdosing* de xilanase, mesmo com alta do aditivo no mercado.

Dados na literatura mostram que ao analisar economicamente dietas suplementadas com enzimas, os custos diminuem em relação a dieta basal, mesmo em desempenhos inferiores a mesma (Adeola e Cowieson, 2011; Tavares-Samay, 2012).

Os resultados indicam que um aumento do valor (US\$) da xilanase no custo das dietas, ainda que ocorra uma queda no lucro em um cenário pessimista, ainda assim a inclusão da enzima é mais lucrativa que uma dieta basal comumente usada para frangos de corte.

Uma implicação futura indica que existe a necessidade em averiguar a oscilação de outros ingredientes da dieta, como o óleo de soja, uma vez que a enzima xilanase é um possível substituto para fontes energéticas a fim de baratear as dietas.

### **Conclusões**

As reduções energéticas de até 150 Kcal de EM nas dietas observadas nos artigos mencionadas influenciam o desempenho de frangos de corte. Aves alimentadas com dietas com maior densidade energética suprindo suas exigências nutricionais apresentam resultados superiores de GPD, CDR, PF e CA.

A inclusão de xilanase em dietas com redução energética influencia o desempenho de frangos de corte e proporciona resultados inferiores as aves alimentadas com dietas com maiores níveis de nutrientes e resultados superiores a dietas com menores níveis de energia.

O custo nutricional demonstra que apesar das dietas suplementadas com xilanase com redução energética não apresentarem resultados similares ou superiores a dietas basais quanto ao desempenho, são economicamente mais lucrativas. Apresentam resultados superiores para o custo nutricional quanto ao custo por quilograma de frango, custo por tonelada de frango, custo, receita, lucro e margem bruta.

A inclusão de xilanase pode ser menos onerosa em relação a energia no cenário padrão (atual), assim como em cenários pessimistas mesmo com seu valor de mercado quadruplicado.

Portanto, a inclusão de xilanase em dietas para frangos de corte pode ser recomendada sem causar prejuízos econômicos.

### **Referências**

Adeola, O. and Cowieson, A. J. 2011. Opportunities and challenges in using exogenous enzymes to improve nonruminant animal production. *Journal of Animal Science*, 89:3189–3218. <https://doi.org/10.2527/jas.2010-3715>

Annison, G. e Choct, M. 1991. Anti- nutritive activities of cereal non-starch polysaccharides in broiler diets and strategies minimizing their effects. Poultry Science World. Poultry Science Journal 47:232-242. Doi: [10.1079/WPS19910019](https://doi.org/10.1079/WPS19910019)

Bautil, A.; Buyse, J.; Goos, P.; Bedford, M. R. e Courtin, C. M. 2021. Feed endoxylanase type and dose affect arabinoxylan hydrolysis and fermentation in ageing broilers. Animal Nutrition 7:787-800. Doi: <https://doi.org/10.1016/j.aninu.2020.11.015>

Bavaresco, C.; Krabbe, E.; Gopinger, E.; Sandi, A.; Martinez, F.; Wernik, B. e Roll, V. 2020. Hybrid phytase and carbouhydrases in corn and soybean meal-based diets for broiler chickens: performance and production costs. Brazilian Journal of Poultry Science, 22-2019-1178. <https://doi.org/10.1590/1806-9061-2019-1178>

Bedford, M. R. 2018. The Evolution and application of enzymes in the anima feed industry: the role of data interpretation. Brasilian Poultry Science 59: 486-493. [10.1080/00071668.2018.1484074](https://doi.org/10.1080/00071668.2018.1484074)

Bedford, M.R. and Cowieson, A.J. 2012. Exogenous enzymes and their effects on intestinal microbiology. Animal Feed Science Tecnology 173:76-85. [10.1016/j.anifeedsci.2011.12.018](https://doi.org/10.1016/j.anifeedsci.2011.12.018)

BIS-Bureau of Indian Standards. 2007. Poultry feed - specification (5th revision), 3-5.

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. <https://doi.org/10.1079/WPS20010018>

Choct, M. 1997. Feed non-starch polysaccharides: Chemical structures and nutritional significance. *Feed Milling International*, 13-26

Collins, T.; Gerday, C. e Feller, G. 2005. Xylanases, xylanase families and extremophilic xylanases. *FEMS microbiology reviews* 29:3-23. <https://doi.org/10.1016/j.femsre.2004.06.005>

Cowieson, A. J.; Hruby, M. e Pierson, E. M. 2006. Evolving enzyme technology: impact on commercial poultry nutrition. *Nutrition research reviews* 19: 90-103. <https://doi.org/10.1079/NRR2006121>

Craig, A. D.; Khattak, F.; Hastie, P.; Bedford, M. R. e Olukosi, O. A. 2020. Xylanase and xylo-oligosaccharide prebiotic improve the growth performance and concentration of potentially prebiotic oligosaccharides in the ileum of broiler chickens. *British Poultry Science* 61:70-78. <https://doi.org/10.1080/00071668.2019.1673318>

Dale, T.; Hannay, I.; Bedford, M. R.; Tucker, G. A.; Brameld, J. M. and Parr, T. 2020. The effects of exogenous xylanase supplementation on the *in vivo* Generation of xylooligosaccharides and monosaccharides in broiler fed a wheat-based diet. *British Poultry Science* 61:471-481.

<https://doi.org/10.1080/00071668.2020.1751805>

Govil, K.; S. Nayak, R. P. S.; Baghel, A. K.; Patil, C. D. ; Malapure, e Thakur, D. 2017. Performance of Broiler Chicken Fed Multi-Carbohydrases Supplemented Low Energy Diet. *Veterinary World* 10: 727–731. [10.14202/vetworld.2017.727-731](https://doi.org/10.14202/vetworld.2017.727-731)

Jia, W.; Slominski, B. A.; Bruce, H. L.; Blank, G.; Crow, G. e Jones, O. 2009. Effects of diet type and enzyme addition on growth performance and gut health of broiler chickens during subclinical *Clostridium perfringens* challenge. *Poultry Science* 88:132-140 . <https://doi.org/10.3382/ps.2008-00204>

Jozefiak, D., Rutkowski, A., Kaczmarek, S., Jensen, B. B., Engberg, R. M., and Højberg, O. 2010. Effect of  $\beta$ -glucanase and xylanase supplementation of barley-and rye-based diets on caecal microbiota of broiler chickens. *British Poultry Science*, 51(4), 546-557. <https://doi.org/10.1080/00071668.2010.507243>

Kamran, Z.; Sarwar, M. M.; Nisa, M. A.; Nadeem, S.; Mahmood, M; Babar, E. and Ahmed, S. 2008. Effect of low protein diets having constant energy-to- protein ratio on performance and carcass characteristics of broiler chickens from one to thirty- five days of age. *Poultry Science* 87: 468–474. [10.3382/ps.2007-00180](https://doi.org/10.3382/ps.2007-00180)

Kiarie, E.; Romero, L. F. e Ravindran, V. J. P. S. 2014. Growth performance, nutrient utilization, and digesta characteristics in broiler chickens fed corn or wheat diets without or with supplemental xylanase. *Poultry Science* 93:1186-1196. <https://doi.org/10.3382/ps.2013-03715>

Knudsen, K. E. B. 2014. Fiber and nonstarch polysaccharide content and variation in common crops used in broiler diets. *Poultry Science*, 93: 2380-2393.

<https://doi.org/10.3382/ps.2014-03902>

Kolade, I. O., Yousuf, M. B., Salako, A.O., Ajijolakewu, K. A., Abdulkareem, T. Z., and Lawal, W.S. 2023. Effects of graded levels of xylanase-treated rice husk on nutrient digestibility and growth performance of broiler chickens. *Malaysian Journal of Applied Sciences*, 8: 22-31.

<https://doi.org/10.37231/myjas.2023.8.1.341>

Kouzounis, D., van Erven, G., Soares, N., Kabel, M. A., & Schols, H. A. 2023. The fate of insoluble arabinoxylan and lignin in broilers: Influence of cereal type and dietary enzymes. *International Journal of Biological Macromolecules*, 225:1096-1106.

<https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2022.11.171>

Leeson, S., and Summers, J. D. 2009. *Commercial poultry nutrition*. Nottingham University Press.

Lentle, R. G. 2005. The macrobiophysics of digestion: implications for the poultry industry. In *Proceedings of the 17th Australian Poultry Science Symposium, Sydney, New South Wales, Australia, 7-9 February 2005* (pp. 163-170). Poultry Research Foundation.

Masey-O'Neill, H. V.; Singh, M. and Cowieson, A. J. 2014. Effect of exogenous xylanase on performance, nutrient digestibility, volatile fatty acid production and

digestive tract thermal profiles of broilers fed on wheat- or maize- based diet, British Poultry Science , 55:3, 351-359,

<https://doi.org/10.1080/00071668.2014.898836>

Meng, X., e B. A. Slominski. 2005. 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 84: 1242–1251.

<https://10.1093/ps/84.8.1242>

Nelson, D. L. e Cox, M. M. Princípios de bioquímica de Lehninger. 5 ed. Porto Alegre: Artmed, 2011. 1274p

Quiniou, N and Noblet, J. 2012. Effect of the dietary net energy concentration on feed intake and performance of growing-finishing pigs housed individually. Journal of Animal Science 90:4362-4372. <https://doi.org/10.2527/jas.2011-4004>

Tavares-Samay, A. M. A. Avaliação nutricional e energética do farelo de algodão com ou sem suplementação enzimática para frangos de corte. 2012. 119f. Tese (Doutorado) – Universidade Federal Rural de Pernambuco / Universidade Federal da Paraíba / Universidade Federal do Ceará, Recife, 2012.-- Recife, 2012.

Selle, P. H., Huang, K. H., and Muir, W. I. 2003. Effects of nutrient specifications and xylanase plus phytase supplementation of wheat-based diets on growth performance and carcass traits of broiler chicks. Asian-australasian journal of animal sciences, 16:1501-1509. <https://doi.org/10.5713/ajas.2003.1501>

Singh, A. K.; Tiwari, U. P.; Berrocoso, J. D.; Dersjant-Li, Y.; Awati, A. and Jha, R. 2019. Effects of a combination of xylanase, amylase, and protease, and probiotics on major nutrients including amino acids and non-starch polysaccharides utilization in broilers fed different levels of fibers. *Poultry Science* 98:5571-81. <https://doi.org/10.1186/s40104-021-00617-8>

Singh, A.K.; Mishra, B.; Bedford, M.R. and Jha, R. 2021. Effects of supplemental xylanase and xylooligosaccharides on production performance and gut health variables of broiler chickens. *Journal Animal Science Biotechnology*, 98. <https://doi.org/10.1186/s40104-021-00617-8>

Slominski, B.A. 2011. Recent advances in research on enzymes for poultry diets. *Poultry Science* 90:2013-2023. <https://doi.org/10.3382/ps.2011-01372>

Smeets, N., Nuyens, F., Van Campenhout, L. and Niewold, T. 2014. Variability in the in vitro degradation of non-starch polysaccharides from wheat by feed enzymes. *Animal Feed Science and Technology*, 187:110-114. <https://doi.org/10.1016/j.anifeedsci.2013.10.020>

Williams, M. P.; Klein J. T.; Wyatt, C. L.; York, T. W. and Lee, J. T. 2014. Evaluation of xylanase in low energy broiler diets. *Journal of Applied Poultry Research* 23: 188–195. [10.3382/japr.2013-00856](https://doi.org/10.3382/japr.2013-00856).

Zhang, L.; Xu, J.; Lei, L.; Jiang, Y.; Gao F. and Zhou, G. H 2014. Effects of xylanase supplementation on growth performance, nutrient digestibility and non-starch

polysaccharide degradation in difference sections of the gastro-intestinal tract of broilers. Asian-Australasian Journal of Animal Science 27: 855–861. doi:[10.5713/ajas.2014.14006](https://doi.org/10.5713/ajas.2014.14006).