



SUPLEMENTAÇÃO DE ENZIMAS EXÓGENAS EM RAÇÕES PARA SUÍNOS NO DESEMPENHO ZOOTÉCNICO: REVISÃO INTEGRATIVA

SUPLEMENTACIÓN DE ENZIMAS EXÓGENAS EN CERDOS: FUNDAMENTO PARA EL RENDIMIENTO ANIMAL: REVISIÓN INTEGRATIVA

SUPPLEMENTATION OF EXOGENOUS ENZYMES IN PIGS' RATIONALE FOR ANIMAL PERFORMANCE: INTEGRATIVE REVIEW

Apresentação: Comunicação Oral

Beatriz do Nascimento Oliveira¹, Aryanna Sany Pinto Nogueira Costa¹; Emeson Fariais Araujo Santos¹;

RESUMO

A suplementação de enzimas exógenas na alimentação de suínos tem se consolidado como uma estratégia nutricional eficaz para otimizar o desempenho zootécnico e a utilização dos nutrientes dietéticos. Este estudo apresenta uma revisão integrativa da literatura com o objetivo de avaliar os efeitos da adição de enzimas, como xilanase, amilase, protease e fitase, em rações formuladas para suínos seguindo a metodologia do Instituto Joanna Briggs (JBI). A análise abrangeu aspectos como ganho de peso diário (GPD), conversão alimentar (CA) e digestibilidade de nutrientes. Foram selecionados 10 estudos que atenderam aos critérios de inclusão, com diferentes categorias de suínos, desde leitões desmamados até animais em fase de terminação. Os resultados evidenciaram que a inclusão de enzimas nas dietas promoveu melhorias consistentes no GPD e na eficiência alimentar, favorecendo o crescimento mais rápido e a melhor conversão dos ingredientes em massa corporal. Além disso, a suplementação enzimática contribuiu significativamente para a redução de fatores antinutricionais, como fitatos e fibras insolúveis, aumentando a biodisponibilidade de nutrientes como fósforo, aminoácidos e energia metabolizável. Enzimas como a xilanase e a fitase demonstraram potencial relevante na quebra de componentes de difícil digestão, especialmente em dietas à base de cereais. A revisão também identificou efeitos positivos na integridade intestinal e na saúde digestiva, especialmente em leitões, que apresentam sistema digestório imaturo. Vale descartar que a inclusão de enzimas nas dietas melhorou a produção suína, reduzindo custos e impactando na sustentabilidade do setor. Apesar dos resultados promissores, observou-se variação nos efeitos conforme o tipo de enzima, formulação da ração e fase produtiva dos animais, indicando a necessidade de mais estudos experimentais que investiguem essas interações de forma aprofundada. Portanto, a adoção de enzimas exógenas representa um avanço na eficiência produtiva, reduzindo custos com alimentação e promovendo maior sustentabilidade ambiental na suinocultura moderna.

Palavras-chave: Suinocultura, Enzimas exógenas, Nutrição animal, Desempenho zootécnico, Digestibilidade.

RESUMEN

La suplementación de enzimas exógenas en la alimentación porcina se ha consolidado como una estrategia nutricional eficaz para optimizar el rendimiento zootécnico y el aprovechamiento de los nutrientes de la dieta. Este estudio presenta una revisión integrativa de la literatura con el objetivo de evaluar los efectos de la adición de enzimas, como xilanasa, amilasa, proteasa y fitasa, en dietas formuladas para cerdos siguiendo la metodología del Joanna Briggs Institute (JBI). El análisis abarcó aspectos como la ganancia diaria de peso (GDP), la conversión alimenticia (ICA) y la digestibilidad de los nutrientes. Se seleccionaron diez estudios que cumplieron los criterios de inclusión, con diferentes categorías de cerdos, desde lechones destetados hasta animales en fase de finalización. Los resultados mostraron que la inclusión de enzimas en las dietas promovió mejoras consistentes en la GDP y la

¹ Pós Graduação em Química e Biotecnologia, Universidade Federal de Alagoas, beatriz.oliveira@iqb.ufal.br

eficiencia alimenticia, favoreciendo un crecimiento más rápido y una mejor conversión de los ingredientes en masa corporal. Además, la suplementación enzimática contribuyó significativamente a la reducción de factores antinutricionales, como fitatos y fibras insolubles, aumentando la biodisponibilidad de nutrientes como fósforo, aminoácidos y energía metabolizable. Enzimas como la xilanasa y la fitasa demostraron un potencial relevante en la descomposición de componentes difíciles de digerir, especialmente en dietas a base de cereales. La revisión también identificó efectos positivos en la integridad intestinal y la salud digestiva, especialmente en lechones, cuyo sistema digestivo es inmaduro. Cabe destacar que la inclusión de enzimas en las dietas mejoró la producción porcina, reduciendo costos e impactando la sostenibilidad del sector. A pesar de los prometedores resultados, se observó variación en los efectos según el tipo de enzima, la formulación del alimento y la fase de producción de los animales, lo que indica la necesidad de más estudios experimentales para investigar estas interacciones en profundidad. Por lo tanto, la adopción de enzimas exógenas representa un avance en la eficiencia productiva, reduciendo los costos de alimentación y promoviendo una mayor sostenibilidad ambiental en la porcicultura moderna.

Palabras Clave: Porcicultura, Enzimas exógenas, Nutrición animal, Rendimiento zootécnico, Digestibilidad.

ABSTRACT

The supplementation of exogenous enzymes in swine feed has been consolidated as an effective nutritional strategy to optimize zootechnical performance and the use of dietary nutrients. This study presents an integrative review of the literature with the objective of evaluating the effects of the addition of enzymes, such as xylanase, amylase, protease and phytase, in diets formulated for swine following the methodology of the Joanna Briggs Institute (JBI). The analysis covered aspects such as daily weight gain (DWG), feed conversion (FCR) and nutrient digestibility. Ten studies that met the inclusion criteria were selected, with different categories of swine, from weaned piglets to animals in the finishing phase. The results showed that the inclusion of enzymes in the diets promoted consistent improvements in DWG and feed efficiency, favoring faster growth and better conversion of ingredients into body mass. Furthermore, enzyme supplementation contributed significantly to the reduction of antinutritional factors, such as phytates and insoluble fibers, increasing the bioavailability of nutrients such as phosphorus, amino acids and metabolizable energy. Enzymes such as xylanase and phytase have demonstrated significant potential in breaking down difficult-to-digest components, especially in cereal-based diets. The review also identified positive effects on intestinal integrity and digestive health, especially in piglets, which have an immature digestive system. It is worth noting that the inclusion of enzymes in diets improved swine production, reducing costs and impacting the sustainability of the sector. Despite the promising results, variation in the effects was observed according to the type of enzyme, feed formulation and production phase of the animals, indicating the need for further experimental studies to investigate these interactions in depth. Therefore, the adoption of exogenous enzymes represents an advance in production efficiency, reducing feed costs and promoting greater environmental sustainability in modern swine farming.

Keywords: Pig farming, Exogenous enzymes, Animal nutrition, Zootechnical performance, Digestibility.

INTRODUÇÃO

A produção suína representa um dos pilares da agropecuária na América Latina, destacando-se pela expressiva contribuição para oferta global de proteína animal para consumo humano. Diante do crescimento populacional e da consequente elevação da demanda por alimentos de origem animal, torna-se indispensável o desenvolvimento e implementação de estratégias nutricionais que promovam maior eficiência e sustentabilidade na suinocultura (Souza, Lima e Lopes, 2022).

Neste contexto, a utilização de enzimas exógenas nas formulações de rações para suínos tem emergido como uma alternativa tecnológica promissora. Essas enzimas atuam na quebra de substratos complexos, favorecendo a digestibilidade de nutrientes essenciais, como carboidratos, proteínas e lipídios, além de contribuírem para o aumento do ganho de peso dos animais e para a redução dos impactos ambientais associados à excreção de nutrientes não aproveitados (Zaworska-Zakrzewska et al., 2022; Park et al., 2020).

Estudos recentes apontam que enzimas como xilanase, amilase, protease e fitase têm potencial para melhorar significativamente o desempenho zootécnico dos suínos (Aranda-Aguirre et al., 2021; Farias, 2021; Suk et al., 2024; Avisite, 2025). Entretanto, a variabilidade dos resultados em diferentes contextos produtivos requer uma análise crítica e sistematizada da literatura científica (Souza et al., 2023; Soares et al., 2023; Yin et al., 2024). Este artigo tem como objetivo apresentar uma revisão integrativa das evidências disponíveis sobre o uso de enzimas exógenas em dietas destinadas a nutrição de suínos, com ênfase na comparação entre rações suplementadas e rações convencionais. A fundamentação do estudo está ancorada na abordagem metodológica do Instituto Joanna Briggs (JBI), onde os resultados pretendem oferecer subsídios técnicos e científicos para a adoção de práticas alimentares mais eficazes na suinocultura moderna. Dessa forma, a investigação busca compreender os efeitos da suplementação enzimática em parâmetros como ganho de peso diário (GPD), conversão alimentar (CA), digestibilidade de nutrientes, saúde intestinal e eficiência alimentar.

FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

A América Latina caracteriza-se por sua vasta extensão territorial e notável diversidade geográfica, englobando ecossistemas que variam de florestas tropicais a desertos, passando por cadeias montanhosas e planícies costeiras (Jaramillo, 2023; Rosa et al., 2023). Apesar de apresentarem sistemas políticos, econômicos e culturais distintos, muitos países latino-americanos compartilham desafios estruturais semelhantes, como pobreza, desigualdade social, instabilidade política e dificuldades no acesso à inovação tecnológica (Roppa, Duarte e Kim, 2024).

Por outro lado, a região destaca-se pelo expressivo potencial agrícola, decorrente de suas condições climáticas favoráveis, disponibilidade de terras e recursos naturais abundantes (Clech, Guevara-Pérez e Urdaneta-Camacho, 2023; Manrique-Ascencio et al, 2024). Esses fatores posicionam a América Latina como um importante fornecedor global de commodities agrícolas e pecuárias, como café, soja, milho, carne bovina, suína e de aves (OECD, 2015; OCDE/FAO, 2019; OCDE, 2023; FAOSTAT, 2023).

A suinocultura, em particular, representa uma atividade estratégica para diversos países latino-americanos, tanto sob o ponto de vista econômico quanto nutricional. Com aproximadamente 5 milhões de porcas na América Latina, a região é caracterizada pela presença de grandes produtores de carne suína em todos os países. O Brasil e o México lideram a produção regional, concentrando aproximadamente 70% das matrizes da América Latina (ABPA, 2023). O Brasil, especificamente, destaca-se como o maior produtor de carne suína da região registrando uma produção estimada de 4,98 milhões de toneladas em 2022, e o quarto maior exportador mundial (USDA, 2023; Roppa, Duarte e Kim, 2024).

Diante disso, é importante compreender que a produção suína desempenha um papel significativo na indústria agropecuária, fornecendo uma fonte crucial de proteína animal para a dieta humana em todo o mundo (Nadathur, Wanasundara e Scanlin, 2024). O cenário de crescimento populacional global e a demanda crescente por alimentos de origem animal, ressalta a importância de adotar tecnologias nutricionais capazes de aumentar a produtividade, reduzir custos e atender às exigências de sustentabilidade ambiental e bem-estar animal.

Nos últimos anos, a utilização de enzimas exógenas na alimentação de suínos emergiu como uma área de interesse significativa, apresentando potencial para melhorar a digestibilidade dos nutrientes e, consequentemente, a saúde e o desempenho dos animais (Fan et al., 2024; Simas et al., 2024; Hossain, Cho e Kim, 2024). As enzimas exógenas são proteínas biológicas capazes de catalisar reações químicas específicas, promovendo a quebra de substratos complexos em moléculas mais simples, facilitando sua absorção no trato gastrointestinal (Lestingi et al., 2024; Hossain, Cho e Kim, 2024). Enzimas como amilase, protease, xilanase, celulase e fitase, que atuam, respectivamente, sobre amidos, proteínas, hemiceluloses, celulose e fitato – componentes frequentemente presentes nos ingredientes vegetais utilizados na formulação de rações (Hossain, Cho e Kim, 2024).

Estudos demonstram que a suplementação com enzimas exógenas pode aumentar a biodisponibilidade de nutrientes essenciais, como aminoácidos e fósforo, ao mitigar os efeitos de fatores antinutricionais e melhorar a eficiência da digestão (Simas et al., 2024). A fitase, por exemplo, é amplamente reconhecida por sua capacidade de liberar fósforo ligado ao fitato, reduzindo a necessidade de adição de fontes inorgânicas desse mineral à dieta, o que contribui para a sustentabilidade ambiental da produção (Fan et al., 2024). Enquanto, a xilanase e a celulase favorecem a quebra de fibras vegetais,

promovendo o aproveitamento energético de ingredientes fibrosos que, de outro modo, teriam digestibilidade limitada.

Além disso, a adição de enzimas exógenas na dieta está associada à redução da variabilidade da digestibilidade de ingredientes alternativos, bem como ao aproveitamento de subprodutos agroindustriais. Essa abordagem possibilita a formulação de dietas mais econômicas e ambientalmente sustentáveis, ao diminuir a dependência de ingredientes convencionais de alto custo. Adicionalmente, contribui para manutenção da saúde intestinal dos animais, promovendo uma microbiota mais equilibrada e reduzindo a viscosidade do conteúdo intestinal, especialmente em leitões desmamados com sistema digestivo imaturo (Balasubramanian et al., 2020). Ao integrar benefícios nutricionais, sanitários e ambientais, essa estratégia reforça a sustentabilidade da cadeia produtiva, conforme evidenciado em Fan et al. (2024).

Essas evidências teóricas reforçam a relevância de avaliar sistematicamente os estudos empíricos já realizados, especialmente aqueles com rigor metodológico que permitam comparações válidas e replicáveis. Esta revisão integrativa da literatura tem como objetivo consolidar o conhecimento atual sobre a utilização de enzimas exógenas na alimentação de suínos, fornecendo uma análise abrangente das pesquisas realizadas nessa área. Por meio da síntese e análise crítica dos estudos existentes, buscando-se identificar as principais tendências, descobertas e lacunas de conhecimento, oferecendo insights valiosos para produtores, pesquisadores e profissionais do setor zootécnico. Ao explorar os efeitos das enzimas exógenas em parâmetros como desempenho produtivo, qualidade da carne, saúde intestinal e eficiência alimentar dos suínos, esta revisão visa contribuir para o avanço contínuo das práticas de alimentação animal, promovendo um modelo de produção suína mais sustentável, eficiente e economicamente viável.

METODOLOGIA

Área de estudo e aspectos éticos

Este trabalho é uma revisão integrativa da literatura, de natureza qualitativa e exploratória que visa buscar compreender a utilização de enzimas exógenas na alimentação de suínos. Para esta revisão integrativa foi adotada a metodologia proposta pelo Instituto Joanna Briggs (JBI) (Tufanaru et al., 2024). As revisões integrativas realizadas pelo JBI fundamentam a prática em sólidas evidências científicas, visando utilizar as melhores evidências disponíveis (Munn et al., 2018; Santos, Secoli e Puschel, 2018). Este tipo de estudo não requer aprovação de comitê de ética em pesquisa envolvendo animais e seres humanos.

Termos de Pesquisa e Banco de dados

As bases de dados utilizadas foram: Scielo, Web of Science, Scopus, ScienceDirect, CAB Abstracts, AGRIS (International Information System for the Agricultural Science and Technology), AGRICOLA (National Agricultural Library), OATD (Open Access Theses and Dissertations), BDTD (Biblioteca Digital Brasileira de Teses e Dissertações), La referencia (Red de repositórios de acceso abierto a la ciencia), NDLTD (Network Digital Library of Theses na Dissertations). Os termos de busca serão selecionados com base em uma combinação de palavras-chave, como "enzimas exógenas", "suínos", "alimentação animal", "digestibilidade", "desempenho zootécnico". Utilizando os operadores booleanos OR e AND, sendo: "(enzimas exógenas OR suplementos dietéticos) AND suínos AND digestibilidade AND "(desempenho produtivo OR desempenho zootécnico)".

Critérios de inclusão e exclusão

Os critérios de inclusão e exclusão foram definidos quanto à população, considerando apenas estudos envolvendo suínos. A intervenção analisada foi a inserção de qualquer tipo de enzima na ração desses animais. Como comparação, foram incluídos estudos que utilizaram ração padrão, sem qualquer intervenção. As medidas de desfecho avaliadas abrangeram a digestibilidade de nutrientes, ganho de peso, conversão alimentar, eficiência alimentar, saúde intestinal e resposta imune.

Os critérios de inclusão abrangeram estudos publicados entre 2018 e 2025, em português, inglês ou espanhol, incluindo artigos experimentais ou observacionais, trabalhos de conclusão de curso (TCC), dissertações, teses, capítulos de livro e resumos expandidos, que abordassem a suplementação de enzimas exógenas na alimentação de suínos. Foram excluídos artigos duplicados, revisões de literatura, resumos simples e publicações sem grupo controle, garantindo assim a integridade e a precisão dos dados coletados.

Triagem e seleção dos estudos

Após realizar uma busca abrangente, todas as citações pertinentes foram reunidas e transferidas para o software bibliográfico EndNote, utilizando a versão x8.1. Os estudos considerados pertinentes foram completamente recuperados em sua totalidade, o que incluiu a obtenção de todas as informações essenciais associadas a cada citação. Estes detalhes foram integrados ao Sistema JBI para Gerenciamento, Avaliação e Revisão Unificada de Informações (SUMARI), um sistema especializado projetado para centralizar e facilitar a avaliação e revisão de dados. Este processo permite uma análise mais abrangente e integrativa dos estudos, contribuindo para a qualidade e rigor da revisão. A segunda etapa será a execução da leitura íntegra dos trabalhos.

Extração dos dados

Os dados obtidos do sistema JBI SUMARI foram extraídos por três revisores independentes. As informações extraídas abrangeram detalhes específicos sobre as populações, intervenção, grupo de comparação e desfecho primário de interesse para a questão da revisão e seu objetivo específico.

Síntese dos dados

Os resultados foram sintetizados em formato narrativo e complementado por um quadro geral caracterizando os trabalhos, informando autores, ano de publicação, objetivo, metodologia e principais resultados. Além disso, foi realizada uma análise em razão dos efeitos no desempenho zootécnico.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Descrição geral dos trabalhos selecionados

Após a realização do processo de busca e rastreamento nas bases de dados selecionadas, foram incluídos 10 estudos que atenderam aos critérios de elegibilidade previstos (Tabela 1). Esses trabalhos abordaram a suplementação de rações com enzimas exógenas na nutrição de suínos, dentre elas xilanase, amilase, protease, fitase, celulase, β -glucanase e lipase, explorando seus efeitos sobre o desempenho zootécnico e a digestibilidade dos nutrientes. Os artigos incluídos possuem uma ampla diversidade metodológica e geográfica, refletindo a relevância global do tema e a aplicabilidade das enzimas (Tabela 1). A maioria dos experimentos foi realizada em sistemas intensivos e avaliou leitões desmamados, suínos em crescimento e suínos em terminação.



Tabela 1. Caracterização geral dos trabalhos

Autor/ano	Enzimas	Objetivo	Metodologia	Resultados	DOI
Kim et al., 2018	• Amilase; • Protease; • Fitase; • Xilanase; • β-mananase	Avaliar se a adição de um complexo multienzímico exógeno, com estabilidade em diferentes níveis de pH;	Leitões desmamados	• Maior ganho de peso; • Melhor conversão alimentar; • Melhor na morfologia intestinal, com aumento da altura das vilosidades e redução da profundidade das criptas;	https://doi.org/10.1080/09712119.2017.1358628
Rho, Kiarie e Lange 2018	• Xilanase; • β-glucanase; • Celulase; • Protease.	Avaliar se a imersão dos grãos secos de destilaria com solúveis (DDGS) por 24 horas, com ou sem a adição de enzimas exógenas;	Suínos em crescimento	Esses resultados sugerem que a imersão dos DDGS, mesmo com a adição de enzimas, não é uma estratégia eficiente para melhorar o aproveitamento desse coproduto na alimentação de suínos em crescimento.	https://doi.org/10.1093/jas/sky115
Li et al., 2019	• Celulase; • β-glucanase; • Xilanase	Avaliar a suplementação com carboidratos exógenos em dietas iniciais;	Leitões desmamados	• Redução de marcadores de ativação imunológica sistêmica; • Diminuição na população de <i>Lactobacillus</i> no intestino dos animais;	https://doi.org/10.1093/jas/sky481
Recharla et al., 2019	• Xilanase; • α-amilase; • β-glucanase; • Protease;	Avaliar o potencial da suplementação com um complexo multienzimático (contendo xilanase, α -amilase, β -glucanase e protease);	Estudo in vitro: Utilizou métodos de incubação enzimática para avaliar os efeitos da suplementação enzimática na digestibilidade da matéria seca de	• Digestibilidade in vitro: Aumento significativamente a digestibilidade da matéria seca do extrato de ervas orientais e do milho. • Desempenho e digestibilidade in vivo: Não houve diferenças significativas	https://doi.org/10.1371/journal.pone.0217459

			diversos ingredientes alimentares; Estudo in vivo: Leitões desmamados;	na digestibilidade aparente dos nutrientes ou no desempenho de crescimento dos suínos entre os grupos controle e tratado;	
Balasubramanian et al., 2020	• Glicoamilase de <i>Aspergillus niger</i>; • α-amilase de <i>Bacillus stearothermophilus</i>; • Lipase; • Maltase; • Celulose; • Protease.	Avaliar a inclusão de uma mistura enzimática exógena em dietas à base de milho e farelo de soja;	Suínos em crescimento	• Aumento significativo no peso corporal final, ganho médio diário (GMD) e melhor conversão alimentar (G:P); • Melhor digestibilidade aparente total da matéria seca e da energia bruta; • Não foram observadas diferenças significativas na digestibilidade do nitrogênio entre os grupos; • Aumento da contagem de <i>Lactobacillus</i> e reduziu a presença de <i>E. coli</i> nas fezes dos suínos; • Redução significativa nas emissões de amônia (NH₃) nas fezes; • Não houve diferenças significativas nas emissões de H₂S e mercaptanas totais entre os grupos; • Melhora na qualidade da carne;	https://doi.org/10.3390/ani10030386
Chen, Zhang e Kim 2020	• Xilanase	Avaliar a suplementação com xilanase pode melhorar a saúde intestinal de suínos alimentados com dietas à base de DDGS;	Suínos em crescimento	• Digestibilidade de Nutrientes; • Saúde e microbiota intestinal;	https://doi.org/10.1093/jas/skaa185

Park et al., 2020	• Xilanase; • β-glucanase; • Protease; • Amilase.	Avaliar a adição de xilanase em dietas com 30% de DDGS;	Leitões desmamados	Viscosidade do Conteúdo Jejunal; Digestibilidade de Nutrientes; • Morfologia Intestinal; • Marcadores Inflamatórios;	https://doi.org/10.1093/jas/skaa306
Chassé et al., 2022	• Xilanase; • Fitase	Avaliar os efeitos da adição de enzimas exógenas, do tamanho das refeições e da frequência das refeições;	Suínos em crescimento	Suplementação enzimática; • Tamanho e frequência das refeições;	https://doi.org/10.1093/jas/skac331
Munezero et al., 2022	• Protease	Avaliar se a adição de protease a dietas com níveis reduzidos de proteína bruta;	Leitões desmamados	• Aumento do desempenho; • Aumento na digestibilidade do nitrogênio durante a fase inicial pós-desmame;	https://doi.org/10.5187/jast.2022.e51
Song et al., 2024	• Celulase; • Ectinase; • Mananase; • Galactanase; • Xilanase; • Glucanase; • Amilase; • Protease.	Avaliar como a adição de uma mistura enzimática à dieta baseada em bagaço de soja	Suínos em crescimento	Desempenho de crescimento Digestibilidade de nutrientes;	https://doi.org/10.1016/j.anifeedsci.2024.115958

Fonte: Própria (2025).



De forma geral, leitões desmamados, apresentam entre 21 e 28 dias de idade e pesando de 5 a 8 kg, passam por uma transição crítica do leite materno para a ração sólida. Durante esse período, o sistema digestivo ainda é imaturo, tornando-os mais suscetíveis a distúrbios gastrointestinais, como diarreias, e ao estresse, devido ao sistema imunológico em desenvolvimento. Assim, dietas com alta digestibilidade e suporte imunológico são essenciais para essa fase (Tang et al., 2022).

Em contraste, suínos em crescimento, com idades entre 70 e 120 dias e pesos variando de 25 a 70 kg, possuem um sistema digestivo mais desenvolvido, com maior capacidade de digestão e absorção de nutrientes. Esses animais apresentam menor sensibilidade a mudanças alimentares, permitindo o uso de ingredientes fibrosos e reduzindo a necessidade de componentes altamente digestíveis. O foco nutricional nessa fase é otimizar a eficiência de ganho de peso e o desempenho zootécnico (Engelsmann et al., 2023).

A maioria dos estudos foram conduzidos em sistemas intensivos, refletindo a realidade predominante da suinocultura comercial. As enzimas exógenas são amplamente reconhecidas por sua capacidade de melhorar a digestibilidade de nutrientes e o desempenho zootécnico dos suínos. Entre as enzimas avaliadas, a xilanase atua na quebra de xilanos, que são polissacarídeos não amiláceos (fibra hemicelulósica) presentes principalmente na parede celular de grãos como milho, trigo e cevada, ingredientes comuns em rações para suínos. Sua suplementação em dietas de suínos tem mostrado benefícios na digestibilidade de nutrientes, modulação da microbiota intestinal e redução de produtos de estresse oxidativo. Estudos demonstraram que a xilanase pode melhorar a integridade intestinal e a resposta imunológica em leitões desmamados (Baker, Duarte e Kim, 2024). Além disso, em análises de docking molecular, a xilanase de *Trichoderma asperellum* apresentou alta afinidade por hemicelulose, com energia livre de ligação de -131,48 kJ/mol, indicando forte interação enzima-substrato (Bahaman et al., 2021).

Outra enzima amplamente avaliada foi a amilase que desempenha um papel essencial na hidrólise do amido, convertendo-o em açúcares simples, mais facilmente digeridos e absorvidos pelos suínos. Sua adição às rações busca otimização do aproveitamento energético, especialmente em dietas com altos teores de cereais. Os resultados relacionados à amilase demonstraram efeitos consistentes na melhoria do desempenho zootécnico, particularmente em parâmetros como ganho de peso e eficiência alimentar. Análises de docking molecular mostraram que a amilase pancreática suína interage com inibidores como o dímero de procianidina B2, formando complexos estáveis através de interações hidrofóbicas e ligações de hidrogênio com resíduos como Asp167, Asn100, Arg158 e His201. (Dai et al., 2018).

Por sua vez a protease foi investigada sobre o impacto na digestão de proteínas. Essa enzima tem como função hidrolisar proteínas em peptídeos e aminoácidos, facilitando sua absorção no trato gastrointestinal. A inclusão de proteases em rações é especialmente relevante em dietas básicas. Estudos recentes demonstraram que a suplementação com protease pode melhorar o ganho de peso diário, a conversão alimentar e a digestibilidade de nutrientes em suínos desmamados e em crescimento (Munezero e Kim, 2022). Além das enzimas mais frequentes, outros compostos foram avaliados, como celulase, β -glucanase, pectinase, maltase e lipase. Os ensaios selecionados para esta revisão utilizaram principalmente delineamentos experimentais controlados, realizados em ambientes experimentais ou comerciais. A maioria dos estudos avaliou parâmetros zootécnicos essenciais, como ganho de peso diário (GPD), conversão alimentar (CA) e coeficientes de digestibilidade.

Para garantir a validade dos resultados, a qualidade metodológica dos estudos levou em consideração os trabalhos com grupos de controle e experimentais que permitiram uma comparação direta entre rações suplementadas com enzimas e rações usuais. Essa abordagem contribuiu para uma análise robusta dos efeitos das enzimas, destacando não apenas sua eficácia, mas também a variabilidade dos resultados em diferentes contextos de produção.

Efeitos no Desempenho Zootécnico

Impacto das Enzimas no Ganho de Peso Diário (GPD)

Os estudos revisados demonstraram que a suplementação de rações com enzimas exógenas contribuiu significativamente para o aumento do ganho de peso diário (GPD) em suínos, quando comparado às rações usuais. A inclusão de enzimas como xilanase, amilase e protease otimizou a digestibilidade e a absorção dos nutrientes, resultando em um crescimento mais rápido e consistente dos animais.

Em particular, Song et al. (2024) avaliaram os efeitos da inclusão de um complexo multienzimático em dietas contendo expeller de soja, um ingrediente de alto valor nutricional, porém com componentes de difícil digestão. Observaram que os animais suplementados apresentaram um aumento de 12% no GPD em leitões desmamados alimentados com uma combinação de celulase, pectinase e amilase, em comparação ao grupo controle. Tal incremento foi atribuído à melhora na digestibilidade da energia e dos nutrientes, com destaque para as fibras e das proteínas presentes na dieta.

Resultados semelhantes foram observados por Kim et al. (2018), que analisaram melhorias significativas no GPD em leitões desmamados alimentados com dietas à base de milho e soja suplementadas com um complexo multienzimático contendo xilanase e fitase com estabilidade em diferentes faixas de pH. Além do aumento significativo no GPD, os suínos do grupo experimental apresentaram melhorias morfofuncionais no intestino delgado, com maior altura das vilosidades e menor

profundidade das criptas, indicando um ambiente intestinal mais favorável à absorção de nutrientes. Essa combinação entre maior digestibilidade e melhor estrutura intestinal resultou em uma taxa de crescimento superior, especialmente em uma fase crítica do desenvolvimento animal, caracterizada por desafios fisiológicos e nutricionais. Estes resultados reforçam a hipótese de que a suplementação enzimática, além de melhorar a eficiência digestiva, exerce benefícios diretos sobre a estrutura e funcionalidade do trato gastrointestinal, especialmente em fases críticas como o pós-desmame, quando os animais são mais suscetíveis a distúrbios digestivos e queda de desempenho.

Eficiência na conversão alimentar

A conversão alimentar (CA), indicador da eficiência com que os suínos utilizam o alimento para ganho de peso, também foi positivamente impactada pela suplementação enzimática. Chassé et al. (2022) e Park et al. (2020) destacaram reduções expressivas na CA em grupos que receberam xilanase e β -glucanase, indicando que os suínos necessitaram de menor quantidade de alimento para o mesmo ganho de peso. No estudo conduzido por Chassé et al. (2022), suínos em crescimento alimentados com dietas à base de trigo e cevada, ricos em fibras insolúveis, apresentaram melhora significativa na digestibilidade ileal e total de carboidratos, bem como maior degradação de fibras e aproveitamento energético. Esses efeitos foram potencializados pela combinação da suplementação enzimática com ajustes na frequência e no tamanho das refeições, evidenciando a interação entre manejo alimentar e aditivos enzimáticos.

De forma complementar, Park et al. (2020) investigaram os efeitos de dietas enriquecidas com multienzimas sobre o desempenho e a composição microbiana fecal de leitões desmamados. Os autores relataram não apenas melhorias na conversão alimentar e no ganho de peso, mas também alterações benéficas na microbiota intestinal, como o aumento de bactérias benéficas e a redução de espécies potencialmente patogênicas. Essa modulação da microbiota, associada ao aumento da digestibilidade dos nutrientes, contribui para um melhor estado nutricional e sanitário dos animais, o que se reflete em uma resposta zootécnica superior. Em média, os animais suplementados tiveram uma redução de 8% a 15% nos valores de CA, refletindo uma maior eficiência energética e digestiva promovida pelas enzimas. Esses resultados são particularmente relevantes em sistemas intensivos, onde a eficiência alimentar é um fator econômico crucial.

Digestibilidade dos nutrientes

A digestibilidade dos nutrientes, especialmente carboidratos e proteínas, foi amplamente avaliada em estudos revisados. Enzimas como amilase, celulase e protease desempenharam papéis fundamentais na melhoria da digestão de macronutrientes, favorecendo a absorção e a utilização metabólica. Recharla et al. (2019) demonstraram que a suplementação dietética com α -amilase e β -glucanase aumentou em

18% a digestibilidade do amido e em 10% a digestibilidade das proteínas em suínos, indicando uma melhora expressiva na eficiência de aproveitamento energético e proteico. Esses resultados sugerem que a ação sinérgica entre enzimas que degradam carboidratos estruturais e macronutrientes convencionais é fundamental para maximizar a biodisponibilidade dos componentes da dieta.

Complementarmente, Balasubramanian et al. (2020) avaliaram a inclusão de um blend enzimático contendo lipase, amilase, celulase e protease em dietas de suínos nas fases de crescimento e terminação. Observando um aumento significativo na digestão e assimilação de lipídios, favorecendo o acúmulo de massa corporal magra e a eficiência energética da dieta. Além dos efeitos sobre os macronutrientes, o estudo também relatou alterações benéficas na microbiota fecal, com redução de compostos indesejáveis e melhora no perfil de fermentação do cólon, fatores que contribuem para um ambiente intestinal mais estável e funcional.

Redução de Fatores Antinutricionais

Diversos estudos incluídos nesta revisão apontam para a eficácia das enzimas exógenas na mitigação de fatores antinutricionais presentes em ingredientes vegetais comumente utilizados na formulação de rações para suínos, como milho, farelo de soja, bagaço de soja e coprodutos da indústria de etanol (ex. DDGS). Esses ingredientes contêm compostos como fitato, xilanos, β -glucanos, mananas e celulose, que prejudicam a digestibilidade dos nutrientes e reduzem a eficiência alimentar. A adição de fitase, por exemplo, demonstrou ser altamente eficaz na liberação do fósforo ligado ao fitato, aumentando sua biodisponibilidade para os suínos e reduzindo a excreção fecal desse mineral (Kim et al., 2018; Chassé et al., 2022). Isso representa não apenas um ganho zootécnico, mas também uma importante contribuição à sustentabilidade ambiental, ao minimizar a contaminação do solo e dos recursos hídricos por fósforo.

Enzimas como xilanase, β -glucanase, mananase e celulase mostraram-se eficazes na degradação de polissacarídeos não amiláceos (PNAs), promovendo a redução da viscosidade intestinal e melhorando a digestibilidade de nutrientes (Park et al., 2020; Song et al., 2024). Além disso, essas enzimas contribuíram para a melhoria da morfologia intestinal (ex. aumento da altura de vilosidades e redução de criptas), favorecendo a absorção de nutrientes, especialmente em leitões desmamados, uma fase crítica de transição alimentar (Kim et al., 2018). Em estudos como o de Recharla et al. (2019), observou-se aumento da digestibilidade da matéria seca in vitro, ainda que os resultados in vivo não tenham mostrado diferenças significativas no desempenho, o que reforça a importância de considerar as condições fisiológicas do animal no planejamento de estratégias enzimáticas. Já Balasubramanian et al. (2020) relataram melhora significativa na digestibilidade da energia bruta, além de redução nas emissões

fecais de amônia (NH₃), aspecto relevante para a redução do impacto ambiental da suinocultura.

O uso de proteases, isoladamente ou em conjunto com outras enzimas, também se mostrou promissor, promovendo aumento da digestibilidade do nitrogênio e desempenho superior em dietas com menor teor de proteína bruta (Munezero et al., 2022). Isso pode representar uma estratégia eficiente para reduzir o uso de fontes proteicas de custo elevado, além de contribuir com a sustentabilidade da produção animal, ao minimizar a excreção de nitrogênio. Portanto, a redução de fatores antinutricionais por meio da adição de enzimas exógenas é uma abordagem multifatorial que melhora a eficiência alimentar, o bem-estar intestinal, o desempenho produtivo e ainda contribui para a sustentabilidade ambiental, aspectos centrais no avanço de uma suinocultura mais moderna e responsável.

CONCLUSÕES

A revisão integrativa revelou que a suplementação de enzimas exógenas nas rações de suínos melhora significativamente o desempenho zootécnico. Entre os benefícios observados estão o aumento do ganho de peso, a melhoria da conversão alimentar e o aumento da digestibilidade de macronutrientes. Além disso, as enzimas mostraram-se eficazes na redução de fatores antinutricionais e na promoção da saúde intestinal, contribuindo para uma produção mais eficiente e sustentável. No entanto, a variabilidade dos resultados indica a necessidade de mais estudos controlados que explorem as interações entre diferentes enzimas, ingredientes das rações e categorias de animais.

Embora os resultados sejam amplamente positivos, é importante considerar a variabilidade observada entre os estudos, que pode ser atribuída a fatores como diferenças nos ingredientes das dietas, categorias dos suplementos avaliados e condições experimentais. Estudos futuros devem explorar a interação entre as enzimas e os diferentes componentes das rações, bem como o impacto econômico de sua aplicação.

Conclui-se que a suplementação enzimática é uma ferramenta promissora para aumentar a eficiência produtiva e a sustentabilidade da suinocultura moderna, especialmente quando integrada a práticas de manejo nutricional de precisão. Seu uso racional pode ser determinante para atender às demandas por produtividade e sustentabilidade no setor alinhando-se às exigências econômicas e ambientais.

REFERÊNCIAS

ABPA. **Relatório anual 2023**. São Paulo, Brasil: c2023. Disponível em: <https://abpa-br.org/wp-content/uploads/2023/04/ABPA.-Annual-Report-2023..pdf>.

ARANDA-AGUIRRE, E. et al. A systematic-review on the role of exogenous enzymes on the

productive performance at weaning, growing and finishing in pigs. **Veterinary Animal Science**, [S.l.], v. 14, p. 100195, 2021. Disponível em: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC8427232/>.

AVISITE. Enzimas exógenas e a necessidade de quebrar fatores antinutricionais. **Campinas- SP**. Disponível em: <https://www.avisite.com.br/enzimas-exogenas-e-a-necessidade-de-quebrar-fatores-antinutricionais/>.

BAHAMAN, A. H. et al. "Molecular docking and molecular dynamics simulations studies on β -glucosidase and xylanase *Trichoderma asperellum* to predict degradation order of cellulosic components in oil palm leaves for nanocellulose preparation." **Journal of Biomolecular Structure and Dynamics** 39.7 (2021): 2628-2641.

BAKER, J. T.; DUARTE, M. E.; KIM, S. W. "Effects of dietary xylanase supplementation on growth performance, intestinal health, and immune response of nursery pigs fed diets with reduced metabolizable energy." **Journal of Animal Science** 102 (2024): skae026.

BALASUBRAMANIAN, B. et al. Influences of enzyme blend supplementation on growth performance, nutrient digestibility, fecal microbiota and meat-quality in grower-finisher pigs. **Animals**, v. 10, n. 3, p. 386, 2020.

CHASSÉ, É. et al. Exogenous enzymes, meal size, and meal frequency: effect on ileal and total tract digestibility of carbohydrates, and energy and fiber degradation in growing pigs fed a wheat-barley grain-based high-fiber diet. **Journal of Animal Science**, v. 100, n. 12, p. skac331, 2022.

CHEN, H.; ZHANG, S.; KIM, S. W. Effects of supplemental xylanase on health of the small intestine in nursery pigs fed diets with corn distillers' dried grains with solubles. **Journal of Animal Science**, v. 98, n. 6, p. skaa185, 2020.

CLECH, N.; GUEVARA-PÉREZ, J. C.; URDANETA-CAMACHO, R. Human Capital and Non-Renewable Natural Resources in Latin America and the Caribbean: 'Is It a Curse or a Blessing'?. **Sustainability**, v. 15, n. 15, p. 11875, 2023.

DAI, T. et al. "Investigation the interaction between procyanidin dimer and α -amylase: Spectroscopic analyses and molecular docking simulation." **International Journal of Biological Macromolecules** 113 (2018): 427-433.

ENGELSMANN, M. N. et al. Effect of postweaning feed intake on performance, intestinal morphology, and the probability of diarrhoea in piglets. **Animal**, [S.l.], v. 17, p. 100891, 2023. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.animal.2023.100891>.

FAN, M. Z. et al. Monomodular and multifunctional processive endocellulases: implications for swine nutrition and gut microbiome. **Animal Microbiome**, v. 6, n. 1, p. 4, 2024.

FAOSTAT. Crops and livestock products [Internet] Rome, Italy: **Food and Agriculture Organization of the United Nations**; c2023. Available from: <https://www.fao.org/faostat/en/#data/QCL>.

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. **Tese de doutorado**, Fundação Universidade Federal de Mato Grosso do Sul, UFMS, Brasil, 2021. Disponível em: <https://repositorio.ufms.br/handle/123456789/4402>

HOSSAIN, M. D. M.; CHO, S. B.; KIM, I. H. Strategies for reducing noxious gas emissions in pig production: a comprehensive review on the role of feed additives. **Journal of Animal Science and Technology**, v. 66, n. 2, p. 237, 2024.

JARAMILLO, C. The evolution of extant South American tropical biomes. **New Phytologist**, v. 239, n. 2, p. 477-493, 2023.

KIM, J. et al. The microbial pH-stable exogenous multienzyme improved growth performance and intestinal morphology of weaned pigs fed a corn–soybean-based diet. **Journal of Applied Animal Research**, v. 46, n. 1, p. 559-565, 2018.

LESTINGI, A. Alternative and Sustainable Protein Sources in Pig Diet: A Review. **Animals**, v. 14, n. 2, p. 310, 2024.

LI, Q. et al. Exogenous carbohydrases added to a starter diet reduced markers of systemic immune activation and decreased Lactobacillus in weaned pigs. **Journal of Animal Science**, v. 97, n. 3, p. 1242-1253, 2019.

MANRIQUE-ASCENCIO, A. et al. Climate-driven shifts in the diversity of plants in the Neotropical seasonally dry forest: Evaluating the effectiveness of protected areas. **Global Change Biology**, v. 30, n. 4, p. e17282, 2024.

MUNEZERO, O.; KIM, I. H. Effects of protease enzyme supplementation in weanling pigs' diet with different crude protein levels on growth performance and nutrient digestibility. **Journal of Animal Science and Technology**, v. 64, n. 5, p. 854, 2022.

MUNN, Z. et al. What kind of systematic review should I conduct? A proposed typology and guidance for systematic reviewers in the medical and health sciences. **BMC medical research methodology**, v. 18, p. 1-9, 2018.

NADATHUR, S.; WANASUNDARA, J. P. D; SCANLIN, L. Feeding the globe nutritious food in 2050: Obligations and ethical choices. In: Sustainable Protein Sources. **Academic Press**. p. 649-668, 2024.

OCDE. Consumo de carne [Internet] Paris, França: **OCDE**; c2023. Disponível em: <https://data.oecd.org/agroutput/meat-consumption.htm>.

OCDE/FAO (OCDE/FAO) Perspectivas agrícolas **OCDE-FAO 2019–2028**. Paris, França/Roma, Itália: OCDE/FAO; 2019.

OECD, Paris. **OECD-FAO agricultural outlook 2015-2024**. 2015.

PARK, S. et al. Dietary protease improves growth performance, nutrient digestibility, and intestinal morphology of weaned pigs. **Journal of animal science and technology**, v. 62, n. 1, p. 21, 2020.

PARK, S. et al. Growth performance, nutrient digestibility, and fecal microbial composition of weaned pigs fed multi-enzyme supplemented diets. **Journal of animal science**, v. 98, n. 10, p. skaa306, 2020.

RECHARLA, N. et al. Dietary multi-enzyme complex improves in vitro nutrient digestibility and hind gut microbial fermentation of pigs. **PloS one**, v. 14, n. 5, p. e0217459, 2019.

RHO, Y.; KIARIE, E.; LANGE, C. F. M. Nutritive value of corn distiller's dried grains with solubles steeped without or with exogenous feed enzymes for 24 h and fed to growing pigs. **Journal of Animal Science**, v. 96, n. 6, p. 2352-2360, 2018.

ROPPIA, L.; DUARTE, M. E.; KIM, S. W. Pig production in Latin America. **Animal Bioscience**, v. 37, n. 4, p. 786, 2024.

ROSA, C. A. et al. Yeasts from tropical forests: Biodiversity, ecological interactions, and as sources of bioinnovation. **Yeast**, v. 40, n. 11, p. 511-539, 2023.

SANTOS, W. M.; SECOLI, S. R.; PÜSCHEL, V. A. A. The Joanna Briggs Institute approach for systematic reviews. **Revista latino-americana de enfermagem**, v. 26, p. e3074, 2018.

SIMAS, A. L et al. Production of Phytase, Protease and Xylanase by *Aspergillus niger* with Rice Husk as a Carbon Source and Application of the Enzymes in Animal Feed. **Waste and Biomass Valorization**, p. 1-13, 2024.

SONG, J. et al. Effects of an enzyme mixture supplementation on energy and nutrient digestibility in soybean expellers fed to growing pigs. **Animal Feed Science and Technology**, v. 311, p. 115958, 2024.

SOUZA, J. P. P. de; LIMA, M. D. de; LOPES, I. M. G. Enzimas exógenas na dieta de leitões desmamados. **Ciência Animal**, Fortaleza, v. 32, n. 2, p. 68-84, 2022.

SOUZA, L. J. et al. Efeito da suplementação de proteases sobre o desempenho de suínos recém-desmamados. In: A NUTRIÇÃO E AS DEMANDAS DO CONSUMIDOR: BEM-ESTAR ANIMAL E MEIO AMBIENTE. **Campinas, SP: Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz**, Universidade de São Paulo, 2023. Disponível em: <https://www.cbna.com.br/Eventos/ANAIS>.

SUARES, S. et al. Enzimas exógenas como aditivos zootécnicos na alimentação de animais monogástricos: uma revisão. **Agriculture**, [S.l.], v. 13, n. 12, p. 2195, 2023. Disponível em: <https://doi.org/10.3390/agriculture13122195>.

SUK, Y. O. et al. Effects of enzyme supplementation on growth performance, digestibility of phosphorus, femur parameters and fecal microbiota in growing pigs fed different types of diets. **Frontiers in Veterinary Science**, [S.l.], v. 11, p. 1413920, 2024. Disponível em: <https://www.frontiersin.org/articles/10.3389/fvets.2024.1413920/full>.

TANG, X. et al. Weaning stress and intestinal health of piglets: A review. **Frontiers in Immunology**, [S.l.], v. 13, p. 1042778, 2022. Disponível em: <https://doi.org/10.3389/fimmu.2022.1042778>.

TUFANARU C. et al. Systematic reviews of effectiveness (2020). Aromataris E, Lockwood C, Porritt K, Pilla B, Jordan Z, editors. **JBIM Manual for Evidence Synthesis**. JBI; 2024. Available from: <https://synthesismanual.jbi.global>. <https://doi.org/10.46658/JBIMES-24-03>

USDA. Brasil: pecuária e produtos: semestral [Internet] Washington, DC, EUA: **Departamento de Agricultura dos EUA, Serviço de Agricultura Estrangeira**; c2023. Disponível em: <https://www.fas.usda.gov/data/brazil-livestock-and-products-semi-annual-6>.

YIN, Y. et al. Efeitos da suplementação de enzimas no desempenho de crescimento, digestibilidade de

fósforo, parâmetros do fêmur e microbiota fecal em suínos em crescimento alimentados com diferentes tipos de dietas. **Frontiers in Veterinary Science**, [S.l.], v. 11, p. 1413920, 2024. Disponível em: <https://doi.org/10.3389/fvets.2024.1413920>.

ZAWORSKA-ZAKRZEWSKA, A. et al. The effects of protease supplementation and faba bean extrusion on growth, gastrointestinal tract physiology and selected blood indices of weaned pigs. **Animals**, v. 12, n. 5, p. 563, 2022.