



## ENZIMAS EXÓGENAS EM RAÇÕES CONVENCIONAIS E SEUS EFEITOS NO DESEMPENHO ZOOTÉCNICO DE PEIXES: REVISÃO INTEGRATIVA

## ENZIMAS EXÓGENAS EN PIENSOS CONVENCIONALES Y SUS EFECTOS SOBRE EL RENDIMIENTO ZOOTÉCNICO DE PECES: REVISIÓN INTEGRATIVA

## EXOGENOUS ENZYMES TO CONVENTIONAL DIETS AND THEIR EFFECTS ON THE ZOOTECHNICAL PERFORMANCE OF FISH: AN INTEGRATIVE REVIEW

Apresentação: Comunicação Oral

Aryanna Sany Pinto Nogueira Costa<sup>1</sup>; Rafael Queiroz dos Anjos<sup>2</sup>; Larissa Maria da Silva<sup>3</sup>; Jhennifer da Silva Pereira<sup>4</sup>; Emeson Farias Araujo Santos<sup>5</sup>

DOI: <https://doi.org/10.31692/VICIAGRO.0107>

### RESUMO

A alimentação dos peixes representa um dos pilares fundamentais para o sucesso da aquicultura moderna, influenciando diretamente o desempenho produtivo, a saúde animal e a viabilidade econômica do sistema. Uma dieta equilibrada, formulada com ingredientes de qualidade e com alta digestibilidade, é essencial para garantir o crescimento adequado dos organismos cultivados, além de contribuir significativamente para a redução dos custos de produção. Nesse contexto, a utilização de enzimas exógenas surge como uma estratégia promissora e eficiente para otimizar a utilização dos nutrientes presentes na ração, especialmente em formulações que utilizam ingredientes de origem vegetal, os quais geralmente contêm fatores antinutricionais. A adição de enzimas como fitase, xilanase, proteases e carboidrases pode favorecer a quebra de compostos como os fitatos e as fibras, aumentando a biodisponibilidade de nutrientes essenciais, como aminoácidos, minerais e ácidos graxos. O presente trabalho teve como objetivo realizar uma revisão integrativa da literatura científica, com foco na avaliação dos efeitos da suplementação com enzimas exógenas sobre o crescimento, a digestibilidade e a saúde intestinal de peixes. A metodologia empregada seguiu as diretrizes do Instituto Joanna Briggs (JBI), com buscas realizadas em bases científicas como Scopus, Google acadêmico e ScienceDirect, resultando em 15 artigos selecionados para análise. Os resultados apontaram que a inclusão de enzimas nas dietas promoveu melhorias significativas no desempenho zootécnico dos peixes, evidenciando ganhos em taxa de crescimento, conversão alimentar e absorção de nutrientes. Entretanto, observou-se que os efeitos podem variar conforme a espécie de peixe, o tipo de enzima utilizada, a composição da dieta e as condições do sistema de cultivo. Conclui-se que a suplementação com enzimas exógenas representa uma alternativa tecnológica viável e sustentável, com potencial para aprimorar a eficiência alimentar na aquicultura, embora sejam necessários mais estudos para sua aplicação otimizada em larga escala.

**Palavras-Chave:** Tecnologia de alimentos, Digestibilidade, Nutrição animal, Suplementação.

### RESUMEN

La alimentación de los peces representa uno de los pilares fundamentales para el éxito de la acuicultura moderna, influyendo directamente en el rendimiento productivo, la salud animal y la viabilidad económica del sistema. Una dieta equilibrada, formulada con ingredientes de calidad y alta digestibilidad, es esencial para garantizar el crecimiento adecuado de los organismos cultivados, además de contribuir significativamente a la

<sup>1</sup> Química, Instituição, aryannaspn@gmail.com

<sup>2</sup> Engenharia de Pesca, Instituição, engpesca.queiroz@gmail.com

<sup>3</sup> Tecnologia em Alimentos, Instituição, larissamsilva00@gmail.com

<sup>4</sup> Engenharia de pesca, Instituição, jhennifer.pereira@ufrpe.br

<sup>5</sup> Mestre, Instituição, emeson.santos@arapiraca.ufal

reducción de los costos de producción. En este contexto, el uso de enzimas exógenas surge como una estrategia prometedora y eficaz para optimizar el aprovechamiento de los nutrientes presentes en el pienso, especialmente en formulaciones que contienen ingredientes de origen vegetal, los cuales suelen presentar factores antinutricionales. La adición de enzimas como fitasa, xilanasa, proteasas y carbohidrasas puede favorecer la descomposición de compuestos como fitatos y fibras, aumentando la biodisponibilidad de nutrientes esenciales como aminoácidos, minerales y ácidos grasos. El presente estudio tuvo como objetivo realizar una revisión integrativa de la literatura científica, centrada en evaluar los efectos de la suplementación con enzimas exógenas sobre el crecimiento, la digestibilidad y la salud intestinal de los peces. La metodología adoptada siguió las directrices del Instituto Joanna Briggs (JBI), con búsquedas realizadas en bases científicas como Scopus, Google Académico y ScienceDirect, resultando en 15 artículos seleccionados para el análisis. Los resultados indicaron que la inclusión de enzimas en las dietas promovió mejoras significativas en el rendimiento zootécnico de los peces, evidenciando aumentos en la tasa de crecimiento, la conversión alimentaria y la absorción de nutrientes. No obstante, se observaron variaciones según la especie de pez, el tipo de enzima utilizada, la composición de la dieta y las condiciones del sistema de cultivo. Se concluye que la suplementación con enzimas exógenas representa una alternativa tecnológica viable y sostenible, con potencial para mejorar la eficiencia alimentaria en la acuicultura, aunque se requieren más estudios para optimizar su aplicación a gran escala.

**Palabras Clave:** Tecnología de alimentos, Digestibilidad, Nutrición animal, Suplementación.

## ABSTRACT

Fish nutrition represents one of the fundamental pillars for the success of modern aquaculture, directly influencing productive performance, animal health, and the economic viability of the system. A balanced diet, formulated with high-quality and highly digestible ingredients, is essential to ensure the proper growth of farmed organisms and significantly contributes to reducing production costs. In this context, the use of exogenous enzymes emerges as a promising and efficient strategy to optimize nutrient utilization in feed, especially in formulations that include plant-based ingredients, which often contain antinutritional factors. The addition of enzymes such as phytase, xylanase, proteases, and carbohydrases can facilitate the breakdown of compounds like phytates and fibers, increasing the bioavailability of essential nutrients such as amino acids, minerals, and fatty acids. This study aimed to conduct an integrative review of the scientific literature, focusing on the evaluation of the effects of exogenous enzyme supplementation on the growth, digestibility, and intestinal health of fish. The methodology followed the guidelines of the Joanna Briggs Institute (JBI), with searches conducted in scientific databases such as Scopus, Google Scholar, and ScienceDirect, resulting in 15 selected articles for analysis. The results indicated that enzyme inclusion in diets significantly improved the zootechnical performance of fish, with notable increases in growth rate, feed conversion, and nutrient absorption. However, effects varied depending on the fish species, the type of enzyme used, diet composition, and farming system conditions. It is concluded that exogenous enzyme supplementation is a viable and sustainable technological alternative with potential to enhance feeding efficiency in aquaculture, although further studies are needed to optimize its large-scale application.

**Keywords:** Food technology, Digestibility, Animal nutrition, Supplementation.

## INTRODUÇÃO

A aquicultura, um setor em rápido crescimento, desempenha um papel essencial na oferta de alimentos para atender à crescente demanda global por produtos de origem animal. Atualmente, cerca de 52% do pescado consumido no mundo provém desse setor, destacando sua importância para a segurança alimentar global (Wang *et al.*, 2023; FAO, 2024). Com o aumento da intensificação dos sistemas de produção, a busca por práticas nutricionais mais eficientes tornou-se indispensável para melhorar o desempenho zootécnico, assegurar a saúde dos animais e reduzir os impactos ambientais (Bikulčienė *et al.*, 2024; Santos; Secoli; Püschel, 2018; Shah *et al.*, 2024).

Nesse contexto, os aditivos alimentares, como as enzimas exógenas, surgem como alternativas

promissoras. Essas enzimas, ao atuarem como catalisadores biológicos, facilitam a digestão de macronutrientes presentes nos ingredientes das rações (Ali; Mousa, 2023; Hoseinifar; Dadar; Ringø, 2017). Espécies de peixes com baixa atividade enzimática endógena podem se beneficiar significativamente da suplementação enzimática, otimizando a utilização de proteínas, carboidratos e lipídeos (Gopalraaj *et al.*, 2024). Além disso, evidências indicam que a inclusão de enzimas na dieta pode promover a saúde intestinal e potencializar o crescimento e a imunidade dos peixes (Liang *et al.*, 2022; Rivero-Pino *et al.*, 2023).

Embora os avanços nessa área sejam notáveis, ainda existem desafios a serem enfrentados. É necessário compreender melhor as interações entre as enzimas suplementadas e os componentes das rações, assim como avaliar seus efeitos no desempenho geral dos peixes em diferentes condições de cultivo (Velázquez *et al.*, 2021). Essa lacuna no conhecimento reforça a importância de estudos sistemáticos que analisem criticamente as evidências disponíveis (Bikulčienė *et al.*, 2024; Shah *et al.*, 2024).

Desta forma, o presente trabalho teve como objetivo realizar uma revisão integrativa para investigar a eficácia da suplementação de enzimas exógenas em comparação às rações convencionais na nutrição de peixes. A ênfase está na melhoria da digestibilidade dos nutrientes, no crescimento e na saúde dos animais. Para garantir rigor metodológico, este estudo utiliza a abordagem do Instituto Joanna Briggs (JBI), reconhecida por sua aplicação criteriosa na análise e síntese de evidências científicas (Pollock; Berge, 2018).

Assim, contribuindo para a tomada de decisões informadas no setor aquícola e promover práticas mais sustentáveis e eficazes no manejo nutricional dos peixes. Além disto, as informações obtidas desta revisão fornecem orientações importantes para pesquisadores, profissionais da aquicultura na formulação de dietas mais eficazes e sustentáveis.

## **FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA**

### **Enzimas Exógenas na Nutrição Animal**

As enzimas são biocatalisadoras que aceleram reações químicas específicas, desempenhando um papel fundamental na digestão e absorção de nutrientes (Castillo; Gatlin, 2015). No contexto da nutrição animal, as enzimas exógenas são suplementadas nas dietas para superar limitações digestivas dos animais, especialmente quando as fontes alimentares contêm compostos complexos ou fatores antinutricionais.

Na alimentação de peixes, a suplementação de enzimas como fitase, xilanase,  $\beta$ -glucanase,

protease e tanase tem se mostrado eficaz na degradação de componentes como ácido fítico, fibras insolúveis e proteínas de difícil digestão (Hoseinifar; Dadar; Ringø, 2017; Gopalraaj *et al.*, 2024). Esses compostos, encontrados principalmente em ingredientes de origem vegetal, podem reduzir a eficiência nutricional e aumentar a excreção de nutrientes no ambiente (Zhang *et al.*, 2024). A fitase é amplamente utilizada para quebrar o ácido fítico, liberando fósforo, cálcio e outros minerais essenciais que, de outra forma, seriam indisponíveis para absorção (Negm *et al.*, 2024). Já a xilanase e a  $\beta$ -glucanase atuam sobre polissacarídeos não amiláceos, presentes em cereais e subprodutos vegetais, facilitando a digestão de carboidratos complexos (Hassaan *et al.*, 2019; Luo *et al.*, 2020).

Proteases auxiliam na degradação de proteínas vegetais ou de subprodutos de origem animal, otimizando o aproveitamento de aminoácidos (Maryam *et al.*, 2022), enquanto a tanase atua na quebra de taninos, compostos que reduzem a biodisponibilidade de nutrientes (Yao *et al.*, 2019). Recentemente, o uso de complexos enzimáticos — combinações de múltiplas enzimas — tem ganhado destaque, visto que as dietas baseadas em ingredientes vegetais apresentam vários tipos de fatores antinutricionais simultaneamente (Furuya *et al.*, 2023; Martínez *et al.*, 2019). A escolha correta da enzima ou do complexo adequado é essencial para maximizar os ganhos nutricionais e zootécnicos.

## **Nutrição de Peixes e o Desempenho Zootécnico**

A nutrição adequada é essencial para garantir o crescimento, a saúde e o desempenho produtivo dos peixes. Com o crescimento da aquicultura e a necessidade de alternativas sustentáveis às farinhas de peixe tradicionais, houve um aumento significativo na inclusão de ingredientes vegetais em rações comerciais (FAO, 2024; Wang *et al.*, 2023).

Entretanto, muitos ingredientes vegetais contêm fatores antinutricionais que limitam a digestibilidade e o aproveitamento de nutrientes, como fitatos,  $\beta$ -glucanos e taninos (Velázquez *et al.*, 2021). Isso torna necessária a adoção de estratégias nutricionais avançadas, como a suplementação com enzimas exógenas, para garantir o desempenho adequado dos animais.

Estudos demonstram que a adição de enzimas melhora a digestibilidade de proteínas, lipídios e carboidratos, além de favorecer a saúde intestinal e a eficiência alimentar (Liang *et al.*, 2022; Shah *et al.*, 2024). Espécies como a tilápia-do-nilo (*Oreochromis niloticus*), carpa comum (*Cyprinus carpio*) e corvina amarela (*Larimichthys crocea*) têm mostrado respostas positivas à suplementação enzimática, com ganhos significativos em peso e conversão alimentar (Maas *et al.*, 2020; Brito *et al.*, 2021).

## **METODOLOGIA**

### **Área de estudo e aspectos éticos**

A presente revisão integrativa teve como objetivo analisar o uso de enzimas exógenas na alimentação de peixes. Para isso, foi adotada a metodologia do Instituto Joanna Briggs (JBI) (Tufanaru *et al.*, 2024), que se baseia em evidências científicas robustas para garantir a utilização das melhores fontes de dados disponíveis (Munn *et al.*, 2018). Ressalta-se que, por se tratar de uma revisão literária, este estudo não necessita de aprovação de comitê de ética.

### **Formulação da questão de pesquisa**

A hipótese deste estudo foi desenvolvida utilizando a ferramenta PICO (Pollock; Berge, 2018). O método PICO auxilia na formulação de propostas de pesquisa para levantamento bibliográfico baseando-se nas seguintes ideias-chave: a população ou problema (P), o interesse ou intervenção (I), a comparação (C) e o resultado (O). Com base nesta metodologia, os aspectos principais (PICO) foram incluídos nesta revisão: (P) peixes; (I) enzimas na ração; (C) nutrição com e sem enzimas; (O) digestibilidade dos ingredientes da ração pelos peixes, podendo incluir a taxa de digestão de proteínas, lipídios, carboidratos, bem como a eficiência alimentar, crescimento dos peixes, e a saúde intestinal.

### **Estratégia de busca: termos de pesquisa e banco de dados**

Os termos de busca foram selecionados com base em uma combinação de palavras-chave, como: "Enzymes", "Enzyme supplementation", "Fish nutrition" e "Digestibility". As plataformas digitais para rastrear os trabalhos científicos foram: Scopus, Google acadêmico e ScienceDirect

### **Estratégia de busca: critérios de inclusão e exclusão**

Os critérios de inclusão para a seleção dos estudos foram os seguintes: a população alvo dos estudos deveria ser composta por peixes, com tanto que alimentados com ração contendo qualquer tipo de enzima. Os resultados dos estudos precisavam necessariamente incluir dados sobre digestibilidade de nutrientes, ganho de peso, conversão alimentar, eficiência alimentar, saúde intestinal e resposta imune. Apenas estudos publicados nos últimos 5 anos (2020–2025) foram considerados, e a característica dos estudos deveria ser experimental ou observacional, incluindo artigos, TCC, dissertações, teses, capítulos de livros e resumos expandidos. Os critérios de exclusão consistiram em: estudos que não apresentam grupo controle no desenho experimental, estudos retráidos, revisões da literatura, estudos duplicados, bem como resumos simples. Além disso, os

idiomas aceitos foram inglês, espanhol e português.

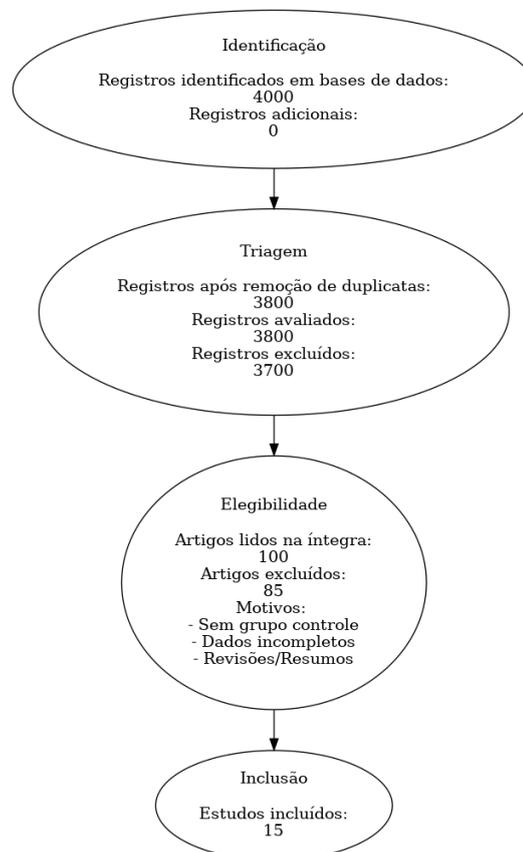
### Estratégia de busca: obtenção dos dados

Os dados foram obtidos por meio da ferramenta padronizada de extração de dados do JBI SUMARI por 3 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.

## RESULTADOS E DISCUSSÃO

Após a busca e triagem de artigos em diversas plataformas, foram rastreados 4.000 estudos, dos quais apenas 15 atenderam aos critérios de elegibilidade para compor a revisão sistemática (Fluxograma 01). Os artigos foram selecionados com base em sua relevância para o tema proposto, sendo considerados os mais representativos e específicos em termos de metodologia de qualidade. Os artigos incluídos abrangem uma ampla gama de estudos sobre o impacto de enzimas exógenas na alimentação de diferentes espécies de peixes, abordando aspectos como desempenho de crescimento, atividade antioxidante e metabolismo digestivo.

**Fluxograma 01:** Seleção de busca e elegibilidade dos artigos.



**Fonte:** Própria (2025).

## **Caracterização geral dos resultados**

Os estudos selecionados abordaram a suplementação com enzimas exógenas em diferentes espécies de peixes, focando principalmente no impacto da suplementação enzimática sobre o desempenho zootécnico, digestibilidade e crescimento.



**Tabela 01:** Caracterização geral dos trabalhos selecionados para compor a revisão integrativa da literatura.

<b>Autor / Ano</b>	<b>Enzima</b>	<b>Referência</b>
Hassaan et al., 2019	- Xilanase.	<a href="https://doi.org/10.1111/anu.12903">https://doi.org/10.1111/anu.12903</a>
Martínez et al., 2019	Mix de enzimas: - Glucanases; - Fitase.	<a href="https://doi.org/10.3390/fishes4040056">https://doi.org/10.3390/fishes4040056</a>
Luo et al., 2020	- Xilanase.	<a href="https://doi.org/10.1007/s10695-020-00774-z">https://doi.org/10.1007/s10695-020-00774-z</a>
Maas et al., 2020	- Fitase; - Xilanase.	<a href="https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2020.735723">https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2020.735723</a>
Monier et al., 2020	Mix de enzimas: - Xilanase; - Amilase; - Celulase; - $\alpha$ -galactosidase; - $\beta$ -glucanase; - Pectinase; - Lipase; - Protease.	<a href="https://doi.org/10.1007/s10695-019-00745-z">https://doi.org/10.1007/s10695-019-00745-z</a>
De Brito et al., 2021	Mix de enzimas: - Xilanase; - $\beta$ -glucanase.	<a href="https://doi.org/10.1016/j.anifeedsci.2021.114991">https://doi.org/10.1016/j.anifeedsci.2021.114991</a>
Sadek e El (2021)	Mix de enzimas: - Xilanase; - Amilase; - Protease.	<a href="https://dx.doi.org/10.21608/ejnf.2021.210844">https://dx.doi.org/10.21608/ejnf.2021.210844</a>
Dawood et al., 2022	- $\beta$ -mananase.	<a href="https://doi.org/10.3389/fvets.2022.956054">https://doi.org/10.3389/fvets.2022.956054</a>
Maryam et al., 2022	- Proteases.	<a href="https://doi.org/10.1111/are.15891">https://doi.org/10.1111/are.15891</a>

COSTA, et al.

Nadeem et al., 2022	- Xilanase. Mix de enzimas: - Pectinase; - Protease;	<a href="https://doi.org/10.1016/j.anifeedsci.2022.115391">https://doi.org/10.1016/j.anifeedsci.2022.115391</a>
Furuya et al., 2023	- Fitase; - $\beta$ -glucanase; - Xilanase; - Celulase; - Amilase.	<a href="https://doi.org/10.1590/1413-7054202347000923">https://doi.org/10.1590/1413-7054202347000923</a>
Macêdo et al., 2023 Negm et al., 2024	- $\beta$ -glucanase. - Fitase. Mix de enzimas: - Protease;	<a href="https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2022.739134">https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2022.739134</a> <a href="https://doi.org/10.1111/jpn.13939">https://doi.org/10.1111/jpn.13939</a>
Soltan et al., 2023	- Pepsina; - Tripsina; - Xilanase; - Amilase.	<a href="https://doi.org/10.1016/j.anifeedsci.2023.115642">https://doi.org/10.1016/j.anifeedsci.2023.115642</a>
Amorochó et al., 2024	Grupos de enzimas isoladas: - Protease Livre (FP); - Protease Protegida (PP); - Carboidrase Livre (FC); - Carboidrase Protegida (PC).	<a href="http://dx.doi.org/10.24966/AAF-5523/100092">http://dx.doi.org/10.24966/AAF-5523/100092</a>
	Mix de enzimas: - Protease Livre; - Carboidrases (MFPFC).	

---

Fonte: Própria (2025).



Os trabalhos incluem uma variedade de enzimas, como fitase, xilanase, protease e  $\beta$ -glucanase, aplicadas em dietas ricas em ingredientes vegetais, com ênfase na melhoria da digestibilidade e no aproveitamento de nutrientes. As pesquisas incluem tanto estudos experimentais, quanto de campo, em diferentes condições de cultivo, o que oferece uma perspectiva ampla sobre a aplicação.

As espécies estudadas incluem peixes de água doce, como a tilápia-do-nylo (*Oreochromis niloticus*) e a carpa comum (*Cyprinus carpio*), demonstrando em sua maioria que a suplementação alimentar com enzimas exógenas resulta em um aumento significativo na digestibilidade de nutrientes, consequentemente promovendo melhores índices de crescimento e ganho de peso. Adicionalmente, foram investigados a interação entre diferentes tipos de enzimas, observando possíveis efeitos sinérgicos. Desta forma, uma abordagem comparativa entre dietas com e sem enzimas, em combinação com análise dos parâmetros zootécnicos e bioquímicos, fornece uma visão abrangente sobre os benefícios da utilização destas enzimas na aquicultura, destacando seu potencial para melhorar a eficiência alimentar e a sustentabilidade da produção.

### **Tipos de enzimas utilizadas**

Há uma grande diversidade de enzimas exógenas, sendo frequentemente utilizadas para melhorar o desempenho zootécnico de peixes alimentados com dietas à base de ingredientes vegetais. De forma geral, a xilanase destacou-se como uma das enzimas mais avaliadas, devido à sua capacidade de hidrolisar arabinoxilanos, componentes presentes nas paredes celulares de cereais e leguminosas. Estudos como o de Hassaan *et al.* (2019) e Maas *et al.* (2020) constataram que o uso dessa enzima ocasionou a melhoria da digestibilidade de nutrientes e no aumento do crescimento de tilápias-do-nylo (*Oreochromis niloticus*).

Outro grupo de enzimas amplamente investigado foi o das fitases, cuja principal função é quebrar o ácido fítico presente nos ingredientes vegetais. A fitase, além de ser um fator antinutricional, sequestra minerais essenciais, dificultando sua biodisponibilidade. Maas *et al.* (2021) e Negm *et al.* (2024) afirmaram que a suplementação de fitase melhorou significativamente a digestibilidade de fósforo, cálcio e proteínas em dietas para tilápias, promovendo efeitos positivos na saúde intestinal e na redução de impactos ambientais relacionados à excreção de fósforo não digerido.

A  $\beta$ -glucanase também se destacou devido à sua habilidade de degradar  $\beta$ -glucanos presentes

em cereais como a cevada e o trigo. Estudos como os de De Brito et al. (2021) e Maas et al. (2021) descobriram que essa enzima, frequentemente combinada com a xilanase, contribuiu para aumentar a energia metabolizável das dietas e melhorar a eficiência na conversão alimentar. Nas dietas ricas em fibras, a  $\beta$ -glucanase desempenha um papel importante na otimização da digestão, facilitando a absorção dos nutrientes.

A protease foi investigada em diversos estudos, principalmente em dietas que utilizam fontes proteicas alternativas a farinha de peixe, como subprodutos de aves e vegetais. Maryam *et al.* (2022) avaliaram os efeitos desta enzima em dietas para a carpa rohu (*Labeo rohita*), observando aumento na digestibilidade de proteínas e melhora no crescimento. De forma similar, Monier *et al.* (2020) relatou resultados positivos com a suplementação de protease em carpa comum (*Cyprinus carpio*), destacando seu impacto na redução do custo das rações ao melhorar a eficiência alimentar.

Além das enzimas já mencionadas, carboidrases como amilase e mananase, também foram amplamente avaliadas. Com isso, Dawood *et al.* (2022) exploraram o uso de  $\beta$ -mananase em dietas ricas em proteínas vegetais para carpas, observando melhorias significativas no crescimento, na digestibilidade de carboidratos e na expressão de genes relacionados ao metabolismo energético. A amilase, por sua vez, apesar de menos frequente apresentou um papel relevante em dietas com alta inclusão de carboidratos facilmente digeríveis, contribuindo para a redução da energia excretada.

Complexos enzimáticos comerciais, como o Allzyme®, também foram avaliados (Furuya *et al.*, 2023) em dietas para tilápias. Estes complexos, que incluem várias enzimas como xilanase, fitase e  $\beta$ -glucanase, mostraram resultados promissores na melhoria da digestibilidade de proteínas e carboidratos, além de contribuir para o desempenho zootécnico. A abordagem combinada apresenta maior eficácia em dietas complexas, onde coexistem diferentes fatores antinutricionais.

A tanase, enzima que degrada taninos, compostos antinutricionais comumente encontrados em ingredientes vegetais, apesar de em menor número também apresentou resultados promissores na suplementação de dietas para peixes. Neste sentido, Yao *et al.* (2019) observaram que a suplementação com tanase melhorou a absorção de proteínas, carboidratos e lipídios em carpas, além de promover uma melhor saúde intestinal. Logo, apesar de menos explorada, a tanase mostrou potencial em dietas ricas em alimentos como sorgo e farelo de algodão.

A utilização de carboidrases específicas para diferentes substratos reforça a importância de entender a composição das dietas. Neste sentido, Martinez *et al.* (2019) avaliaram a eficácia de carboidrases em dietas ricas em ingredientes vegetais para tainhas (*Mugil cephalus*), relatando melhorias na absorção de nutrientes e no desempenho zootécnico. De forma semelhante, Amorocho *et al.* (2024) destacaram o impacto positivo do uso de proteases e carboidratases em dietas para tilápias, confirmando a eficácia da sinergia entre essas enzimas.

## Efeito na digestibilidade

A inclusão de enzimas exógenas em rações para peixes tem demonstrado resultados promissores na melhoria da digestibilidade de nutrientes, especialmente em dietas formuladas com ingredientes vegetais. Esses ingredientes, embora sustentáveis e economicamente vantajosos, frequentemente contêm fatores antinutricionais que comprometem a eficiência alimentar. Nesse contexto, a suplementação com enzimas como fitase, xilanase e protease tem se mostrado eficaz na manipulação de compostos complexos, promovendo maior disponibilidade de nutrientes. Estudos, como os realizados por Maas *et al.* (2020), evidenciaram que a adição de fitase e xilanase em dietas contendo farelo de girassol aumentou significativamente a digestibilidade de proteínas e minerais, contribuindo para o desempenho zootécnico.

A fitase é amplamente utilizada para mitigar os efeitos do ácido fítico, um antinutriente abundante em ingredientes vegetais, este composto limita a biodisponibilidade de minerais essenciais, como fósforo e cálcio, além de contribuir para a poluição ambiental pela excreção desses nutrientes não absorvidos. Desta forma, Negm *et al.* (2024) destacaram que a suplementação com fitase em dietas para tilápias aumentou a concentração de fósforo e impediu sua excreção, tornando a prática mais sustentável. Além disto, os autores afirmaram que a fitase melhorou a digestibilidade dos aminoácidos, promovendo um melhor aproveitamento das fontes proteicas vegetais.

Outra enzima relevante é a xilanase, que atua na manipulação de arabinoxilanos presentes em cereais como milho e trigo. Esses polissacarídeos não amiláceos aumentam a concentração do quimo, prejudicando a absorção de nutrientes. Hassaan *et al.* (2019) e Luo *et al.* (2020) afirmam que a suplementação com xilanase em dietas para tilápias e corvinas juvenis reduz os efeitos prejudiciais, melhorando a digestibilidade de carboidratos e proteínas, além de contribuir para a saúde intestinal, criando um ambiente mais favorável para a absorção de nutrientes.

A  $\beta$ -glucanase, frequentemente combinada com a xilanase, tem demonstrado efeitos sinérgicos na melhoria da digestibilidade de dietas ricas em fibras. Brito *et al.* (2021) avaliaram essa combinação em dietas à base de subprodutos vegetais e observaram um aumento significativo na energia metabolizável e na digestibilidade de aminoácidos essenciais. Essa estratégia é especialmente relevante em dietas para tilápias, que frequentemente utilizam alternativas de menor custo, e conseqüentemente de menor valor nutritivo. Assim, a combinação de carboidratases amplia o aproveitamento energético das rações.

As proteases também desempenham papel fundamental na digestão de proteínas, especialmente em dietas à base de proteínas vegetais ou subprodutos animais. Maryam *et al.* (2022) demonstraram que a inclusão de protease em dietas para carpa rohu (*Labeo rohita*) melhorou a digestibilidade proteica, aumentando a eficiência alimentar e reduzindo os custos com fontes proteicas de alta qualidade. Monier *et al.* (2020), por sua vez, destacou que a suplementação com protease em dietas para carpas contribuiu para o crescimento mais rápido dos peixes, confirmando o potencial dessa enzima em aumentar a eficiência do uso de proteínas.

Além das enzimas isoladas, os complexos enzimáticos têm sido amplamente investigados devido à sua capacidade de atuar sobre múltiplos fatores antinutricionais. Furuya *et al.* (2023) avaliaram um complexo comercial contendo xilanase, fitase e  $\beta$ -glucanase em dietas para tilápias e observaram melhorias significativas na digestão de proteínas, carboidratos e lipídios. Essas combinações oferecem flexibilidade no manejo alimentar, permitindo a formulação de dietas compostas por uma maior variedade de ingredientes. Desta forma, a utilização de complexos enzimáticos pode ser uma estratégia versátil e eficiente para a aquicultura.

Enzimas como a  $\beta$ -mananase também são destacadas no manejo de dietas ricas em farelo de soja, um ingrediente comum em rações aquícolas. Dawood *et al.* (2022) relataram que a adição desta enzima aumentou a digestibilidade dos carboidratos, otimizando o aproveitamento energético de dietas ricas em proteínas vegetais. Esse efeito é particularmente importante em sistemas intensivos de cultivo, nos quais o desempenho alimentar está diretamente relacionado à produtividade e ao custo-benefício das dietas.

Outra abordagem relevante envolve o uso de tanase, uma enzima que degrada taninos, compostos presentes em ingredientes como sorgo e farelo de algodão. Yao *et al.* (2019) observaram que a suplementação com tanase em dietas para carpas aumentou a digestibilidade de proteínas e lipídios, além de promover benefícios à saúde intestinal. Esse avanço evidencia o potencial da tanase para superar os desafios associados às dietas ricas em taninos, ampliando as possibilidades de uso de ingredientes alternativos e não convencionais.

Estudos com carboidrases, proteases e complexos enzimáticos, como os realizados por Martínez *et al.* (2019) e Amorcho *et al.* (2024), reforçam a eficácia dessas tecnologias em dietas para diferentes espécies de peixes. A escolha da enzima ou combinação ideal deve considerar a composição da dieta, a espécie-alvo e os objetivos nutricionais do sistema de cultivo. Essa abordagem estratégica é essencial para maximizar os benefícios da suplementação enzimática, tanto em termos de desempenho zootécnico quanto de sustentabilidade ambiental.

Portanto, o impacto das enzimas exógenas na digestibilidade é amplamente respaldado pela literatura, demonstrando benefícios claros no aproveitamento de nutrientes, na saúde dos peixes e na

redução de custos alimentares. Além disso, os avanços na formulação de rações suplementadas com enzimas apontam para uma aquicultura mais eficiente e sustentável.

### **Efeito no ganho de peso**

A suplementação com enzimas exógenas tem mostrado efeitos positivos no ganho de peso de peixes alimentados com dietas vegetais, especialmente quando essas dietas contêm altos níveis de compostos antinutricionais que limitam a absorção de nutrientes. Diversos estudos demonstraram que a adição de enzimas, como xilanase, fitase e protease, melhora o desempenho zootécnico das espécies aquáticas. Por exemplo, Maas *et al.* (2020) observaram um aumento significativo no ganho de peso de tilápias alimentadas com dietas suplementadas com fitase e xilanase, em comparação com grupos que não receberam enzimas. Esses resultados indicam que a suplementação enzimática contribui para um melhor aproveitamento das fontes alimentares.

O efeito positivo da xilanase no ganho de peso foi destacado por Hassaan *et al.* (2019), que observou melhorias significativas no desempenho de tilápias alimentadas com dietas contendo xilanase. Este aumento no ganho de peso pode ser atribuído à maior digestibilidade dos carboidratos presentes nos ingredientes vegetais, como farelo de girassol. A ação da xilanase reduz a consistência do quimo, permitindo uma melhor absorção, o que, conseqüentemente, favorece o crescimento. Tais resultados reforçam a importância da inclusão de xilanase em dietas ricas em fibras.

Em estudos realizados com carpas, Monier *et al.* (2020) observou que a suplementação com protease também promoveu um ganho de peso superior em comparação com as dietas sem enzimas. A protease auxilia na digestão de proteínas vegetais, melhorando a utilização das fontes proteicas, especialmente em dietas com altos teores de farelo de soja, que é a fonte proteica de origem vegetal mais utilizada em rações para aquicultura. O aumento na eficiência digestiva contribui diretamente para um maior ganho de peso, refletindo na melhoria do desempenho zootécnico da espécie.

Em relação às espécies de peixes, o efeito das enzimas no ganho de peso está associado a diversos fatos, tais como: espécie, qualidade dos ingredientes, quantidade e diversidade de enzimas aplicadas na alimentação e fatores ambientais. Em juvenis de corvina amarela (*Larimichthys crocea*), a  $\beta$ -glucanase se mostrou eficaz no aumento do ganho de peso em dietas ricas em fibras, assim como Brito *et al.* (2021) que observaram que a suplementação com  $\beta$ -glucanase melhorou a digestibilidade e o ganho de peso de tilápias alimentadas com dietas ricas em sorgo e farelo de soja. A ação da  $\beta$ -glucanase na manipulação dos  $\beta$ -glucanos presentes em alguns ingredientes vegetais facilita a absorção de nutrientes, promovendo um aumento no crescimento dos peixes.

Além da  $\beta$ -glucanase, a  $\beta$ -mananase também apresentou eficiência quando utilizadas em

dietas a base de proteína vegetal. Dawood *et al.* (2022) demonstraram que a suplementação com  $\beta$ -mananase em dietas baseadas em proteínas vegetais aumentou significativamente o ganho de peso de carpa comum (*Cyprinus carpio*).

Os resultados também indicam que a adição de enzimas exógenas pode ser uma estratégia eficaz para melhorar o ganho de peso em condições de cultivo intensivo, onde a eficiência alimentar é crucial, principalmente em sistemas de produção onde a demanda por ração é alta e os custos precisam ser otimizados, a suplementação enzimática oferece uma solução viável.

Além disso, a utilização de enzimas exógenas pode reduzir a necessidade de ingredientes de alta qualidade na dieta, uma vez que as enzimas aumentam a biodisponibilidade dos nutrientes presentes em ingredientes não convencionais, proporcionando uma alternativa mais econômica, sem comprometer o ganho de peso dos peixes. Tais resultados positivos são confirmados por estudos como os de Soltan *et al.* (2023), que observaram que a inclusão parcial de farinha de fontes vegetais, com suplementação de enzimas, não prejudica o crescimento dos peixes, reforçando que essa estratégia pode ser implementada em dietas para peixes.

Portanto, os efeitos das enzimas exógenas no ganho de peso são extremamente positivos, contribuindo para a melhoria do desempenho zootécnico, especialmente em dietas com fontes vegetais e não convencionais. As enzimas exógenas promovem uma melhor digestibilidade dos nutrientes, o que resulta em uma maior eficiência alimentar e ganho de peso. A utilização de enzimas como fitase, xilanase, protease e  $\beta$ -glucanase, seja isoladamente ou em complexos, tem mostrado grandes avanços na aquicultura, evidenciando seu potencial para tornar a produção mais eficiente e sustentável.

### **Limitações e Perspectivas**

Apesar dos resultados positivos observados nesta revisão sistemática quanto à eficácia da suplementação com enzimas exógenas na alimentação de peixes, algumas limitações precisam ser consideradas. A principal limitação encontrada refere-se à heterogeneidade metodológica dos estudos selecionados, uma vez que diferenças nas espécies de peixes utilizadas, nos tipos e concentrações de enzimas aplicadas, na formulação das dietas e nas condições de cultivo podem influenciar os resultados obtidos e dificultar a comparação direta entre os trabalhos. Além disso, a maioria dos estudos analisou apenas os efeitos da suplementação a curto prazo, havendo uma carência de investigações que avaliem os impactos a longo prazo na saúde dos animais, na qualidade da carne do pescado e na viabilidade econômica em sistemas de produção em larga escala.

Outra limitação importante é a escassez de dados sobre a estabilidade das enzimas em diferentes condições ambientais, como variações de temperatura e qualidade da água, fatores que

podem afetar a eficácia dos aditivos enzimáticos no cultivo intensivo. Observa-se também que muitos estudos focam em poucos parâmetros zootécnicos, sem explorar de forma mais ampla indicadores de saúde intestinal, imunidade ou metabolismo energético.

Diante dessas limitações, futuras pesquisas devem priorizar estudos de longa duração que avaliem não apenas o desempenho zootécnico imediato, mas também a sustentabilidade da suplementação enzimática ao longo do ciclo produtivo dos peixes. Investigações que explorem a combinação sinérgica de diferentes classes de enzimas, adaptadas à composição das dietas alternativas e às espécies específicas, poderão ampliar ainda mais a eficiência nutricional. Além disso, estudos de análise de custo-benefício serão fundamentais para validar a viabilidade econômica da aplicação comercial dessas tecnologias na aquicultura moderna.

## CONCLUSÃO

A utilização de enzimas exógenas configura uma estratégia eficiente e inovadora para melhorar a eficiência alimentar, o desempenho zootécnico e a saúde intestinal dos peixes, especialmente em dietas formuladas com ingredientes vegetais e não convencionais. Com base nos 15 estudos incluídos nesta revisão sistemática, foi possível observar que a suplementação enzimática promoveu melhorias significativas na digestibilidade de nutrientes, no ganho de peso e na conversão alimentar dos peixes.

Assim, a suplementação com enzimas como fitase, xilanase,  $\beta$ -glucanase e protease demonstrou ser uma ferramenta promissora para otimizar o aproveitamento de dietas alternativas, reduzir custos produtivos e minimizar impactos ambientais relacionados à excreção de nutrientes não absorvidos. Contudo, ainda são necessários estudos que avaliem o impacto da suplementação enzimática em diferentes condições de cultivo, a longo prazo, e seus efeitos sobre a qualidade do pescado e a viabilidade econômica em escala comercial. O potencial das enzimas exógenas na aquicultura é promissor, e a pesquisa contínua nesse campo pode levar ao desenvolvimento de soluções inovadoras, mais sustentáveis e economicamente viáveis para a produção aquícola.

## Referências

AMOROCHO, A. K. et al. Growth Performance and Digestibility Using Proteases and Carbohydrases in Diets for Nile Tilapia *Oreochromis niloticus*. **J Aquac Fisheries**, v. 8, n. 092, p. 2, 2024.

AROMATARIS, E; PEARSON, A. The systematic review: an overview. **AJN The American Journal of Nursing**, v. 114, n. 3, p. 53-58, 2014.

BRITO, J. M. et al. Top-spraying xylanase and  $\beta$ -glucanase improves digestible energy content and

optimizes protein and amino acids digestibility in high-fiber diet fed to growing Nile tilapia. **Animal Feed Science and Technology**, v. 278, p. 114991, 2021.

CASTILLO, S.; GATLIN III, D. M. Dietary supplementation of exogenous carbohydrase enzymes in fish nutrition: A review. **Aquaculture**, v. 435, p. 286-292, 2015.

DAWOOD, A.; SHI, W. Effect of dietary  $\beta$ -mannanase supplementation on growth performance, digestibility, and gene expression levels of *Cyprinus carpio* (Linnaeus) fingerlings fed a plant protein-rich diet. **Frontiers in Veterinary Science**, v. 9, p. 956054, 2022.

FURUYA, W. M. et al. Commercial enzyme complex (Allzyme®) improves feed digestibility for pre-growout Nile tilapia. **Ciência e Agrotecnologia**, v. 47, p. e000923, 2023.

GOPALRAAJ, J. et al. The effect of dietary supplementation of proteases on growth, digestive enzymes, oxidative stress, and intestinal morphology in fishes—A review. **Aquaculture International**, v. 32, n. 1, p. 745-765, 2024.

HASSAAN, M. S. et al. Exogenous xylanase improves growth, protein digestibility and digestive enzymes activities in Nile tilapia, *Oreochromis niloticus*, fed different ratios of fish meal to sunflower meal. **Aquaculture Nutrition**, v. 25, n. 4, p. 841-853, 2019.

HOSEINIFAR, S. H.; DADAR, M.; RINGØ, E. Modulation of nutrient digestibility and digestive enzyme activities in aquatic animals: the functional feed additives scenario. **Aquaculture Research**, v. 48, n. 8, p. 3987-4000, 2017.

KROGDAHL, Å.; HEMRE, G.-I.; MOMMSEN, T. P. Carbohydrates in fish nutrition: digestion and absorption in postlarval stages. **Aquaculture nutrition**, v. 11, n. 2, p. 103-122, 2005.

LIANG, Q. et al. Application of enzymes as a feed additive in aquaculture. **Marine Life Science & Technology**, v. 4, n. 2, p. 208-221, 2022.

LUO, J. et al. Effects of dietary exogenous xylanase supplementation on growth performance, intestinal health, and carbohydrate metabolism of juvenile large yellow croaker, *Larimichthys crocea*. **Fish physiology and biochemistry**, v. 46, p. 1093-1110, 2020.

MAAS, R. M. et al. Effect of exogenous enzymes (phytase and xylanase) supplementation on nutrient digestibility and growth performance of Nile tilapia (*Oreochromis niloticus*) fed different quality diets. **Aquaculture**, v. 529, p. 735723, 2020.

MACÊDO, É. S. et al. Effect of xylanase and  $\beta$ -glucanase on growth performance, activity of digestive enzymes, digestibility, and microbiome diversity of juvenile Nile tilapia fed soybean meal and/or sorghum distillers dried grains with solubles-based diets. **Aquaculture**, v. 565, p. 739134, 2023.

MARTÍNEZ, F. P. et al. Evaluation of enzyme additives on the nutritional use of feeds with a high content of plant ingredients for *Mugil cephalus*. **Fishes**, v. 4, n. 4, p. 56, 2019.

MARYAM et al. The effectiveness of protease supplemented poultry by-product meal-based diet on growth, nutrient digestibility and digestive enzyme activities of rohu (*Labeo rohita*). **Aquaculture Research**, v. 53, n. 10, p. 3841-3852, 2022.

MONIER, M. N. Efficacy of dietary exogenous enzyme supplementation on growth performance, antioxidant activity, and digestive enzymes of common carp (*Cyprinus carpio*) fry. **Fish physiology and biochemistry**, v. 46, n. 2, p. 713-723, 2020.

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.

NADEEM, H. et al. Effects of exogenous xylanase supplementation in plant-based diets on growth performance, nutrient digestibility and digestive enzyme activities of juvenile mori (*Cirrhinus mrigala*). **Animal Feed Science and Technology**, v. 291, p. 115391, 2022.

NEGM, A. E. et al. Effects of phytase enzyme supplementation on growth performance, intestinal morphology and metabolism in Nile tilapia (*Oreochromis niloticus*). *Journal of Animal Physiology and Animal Nutrition*, 2024.

PAGE, M. J. et al. The PRISMA 2020 statement: an updated guideline for reporting systematic reviews. **Bmj**, v. 372, 2021.

POLLOCK, A.; BERGE, E. How to do a systematic review. **International Journal of Stroke**, v. 13, n. 2, p. 138-156, 2018.

SADEK, M. F.; EL DEEB, K. A. Effect of exogenous enzymes supplementation with different levels of fiber in diets on growth performance, feed utilization and health of African catfish *Clarias gariepinus*. **Egyptian Journal of Nutrition and Feeds**, v. 24, n. 3, p. 439-450, 2021.

SAMPATH, W. W. H. A. et al. Roles of dietary taurine in fish nutrition. **Marine Life Science & Technology**, v. 2, n. 4, p. 360-375, 2020.

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.

SHAH, S. Zakir Hussain et al. Roles of Dietary Supplementation of Exogenous Protease in Low Fishmeal Aquafeed– A Mini Review. **Annals of Animal Science**, v. 24, n. 1, p. 27-39, 2024.

SOLTAN, N. M. et al. Partial dietary fishmeal replacement with mixture of plant protein sources supplemented with exogenous enzymes modify growth performance, digestibility, intestinal morphology, haemato-biochemical and immune responses for Nile tilapia, *Oreochromis niloticus*. **Animal Feed Science and Technology**, v. 299, p. 115642, 2023.

STERNE, J. A. C et al. RoB 2: a revised tool for assessing risk of bias in randomised trials. **bmj**, v. 366, 2019.

VELÁZQUEZ-DE-LUCIO, B. S. et al. Exogenous enzymes as zootechnical additives in animal feed: a review. **Catalysts**, v. 11, n. 7, p. 851, 2021.

ZHANG, Bi-Yun et al. New insights on intestinal microorganisms and carbohydrate metabolism in fish.