




## CAPÍTULO 1

# NUTRIÇÃO FUNCIONAL E SUSTENTABILIDADE NA AQUICULTURA: O PAPEL DOS PROBIÓTICOS E POSBIÓTICOS

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.946112621011>

Giulia Beatrice Ferreira;

Maísa de Lima Lasala;

Gabriel Fernandes Alvez Jesus

Adolfo Jatobá

**RESUMO:** A aquicultura tem assumido papel estratégico na produção global de alimentos, exigindo o desenvolvimento de sistemas produtivos que conciliem eficiência, sanidade e sustentabilidade ambiental. Nesse contexto, a nutrição funcional destaca-se como uma abordagem fundamental para a promoção da saúde dos organismos cultivados e para a melhoria do desempenho zootécnico. Entre os aditivos nutricionais empregados na aquicultura, os probióticos e os posbióticos têm recebido crescente atenção devido aos seus efeitos benéficos sobre a microbiota intestinal, o sistema imunológico e a estabilidade dos sistemas de cultivo. Os probióticos, definidos como microrganismos vivos administrados em quantidades adequadas, atuam principalmente na modulação da microbiota intestinal e na inibição de microrganismos patogênicos, contribuindo para melhor aproveitamento dos nutrientes e maior resistência ao estresse. Por sua vez, os posbióticos consistem em metabólitos e componentes celulares derivados de microrganismos, apresentando vantagens relacionadas à maior estabilidade, segurança e padronização dos efeitos. Este capítulo aborda os fundamentos conceituais, os mecanismos de ação e as aplicações de probióticos e posbióticos na aquicultura, com ênfase em sua contribuição para a saúde intestinal, o desempenho produtivo e a sustentabilidade dos sistemas aquícolas. A integração dessas estratégias nutricionais representa

uma alternativa promissora para reduzir a dependência de antibióticos e promover práticas mais responsáveis e eficientes na produção aquícola.

**PALAVRAS-CHAVES:** Aquicultura; Nutrição funcional; Probióticos; Posbióticos; Saúde intestinal; Sustentabilidade.

## Functional Nutrition and Sustainability in Aquaculture: The Role of Probiotics and Postbiotics

**ABSTRACT:** Aquaculture has become a strategic sector for global food production, requiring the development of production systems that combine efficiency, animal health, and environmental sustainability. In this context, functional nutrition has emerged as a key approach to promote the health of cultured organisms and improve zootechnical performance. Among the nutritional additives used in aquaculture, probiotics and postbiotics have received increasing attention due to their beneficial effects on intestinal microbiota, immune responses, and system stability. Probiotics, defined as live microorganisms administered in adequate amounts, primarily act by modulating the intestinal microbiota and inhibiting pathogenic microorganisms, thereby improving nutrient utilization and increasing resistance to stress. Postbiotics, in turn, consist of microbial metabolites and cellular components and offer advantages related to greater stability, safety, and standardization of effects. This chapter discusses the conceptual foundations, mechanisms of action, and applications of probiotics and postbiotics in aquaculture, with emphasis on their contribution to intestinal health, productive performance, and sustainability of aquaculture systems. The integration of these nutritional strategies represents a promising alternative to reduce antibiotic dependence and to promote more responsible and efficient practices in aquaculture production.

**KEY-WORDS:** Aquaculture; Functional nutrition; Probiotics; Postbiotics; Intestinal health; Sustainability.

## INTRODUÇÃO

Com o aumento da população humana mundial, podendo chegar em 2050 a 9,8 bilhões de indivíduos, a demanda por alimentos será maior, neste contexto, a aquicultura torna-se um pilar fundamental na cadeia de suprimentos alimentares, representando um dos setores de crescimento mais rápido na produção de proteína (Contente *et al.*, 2024).

Os alimentos de origem animal aquáticos possuem um elevado valor nutricional, como altos valores de proteína, omega-3, ácidos graxos, minerais e vitaminas, sendo

um potencial contribuinte para a segurança alimentar, nutricional e redução de pobreza, em especial por meio da empregabilidade do setor (FAO, 2024b).

A produção de pescado vem aumentando nos últimos anos, assim como, o consumo *per capita*. Segundo a FAO (2024), no ano de 2022, a produção mundial atingiu 130,9 milhões de toneladas, movimentando cerca de USD 312,8 bilhões. Esses resultados refletem o consumo global de pescado, o qual evoluiu de 9,1 kg no ano de 1961 para 20,7 kg *per capita* em 2022 (FAO, 2024).

No Brasil, em 2022 a produção da aquicultura foi de aproximadamente 738 mil toneladas, representando cerca de 14,9% da produção nas Américas, com cerca de 616 mil toneladas de aquicultura continental e 113 mil toneladas de crustáceos (FAO, 2024). Considerando a produção de peixes de cultivo, no ano de 2024, o país alcançou uma produção de 968.745 toneladas (PEIXEBR, 2025), representando uma atividade econômica em ascensão no país.

Atualmente a atividade de aquicultura apresenta alguns riscos, em especial os relacionados ao meio ambiente, como a poluição das águas pela descarga de efluentes das produções; o uso excessivo de compostos antimicrobianos, incluindo antibióticos, desinfetantes e outros produtos químicos para controle de doenças; uso excessivo de água doce para enchimentos e trocas de água diversos; e a disseminação de doenças (Austin *et al.*, 2022). Por conta dessas ameaças, se faz necessário a busca por práticas mais sustentáveis para a produção aquícola

As práticas sustentáveis da aquicultura podem ser implementadas de várias formas, como por exemplo: pelo policultivo; sistema de bioflocos; processos que busquem a eficiência energética; aplicações de nanotecnologia e biotecnologia (probióticos, biorremediadores, fitobióticos); bem-estar animal; sistemas de recirculação; nutrição adequada; zelo pela sanidade; gestão da qualidade de água; aumento da capacidade de carga do sistema; atenção às mudanças climáticas; medicamentos à base de plantas; entre outras (Austin *et al.*, 2022).

Desse modo, o uso de probióticos e posbióticos são práticas sustentáveis na aquicultura, garantindo uma produção mais eficiente e sustentável. Pois, além de promoverem a sustentabilidade dos sistemas produtivos, esses compostos atuam de forma integrada como uma estratégia complementar e promissora para o controle de doenças e aumento da produtividade na aquicultura (Contente *et al.*, 2024). Entre microrganismos utilizados, as bactérias ácido lácticas (BAL), constituem o principal grupo proposto como probiótico para aplicação na aquicultura, tendo recebido crescente atenção ao longo dos anos (Contente *et al.*, 2024). Além disso, os compostos posbóticos também tem se mostrado uma alternativa atual, com efeitos antibacterianos e específicos mecanismos de ação (Sudhakaran *et al.*, 2022).

A aquicultura consolida-se como um setor estratégico e sustentável, contribuindo significativamente para a segurança alimentar e para o fornecimento de proteína à crescente população humana mundial (AUSTIN, *et al.*, 2022). Dessa forma, se torna fundamental o desenvolvimento de estratégias capazes de garantir uma produção mais eficiente e sustentável.

### Importância da produção aquícola sustentável

A produção sustentável pode ser definida como um conceito integrativo que envolve aspectos ambientais, sociais e econômicos, os quais atuam como pilares da sustentabilidade (Garlock *et al.*, 2024; Hansmann; Mieg; Frischknecht, 2012), sendo compreendida como uma prática socialmente justa e eticamente aceita pela sociedade (Hansmann; Mieg; Frischknecht, 2012). Na aquicultura esses aspectos manifestam-se de diferentes formas, todavia convergem para um único conceito: produzir com impacto socioambiental mínimo e sendo economicamente viável.

Os aspectos econômicos são influenciados por fatores relacionados ao mercado de produção e comercialização, como valor de venda dos produtos, compra de insumos e o retorno financeiro (Garlock *et al.*, 2024), considerando ainda a análise e previsão de preços, concorrência de mercado, oferta e demanda de produtos (Martinelli *et al.*, 2019). Os aspectos sociais relacionam-se a geração de empregos, ao consumo de alimentos saudáveis e seguros pela população e às políticas públicas (Martinelli *et al.*, 2019), combate à fome, à pobreza e à insegurança alimentar (Garlock *et al.*, 2024). Por fim, os aspectos ambientais abrangem a alimentação dos animais, uso de recursos hídricos, os impactos na vida silvestre, o solo e a química do ambiente (Hansmann; Mieg; Frischknecht, 2012; Garlock *et al.*, 2024). A aquicultura deve buscar o equilíbrio entre os pilares econômico, ecológico e social (Garlock *et al.*, 2024). Este equilíbrio pode ser obtido através do desenvolvimento de tecnologias que reduzam o uso de recursos hídricos, energéticos, naturais e financeiros, minimizem a poluição ambiental, e sempre que possível, promovam o aumento da produtividade e do retorno financeiro (Mugwanya *et al.*, 2021).

A produção aquícola continental e marinha no Brasil aumentou significativamente nos últimos anos, apesar disso, ainda é alvo de críticas devido a adoção de práticas ambientais e sociais consideradas insustentáveis (Valenti *et al.*, 2021), muitas vezes justificadas pela busca de objetivos exclusivamente econômicos (Martinelli *et al.*, 2019). Essas práticas são vistas principalmente em sistemas de produção intensiva, com destaque ao descarte de efluentes no meio ambiente (Mugwanya *et al.*, 2021). Além disso, o aumento das densidades de cultivo somados às más práticas de produção, reduzem a qualidade da água e aumentam os níveis de estresse nos animais cultivados, o que os torna mais susceptíveis a doenças, gerando impactos negativos no ambiente no qual a produção está inserida (Debnath *et al.*, 2023).

Um dos principais objetivos da sustentabilidade na aquicultura é garantir práticas alimentares sustentáveis e saudáveis para os animais. As espécies que necessitam de alimentação artificial representam mais da metade da produção aquícola global, o que torna necessário a adoção de práticas e tecnologias que incrementem a produtividade, e simultaneamente reduzam os custos e o desperdício de ração, bem como garantam o fornecimento sustentável de ingredientes e a preservação dos ecossistemas e da biodiversidade. Nesse contexto, a melhoria das práticas de manejo alimentar é fundamental para a intensificação sustentável da aquicultura, promovendo o desenvolvimento e o uso de ingredientes, provenientes de diferentes as fontes de origem sustentável, em formulações de ração. Esses avanços visam a obtenção de rações acessíveis, seguras e nutricionalmente adequadas, além de contribuir para o aumento da eficiência alimentar e redução dos impactos ambientais associados à atividade aquícola (FAO, 2024).

## Aditivos alimentares

O crescimento sustentável da aquicultura requer a adoção de práticas responsáveis que priorizem a preservação ambiental e o bem-estar animal, com avanços contínuos nas áreas de nutrição e sanidade aquícola (Odu-Onikosi *et al.*, 2024). Porém, a crescente demanda na produção de peixes vem estimulando o desenvolvimento de tecnologias que permitem a criação de peixes de maneira cada vez mais intensiva. Em sistemas de produção intensivos, os animais cultivados dependem, em grande parte ou totalmente, de dietas artificiais (rações), e muitas vezes estão mais sujeitos às condições estressantes, principalmente em decorrência da deterioração da qualidade de água, o que pode levar à redução do crescimento, supressão imunológica e suscetibilidade a doenças infecciosas (Kiron, 2015).

Nutrição adequada e boas práticas de manejo são dois dos requisitos mais importantes na produção sustentável e bem-sucedida de peixes em sistema de cultivo intensivo Kiron, 2015). As rações para aquicultura são formuladas com vários ingredientes e têm como objetivo suprir as necessidades nutricionais dos animais, para que possam desempenhar suas funções fisiológicas normais, as quais incluem a manutenção de um sistema imunológico, o crescimento e a reprodução (Encarnação, 2016).

Devido a intensificação e aos inúmeros desafios encontrados nos cultivos, estratégias como a utilização de aditivos alimentares nas dietas, podem ser utilizadas. Os aditivos alimentares são definidos como produtos usados na nutrição animal com o objetivo de melhorar a qualidade da dieta, melhorar o desempenho e a saúde (European Commission, 2025). Outras funcionalidades relacionadas aos aditivos alimentares estão ligadas ao aumento da palatabilidade da ração, melhora no

tempo de armazenamento da ração, redução da excreção de amônia e melhora no crescimento e bem-estar animal (Franz; Baser; Windisch, 2010).

Na aquicultura, os aditivos alimentares são compostos incorporados à ração com finalidade nutricional e funcional, atuando de forma preventiva e contínua para melhorar o desempenho zootécnico, a digestibilidade, a imunidade e o equilíbrio da microbiota, sem caráter curativo por si só. Já os tratamentos veterinários são utilizados com a finalidade terapêutica, atuando diretamente no controle ou eliminação de agentes causadores de doenças, sendo aplicados de forma pontual, sob indicação técnica, com exigências regulatórias mais rigorosas, e em geral, com período de carência para garantir a segurança do produto final (Franz; Baser; Windisch, 2010).

Assim, os aditivos alimentares, como probióticos e posbióticos, atuam de forma preventiva na saúde intestinal de peixes e camarões, por exemplo, contribuindo para o equilíbrio da microbiota, a integridade da mucosa intestinal e a melhora da digestibilidade e da absorção de nutrientes, reduzindo custos e a poluição ambiental. Esses aditivos auxiliam ainda na modulação do sistema imunológico, aumentando a resistência dos animais ao estresse e aos desafios sanitários, sem exercer ação terapêutica direta sobre os agentes patogênicos, diferindo dos tratamentos veterinários, que possuem finalidade curativa e atuação direta no controle de enfermidades (Franz; Baser; Windisch, 2010; Odu-Onikosi *et al.*, 2024).

## Probióticos

Os probióticos, atualmente, são um dos aditivos alimentares que despertam maior interesse na aquicultura. De acordo com a FAO (2001), probióticos são microrganismos vivos que, quando administrados em quantidades adequadas, conferem benefícios à saúde do hospedeiro. Esses microrganismos atuam principalmente por meio da modulação das populações microbianas associadas ao organismo do hospedeiro (Rahayu *et al.*, 2024).

Na aquicultura, a definição proposta por Verschuere *et al.* (2000) é amplamente adotada, que descreve os probióticos como suplementos microbianos vivos que promovem benefícios ao hospedeiro ao modularem a microbiota associada ou o ambiente em que estão inseridos. Esses benefícios incluem a otimização do aproveitamento dos nutrientes da dieta, a melhora na resposta a agentes patogênicos e a elevação da qualidade ambiental. Para serem considerados eficazes e seguros, os probióticos devem apresentar atividade antimicrobiana e não oferecer riscos ao hospedeiro, ao ambiente aquático ou à saúde humana (Rahayu *et al.*, 2024).

Os métodos de aplicação mais comuns dos probióticos para os animais aquáticos são: a adição via suplementação na ração; e a adição diretamente na coluna de água que os animais vivem (biorremediação) (Rahayu *et al.*, 2024).

Os principais benefícios decorrentes da administração de probióticos podem ser divididos em dois grupos, segundo Rahayu *et al.* (2024). O primeiro refere-se aos microrganismos que irão atuar no ambiente de cultivo, através da biorremediação e/ou biocontrole do ambiente de cultivo, promovendo o aumento da eficiência de processos como a nitrificação, desnitrificação, redução da matéria orgânica e controle de patógenos. O segundo grupo corresponde aos microrganismos que irão atuar no trato gastrointestinal, os quais irão contribuir para o aumento da resistência a doenças e ao estresse, melhoria da digestão, promoção de crescimento e da reprodução, fortalecimento da função imunológica e fonte de nutrientes ao organismo cultivado.

A ação dos probióticos/biorremediadores na aquicultura está relacionada à redução das concentrações de substâncias nocivas na água, como amônia, nitrito, matéria orgânica. Esses microrganismos são capazes de assimilar compostos nitrogenados e decompor a matéria orgânica, contribuindo para melhor qualidade de água e solo, dessa forma, favorecem a manutenção de um ambiente aquático mais saudável, promovendo melhores condições para o crescimento e desenvolvimento dos peixes (Mohammed *et al.*, 2025; Rahayu *et al.*, 2024).

Os probióticos, quando aplicados diretamente no ambiente de cultivo, exercem ação de biorremediação. A biorremediação é um processo biotecnológico que utiliza microrganismos para tratamento de poluentes ambientais, por meio da destruição, transformação ou imobilização de contaminantes (Mukilan *et al.*, 2024). Na aquicultura, os microrganismos biorremediadores, os probióticos, mais comuns utilizados pertencem ao gênero *Bacillus*, como *Bacillus subtilis*, *B. licheniformis*, *B. cereus* e *B. coagulans* (Elchelwar *et al.*, 2020). Já no trato intestinal, os probióticos atuam promovendo o equilíbrio e a saúde da microbiota intestinal, auxiliando na digestão e absorção de nutrientes, além de proteger o hospedeiro contra patógenos. Dessa forma, o manejo adequado da microbiota intestinal é crucial para otimizar a eficiência alimentar, o crescimento e a saúde dos animais cultivados (Qiu *et al.*, 2024). A microbiota intestinal apresenta caráter comensal, sendo composta por microrganismos benéficos ao hospedeiro, enquanto outras são patógenos em potencial (Du *et al.*, 2022). Dessa forma, a manutenção da saúde intestinal e equilíbrio da microbiota intestinal são fatores fundamentais para o desempenho e a saúde dos animais.

Entre os efeitos benéficos dos probióticos no trato intestinal, destacam-se o aumento da resposta imune, a competição por sítios de ligação, a produção de substâncias antibacterianas e a competição por nutrientes, mecanismos que fornecem proteção contra enfermidades (Ushakova *et al.*, 2021). Esses microrganismos promovem o aumento da diversidade microbiana nos intestinos de diferentes espécies de peixes e camarões (Mohammed *et al.*, 2025). Ao colonizarem a superfície

intestinal do hospedeiro, os probióticos formam uma barreira contra patógenos por meio da exclusão competitiva, reduzindo a incidência de infecções bacterianas prejudiciais (Rahayu *et al.*, 2024; Noshair *et al.*, 2023).

Outro mecanismo relevante é a modulação do sistema imune. A administração oral de probióticos estimula a imunidade de forma inespecífica, ativando células do sistema imunológico ou modulando a resposta inflamatória por meio da produção de citocinas anti-inflamatórias, o que contribui para o aumento da resistência a doenças e ao estresse ambiental (Pirarat *et al.*, 2011; Rahayu *et al.*, 2024).

A eficácia dos probióticos também está relacionada à composição de suas substâncias de superfície, como ácido fosfórico, peptídeos intactos, polissacarídeos capsulares e proteínas, que desempenham papel direto ou indireto na adesão e colonização do trato intestinal (Du *et al.*, 2022), representado pela figura 1. Quanto à resposta imune, destaca-se a atuação sobre o sistema imunológico inato, que constitui a primeira linha de defesa do organismo. Nesse contexto, os probióticos interagem com células imunes como células NK (*natural killer*), leucócitos polimorfonucleares e fagócitos mononucleares, promovendo a melhoria das respostas imunes inespecíficas (Amenyogbe *et al.*, 2020).



Figura 1. Ilustração representando o efeito dos probióticos nas vilosidades intestinais

Fonte: autores (2026).



A escolha de um probiótico adequado depende de diversos fatores, como a origem da cepa, sua segurança (não patogenicidade), e sua capacidade de resistir a condições adversas do ambiente e do trato gastrointestinal do hospedeiro, incluindo variações de temperatura, estresse oxidativo, pH ácido e altas concentrações de sais biliares (Contente et al., 2024). Além disso, é fundamental que o probiótico exerça efeitos benéficos comprovados no organismo hospedeiro (Balcázar et al., 2006). No entanto, a eficácia da aplicação também pode ser influenciada por variáveis como a espécie-alvo, a cepa utilizada, a dosagem, as condições ambientais do sistema aquático, o tempo de administração e o modo de suplementação (Nayak, 2010), além da frequência de fornecimento. Por exemplo, a administração em baixa frequência (25% ou menos) pode alterar a microbiota intestinal sem promover melhorias na saúde animal (Austin et al., 2022).

Os principais probióticos utilizados na aquicultura, adicionados à ração, pertencem aos gêneros *Lactobacillus*, *Carnobacterium*, *Vibrio* (por exemplo, *V. alginolyticus*), e *Pseudomonas*, além de outros gêneros como *Aeromonas* e *Flavobacterium* (Ushakova et al., 2021). As bactérias ácido-láticas (BAL) têm ganhado destaque na aquicultura devido ao seu perfil favorável tanto para a saúde animal quanto para o controle de patógenos no ambiente (Talpur et al., 2012). Dessa forma, a aplicação de probióticos sustentáveis configura-se como uma estratégia eficaz para melhorar a produtividade e o bem-estar dos organismos cultivados, promovendo avanços significativos na sustentabilidade da aquicultura (Rahayu et al., 2024).

## Bactérias ácido láticas

O grupo das bactérias ácido láticas (BAL) é considerado um dos principais candidatos para uso como probióticos na aquicultura (Contente et al., 2024). Esse interesse é impulsionado pela classificação geral na Presunção Qualificada de Segurança (QPS) pela Autoridade Europeia para a Segurança Alimentar (EFSA), suas propriedades antimicrobianas, o potencial imuno modulador e a competição por sítios de adesão e nutrientes no trato intestinal (Talpur et al., 2012; Dittmann et al., 2020) são fatores importantes.

As BAL possuem algumas características, tais como: bactérias não formadoras de esporos, Gram-positivas, catalase-negativas, desprovidas de citocromos, seguras, não aeróbias ou aerotolerantes, metabolicamente exigentes, tolerantes ao ácido e estritamente fermentativas (Tamang, 2014) tolerando pH mais ácidos, além de possuírem requisitos nutricionais complexos (Ringo et al., 2018). Adicionalmente, as BAL podem ser classificadas em homofermentativas (produzem ácido lático a partir de açúcares) e heterofermentativas (produzem ácido lático, ácido acético ou álcool, e dióxido de carbono) (Ringo et al., 2018).

Essas bactérias são amplamente distribuídas em plantas, alimentos e nichos ecológicos, como também, são colonizadores naturais do trato gastrointestinal de humanos e animais, que incluem os gêneros BAL, *Enterococcus* e *Bifidobacterium* (Du et al., 2022). Os gêneros mais comuns de BAL encontrados no trato gastrointestinal de peixes, são *Carnobacterium*, *Lactobacillus*, *Lactococcus*, *Leuconostoc*, *Pediococcus*, *Streptococcus*, *Enterococcus*, *Vagococcus*, *Weissella* e *Bifidobacterium* (Ringo et al., 2018). Alguns exemplos de estudos com peixes, com suas administrações e resultados observados estão contidos no quadro 1.

BAL	Administração	Espécie de peixe	Benefícios observados	Referência
<i>Lactobacillus plantarum</i> SHY21-2	Suplementação com e sem SHY21-2 durante 1 semana, exposição ou não a <i>Aeromonashydrophila</i> por 12h.	Zebrafish ( <i>Danio rerio</i> )	Protegeu contra infecção por <i>Aeromonas hydrophila</i> ; reduziu mortalidade; manteve a integridade da barreira intestinal.	Jiang et al., 2024
<i>Lactobacillus plantarum</i>	Dieta suplementada com 1x10 <sup>7</sup> UFC/g em ração, avaliado com e sem probiótico, 14 dias de tratamento.	Tilápia-do-nilo ( <i>Oreochromis niloticus</i> )	Deve ser oferecido em pelo menos 50% das alimentações diárias para garantir desempenho zootécnico superior, mantendo-se ativo no intestino por até 4 dias após a suspensão.	Jatobá et al., 2018a
<i>Lactobacillus rhamnosus</i>	Produto comercial em diferentes doses (0.5 x10 <sup>10</sup> a 2 x10 <sup>10</sup> UFC/kg de ração) e identificou 1.5 x10 <sup>10</sup> UFC/kg. Duração de 3 meses.	Tilápia-do-nilo ( <i>Oreochromis niloticus</i> )	Aumento no crescimento e ganho de peso; melhora nos perfis de aminoácidos, ácidos graxos, carboidratos, resposta hematológica; maior sobrevivência após desafio com <i>Aeromonashydrophila</i> .	Noshair et al., 2023
<i>Lactococcus lactis</i> subsp. <i>lactis</i> SL242	Dosagens de 2x10 <sup>9</sup> UFC/kg e 5x10 <sup>9</sup> UFC/Kg de ração, com duração de 12 semanas.	Dourada ( <i>Sparrus auratus</i> )	Modulação da microbiota intestinal (mesmo sem colonização direta); maior peso final dos peixes com 5 x 10 <sup>9</sup> UFC/Kg; regulação de genes associados à imunidade inata e adquirida.	Moroni et al., 2021
<i>Pediococcus acidilactici</i> MA 18/5M	Incorporação na dieta em concentrações de 10 <sup>7</sup> UFC/g, 10 <sup>8</sup> UFC/g e 10 <sup>9</sup> UFC/g, durante 8 semanas.	Zebrafish ( <i>Danio rerio</i> )	Aumento da atividade de proteases e lisozima; melhora dos genes de imunidade ( <i>TNF-α</i> ), crescimento ( <i>IGF-1</i> , <i>GH-1</i> ) e antioxidantes (catalase); melhora geral da saúde e status imune, na dose de 10 <sup>7</sup> UFC/g	Ahmadifar et al., 2024

<i>Enterococcus faecium</i> LAC7.2	3 tratamentos, adição via ração, adição via água e o último, adição via água e ração. Duração de 38 dias.	Tilápia-do-nilo ( <i>Oreochromis niloticus</i> )	Aumento do ganho de peso quando administrado via ração; melhora da imunidade; redução significativa da mortalidade após desafio com <i>Streptococcus agalactiae</i> e <i>Francisella orientalis</i> .	Suphonskiet <i>et al.</i> , 2021
<i>Weissella confusa</i> 31-1	Dietas com $1,5 \times 10^7$ , $3 \times 10^7$ e $4,5 \times 10^7$ UFC/g de ração, duração de 2 meses.	Truta-arco-íris ( <i>Oncorhynchus mykiss</i> )	Melhora do desempenho zootécnico; aumento da atividade de lisozima; regulação de genes pró-inflamatórios ( <i>TNF-<math>\alpha</math></i> , <i>IL-8</i> ) e <i>IFN-<math>\gamma</math></i> ; aumento dos níveis de bactérias ácido-láticas no intestino.	Kahyani <i>et al.</i> , 2021
<i>Lactobacillus paraplantarum</i> L34b-2	Dieta basal (controle) e Dieta basal + <i>L. paraplantarum</i> L34b-2 ( $10^7$ UFC/g) com uma análise inicial com 30 e final com 60 dias.	Panga ( <i>Pangasius bocourti</i> )	Maior ganho de peso, maior taxa de crescimento específico e menor conversão alimentar; aumentou a atividade de lisozima, e atividade bactericida; apresentou sobrevivência quando desafiado com <i>A. hydrophila</i> .	Meidong, <i>et al.</i> , 2021
<i>Lactobacillus casei</i> FNCC 0090	3 diferentes concentrações (0, 10 e 15%), 42 dias, infecção com <i>A. hydrophila</i> no 8º dia.	Bagre africano ( <i>Clarias gariepinus</i> )	Aumentou a abundância de bactérias totais e de BAL no intestino dos peixes; melhora significativa do sistema imune (parâmetros hematológicos); melhor desempenho com 15% de probiótico.	Aini <i>et al.</i> , 2024
Composto LAB: <i>Bifidobacterium bifidum</i> , <i>B. breve</i> , <i>B. lactis</i> , <i>Lactobacillus casei</i> , <i>L. paracasei</i> , <i>L. plantarum</i> , <i>L. rhamnosus</i> , <i>Streptococcus thermophilus</i>	$3,2 \times 10^9$ UFC/kg de ração, durante 35 dias.	Carpa comum ( <i>Cyprinus carpio</i> )	Melhora no crescimento, no perfil hematológico, com alterações positivas no aumento do número de eritrócitos, hemoglobina, linfócitos totais e redução no número de neutrófilos.	Dima <i>et al.</i> , 2022
Cepa autóctone de <i>Lactobacillus</i> spp.	Dieta suplementada com $3 \times 10^7$ UFC/g, e dieta sem suplementação. Durante 30 dias.	Lambari-do-rabo-amarelo ( <i>Astyanax bimaculatus</i> )	Efeito probiótico positivo, melhorando a microbiota intestinal, a estrutura histológica do intestino e a resistência contra infecção por <i>Aeromonas hydrophila</i>	Jatobá <i>et al.</i> , 2018b
Cepa autóctone de <i>Lactobacillus</i> spp.	Dieta suplementada com $1 \times 10^7$ UFC/g, e dieta sem suplementação. Durante 90 dias.	Lambari-do-rabo-amarelo ( <i>Astyanax bimaculatus</i> )	<i>A. bimaculatus</i> cultivados em sistema de recirculação aumentou a imunocompetência (principalmente via hematologia) e melhorou o desempenho zootécnico.	Moraes <i>et al.</i> , 2018

<i>Lactobacillus plantarum</i>	Suplementação por 8 dias, seguida de dieta comercial sem suplemento durante 8 dias.	Camarão-branco-do-Pacífico ( <i>Litopenaeus vannamei</i> )	Possui uma melhora temporariamente a microbiota intestinal e estimula a resposta imune (aumento de hemócitos), porém, seus efeitos são passageiros e desaparecem poucos dias após a suspensão do probiótico.	Vieira et al., 2008
<i>Lactobacillus reuteri</i> e <i>Pediococcus acidilactici</i>	Incorporado nas rações com dois tratamentos distintos com <i>L. reuteri</i> e <i>P. acidilactici</i> , nas concentrações de $10^3$ , $10^5$ e $10^7$ UFC/g. Duração de 8 semanas.	Camarão-branco ( <i>Penaeus vannamei</i> )	Obteve melhora no crescimento, sobrevivência e imunidade inespecífica, sem prejudicar a qualidade da água. Tratamento com <i>L. reuteri</i> ( $10^7$ UFC/g), apresentou os melhores resultados.	Wu et al., 2022
Cepa autóctone <i>Lactiplantibacillus plantarum</i>	Suplementação com concentração viável de $10^9$ células/g de biomassa úmida. Duração de 1 mês.	Vieira-rainha ( <i>Aequipecten opercularis</i> )	Observou-se melhora no crescimento e no controle de patógenos em vieiras, em condições simuladas de mudanças climáticas.	Canak et al., 2024

Quadro 1. Espécies de BAL e suas aplicações em diferentes espécies.

Fonte: Autores (2026).

A eficiência das BAL como probiótico pode variar de acordo com a espécie em que são aplicadas. Estudos realizados com *Penaeus vannamei*, *Astyanax bimaculatus* e *Oreochromis niloticus* demonstraram que as bactérias ácido-láticas apresentaram tempos de ação distintos em cada caso (Vieira et al., 2008; Jatobá et al., 2018a; 2018b). De modo geral, microrganismos autóctones tendem a apresentar resultados mais favoráveis quando comparados aos alóctones, pois já estão naturalmente adaptados ao ambiente do hospedeiro e à água. Ainda assim, o uso de bactérias alóctones permanece como uma alternativa viável (Jatobá; Jesus, 2022)

Contudo, é necessário compreender os fatores limitantes para a inclusão desses microrganismos na dieta animal. Os microrganismos utilizados como probióticos precisam sobreviver aos processos produtivos, suportando variações de pH, temperatura, pressão e outros estressores físicos, de modo a preservar sua viabilidade (Kiron, 2015). A utilização de bactérias ácido-láticas é uma das opções preferidas pela indústria devido aos seus benefícios; no entanto, esses microrganismos requerem condições específicas de acondicionamento, apresentam menor tempo de armazenamento quando comparados a bactérias formadoras de esporos e baixa viabilidade em altas temperaturas, o que limita sua aplicação em determinados processos industriais, como a extrusão (Kosin; Rakshit, 2010).

Dessa forma, para a utilização de probióticos é necessário considerar os pontos mencionados. Sua aplicação varia conforme o processo produtivo, uma vez que as características do produto final obtido a partir de uma cepa, como a capacidade de colonizar o intestino e seus efeitos benéficos, estão diretamente relacionados às condições de cultivo, processos de produção e à forma de aplicação na dieta. Sendo assim, torna-se essencial o controle rigoroso de qualidade em todas as etapas produtivas, a fim de garantir um produto final eficaz e biologicamente funcional (Kiron, 2015).

## Posbióticos

Algumas definições e utilizações precisam ser reafirmadas ao introduzir este tópico, como as diferenças entre probióticos, paraprobióticos e posbióticos, para obter uma melhor compreensão sobre o assunto. Probióticos, como mencionado anteriormente, são microrganismos vivos que, quando administrados em quantidades adequadas, conferem benefícios à saúde do hospedeiro (FAO, 2001). Tradicionalmente, os paraprobióticos, também denominados probióticos fantasmas ou probióticos inativados, eram definidos como células microbianas não viáveis, intactas ou rompidas, que, quando administrada em quantidades adequadas, conferiam benefícios ao hospedeiro (Martín; Langella, 2019). Essas células não viáveis e seus metabólitos possuem alguns métodos de obtenção, como alta pressão, radiação ionizante ou ultravioleta, além de tratamentos térmicos (Vallejo-Cordoba *et al.*, 2020). De forma distinta, os posbióticos eram anteriormente descritos como fatores solúveis, correspondentes a produtos ou subprodutos metabólicos secretados por bactérias vivas ou liberados após lise bacteriana no hospedeiro, capazes de promover benefícios fisiológicos por meio da modulação de processos celulares e vias metabólicas (Aguilar-Toalá *et al.*, 2018; Austin *et al.*, 2022).

No entanto, a partir do consenso proposto pela *International Scientific Association for Probiotics and Prebiotics* (ISAPP) em 2021 (Salminen, *et al.*, 2021), o conceito de posbiótico foi ampliado, passando a englobar tanto microrganismos inanimados quanto seus componentes e metabólitos associados, incorporando, assim, os paraprobióticos dentro da definição atual de posbióticos. Sendo assim, as definições e classificações de posbióticos, incluem:

- a. Ácidos Graxos de Cadeia Curta (AGCCs): são ácidos orgânicos contendo aldeído e um ou mais grupos carboxila;
- b. Exopolissacarídeos (EPS): é um polímero secretado externamente no ambiente;
- c. Peptídeos: um dos mais comuns peptídeos de bactérias, são as bacteriocinas, classificadas como uma proteína antimicrobiana;

- d. Vitaminas;
- e. Peptídeoglicanos (PG): é um polímero de açúcares e aminoácidos;
- f. Lipopolissacarídeo (LPS) ou endotoxinas: são moléculas de lipídios e polissacarídeos;
- g. Proteínas de superfícies celular: como a proteína da membrana externa (OMP), utilizadas em vacinas na aquicultura;
- h. Ácidos teicóicos é um copolímero bacteriano, que se forma entre fosfato de glicerol ou fosfato de ribitol com carboidratos;
- i. Células inanimadas.

Os posbióticos podem ser distinguidos por meio dessa sua composição elementar (Sudhakaran *et al.*, 2022). Esses componentes possuem potencial uso na aquicultura, por serem utilizados como agentes de controles alternativo para doenças nos sistemas de cultivo (Ang *et al.*, 2020). Suas ações no organismo estão relacionadas com a indução de atividades anti-inflamatórias, imunomodulatórias, antioxidantes e algumas outras funções ainda não elucidadas (Aguilar-Toalá *et al.*, 2018). Os processos moleculares que ocorrem dos pósbióticos parecem ser mediados por uma interação entre as células inativadas, produtos microbianos e o hospedeiro, podendo ativar o sistema imunológico do hospedeiro, resultando em respostas anti-inflamatórias (Sudhakaran *et al.*, 2022). Esses ingredientes apresentam algumas vantagens, como: a facilidade de produção e armazenamento, existência de processos produtivos já estabelecidos e passíveis de escalonamento industrial, mecanismos de ação mais específicos e maior probabilidade de desencadear respostas biológicas direcionadas, por meio de interações e ligações específicas (Sudhakaran *et al.*, 2022).

Componentes microbianos, como as proteínas da superfície celular, ácidoteicoico e peptídeoglicanos, têm sido associados ao aumento da resistência a doenças e à promoção do crescimento dos organismos cultivados (Sudhakaran *et al.*, 2022). Além disso, esses compostos apresentam maior estabilidade e viabilidade tecnológica quando incorporados à ração, maior prazo de validade e menor ou nulo risco relacionado à resistência aos antibióticos, uma vez que não envolvem transferência horizontal de genes nem aumento do potencial de virulência (Soltani *et al.*, 2023). Desta forma, os posbióticos despontam como uma alternativa promissora na aquicultura, com elevado potencial para melhorar o desempenho zootécnico, os indicadores de saúde geral e a segurança dos produtos aquícolas (Tao *et al.*, 2024). A figura 2 indica a interação dos posbióticos na parede intestinal e também a interação com os demais componentes do lúmen intestinal.

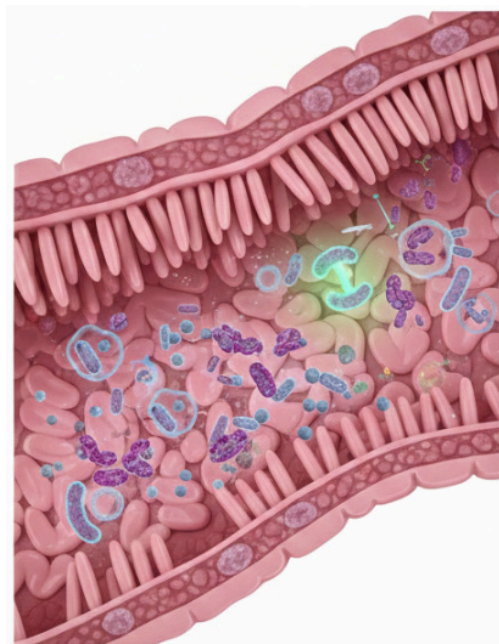


Figura 2 Interação do posbiótico no ambiente intestinal.

Fonte: Autores (2026).

Para exemplificar, apresentam-se quatro trabalhos:

- Em estudo realizado por Zheng *et al.* (2017), com camarão-branco-do-Pacífico (*Litopenaeus vannamei*, peso corporal inicial  $7,96 \pm 0,59$  g), avaliando 4 diferentes dietas formuladas com sobrenadante de fermentação, bactérias vivas, bactérias mortas e extrato livre de células de *Lactobacillus plantarum*, suplementados durante 15 dias, verificou que o extrato livre de células possui o melhor desempenho de crescimento e benefício econômico.

- Em um ensaio *in vitro*, realizado por Domínguez-Maqueda *et al.* (2024), foi avaliado os produtos extracelulares da *Shewanella putrefaciens* Pdp11, e obtido resultados positivos por suas atividades enzimáticas, efeitos antivirais, inibição da formação de biofilme de patógenos e potenciais efeitos não citotóxicos.

- Em um estudo experimental, foi avaliado um produto comercial posbiótico frente a *Lactococcus garvieae* em Truta-arco-íris (*Oncorhynchus mykiss*, peso inicial  $24,1 \pm 7,4$  g), após 30 dias de suplementação dietética, os resultados indicaram uma maior diversidade e riqueza bacteriana na microbiota, relacionado com a prevenção de

doenças ou proteção do hospedeiro contra agentes estranhos (Pérez-Sánchez *et al.*, 2020).

- Em outro estudo realizado com dourado (*Salminus brasiliensis*), foi avaliado suplementação com a cepa de *Lactobacillus rhamnosus* como probiótico, paraprobiótico e a sua combinação, durante 45 dias, indicando que o uso de 0,02% de probiótico, 2% de paraprobiótico e a sua combinação, possui ação positiva sobre o desempenho produtivo com maior ganho de peso do que o grupo controle, e promoção da melhora de parâmetros imuno-histomorfométricos intestinais (Oliveira *et al.*, 2024).

Os resultados observados nos estudos indicam as vantagens na utilização de posbióticos, com aumento na diversidade e riqueza bacteriana, dentro de um ecossistema intestinal (Pérez-Sánchez *et al.*, 2020).

### Comparação entre probióticos e posbióticos

Diante do avanço no uso de ingredientes funcionais na aquicultura, especialmente aqueles voltados à modulação da saúde intestinal e ao desempenho zootécnico, torna-se fundamental distinguir claramente os conceitos e aplicações de probióticos e posbióticos. Embora ambos estejam associados a benefícios à saúde dos organismos cultivados, esses ingredientes diferem de maneira significativa quanto a sua natureza biológica, modos de ação, estabilidade tecnológica, segurança sanitária e viabilidade de aplicação nos processos industriais de produção. A compreensão dessas diferenças é essencial para a escolha adequada de estratégias nutricionais, bem como para o desenvolvimento de formulação de produtos mais eficazes e seguros. Nesse contexto, o quadro 2 apresenta uma comparação entre probióticos e posbióticos, destacando os seus principais efeitos, mecanismos de ação e aspectos tecnológicos relevantes para a aquicultura. Assim como, a figura 3, ilustrando visualmente essa comparação.

Aspectos	Probióticos	Posbióticos
Definição	Microrganismos vivos que, quando administrados em quantidades adequadas, conferem benefício ao hospedeiro	Preparações de microrganismos inanimados e/ou seus componentes e metabólitos, que conferem benefício ao hospedeiro
Natureza	Células viáveis	Células não viáveis, fragmentos celulares e metabólitos associados
Principais exemplos	<i>Bacillus spp.</i> , BAL ( <i>Lactobacillus</i> , <i>Enterococcus</i> ), leveduras	Peptidoglicanos, ácidos teicoicos, proteínas de superfície, bacteriocinas, ácidos orgânicos, enzimas residuais
Modo de ação	Colonização intestinal, exclusão competitiva, modulação da microbiota e estímulo imunológico indireto	Interação direta com células do hospedeiro (receptores), modulação imunológica, efeitos antimicrobianos e metabólicos específicos



<b>Dependência de viabilidade</b>	Alta – eficácia depende da sobrevivência do microrganismo	Baixa ou nula – não depende de células vivas
<b>Estabilidade térmica</b>	Baixa a moderada (especialmente BAL)	Alta, resistente a calor, pressão e extrusão
<b>Aplicação na ração</b>	Mais limitada; sensível a peletização e extrusão	Mais fácil, compatível com processos industriais
<b>Prazo de validade</b>	Menor, depende de acondicionamento rigoroso	Maior, com melhor estabilidade durante armazenamento
<b>Segurança sanitária</b>	Alta, mas depende da cepa e do controle de qualidade	Muito alta, sem risco de infecção ou colonização indesejada
<b>Efeito na saúde intestinal</b>	Equilíbrio da microbiota, melhora da digestão e imunidade	Estímulo imunológico, integridade intestinal e modulação metabólica
<b>Efeito ambiental</b>	Pode ocorrer (redução de excretas, amônia, matéria orgânica)	Pode ocorrer indiretamente via melhoria da conversão alimentar
<b>Enquadramento regulatório</b>	Mais restritivo (viabilidade, alegações)	Mais flexível, menor risco regulatório

Quadro 2. Principais diferenças entre probióticos e posbióticos.

Fonte: Autores (2026).



Figura 3 Comparação entre probiótico e posbiótico

Fonte: Autores (2026).

Assim como para os probióticos, os posbióticos possuem suas limitações. Os estudos sobre esses ingredientes ainda são limitados, o que dificulta a completa elucidação de seus mecanismos de ação e de todas as suas atividades na aquicultura, bem como de seus efeitos sobre a saúde dos animais, sendo necessários estudos de intervenção bem planejados para melhorar a compreensão e validação de todos os efeitos (Sudhakaran *et al.*, 2022).

## CONSIDERAÇÕES FINAIS

À medida que aumenta a população mundial, aumenta a necessidade de alimentos, não apenas por alimentos nutricionalmente ideais, mas também, aqueles que sejam saudáveis e possuam nutrientes adequados. Com esse aumento populacional, os recursos utilizados para a produção aquícola vão se tornando cada vez mais escassos, como a água de boa qualidade disponível e espaço em terra, tornando indispensável a busca por uma produção sustentável em todos os âmbitos: social, ambiental e econômico.

Uma das direções a tomar para aumentar a produção, é o aumento da densidade populacional de animais, porém acarretando em dietas deficitárias, menor qualidade de água, resultando em aumento de doenças e redução na produção. Desse modo, os aditivos alimentares entram para suprir auxiliar nesse processo, mantendo a saúde dos animais e auxiliando no aumento da produção.

Um dos principais aditivos alimentares que possuem efeitos positivos no ambiente e na saúde dos animais são os probióticos. Dentro desse grupo de microrganismos vivos, as bactérias ácido lácticas possuem fatores positivos quando comparados com os outros microrganismos, por serem bactérias mais seguras. Esses microrganismos auxiliam na proteção dos animais frente aos possíveis patógenos oportunistas que estão presentes nos sistemas de cultivo, mantendo a barreira intestinal saudável impedindo a entrada de patógenos e trazendo ações benéficas no hospedeiro.

Como os probióticos são microrganismos vivos, eles possuem alguns limitantes para produção e incorporação na alimentação dos animais. Com isso, os posbióticos surgem como outra alternativa viável, pois são os subprodutos metabólicos do ciclo de vida dos probióticos, com ações positivas no hospedeiro. Sua incorporação na produção, assim como todos os fatores positivos que trazem ainda não são totalmente conhecidos, sendo necessário estudos para avaliar a sua usabilidade.

A aquicultura irá permanecer como uma atividade que oferta proteína para a alimentação mundial, porém para se manter frente aos desafios atuais, precisa caminhar em busca de padrões mais sustentáveis de produção, considerando a qualidade e os aspectos nutricionais do produto final.

## AGRADECIMENTOS

Agradecemos à FAPESC (2025TR002116) pelo apoio financeiro e bolsa concedida a Giulia Beatrice Ferreira (734/2024); ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq) pela bolsa concedida a Adolfo Jatobá (308661/2023-0) e Maísa de Lima Lasala (PIBIC 08/2025).

## REFERÊNCIAS

AGUILAR-TOALÁ, J. E. *et al.* Postbiotics: An evolving term within the functional foods field. **Trends in Food Science & Technology**, [S. l.], v. 75, p. 105-114, 2018. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2018.03.009>. Acesso em: 14 set. 2025.

AHMADIFAR, E. *et al.* The effect of *Pediococcus acidilactici* MA 18/5M on immune responses and mRNA levels of growth, antioxidant and immune-related genes in zebrafish (*Danio rerio*). **Aquaculture Reports**, v. 17, 2020. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.aqrep.2020.100374>. Acesso em: 27 jul. 2025.

AINI, N., *et al.* Effect of *Lactobacillus casei* FNCC 0090 to improve gastrointestinal bacterial abundance, immune system and water quality in catfish farming. **Biodiversitas**, v. 25, n. 5, p. 2130-2138, 2024. Disponível em: <https://doi.org/10.13057/biodiv/d250531>. Acesso em: 17 ago. 2025.

AMENYOGBE, E. *et al.* The exploitation of probiotics, prebiotics and synbiotics in aquaculture: present study, limitations and future directions. **Aquaculture International**, 2020. Disponível em: <https://doi.org/10.1007/s10499-020-00509-0>. Acesso em: 13 jul. 2025.

ANG, C. Y. *et al.* Postbiotics Applications as Infectious Disease Control Agent in Aquaculture. **Biocontrol Science**, v. 25, n. 1, p. 1-7, 2020. Disponível em: <https://doi.org/10.4265/bio.25.1>. Acesso em: 14 set. 2025.

AUSTIN, B. *et al.* Selected topics in sustainable aquaculture research: current and future focus. **Sustainable Aquatic Research**, v. 1, n. 2, p. 74-125, 2022. Disponível em: <https://doi.org/10.5281/zenodo.7032804>. Acesso em: 10 ago. 2025.

BALCÁZAR, J. L. *et al.* The role of probiotics in aquaculture. **Veterinary Microbiology**, v. 114, p. 173-186, 2006. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.vetmic.2006.01.009>. Acesso em: 13 jul. 2025.

ČANAK, I. *et al.* Effect of dietary supplementation with *Lactiplantibacillus plantarum* I on queen scallop *Aequipecten percularis* under simulated climate change conditions. **Croatian Journal of Fisheries**, v. 82, p. 1-8, 2024. Disponível em: <https://doi.org/10.2478/cjf-2024-0001>. Acesso em: 7 set. 2025.

CONTENTE, D. *et al.* Genomic and functional evaluation of two *Lactocaseibacillus paracasei* and two *Lactiplantibacillus plantarum* strains, isolated from a rearing tank of rotifers (*Brachionus plicatilis*), as probiotics for aquaculture. **Genes**, v. 15, n. 1, p. 64, 2024. Disponível em: <https://doi.org/10.3390/genes15010064>. Acesso em: 13 jul. 2025.

DEBNATH, S. C. *et al.* Tilapia aquaculture, emerging diseases, and the roles of the skin microbiomes in health and disease. **Aquaculture International**, v. 31, p. 2945–2976, 2023. Disponível em: <https://doi.org/10.1007/s10499-023-01117-4>. Acesso em: 20 out. 2024.

DIMA, M. F. *et al.* Effects of multi-strain probiotics on the growth and hematological profile in juvenile carp (*Cyprinus carpio*, Linnaeus 1758). **Carpathian Journal of Food Science and Technology**, v. 14, n. 2, p. 5-20, 2022. Disponível em: <https://doi.org/10.34302/crpjfst/2022.14.2.1>. Acesso em: 17 ago. 2025.

DITTMANN, K. K. *et al.* Changes in the microbiome of mariculture feed organisms after treatment with a potentially probiotic strain of *Phaeobacter inhibens*. **Applied and Environmental Microbiology**, v. 86, n. 14, 2020. Disponível em: <https://doi.org/10.1128/AEM.00499-20>. Acesso em: 27 jul. 2025.

DOMÍNGUEZ-MAQUEDA, M. *et al.* Evaluation of the differential postbiotic potential of *Shewanella putrefaciens* Pdp11 cultured in several growing conditions. **Marine Biotechnology**, v. 26, p. 1–18, 2024. Disponível em: <https://doi.org/10.1007/s10126-023-10271-y>. Acesso em: 28 set. 2025.

DU, Y. *et al.* Adhesion and colonization of the probiotic *Lactobacillus plantarum* HC-2 in the intestine of *Litopenaeus vannamei* are associated with bacterial surface proteins. **Frontiers in Microbiology**, v. 13, p. 1-13, 2022. Disponível em: <https://doi.org/10.3389/fmicb.2022.878874>. Acesso em: 13 jul. 2025.

ELCHELWAR, V. R. *et al.* Bioremediation: A tool for sustainable development of aquaculture. **Journal of Entomology and Zoology Studies**, v. 8, n. 2, p. 1331–1333, 2020. Disponível em: <https://www.researchgate.net/publication/366085821>. Acesso em: 27 jul. 2025.

ENCARNAÇÃO, P. Functional feed additives in aquaculture feeds. **Aquafeed Formulation**, p. 217 – 237, 2016. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-800873-7.00005-1>. Acesso em: 17 fev. 2025.

EUROPEAN COMMISSION. Feed additives. European Commission, 2025. Disponível em: [https://food.ec.europa.eu/food-safety/animal-feed/feed-additives\\_en](https://food.ec.europa.eu/food-safety/animal-feed/feed-additives_en). Acesso em: 28 set. 2025.

FAO. **Health and nutritional properties of probiotics in food including powder milk with live lactic acid bacteria**. Córdoba: FAO/WHO, 2001. Disponível em: <https://www.fao.org/3/y6398e/y6398e.pdf>. Acesso em: 13 jul. 2025.

FAO. **Guidelines for sustainable aquaculture**. Rome: Committee on Fisheries, Thirty-sixth Session, 8–12 July 2024. 2024a. Disponível em: <https://openknowledge.fao.org/handle/20.500.14283/np423en>. Acesso em: 11 jan. 2026.

FAO. The State of World Fisheries and Aquaculture 2024 – Blue Transformation in action. Food and Agriculture Organization of the United Nations, Rome, 2024b. Disponível em: <https://doi.org/10.4060/cd0683en>. Acesso em: 5 out. 2025.

FRANZ, C., BASER, K. H. C., WINDISCH, W. Essential oils and aromatic plants in animal feeding – a European perspective, a review. **Flavour and Fragrance Journal**, v.25, p. 327 – 340, 2010. Disponível em: <https://doi.org/10.1002/ffj.1967>. Acesso em: 17 fev. 2025.

GARLOCK, T. M. *et al.* Environmental, economic, and social sustainability in aquaculture: the aquaculture performance indicators. **Nature communications**, v. 15, 2024. Disponível em: <https://doi.org/10.1038/s41467-024-49556-8>. Acesso em: 20 out. 2024.

HANSMANN, R., MIEG, H. A., FRISCHKNECHT, P. Principal sustainability components: empirical analysis of synergies between the three pillars of Sustainability. **International Journal of Sustainable Development & World Ecology**, v. 19, p. 451-459, 2012. Disponível em: <https://doi.org/10.1080/13504509.2012.696220>. Acesso em: 20 out. 2024.

SALMINEN, S. *et al.* The International Scientific Association of Probiotics and Prebiotics (ISAPP) consensus statement on the definition and scope of postbiotics. **Nature Reviews Gastroenterology & Hepatology**, v. 18, n. 9, p. 649–667, 2021. Disponível em: <https://doi.org/10.1038/s41575-021-00440-6>. Acesso em: 11 jan. 2026.

JATOBÁ, A. *et al.* Action time and feed frequency of *Lactobacillus plantarum* for Nile tilapia. **Arquivo Brasileiro de Medicina Veterinária e Zootecnia**, v. 70, n. 1, p. 327-332, 2018a. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1590/1678-4162-9870>. Acesso em: 10 ago. 2025.

JATOBÁ, A. *et al.* Frequency in the supply of *Lactobacillus* influence its probiotic effect for yellow tail lambari. **Ciência Rural**, v. 48, n. 10, 2018b. DOI: 10.1590/0103-8478cr20180042. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/0103-8478cr20180042>. Acesso em: 24 ago. 2025.

JATOBÁ, A.; JESUS, G. F. A. Autochthonous and allochthonous lactic acid bacteria: action on the hematological and intestinal microbiota for two species of *Astyanax* genus. **Anais da Academia Brasileira de Ciências**, v. 94, 2022. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/0001-3765202220201611>. Acesso em: 24 ago. 2025.

JIANG, Y. H. *et al.* Probiotic *Lactobacillus plantarum* SHY21-2 protected zebrafish against *Aeromonas hydrophila* infection by maintaining intestinal barrier integrity, inhibiting inflammatory and oxidative stress responses, and regulating intestinal microbiome. **Aquaculture**, v. 582, p. 740506, 2024. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2023.740506>. Acesso em: 17 ago. 2025.

KAHYANI, F. *et al.* Effect of dietary supplementation of potential probiotic *Weissella confusa* on innate immunity, immune-related genes expression, intestinal microbiota and growth performance of rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*). **Aquaculture Nutrition**, p. 1–10, 2021. Disponível em: <https://doi.org/10.1111/anu.13279>. Acesso em: 27 jul. 2025.

KIRON, V. **Gastrointestinal Microorganisms of Fish and probiotics**. In: LEE, C. S. *et al.* Dietary Nutrients, Additives, and Fish Health. India: Wiley-Blackwell, 2015. p. 283–304. Disponível em: <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/book/10.1002/9781119005568>. Acesso em: 06 jan. 2026

KOSIN, B.; RAKSHIT, S. K. Induction of heat tolerance in autochthonous and allochthonous thermotolerant probiotics for application to white shrimp feed. **Aquaculture**, v. 306, p. 302–309, 2010. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2010.04.017>. Acesso em: 7 set. 2025.

MARTÍN, R.; LANGELLA, P. Emerging health concepts in the probiotics field: Streamlining the definitions. **Frontiers in Microbiology**, [S. l.], v. 10, art. 1047, 21 maio 2019. Disponível em: <https://doi.org/10.3389/fmicb.2019.01047>. Acesso em: 14 set. 2025.

MARTINELLI, D. P. *et al.* Econometric models applied to aquaculture as tools for sustainable production. **Reviews in Aquaculture**, v. 12, ed. 3, p. 1344–1359, 2019. Disponível em: <https://doi.org/10.1111/raq.12385>. Acesso em: 20 out. 2024.

MEIDONG, R. *et al.* *Lactobacillus paraplantarum* L34b-2 derived from fermented food improves the growth, disease resistance and innate immunity in *Pangasius bocourti*. **Aquaculture**, v. 531, p. 735878, 2021. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2020.735878>. Acesso em: 17 ago. 2025.

MOHAMMED, E. A. H. *et al.* The significance of probiotics in aquaculture: a review of research trend and latest scientific findings. **Antibiotics**, Basel, v. 14, n. 3, p. 242, 2025. Disponível em: <https://doi.org/10.3390/antibiotics14030242>. Acesso em: 13 jul. 2025.

MORAES, A. V. *et al.* Autochthonous probiotic as growth promoter and immunomodulator for *Astyanax bimaculatus* cultured in water recirculation system. **Aquaculture Research**, v. 49, n. 7, p. 1–7, 2018. Disponível em: <https://doi.org/10.1111/are.13743>. Acesso em: 24 ago. 2025.

MORONI, F. *et al.* The effects of nisin-producing *Lactococcus lactis* strain used as probiotic on gilthead sea bream (*Sparus aurata*) growth, gut microbiota, and transcriptional response. **Frontiers in Marine Science**, v. 8, p. 659519, 2021. Disponível em: <https://doi.org/10.3389/fmars.2021.659519>. Acesso em: 27 jul. 2025.

MUGWANYA, M. et al. Biofloc Systems for Sustainable Production of Economically Important Aquatic Species: A Review. **Sustainability**, v. 13, 2021. Disponível em: <https://doi.org/10.3390/su13137255>. Acesso em: 20 out. 2024.

MUKILAN, M. et al. Various bioremediation techniques in aquaculture. In: **Futuristic Trends in Biotechnology**. v. 3, Livro 19, Part 5, Chapter 9, 2024. Disponível em: <https://www.researchgate.net/publication/388917298>. Acesso em: 27 jul. 2025.

NAYAK, S. K. Probiotics and immunity: a fish perspective. **Fish & Shellfish Immunology**, v. 29, n. 1, p. 2–14, 2010. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.fsi.2010.02.017>. Acesso em: 13 jul. 2025.

NOSHAIR, I. et al. Assessment of dietary supplementation of *Lactobacillus rhamnosus* probiotic on growth performance and disease resistance in *Oreochromis niloticus*. **Microorganisms**, Basel, v. 11, n. 6, p. 1423, 2023. Disponível em: <https://doi.org/10.3390/microorganisms11061423>. Acesso em: 13 jul. 2025.

ODU-ONIKOSI, S. G. et al. Autolyzed brewer's yeast enhances growth and intestinal health in early life stages of Nile tilapia (*Oreochromis niloticus*). **Journal of the World Aquaculture Society**, v. 56, 2024. Disponível em: <https://doi.org/10.1111/jwas.13120>. Acesso em: 17 fev. 2025.

OLIVEIRA, F. C. et al. *Lactobacillus rhamnosus* improves feed intake, condition factors, hepatic and intestinal histomorphometric indexes of dourado *Salminus brasiliensis*. **Aquaculture International**, 2024. Disponível em: <https://doi.org/10.1007/s10499-024-01400-y>. Acesso em: 04 jan. 2026.

PEIXEBR. Anuário Peixe BR da Piscicultura 2025. Associação Brasileira da Piscicultura – Peixe BR, São Paulo, 2025. Disponível em: <https://www.peixebr.com.br/anuario-2025/>. Acesso em: 5 out. 2025.

PÉREZ-SÁNCHEZ, T. et al. Changes in intestinal microbiota and disease resistance following dietary postbiotic supplementation in rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*). **Microbial Pathogenesis**, v. 142, p. 104060, 2020. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.micpath.2020.104060>. Acesso em: 28 set. 2025.

PIRARAT, N. et al. Modulation of intestinal morphology and immunity in Nile tilapia (*Oreochromis niloticus*) by *Lactobacillus rhamnosus* GG. **Research in Veterinary Science**, Amsterdam, v. 91, n. 1, p. e92–e97, 2011. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.rvsc.2011.02.014>. Acesso em: 13 jul. 2025.

QIU, H. et al. Effects of *Lactobacillus acidophilus* AC on the growth, intestinal flora and metabolism of zebrafish (*Danio rerio*). **Fish and Shellfish Immunology**, v. 149, 2024. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.fsi.2024.109570>. Acesso em: 13 jul. 2025.

RAHAYU, S. *et al.* Probiotics application in aquaculture: its potential effects, current status in China and future prospects. **Frontiers in Marine Science**, v. 11, art. 1455905, 2024. Disponível em: <https://doi.org/10.3389/fmars.2024.1455905>. Acesso em: 13 jul. 2025.

RINGØ, E. *et al.* Lactic acid bacteria in finfish—an update. **Frontiers in Microbiology**, v. 9, 2018. Disponível em: <https://doi.org/10.3389/fmicb.2018.01818>. Acesso em: 27 jul. 2025.

ROMANOVA, E., *et al.* Functional biologically active feed additive for breeding stock of fish. **Web of Conferences**, v.363, 2022. Disponível em: <https://doi.org/10.1051/e3sconf/202236303060>. Acesso em: 19 fev. 2025.

SALMINEN, S. *et al.* The International Scientific Association of Probiotics and Prebiotics (ISAPP) consensus statement on the definition and scope of postbiotics. **Nature Reviews Gastroenterology & Hepatology**, v. 18, n. 9, p. 649–667, 2021. Disponível em: <https://doi.org/10.1038/s41575-021-00440-6>. Acesso em: 11 jan. 2026.

SOLTANI, M. *et al.* Probiotic, Paraprobiotic, and Postbiotic as an Alternative to Antibiotic Therapy for Lactococcosis in Aquaculture. **Iranian Journal of Veterinary Medicine**, v. 17, n. 4, p. 287-300, 2023. Disponível em: <https://doi.org/10.32598/IJVM.17.4.1005342>. Acesso em: 14 set. 2025.

SUDHAKARAN, G. *et al.* Molecular properties of postbiotics and their role in controlling aquaculture diseases. **Aquaculture Research**, [S. l.], v. 53, n. 9, p. 3257-3273, 2022. Disponível em: <https://doi.org/10.1111/are.15846>. Acesso em: 14 set. 2025.

SUPHORONSKI, S. A. *et al.* Effect of *Enterococcus faecium* as a water and/or feed additive on the gut microbiota, hematologic and immunological parameters, and resistance against francisellosis and streptococcosis in Nile tilapia (*Oreochromis niloticus*). **Frontiers in Microbiology**, v. 12, 2021. Disponível em: <https://doi.org/10.3389/fmicb.2021.743957>. Acesso em: 27 jul. 2025.

TAMANG, J. P. **Microfloras of fermented foods**. *Encyclopedia of Food Microbiology*, v. 1, p. 249–258, 2014. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-384730-0.00038-0>. Acesso em: 11 jan. 2026.

TALPUR, A. D. *et al.* Gut *Lactobacillus* sp. bacteria as probiotics for *Portunuspelagicus* (Linnaeus, 1758) larviculture: effects on survival, digestive enzyme activities and water quality. **Invertebrate Reproduction & Development**, p. 1–12, 2012. Disponível em: <https://doi.org/10.1080/07924259.2012.714406>. Acesso em: 27 jul. 2025.

TAO, L. *et al.* The application and potential of postbiotics as sustainable feed additives in aquaculture. **Aquaculture**, [S. l.], v. 592, p. 741237, 2024. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2024.741237>. Acesso em: 14 set. 2025.



USHAKOVA, N. A. *et al.* Complex bioactive supplements for aquaculture—evolutionary development of probiotic concepts. **Probiotics and Antimicrobial Proteins**, v. 13, p. 1696–1708, 2021. Disponível em: <https://doi.org/10.1007/s12602-021-09835-y>. Acesso em: 13 jul. 2025.

VALENTI, W. C. *et al.* Aquaculture in Brazil: past, present and future. **Aquaculture Reports**, v. 19, 2021. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.aqrep.2021.100611>. Acesso em: 20 out. 2024.

VALLEJO-CÓRDOBA, B. *et al.* Postbiotics and paraprobiotics: A review of current evidence and emerging trends. **Advances in Food and Nutrition Research**. 2020. v. 94, p. 1-34. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/bs.afnr.2020.06.001>. Acesso em: 14 set. 2025.

VERSCHUERE, L. *et al.* Probiotic bacteria as biological control agents in aquaculture. **Microbiology and Molecular Biology Reviews**, v. 64, n. 4, p. 655–671, 2000. Disponível em: <https://doi.org/10.1128/mubr.64.4.655-671.2000>. Acesso em: 13 jul. 2025.

VIEIRA, F. N. *et al.* Time-related action of *Lactobacillus plantarum* in the bacterial microbiota of shrimp digestive tract and its action as immunostimulant. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 43, n. 6, p. 763-769, 2008. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/S0100-204X2008000600013>. Acesso em: 24 ago. 2025.

WU, Y. S. *et al.* Effects of dietary *Lactobacillus reuteri* and *Pediococcus acidilactici* on the cultured water qualities, the growth and non-specific immune responses of *Penaeus vannamei*. **Fish and Shellfish Immunology**, v. 127, p. 176–186, 2022. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.fsi.2022.06.004>. Acesso em: 7 set. 2025.

ZHENG, X. *et al.* Effects of dietary *Lactobacillus plantarum* on growth performance, digestive enzymes and gut morphology of *Litopenaeus vannamei*. **Probiotics and Antimicrobial Proteins**, 2017. Disponível em: <https://doi.org/10.1007/s12602-017-9300-z>. Acesso em: 28 set. 2025.