

RESSALVA

Atendendo solicitação do autor,
o texto completo deste documento será
disponibilizado somente a partir de
02/07/28.



DANIEL MAURICIO CHAVES REALPE

ENCAPSULAMENTO DOS PROBIÓTICOS *Bacillus subtilis* E *Lactobacillus casei* PARA USO EM AQUICULTURA

Sorocaba
2026

PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO em

ciências
ambientais



unesp
Sorocaba

DANIEL MAURICIO CHAVES REALPE

ENCAPSULAMENTO DOS PROBIÓTICOS *Bacillus subtilis* E *Lactobacillus casei* PARA USO EM AQUICULTURA

Dissertação apresentada como requisito para a obtenção do título de Mestre em Ciências Ambientais da Universidade Estadual Paulista "Júlio de Mesquita Filho" na Área de Concentração Diagnóstico, Tratamento e Recuperação Ambiental

Orientador: Prof. Dr. Leonardo Fernandes Fraceto

Sorocaba
2026

AGRADECIMENTOS

Ao Programa de Pós-Graduação em Ciências Ambientais da Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho”, pela oportunidade de realizar o curso de mestrado. O presente trabalho foi realizado com apoio da Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de São Paulo (FAPESP), Brasil. Processo nº 2024/05067-0.

Ao meu orientador, Professor Dr. Leonardo Fernandes Fraceto, pela oportunidade de integrar seu grupo de pesquisa, pelos conhecimentos compartilhados na área e pelos valiosos ensinamentos transmitidos ao longo desta trajetória.

Ao grupo de pesquisadores do Laboratório de Nanotecnologia Ambiental do ICTS da UNESP Sorocaba especialmente a Dra. Patrícia Luiza de Freitas Proença, pelos ensinamentos compartilhados, pela amizade construída e pelo apoio constante, que contribuíram significativamente para o meu crescimento acadêmico e pessoal.

Aos funcionários do Programa de Pós-Graduação em Ciências Ambientais da UNESP, pela gentileza, pelo apoio e pela colaboração prestados de diferentes formas durante este período.

Aos meus amigos brasileiros e de outros países, por tornarem mais leve e acolhedora a minha estadia neste país, por me fazerem sentir em casa e por compartilharem comigo sua cultura, experiências, amizade e amor.

Aos meus pais, Yamile Realpe e José Chaves, ao meu irmão Sebastian Chaves, pelo apoio constante, motivação e presença fundamental na minha vida, e aos demais familiares que sempre me acompanharam nesta longa jornada. Esta conquista é minha e deles.

A Deus, por me conceder coragem, força e proteção em todos os momentos da minha vida.

"Nada en la vida debe ser temido, solo comprendido. Ahora es el momento de entender más,
para que podamos temer menos."

-Marie Curie

RESUMO

O desenvolvimento de uma aquicultura mais sustentável depende da adoção de estratégias que promovam a saúde e o desempenho dos organismos cultivados, reduzindo o uso de antibióticos. Entre essas estratégias, os probióticos têm recebido destaque por sua capacidade de modular a microbiota intestinal, melhorar a conversão alimentar e fortalecer a resposta imune. Contudo, sua utilização ainda é limitada pela sensibilidade dos microrganismos às condições de processamento e armazenamento. Para superar essas barreiras, este estudo focou na encapsulação das cepas *Bacillus subtilis* e *Lactobacillus casei* por meio da técnica de *spray drying* (secagem por atomização), um método eficiente para converter suspensões líquidas em micropartículas secas em condições controladas. A pesquisa avaliou biopolímeros como alginato de sódio, maltodextrina, goma arábica, sacarose, pectina e quitosana. Os resultados de compatibilidade mostraram que o crescimento das células não foi prejudicado pela exposição aos polímeros, mantendo contagens acima de 9 Log UFC/mL antes da secagem. No processo de *spray drying*, a temperatura de entrada de 80 °C foi identificada como ideal, proporcionando os melhores rendimentos e garantindo a estabilidade térmica dos probióticos. Os resultados para o *B. subtilis* indicaram que o crescimento da cepa não foi afetado pela exposição prévia aos polímeros. Após o *spray drying* a 80 °C, a sobrevivência variou entre 72,2% e 79,9%, com os maiores rendimentos obtidos para as matrizes de GA (57,6%), PEC (58,3%) e a mistura GA+MD (63,7%). As micropartículas de *B. subtilis* apresentaram diâmetros médios majoritariamente inferiores a 3,6 µm. Nos ensaios gastrointestinais simulados, a formulação com alginato e pectina (BS2) apresentou a maior estabilidade, mantendo contagens de 6,43 Log UFC/mL ao final do processo. Para o *L. casei*, observou-se que a morfologia das colônias foi alterada na presença de pectina e quitosana, levando à exclusão destes polímeros nas etapas seguintes. A sobrevivência após a secagem foi ligeiramente superior à do *B. subtilis*, variando entre 72,4% e 82,8%, com destaque para os rendimentos de GA (69,9%) e MD (53,5%). As micropartículas atingiram diâmetros de até 4,19 µm. O *L. casei* demonstrou maior manutenção da viabilidade gastrointestinal do que o *B. subtilis*, mantendo contagens elevadas de 6,90 a 7,31 Log UFC/mL após a simulação completa. Em ambos os casos, a temperatura de 80 °C foi a mais eficiente para o rendimento. O armazenamento sob refrigeração (4 °C) garantiu a estabilidade das células por 90 dias com perdas mínimas. Conclui-se que o encapsulamento via *spray drying* é uma estratégia robusta para a entrega de probióticos viáveis na aquicultura.

Palavras chaves: Aquicultura, probióticos, microencapsulação, spray drying, biopolímeros.

ABSTRACT

The development of more sustainable aquaculture depends on the adoption of strategies that enhance the health and performance of cultured aquatic organisms while reducing the use of antibiotics. Among these strategies, probiotics have gained considerable attention due to their ability to modulate the intestinal microbiota, improve feed conversion efficiency, and strengthen the immune response. However, their application is still limited by the sensitivity of these microorganisms to processing and storage conditions. To address these limitations, this study investigated the encapsulation of *Bacillus subtilis* and *Lactobacillus casei* using spray drying, an efficient technique for converting liquid suspensions into dry microparticles under controlled conditions. The study evaluated the use of biopolymers including sodium alginate, maltodextrin, gum arabic, sucrose, pectin, and chitosan. Compatibility tests showed that bacterial growth was not adversely affected by exposure to the polymers, with cell counts remaining above 9 Log CFU/mL prior to drying. During the spray-drying process, an inlet temperature of 80 °C was identified as the most suitable condition, providing the highest yields while preserving probiotic thermal stability. For *B. subtilis*, growth was not influenced by prior exposure to the polymers. Following spray drying at 80 °C, survival rates ranged from 72.2% to 79.9%, while the highest process yields were obtained with gum arabic (57.6%), pectin (58.3%), and the gum arabic–maltodextrin blend (63.7%). The resulting *B. subtilis* microparticles exhibited mean diameters predominantly below 3.6 µm. In simulated gastrointestinal assays, the alginate–pectin formulation (BS2) showed the greatest stability, maintaining cell counts of 6.43 Log CFU/mL at the end of the experiment. For *L. casei*, colony morphology was altered in the presence of pectin and chitosan, leading to the exclusion of these polymers from subsequent stages of the study. Survival after drying was slightly higher than that observed for *B. subtilis*, ranging from 72.4% to 82.8%, with gum arabic (69.9%) and maltodextrin (53.5%) providing the highest yields. The microparticles reached diameters of up to 4.19 µm. *L. casei* demonstrated greater retention of viability under simulated gastrointestinal conditions than *B. subtilis*, maintaining counts between 6.90 and 7.31 Log CFU/mL after completion of the assay. For both strains, an inlet temperature of 80 °C resulted in the most favorable process yields. Refrigerated storage at 4 °C preserved cell stability for 90 days with only minimal losses in viability. These findings indicate that spray-drying encapsulation is a robust approach for delivering viable probiotics in aquaculture applications.

Keywords: Aquaculture, probiotics, microencapsulation, spray drying, biopolymers.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Esquema do processo de secagem por atomização.	22
Figura 2. Isolamento das cepas de <i>B. subtilis</i> e <i>L. casei</i> e sua manutenção.	27
Figura 3. Determinação da curva de crescimento e correlação entre OD600 e unidades formadoras de colônias (UFC).	28
Figura 4. Quantificação da viabilidade de <i>B. subtilis</i> e <i>L. casei</i> em soluções poliméricas.	29
Figura 5. Processo de microencapsulação dos probióticos no <i>spray drying</i>	30
Figura 6. Curva de crescimento obtida para (A) <i>B. subtilis</i> por OD600, (B) <i>B. subtilis</i> por Log10(UFC/mL) (C) <i>L. casei</i> por OD600, (D) <i>L. casei</i> por Log10(UFC/mL).	36
Figura 7. Curva de padronização para DO600 versus Log UFC/mL: A) <i>B. subtilis</i> , B) <i>L. casei</i>	37
Figura 8. Crescimento bacteriano de <i>B. subtilis</i> exposto aos materiais de parede em placas de ágar LB com diluição decimal 10^{-6} : (A) Alginato de sódio, (B) Maltodextrina, (C) Goma arábica, (D) Sacarose, (E) Pectina, (F) Quitosana.	38
Figura 9. Crescimento bacteriano de <i>L. casei</i> exposto aos materiais de parede em placas de ágar MRS com diluição decimal 10^{-6} : (A) Alginato de sódio, (B) Maltodextrina, (C) Goma arábica, (D) Sacarose, (E) Pectina, (F) Quitosana.	38
Figura 10. Viabilidade Log UFC/mL de <i>B. subtilis</i> e <i>L. casei</i> expostos aos materiais de parede.	39
Figura 11. Efeito do armazenamento na viabilidade celular de microcapsulas contendo <i>B. subtilis</i> e <i>L. casei</i> produzidas por <i>spray drying</i> a 80 °C. A) Armazenamento em temperatura ambiente (22 °C). B) Armazenamento sob refrigeração (4 °C).	48
Figura 12. Micrografias obtidas por microscopia eletrônica de varredura (MEV) e distribuição do diâmetro das microcápsulas produzidas por secagem por atomização. (A–B) BS1; (C–D) BS2; (E–F) BS3; (G–H) LC1; (I–J) LC2. As imagens de MEV mostram a morfologia superficial das microcápsulas, enquanto os gráficos apresentam a distribuição (%) de frequências de diâmetro das partículas.	51
Figura 13. Distribuição do tamanho médio das partículas dos pós otimizados contendo <i>B. subtilis</i> e <i>L. casei</i>	54
Figura 14. Viabilidade celular de <i>B. subtilis</i> (BS1, BS2 e BS3) e <i>L. casei</i> (LC1 e LC2) microencapsulados e não encapsulados (BS, LC) submetidos a condições gastrointestinais simuladas nos tempos 0, 2 e 4 horas. Os resultados são expressos em Log UFC/mL.	56

LISTA DE TABELAS

Tabela 1. Polímeros com potencial de aplicação em aquicultura.	23
Tabela 2. Parâmetros de secagem e concentração de polímero utilizados para o preparo de micropartículas contendo as bactérias probióticas <i>B.subtilis</i> e <i>L. casei</i>	31
Tabela 3. Rendimento (%) e porcentagem de sobrevivência (%) de <i>B. subtilis</i> e <i>L. casei</i> microencapsulados com diferentes materiais de parede em diferentes temperaturas de secagem.	40
Tabela 4. Distribuição do tamanho de partículas, índice de polidispersão (PdI) e potencial zeta das microcápsulas de <i>B. subtilis</i> e <i>L. casei</i>	43
Tabela 5. Efeito da temperatura de armazenamento, em temperatura ambiente (22 °C) e sob refrigeração (4 °C), na viabilidade de microcapsulas contendo <i>B. subtilis</i> e <i>L. casei</i> produzidas por <i>spray drying</i> a uma temperatura de entrada de 80 °C.	46
Tabela 6. Características físico-químicas das microcápsulas de <i>B. subtilis</i> e <i>L.casei</i> produzidas com diferentes materiais de parede.	50
Tabela 7. Caracterização da distribuição de tamanho das formulações analisadas: d0,9, D[4:3] e Span	54

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ANOVA: Análise de Variância
AS: Alginato de Sódio
aw: Atividade da água
BS: *Bacillus subtilis*
FAO: Food and Agriculture Organization
FDA: Food and Drug Administration
GA: Goma arábica
LB: Meio de cultivo Luria Bertani
LC: *Lactobacillus casei*
Log: Logaritmo
MD: Maltodextrina
MEV: Microscopia Eletrônica de Varredura
MRS: Meio de cultivo Man, Rogosa e Sharpe
OD600: Densidade ótica a 600 nm
OMS: Organização Mundial da Saúde
PdI: Índice de Polidispersão
PEC: Pectina
QS: Quitosana
rpm: revoluções por minuto
SC: Sacarose
SGJ: Solução Gástrica Simulada
UFC: Unidades Formadoras de Colônias
UV-Vis: Espectroscopia no Ultravioleta Visível

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO.....	14
2	REVISÃO DE LITERATURA	15
2.1	Aquicultura	15
2.2	Probióticos na aquicultura	16
2.2.1	<i>Bacillus subtilis</i>	18
2.2.2	<i>Lactobacillus casei</i>	18
2.3	Estratégias de encapsulamento na aquicultura	19
2.3.1	Encapsulamento de probióticos	20
2.3.2	<i>Spray drying</i>	22
2.3.3	Biopolímeros para encapsulamento de probióticos	23
3	OBJETIVOS.....	25
3.1	Objetivos específicos.....	25
4	MATERIAL E MÉTODOS.....	26
4.1	Microorganismos e sua manutenção.....	26
4.1.1	<i>Bacillus subtilis</i>	26
4.1.2	<i>Lactobacillus casei</i>	26
4.1.3	Cultura estoque.....	26
4.2	Curva de crescimento de microrganismos.....	27
4.3	Viabilidade dos microrganismos expostos ao material de parede.....	28
4.4	Otimização da preparação de micropartículas por <i>spray drying</i>	30
4.5	Rendimento do processo e recuperação do produto	31
4.6	Sobrevivência dos probióticos microencapsulados	32
4.7	Distribuição do tamanho, índice de polidispersão e potencial Zeta das microcápsulas resuspensas	32
4.8	Avaliação da viabilidade dos probióticos microencapsulados durante o armazenamento.....	32

4.9	Caracterização química e físico-química das microcápsulas	33
4.9.1	Umidade	33
4.9.2	Atividade da água	33
4.9.3	Umedecimento.....	33
4.10	Caracterização morfológica das microcápsulas mediante Microscopia Eletrônica de Varredura e medição do diâmetro médio por difração de laser.....	34
4.11	Ensaio de simulação gastrointestinal.....	34
4.12	Análise estatística	35
5	RESULTADOS E DISCUSSÃO	35
5.1	Curvas de crescimento dos microrganismos	35
5.2	Sobrevivência dos microrganismos expostos ao material de parede.....	37
5.3	Otimização da preparação de micropartículas por <i>spray drying</i>	40
5.4	Diâmetro médio, Índice de Polidispersão e Potencial Zeta.	43
5.5	Viabilidade das microcápsulas probióticas armazenadas à temperatura ambiente e sob refrigeração ao longo do tempo.	46
5.6	Umidade, atividade na água e tempo de umedecimento das microcápsulas probióticas após secagem	49
5.7	Microscopia Eletrônica de Varredura das microcápsulas probióticas.....	51
5.8	Distribuição do tamanho das partículas das microcápsulas selecionadas	53
5.9	Sobrevivência dos probióticos microencapsulados a condições gastrointestinais simuladas	55
6	CONCLUSÕES.....	59
7	REFERÊNCIAS	60

1 INTRODUÇÃO

A sobrepesca e a exaustão dos recursos colocaram a pesca selvagem sob uma pressão considerável (Roberson et al., 2020; Dulvy et al., 2021). Os resultados desta pressão são observados na redução dos rendimentos pesqueiros e no aumento do número de espécies ameaçadas (Ramaiah., 2006). Em resposta à crescente demanda por produtos aquícolas, a indústria passou a adotar sistemas de produção mais intensivos e práticas de aquicultura de alta densidade (Stotz, 2000; Bogmans e Soest, 2021). Entretanto, a intensificação dos cultivos também ampliou desafios relacionados ao manejo, à qualidade da água, à ocorrência de enfermidades e à eficiência produtiva, evidenciando a necessidade de estratégias capazes de promover o crescimento dos organismos cultivados de forma sustentável (Vulla et al., 2024). Nesse cenário, a nutrição desempenha papel fundamental na aquicultura, influenciando diretamente o crescimento, a conversão alimentar, a saúde intestinal e o aproveitamento dos nutrientes pelos organismos cultivados. Dessa forma, o desenvolvimento de estratégias nutricionais inovadoras tem recebido crescente atenção, especialmente por meio da incorporação de ingredientes funcionais capazes de otimizar o desempenho produtivo e promover a saúde dos animais (Brum et al., 2025).

Diante essa necessidade, os avanços tecnológicos na aquicultura têm impulsionado o desenvolvimento e a adoção de estratégias mais sustentáveis para a nutrição, prevenção de enfermidades e a melhoria do desempenho produtivo, destacando-se o uso de compostos bioativos (Qi et al., 2009; Ringø et al., 2012; Dezfooli et al., 2018). Entre os diferentes compostos bioativos empregados na aquicultura, os probióticos têm recebido destaque devido à sua capacidade de promover a saúde intestinal, melhorar o aproveitamento dos nutrientes e favorecer o desempenho produtivo dos organismos cultivados. Além dos probióticos, outras estratégias incluem suplementos nutricionais, imunoestimulantes e vacinas (Reverter et al., 2014; Zhang, Li e Guo, 2021). Contudo, embora os estudos demonstrem a eficácia dessas estratégias, persistem desafios significativos na entrega efetiva dos bioativos. Esses desafios incluem garantir a concentração adequada, manter a estabilidade e a especificidade da espécie (Boyd., 2020). As técnicas convencionais de distribuição, como imersão, injeção, suplementos dietéticos e enriquecimento de alimentos vivos, muitas vezes enfrentam limitações, como concentrações insuficientes e instabilidade durante o armazenamento (El-Saadony et al., 2021). Para aproveitar ao máximo esses avanços, é importante desenvolver métodos de distribuição mais sofisticados e acessíveis, possibilitando uma implementação comercial bem-sucedida na aquicultura.

Os sistemas modernos de aquicultura demandam estratégias sustentáveis e eficientes para superar os desafios relacionados à sanidade, ao desempenho produtivo e à sustentabilidade ambiental. Entre essas estratégias, destaca-se o desenvolvimento de sistemas de liberação direcionada de compostos bioativos, capazes de aumentar a eficiência de sua aplicação e potencializar seus efeitos (Fajardo et al., 2022). Esses sistemas consistem em tecnologias e formulações projetadas para transportar e liberar moléculas bioativas de forma controlada e direcionada ao local de ação, aumentando sua estabilidade, biodisponibilidade e eficácia (Wu et al., 2020; Kloidová et al., 2023). Sistemas avançados de administração de medicamentos, incluindo cápsulas biocompatíveis e biodegradáveis, foram desenvolvidos para fornecer nutrientes, probióticos, genes e produtos químicos específicos de forma controlada e sustentada, beneficiando aplicações humanas e veterinárias. Esses sistemas de entrega não apenas evitam a liberação de substâncias indesejadas no meio ambiente, mas também prolongam a vida útil dos materiais encapsulados (Cerbu et al., 2021), garantindo a entrega precisa de bioativos ao organismo-alvo.

6 CONCLUSÕES

Os resultados obtidos demonstram que a secagem por atomização, associada à seleção adequada de biopolímeros, constitui uma estratégia eficiente para o encapsulamento de *Bacillus subtilis* e *Lactobacillus casei*, garantindo elevada viabilidade celular, estabilidade durante o armazenamento e resistência às condições simuladas do trato gastrointestinal. Esses achados confirmam que o processo empregado foi capaz de preservar as características necessárias para que os probióticos mantenham seu potencial funcional após o processamento e durante sua aplicação. A influência das condições de secagem e da composição dos materiais encapsulantes evidencia que a eficiência do sistema depende da combinação entre os parâmetros do processo e as propriedades dos biopolímeros utilizados. Nesse contexto, as formulações BS2 (*B. subtilis* + alginato + pectina) e LC2 (*L. casei* + alginato + maltodextrina) apresentaram o melhor desempenho global, reunindo características desejáveis quanto à estabilidade, proteção celular e qualidade físico-química das micropartículas, o que as torna candidatas promissoras para futuras aplicações. Dessa forma, este estudo amplia o conhecimento sobre o encapsulamento de probióticos por secagem por atomização e demonstra o potencial dessa tecnologia para o desenvolvimento de sistemas de liberação mais eficientes destinados à aquicultura. Além de contribuir para a estabilidade e a eficácia dos microrganismos probióticos, essa abordagem representa uma alternativa capaz de favorecer o uso de aditivos biológicos mais seguros e sustentáveis, reduzindo a dependência de antimicrobianos e contribuindo para o avanço de sistemas aquícolas mais eficientes e ambientalmente responsáveis. Embora os resultados obtidos sejam promissores, estudos futuros envolvendo ensaios *in vivo* em espécies aquícolas serão essenciais para confirmar a eficácia das formulações desenvolvidas, bem como avaliar seu impacto sobre o desempenho zootécnico, a resposta imunológica e a saúde intestinal dos organismos cultivados em condições reais de produção.

7 REFERÊNCIAS

- AFZAAL, M., et al. Survivability of probiotics under hostile conditions as affected by prebiotic-based encapsulating materials. **International Journal of Food Properties**. v. 25, n. 1, 2022.
- AGRIPOULOU, S., et al. Application of Encapsulation Strategies for Probiotics: From Individual Loading to Co-Encapsulation. **Microorganisms**. v. 11. n. 12, 2023.
- AHMED, J; VASAGAM, K. P; RAMALINGAM, K. Nanoencapsulated Aquafeeds and Current Uses in Fisheries/Shrimps: A Review. **Applied Biochemistry and Biotechnology**, v. 195, n. 11, p. 7110–7131, 2023.
- ALI, H., et al. Transssformation of the Feed supply segment of the aquaculture value chain in Bangladesh. **Aquaculture**. v. 576, 2023.
- AMORIM, W., et al. Use of Probiotic Bacteria and Bacteriocins as an Alternative to Antibiotics in Aquaculture. **Microorganisms**. v. 10, n. 9, pp. 1-22, 2022.
- ANDANI, H., et al. Antagonistic activity of two potential probiotic bacteria from fish intestines and investigation of their effects on growth performance and immune response in rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*). **Journal of Applied Ichthyology** v. 28, n. 5, p. 728-734, 2012.
- ANEKELLA, K; ORSAT, V. Optimization of microencapsulation of probiotics in raspberry juice by spray drying. **LWT - Food Science and Technology**. v. 50, p. 17-24, 2013.
- ARCHACKA, M; CELIŃSKA, E; BIAŁAS, W. Techno-economic analysis for probiotics preparation production using optimized corn flour medium and spray-drying protective blends. **Food and Bioproducts Processing**, v. 123, p. 354–366, 2020.
- AREPALLY, D e GOSWAMI, T. Effect of inlet air temperature and gum Arabic concentration on encapsulation of probiotics by spray drying. **LWT – Food Science and Technology**. v. 99, pp. 583-593, 2019
- AREPALLY, D; REDDY, R e GOSWAMI, T. Encapsulation of *Lactobacillus acidophilus* NCDC 016 cells by spray drying: characterization, survival after *in vitro* digestion, and storage stability. **Food and Fuction**. v. 11, n. 10, pp. 8694-9706, 2020
- ARSLAN, S., et al. Microencapsulation of probiotic *Saccharomyces cerevisiae* var. boulardii with different wall materials by spray drying. **LWT - Food Science and Technology**. v. 63, n. 1, 2015.
- AZEEM, M., et al. Encapsulation of probiotics in solid lipid micro particle for improved viability and stability under stressed conditions. **International Joournal of Food Properties**. v. 26, n. 1, 2023
- BAGDAT, E., et al. Optimization of spray-drying process parameters for microencapsulation of three probiotic lactic acid bacteria selected by their high viability rate in sucrose and fructose levels and high temperatures. **Systems Microbiology and Biomanufacturing**. v.4, pp. 687-698,2024.

- BALCÁZAR, J., et al. The role of probiotics in aquaculture. **Veterinary Microbiology**. v. 114, pp. 173-186, 2006
- BARAJAS-ÁLVAREZ, P et al. Microencapsulation of *Lactobacillus rhamnosus* HN001 by spray drying and its evaluation under gastrointestinal and storage conditions. **LWT-Food Science and Technology**. v. 153, pp. 1-10, 2022.
- BARBOSA, J., et al. Using zeta potential to study the ionisation behaviour of polymers employed in modified-release dosage forms and estimating their pKa. **International Journal of Pharmaceutics: X**. v. 1, 2019.
- BEHBOUDI-JOBBEHDAR, S., et al. Optimization of spray-drying process conditions for the production of maximally viable microencapsulated *L. acidophilus* NCIMB 701748. **Drying Technology**. v. 31, n. 11, 2013.
- BLANCO, F., et al. Overview of Brazilian aquaculture production. **Aquaculture Research**. v. 51, n. 12, pp. 4838-4845, 2020
- BOGMANS, C e SOEST, D.V. Can global aquaculture growth help to conserve wild fish stocks? Theory an empirical análisis. **Natural Resource Modeling**. v. 35, n. 1. 2021.
- BONDAD-REANTASO, M., et al. Review of alternatives to antibiotic use in aquaculture. **Reviews In Aquaculture**. v. 15, n. 4, pp. 1421-1451, 2023.
- BORGOGNA, M; BELLICH, B; CESÀRO, A. Marine Polysaccharides in Microencapsulation and Application to Aquaculture: “From Sea to Sea”. **Marine Drugs**, v. 9, n. 12, p. 2572–2604, 2011.
- BRODKORB, A., et al. INFOGEST static in vitro simulation of gastrointestinal food digestion. **Nature Protocols**. v. 14, pp. 991-1014, 2019.
- BRUM, A., et al. Pivotal Roles of Fish Nutrition and Feeding: Recent Advances and Future Outlook for Brazilian Fish Farming. **Fishes**. v. 10, n. 2, 2025.
- CĂLINOIU, L., et al. Chitosan Coating Applications in Probiotic Microencapsulation. **Coatings**. v. 9, n. 3, p. 1-21, 2019.
- CAMPOS D., et al. Microencapsulation by spray drying of nitrogen-fixing bacteria associated with lupin nodules. **World Journal of Microbiology and Biotechnology**. v. 30, p. 2371-2378, 2014.
- CARVALHO, C. T., et al. BIOACTIVE COMPOUNDS IN JAMELÃO YOGURT (*Syzygium cumini* L). **Bioscience Journal**. v. 36, p. 307-316, 2020.
- CARVALHO, J., et al. Perspectives for improving circular economy in brackish shrimp aquaculture. **Aquaculture Research**. v. 53, n. 4, p. 1169-1180, 2021.
- CASSANEGO, E., et al. *Lactobacillus paracasei* isolated from grape sourdough: acid, bile, salt, and heat tolerance after spray drying with skim milk and cheese whey. **European Food Research and Technology**. v. 240, pp. 977-984, 2015.

- CERBU, C., et al. Fate of Biodegradable Engineered Nanoparticles Used in Veterinary Medicine as Delivery Systems from a One Health Perspective. **Molecules**. v. 26, n. 3. 2021.
- CHEN, J., et al. Microencapsulation of *Bacillus smithii* XY1 by spray drying and evaluation for treatment of inflammatory bowel disease. **Food Bioscience**. v. 53, 2023.
- CHEN, X., et al. Effect of high concentrated sucrose on the stability of OSA-starch-based beta-carotene microcapsules. **Food Hydrocolloids**. v. 113, p. 1-8, 2021
- CHOUDHURY, N; MEGHWAL, M; DAS, K. Microencapsulation: An overview on concepts, methods, properties and applications in foods. **Food Frontiers**, v. 2, n. 4, p. 426–442, 2021.
- CHUN, Honam; KIM, Cheol-Hyun; CHO, Young-Hee. Microencapsulation of *Lactobacillus plantarum* DKL 109 using External Ionic Gelation Method. **Korean Journal for Food Science of Animal Resources**, v. 34, n. 5, p. 692–699, 2014.
- CORDEIRO P. AQUACULTURE IN BRAZIL – ANALYSIS OF THE SECTOR’S EVOLUTION BETWEEN 2013 TO 2023. **Revista Aracê**. v. 7, n. 7, p.37184-37208, 2025
- CORDERO, H., et al. Modulation of immunity and gut microbiota after dietary administration of alginate encapsulated *Shewanella putrefaciens* Pdp11 to gilthead seabream (*Sparus aurata* L.). **Fish and Shellfish Immunology**. v. 45, n. 2, p. 608-618.
- CORTI, D.; BITTENCOURT, P.R.S.; DRUNKLER, D.A. Use of milk protein and maltodextrin in the microencapsulation of *Lactobacillus acidophilus*: a model approach. *Acta Scientiarum. Technology*, v.39, p.573-577, 2017.
- DAI, J., et al. Dietary supplementation of stachyose and *Lactobacillus casei* improves the immunity and intestinal health of turbot (*Scophthalmus maximus*. L). **Aquaculture Nutrition**. v. 27, n. 1, p. 48-60. 2021.
- DE BRUIJN, I., et al. Exploring fish microbial communities to mitigate emerging diseases in aquaculture. **FEMS Microbiology Ecology**. v. 94, n. 1, pp. 1-12, 2018
- DE MORAES., et al. Integrated system for bioremediation of Nile tilapia rearing effluent and astaxanthin production by *Haematococcus pluvialis*. **Aquaculture International**. v. 32, p. 4345-4358, 2024.
- DE OLIVEIRA, J., et al. Encapsulation of *Beauveria bassiana* in Polysaccharide-Based Microparticles: A Promising Carrier System for Biological Control Applications. **ACS Africultural Science and Technology**. v. 3, n. 9, p. 785-794, 2023.
- DEFOIRDT, T; SORGELOOS, P e BOSSIER, P. Alternatives to antibiotics for the control of bacterial disease in aquaculture. **Current Opinion in Microbiology**. v. 14, n. 3, pp. 251-258, 2011
- DEZFOOLI, D. Classification of water quality status based on minimum quality parameters: application of machine learning techniques. **Modeling Earth Systems and Environment**. v. 4, p. 311-324, 2018.

- DIAS, M. I; FERREIRA, I. C; BARREIRO, M. F. Microencapsulation of bioactives for food applications. **Food & Function**, v. 6, n. 4, p. 1035–1052, 2015.
- DULVY, N., et al. Overfishing drives over one-third of all sharks and rays toward a global extinction crisis. **Current Biology**. v. 31, n. 21, p. 4773-4787, 2021.
- DURASAMY, K., et al. Development of a new broad-spectrum microencapsulation-based spray drying formulation of *Bacillus thuringiensis* subsp. kurstaki IMBL-B9 for the control of moths. **Frontiers in Microbiology**. v. 14, 2023.
- EL-NABY, A., et al. Dietary chitosan nanoparticles enhance the growth, production performance, and immunity in *Oreochromis niloticus*. **Aquaculture**. v. 501, p. 89-89, 2019.
- EL-SAADONY, M., et al. The functionality of probiotics in aquaculture: An overview. **Fish & Shellfish Immunology**. v.117, pp. 36-52, 2021
- ERATTE, D., et al. Recent advances in the microencapsulation of omega-3 oil and probiotic bacteria through complex coacervation: A review. **Trends in Food Science & Technology**, v. 71, p. 121–131, 2018.
- ESKI, A; DEMIRBAG Z, DEMIR, I. Microencapsulation of an indigenous isolate of *Bacillus thuringiensis* by spray drying. **Journal of Microencapsulation**. v. 36, n. 1. 2019.
- FAJARDO, C. Shrimp immune response: A transcriptomic perspective. **Reviews in Aquaculture**. v. 14, n. 3, p. 1136-1149, 2021.
- FAO, OMS. Report Guidelines for the evaluation of probiotics in food: Report of a joint FAO/WHO working group on drafting guidelines for the evaluation of probiotics in food. 2022.
- FAO, OMS. Health and Nutritional Properties of Probiotics in Food including Powder Milk with Live Lactic Acid Bacteria. pp. 1-34, 2001.
- FARIAS, T., et al. Probiotic feeding improves the immunity of pacus, *Piaractus mesopotamicus*, during *Aeromonas hydrophila* infection. **Animal Feed Science and Technology**. v. 211, p. 137-144, 2016.
- FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION OF THE UNITED NATIONS (FAO). The State of World Fisheries and Aquaculture 2026. Blue Transformation: turning vision into impact. **FAO**, 2026.
- GAZALIAN, D., et al. Microencapsulation of *Lactobacillus plantarum* using cellulose-based polymers by spray-drying: A probiotic-delivery system for enhanced acid-resistance and storage stability. **International Journal of Biological Macromolecules**. v. 311, pp. 1-12, 2025
- GHARSALLAOU, A., et al. Applications of spray-drying in microencapsulation of food ingredients: An overview. **Food Research International**. v. 40, n. 9, p. 1107-1121, 2007.

- GHOSH, B., et al. Microencapsulation of a putative probiotic *Enterobacter* species, c6-6, to protect rainbow trout, *Onchorynchus mykiss* (Walbaum), against bacterial coldwater disease. **Journal Fish Diseases**. v. 39, n. 1, 2014.
- GHOSH, S., et al. Dietary probiotic supplementation in growth and health of live-bearing ornamental fishes. **Aquaculture Nutrition**. v. 14, n. 4, p. 289-299. 2008.
- GON, T., et al. Freeze-drying of *Bacillus amyloliquefaciens* COFCAU_P1 probiotics: process optimization, and evaluation of its immunoprotective role in *Labeo rohita*. **Aquaculture International**. v. 33, n. 243, 2025.
- GUL, O. Microencapsulation of *Lactobacillus casei* Shirota by spray drying using different combinations of wall materials and application for probiotic dairy dessert. **Journal of Food Processing and Preservation**. v. 41, n. 5, p. 1-9, 2017.
- GULLIFA, G., et al. Microencapsulation by a Spray Drying Approach to Produce Innovative Probiotics-Based Products Extending the Shelf-Life in Non-Refrigerated Conditions. **Molecules**. v. 28, n. 2, 2023.
- GUO, H., et al. Sucrose addition directionally enhances bacterial community convergence and network stability of the shrimp culture system. **NPJ biofilms and microbiomes**. v. 8, p. 1-14, 2022.
- GUO, H., et al. Microencapsulation of *Lactobacillus plantarum* with Improved Survivability Using Pufferfish Skin Gelatin-Based Wall Materials. **Marine drugs**. v. 22, n. 3, 2024.
- HE, Suxu et al. Anti-Infective Effect of Adhesive Probiotic *Lactobacillus* in Fish is Correlated With Their Spatial Distribution in the Intestinal Tissue. **Scientific Reports**, v. 7, n. 1, p. 13195, 16 out. 2017.
- HOSEINIFAR, S., et al. Probiotics as Means of Diseases Control in Aquaculture, a Review Current Knowledge and Future Perspectives. **Frontiers in Microbiology**. v. 9, 2018.
- HUSSAIN, M., et al. Biochemistry of non-starter lactic acid bacteria isolate *Lactobacillus casei* GCRL163: Production of metabolites by stationary-phase cultures. **International Dairy Journal**. v. 19, n. 1, p. 12-21, 2009.
- ISLAM, S; ROHANI, M; SHAHJAHAN, M. Probiotic yeast enhances growth performance of Nile tilapia (*Oreochromis niloticus*) through morphological modifications of intestine. v. 21, 2021.
- JAFARI, S., et al. A decade overview and prospect of spray drying encapsulation of bioactives from fruit products: Characterization, food application and in vitro gastrointestinal digestion. **Food Hydrocolloids**. v. 134, 2023.
- JL, C. Microencapsulation of *Bacillus smithii* XY1 by spray drying and evaluation for treatment of inflammatory bowel disease. **Food Bioscience**. v. 53, 2023.
- KAKTCHAM, P., et al. In Vitro Evaluation of the Probiotic and Safety Properties of Bacteriocinogenic and Non-Bacteriocinogenic Lactic Acid Bacteria from the Intestines of Nile Tilapia and Common Carp for Their Use as Probiotics in Aquaculture. **Probiotics and Antimicrobial Proteins**. v. 10, pp. 98-109, 2018.

- KLOJDOVÁ, I., et al. Encapsulation: A Strategy to Delivery Therapeutics and Bioactive Compounds?. **Pharmaceuticals**. v. 16, n. 3, 2023
- KNIPE, H., et al. Probiotics and competitive exclusion of pathogens in shrimp aquaculture. **Reviews in Aquaculture**. v. 13, n. 1, p. 324-352, 2020.
- KONG Y., et al. Effects of recombinant *Lactobacillus casei* on growth performance, immune response and disease resistance in crucian carp, *Carassius auratus*. **Fish and Shellfish Immunology**. v. 99, pp. 73-85, 2020
- KRASAEKOOPT, W; BHANDARI, B; DEETH, H. Evaluation of encapsulation techniques of probiotics for yoghurt. **International Dairy Journal**. v. 13, n. 1, p. 3-13. 20003.
- KUEBUTORNYE, F., et al. Mechanisms and the role of probiotic Bacillus in mitigating fish pathogen in aquaculture. **Fish Physiology and Biochemistry**. v. 46, pp. 819-841, 2020.
- KUMAR, L., et al. Evaluation of chitosan as a wall material for microencapsulation of squalene by spray drying: Characterization and oxidative stability studies. **International Journal of Biological Macromolecules**. v. 104, pp. 1-10, 2017.
- KUMAREE, K; AKBAR, A; ANAL, A. Bioencapsulation and application of Lactobacillus plantarum isolated from catfish gut as an antimicrobial agent and additive in fish feed pellets. **Annals of Microbiology**. v. 65, p. 1439-1445, 2014.
- KVASNOV, B., et al. Measurement of the Size and Zeta Potential of Polymer Microspheres Using Dynamic Light Scattering and Electrophoretic Light Scattering Methods: Effect of Viscosity of Dispersion Media. **IEEE Conference of Russian Young Researchers in Electrical and Electronic Engineering (EIConRus)**, pp. 2290-2294, 2019.
- LARA, C., et al. Pectin and Pectin-Based Composite Materials: Beyond Food Texture. **Molecules**. v. 23, n. 4, p. 1-35, 2018.
- LEDESMA, P. et al. Calcium alginate capsules for oral administration of fish probiotic bacteria: assessment of optimal conditions for encapsulation. **Aquaculture Research**. v. 43, n. 1, p. 106-116, 2011.
- LEE, Y., et al. Safety Evaluation by Phenotypic and Genomic Characterization of Four Lactobacilli Strains with Probiotic Properties. **Microorganisms**. v. 10, n. 11, 2022.
- LEYLAK, C., et al. Optimisation of spray drying parameters for *Lactobacillus acidophilus* encapsulation in whey and gum Arabic: Its application in yoghurt. **International Dairy Journal**. v. 112, pp. 1-10, 2021
- LIANG, Z., et al. Enhanced viability of *Lactobacillus paracasei* under storage and gastrointestinal conditions by electrostatic spray drying: Effects of polysaccharide type and concentration. **International Journal of Biological Macromolecules**. v. 360, n. 1-12, 2026
- LIU, H., et al. Improved survival of *Lactobacillus zeae* LB1 in a spray dried alginate-protein matrix. **Food Hydrocolloids**, v. 78, p. 100-108, 2018.

- LIU, J., et al. Fabrication of fish gelatin / sodium alginate double network gels for encapsulation of probiotics. **Journal of the Science of Food and Agriculture**. v. 101, n. 10, p. 3987-4427, 2021.
- LIU, X., et al. A systematic review on aquaculture wastewater: Pollutants, impacts, and treatment technology. **Environmental Research**. v. 262, pp. 1-21, 2024
- LOPES, A., et al. Proximal and mineral composition of native fish species from Amazonas, Brazil. **Aquaculture, Acta Sci., Anim. Sci.** v. 45, 2023.
- LUANGTHONGKAM, P., et al. Comparison of spray-drying and freeze-drying for inoculum production of the probiotic *Bacillus amyloliquefaciens* strain H57. **Food and Bioproducts Processing**, v. 130, p. 121–131, 2021.
- LUIS, A., et al. Trends in aquaculture sciences: from now to use of nanotechnology for disease control. **Reviews in Aquaculture**. v. 11, n. 1, p. 119-132, 2017.
- MA, L., et al. Preparation and characterization of bilayered microencapsulation for co-delivery *Lactobacillus casei* and polyphenols via Zein-chitosan complex coacervation. **Food Hydrocolloids**, v. 148, p. 109410, 2024.
- MAAYYEDI, M., et al. Effect of drying methods (electrospraying, freeze drying and spray drying) on survival and viability of microencapsulated *Lactobacillus rhamnosus* ATCC 7469. **Journal of Functional Foods**. v. 40, p. 391-399, 2018.
- MACIEL, G., et al. Microencapsulation of *Lactobacillus acidophilus* La-5 by spray-drying using sweet whey and skim milk as encapsulating materials. **Journal of Dairy Science**. v. 97, n. 4, pp. 1991-1998, 2014.
- MALVERN PANALYTICAL. O que é o potencial zeta? – 2: Fatores que afetam o potencial zeta. Learn – Knowledge Center – Insights. Disponível em: <https://www.malvernpanalytical.com/br/learn/knowledge-center/insights/what-is-the-zeta-potential-2-factor-that-affects-the-zeta-potential?lang=ko>, Acessado em: 4 de setembro de 2025.
- MINJ, S e ANAND, S. Development of a spray-dried conjugated whey protein hydrolysate powder with entrapped probiotic. **Journal of Dairy Science**. v. 105, n. 3, pp. 2038-2048, 2022
- MOAYYEDI, M., et al. Effect of drying methods (electrospraying, freeze drying and spray drying) on survival and viability of microencapsulated *Lactobacillus rhamnosus* ATCC 7469. **Journal of Functional Food**. v. 40, pp. 391-399, 2018.
- MOHAMMADIAN, T., et al. Administrations of autochthonous probiotics altered juvenile rainbow trout *Oncorhynchus mykiss* health status, growth performance and resistance to *Lactococcus garvieae*, an experimental infection. **Fish and Shellfish Immunology**. v. 86, p. 269-279, 2019.
- MOHANRAJ, V; CHEN, Y. Nanoparticles: A Review. **Tropical Journal of Pharmaceutical Research**. v. 5, n. 1, 2007.

- MOMESSO, M., et al. Microencapsulation of *Bacillus subtilis* by spray-drying using starch hydrolysates with different dextrose equivalent values. **International Journal of Biological Macromolecules**. v. 320, 2025.
- MONTOYA-SOTO, J., et al. Probiotic microencapsulation by spray drying using Aloe vera (*Aloe Barbadensis* Miller) mucilage, whey protein isolates and gum arabic as encapsulation agentes. **CyTA- Journal of Food**. v. 23, n.1, 2025
- MOSTAFA, S., et al. The potential benefits of orange peels derived from pectin on serum and skin mucus immune parameters, antioxidant defence and growth performance in common carp (*Cyprinus carpio*). **Fish & Shellfish Immunology**. v. 103, p. 17-22, 2020.
- NADAI, R e MEDEIROS, G. Análise prospectiva para o setor aquícola em áreas periurbanas da região metropolitana de São Paulo, Brasil. **Revista Contribuciones a las Ciencias Sociales**. v. 17, n.2, 2024.
- NAIEL, M., et al. Gum Arabic-enriched diet modulates growth, antioxidant defenses, innate immune response, intestinal microbiota and immune related genes expression in tilapia fish. **Aquaculture**. v. 556, p. 1-10, 2022.
- NAKAI, T e PARK, S. Bacteriophage therapy of infectious diseases in aquaculture. **Research in Microbiology**. v. 153, n. 1, pp. 13-18. 2002
- NAYAK, S. Multifaced applications of probiotic *Bacillus* species in aquaculture with speciel rereference to *Bacillus subtilis*. **Reviews in Aquaculture**. v. 13, n. 2, p. 862-906. 2020
- NEDOVIC, Viktor et al. An overview of encapsulation technologies for food applications. **Procedia Food Science**, v. 1, p. 1806–1815, 2011.
- NOBILE, A., et al. Status and recommendations for sustainable freshwater aquaculture in Brazil. **Reviews in Aquaculture**. v. 12, n. 3, pp. 1495-1517, 2019.
- NOH, J., et al. Microencapsulation by pectin for multi-components carriers bearing both hydrophobic and hydrophilic active agents. **Carbohydrate Polymers**. v. 182, p. 172-179, 2018.
- NUR, R., et al. Improvement in the probiotic efficacy of *Bacillus subtilis* E20-stimulates growth and health status of white shrimp, *Litopenaeus vannamei* via encapsulation in alginate and coated with chitosan. **Fish & Shellfish Immunology**. v. 125, p. 74-83, 2022.
- OBRADOVIĆ, N., et al. Microencapsulation of probiotic starter culture in protein–carbohydrate carriers using spray and freeze-drying processes: Implementation in whey-based beverages. **Journal of Food Engineering**. v.321, pp. 1-9, 2022.
- OLMOS, J., et al. *Bacillus subtilis*, an ideal probiotic bacterium to shrimp and fish aquaculture that increase feed digestibility, prevent microbial diseases, and avoid water pollution. **Archives of Microbiology**. v. 202, pp. 427-435, 2020.
- OLMOS, J., et al. Functional Feed Assessment on *Litopenaeus vannamei* Using 100% Fish Meal Replacement by Soybean Meal, High Levels of Complex Carbohydrates and *Bacillus* Probiotic Strains. **Marine Drugs**. v. 9, n. 6, pp. 1119-1132, 2011.

- PENALVA, F., et al. Cultivo do camarão marinho com bioflocos sob diferentes níveis de proteína com e sem probiótico. **Revista Caatinga**. v. 28, n. 4, 2015.
- PÉREZ, A. et al. Dietary carbohydrates improve oxidative status of common dentex (*Dentex dentex*) juveniles, a carnivorous fish species. **Comparative Biochemistry and Physiology Part A: Molecular & Integrative Physiology**. v. 203, p. 17-23, 2017
- PICOT, A e LACROIX, C. Encapsulation of bifidobacteria in whey protein-based microcapsules and survival in simulated gastrointestinal conditions and in yoghurt. **International Dairy Journal**. v. 14, n. 6, pp. 505-515, 2004.
- PIÑON, C., et al. Encapsulation of active ingredients in food industry by spray-drying and nano spray-drying technologies. **Processes**, v. 8, n. 889, 2020.
- PINPIMAI, K., et al. The study on the candidate probiotic properties of encapsulated yeast, *Saccharomyces cerevisiae* JCM 7255, in Nile Tilapia (*Oreochromis niloticus*). **Research in Veterinary Science**. v. 102, p. 103-111, 2015.
- PIRARAT., et al. Viability and morphological evaluation of alginate-encapsulated *Lactobacillus rhamnosus* GG under simulated tilapia gastrointestinal conditions and its effect on growth performance, intestinal morphology and protection against *Streptococcus agalactiae*. **Animal Feed Science and Technology**. v. 207, p. 93-103, 2015.
- PRASAD, N., et al. Gum arabic – A versatile natural gum: A review on production, processing, properties and applications. **Industrial Crops and Products**. v. 187, p. 1-18, 2022.
- PROESPRAIWONG, P., et al. Evaluation of Bacillus spp. as Potent Probiotics with Reduction in AHPND-Related Mortality and Facilitating Growth Performance of Pacific White Shrimp (*Litopenaeus vannamei*) Farms. **Microorganisms**. v. 11, n. 9, 2023.
- PUDŽIUVELYTĖ, L., et al. Spray-Drying Microencapsulation of Natural Bioactives: Advances in Sustainable Wall Materials. **Pharmaceuticals**. v. 18, n. 7, 2025.
- PUTTARAT, N., et al. Spray-drying microencapsulation using whey protein isolate and nano-crystalline starch for enhancing the survivability and stability of *Lactobacillus reuteri* TF-7. **Food Science and Biotechnology**. v. 30, pp. 245-256, 2021.
- QI, Z., et al. Probiotics in aquaculture of China-Current state, problems and prospect. **Aquaculture**. v. 290, n. 1-2, p. 15-21, 2009.
- RABETAFIKA, H., et al. Probiotics as Antibiotic Alternatives for Human and Animal Applications. **Encyclopedia**. v. 3, n. 2, 2023.
- RADHAKRISHNAN, D., et al. Different Animal Feeds and Their Role in Aquaculture. **Aquaculture Science and Engineering**. p. 99-129, 2022.
- RAJAM, R; ANANDHARAMAKRISHNAN C. Microencapsulation of *Lactobacillus plantarum* (MTCC 5422) with fructooligosaccharide as wall material by spray drying. **LWT – Food Science and Technology**. v. 60, n. 2, p. 773-780, 2015.

- RAMAIAH, N. A review on fungal diseases of algae, marine fishes, shrimps and corals. **Indian Journal of Marine Science**. v. 35, n. 4, p. 380-387, 2006.
- RASAVI, S., et al. Microencapsulating polymers for probiotics delivery systems: Preparation, characterization, and applications. **Food Hydrocolloids**. v. 120, p. 1-20, 2021.
- REID, G; GADIR, A; DHIR, R. Probiotics: Reiterating What They Are and What They Are Not. **Frontiers in Microbiology**. v. 10, 2019.
- REN, W., et al. Multi-Strain Tropical *Bacillus* spp. as a Potential Probiotic Biocontrol Agent for Large-Scale Enhancement of Mariculture Water Quality. **Frontiers in Microbiology**. v. 12, 2021.
- REVERTE, M., et al. Use of plant extracts in fish aquaculture as an alternative to chemotherapy: Current status and future perspectives. **Aquaculture**. v. 433, p. 50-61, 2014.
- RINGØ, E., et al. Use of chitin and krill in aquaculture – the effect on gut microbiota and the immune system: a review. **Aquaculture Nutrition**. v. 18, n. 2, p. 117-131, 2012.
- ROBERSON, L; WATSON, R; KLEIN, C. Over 90 endangered fish and invertebrates are caught in industrial fisheries. **Nature communications**. v. 11, n. 4764, 2020.
- SANTOS, N., et al. Microencapsulating *Lactocaseibacillus rhamnosus* GG by spray drying using pea protein, pectin, and tapioca flour: Probiotic viability, digestibility and thermal stability. **Food and Bioproducts Processing**. v. 150, pp. 207-216, 2025
- SARKAR, M., et al. Evaluation of Heavy Metal Contamination in Some Selected Commercial Fish Feeds Used in Bangladesh. **Biological Trace Element Research**. v. 200, p. 844-854, 2022.
- SARKHEIL, M., AMERI, M e SAFARI, O. Application of alginate-immobilized microalgae beads as biosorbent for removal of total ammonia and phosphorus from water of African cichlid (*Labidochromis lividus*) recirculating aquaculture system. **Environmental Science and Pollution Research**. v. 29, p. 11432-11444, 2021
- SEMYONOV, D., RAMON, O., SHIMONI, E. Using ultrasonic vacuum spray dryer to produce highly viable dry probiotics. **LWT - Food Science and Technology**. v. 44, p. 1844-1852, 2011.
- SHARMA, J., et al. Polymeric carriers in probiotic delivery systems. **Carbohydrate Polymer Technologies and Applications**. v. 5, p. 1-8, 2023.
- SHARMA, R; RASHIDINEJAD, A; JAFARI, S. M. Application of Spray Dried Encapsulated Probiotics in Functional Food Formulations. **Food and Bioprocess Technology**, v. 15, n. 10, p. 2135–2154, 2022.
- SINGH, M., et al. Potential Applications of Biopolymers in Fisheries Industry. In: Nadda, A.K., Sharma, S., Bhat, R. (eds). **Biopolymers**. Springer Series on Polymer and Composite Materials. Springer, Cham .2022

- SLOVER, Christine M.; DANZIGER, Larry. Lactobacillus: a Review. **Clinical Microbiology Newsletter**, v. 30, n. 4, p. 23–27, fev. 2008.
- SOMPACH, G., et al. Microencapsulating role of whey protein isolate and sucrose in protecting the cell membrane and enhancing survival of probiotic lactobacilli strains during spray drying, storage, and simulated gastrointestinal passage. **Food Research International**. v. 159, pp. 1-12, 2022.
- STOTZ, W. When aquaculture restores and replaces an overfished stock: Is the conservation of the Species assured? The case of the scallop *Argopecten purpuratus* in Northern Chile. **Aquaculture International**. v. 8, p. 237-247, 2000.
- SUN, W., et al. Microencapsulation and Application of Probiotic Bacteria *Lactiplantibacillus plantarum* 299v Strain. **Microorganisms**. v. 11, 2023a.
- SUN, W., et al. Microencapsulation of *Lactobacillus plantarum* 299v Strain with Whey Proteins by Lyophilization and Its Application in Production of Probiotic Apple Juices. **Applied Sciences**. v. 13, n.1, 2023b.
- SURYABHAN, P; LOHITH, K; ANU-APPAIAH, K. A. Sucrose and Sorbitol Supplementation on Maltodextrin Encapsulation Enhance the Potential Probiotic Yeast Survival by Spray Drying. **LWT**, v. 107, p. 243– 248, 2019.
- TAHIR, H., et al. Plant Growth Promotion by Volatile Organic Compounds Produced by *Bacillus subtilis* SYST2. **Front. Microbiol.** v. 8, 2017.
- TODOROV, S., et al. Probiotics for Aquaculture: Hope, Truth, and Reality. **Probiotics and Antimicrobial Proteins**. v, 16, pp. 2007-2020, 2024
- TRIPATHI, M; GIRI, S. Probiotic functional foods: Survival of probiotics during processing and storage. **Journal of Functional Foods**. v. 9, p. 225-241, 2014.
- ULANOVA, L., et al. Development of methods for encapsulation of viruses into polymeric nano- and microparticles for aquaculture vaccines. **Journal of Applied Polymer Science**. v. 131, n. 17. 2014.
- VALENTI, W., et al. Aquaculture in Brazil: past, present and future. **Aquaculture Reports**. v. 19, pp. 1-18, 2021
- VALLE, M., et al. Assessment of Encapsulated Probiotic *Lactococcus lactis* A12 Viability Using an In Vitro Digestion Model for Tilapia. **Animals**. v. 14, n. 13, 2024
- VAN ALST, A., et al. Growth curves: Generating growth curves using colony forming units and optical density measurements. **Journal of visualized experiments : JoVE**, área Microbiology. 2023.
- VAN, N. The use of medicinal plants as immunostimulants in aquaculture: A review. **Aquaculture**. v. 446, p. 88-96, 2015.
- VIJAYARAM, S., et al. Inorganic nanoparticles for use in aquaculture. **Reviews in Aquaculture**. v. 15, n. 4, 2023.

- VULLA, K., et al. Unlocking Potential Benefits on Applications of Probiotics in Inland Aquaculture Industry: A Review. **Aquaculture, Fish and Fisheries**. pp. 1-20, 2024
- WANG, R., et al. *In-vitro* digestion models: a critical review for human and fish and a protocol for *in-vitro* digestion in fish. **Bioengineered**. v.12, pp. 3040-3064, 2021.
- WU, F., et al. Accumulation of microplastics in typical commercial aquatic species: A case study at a productive aquaculture site in China. **Sci Total Environ**. v. 708, 2020.
- XIAO, Z., et al. Maltodextrin as wall material for microcapsules: A review. **Carbohydrate Polymers**. v. 298, p. 1-18, 2022.
- XU, C., et al. Novel nano-encapsulated probiotic agents: Encapsulate materials, delivery, and encapsulation systems. **Journal of Controlled Release**. v. 349, p. 184-205, 2022.
- XU, M., et al. Encapsulation of *Lactobacillus casei* ATCC 393 cells and evaluation of their survival after freeze-drying, storage and under gastrointestinal conditions. **Journal of Food Engineering**. v. 168, p. 52-59, 2016.
- YANG, X., et al. Isolation and nitrogen removal characteristics of an aerobic heterotrophic nitrifying–denitrifying bacterium, *Bacillus subtilis* A1. **Bioresour Technology**. v. 102, n. 2, 2011. p. 854-862, 2011.
- YIN, P., et al. Exploring dual-coating strategies for probiotic microencapsulation using polysaccharide and protein systems. **Discover Food**. v. 5, n. 235, 2025.
- YONEKURA, L., et al. Microencapsulation of *Lactobacillus acidophilus* NCIMB 701748 in matrices containing soluble fibre by spray drying: Technological characterization, storage stability and survival after in vitro digestion. **Journal of Functional Foods**. v. 6, n. 100, 2014.
- ZABOT, G. L., et al. Encapsulation of Bioactive Compounds for Food and Agricultural Applications. **Polymers**, v. 14, n. 19, p. 4194, 2022.
- ZHANG, H., et al. Solid-state fermentation of soybean meal using *Bacillus subtilis* seed liquid prepared with ultrasound assistance. **LWT - Food Science and Technology**. v. 207, p. 1-9, 2024.
- ZHAO, R., et al. Measurement of particle diameter of *Lactobacillus acidophilus* microcapsule by spray drying and analysis on its microstructure. **World Journal of Microbiology and Biotechnology**. v. 24, pp. 1349-1354, 2008.
- ZHOU, K. Engineering microbes to synthesize functionalized biopolymers. **Journal of Materials Chemistry B**. v. 10, p. 7132-7135, 2022.
- ZORRIEZHARA, M., et al. Probiotics as beneficial microbes in aquaculture: an update on their multiple modes of action: a review. **Veterinary Quarterly**. v. 36, n. 4, 2016.