



**LETÍCIA LINHARES DA SILVA**

**DESENVOLVIMENTO DE EXTRATO DE TARO (*Colocasia  
esculenta*) FERMENTADO POR CO-CULTURA PROBIÓTICA  
E SECO POR SPRAY DRYING: OTIMIZAÇÃO,  
CARACTERÍSTICAS FÍSICO-QUÍMICAS, E VIABILIDADE  
CELULAR**

**LAVRAS - MG  
2025**

**LETÍCIA LINHARES DA SILVA**

**DESENVOLVIMENTO DE EXTRATO DE TARO (*Colocasia esculenta*)  
FERMENTADO POR CO-CULTURA PROBIÓTICA E SECO POR SPRAY DRYING:  
OTIMIZAÇÃO DO PROCESSO, CARACTERÍSTICAS FÍSICO-QUÍMICA E  
VIABILIDADE CELULAR**

Tese apresentada à Universidade Federal de Lavras, como parte das exigências do Programa de Pós-graduação em Ciência dos Alimentos, área de concentração Ciência dos Alimentos, para obtenção do título de Doutora.

Prof<sup>a</sup>. DSc. Rosane Freitas Schwan  
Orientadora

DSc. Dirceu de Sousa Melo  
DSc. Pâmela Mynsen Machado Martins  
Coorientadores

**LAVRAS - MG  
2025**

**Ficha Catalográfica elaborada pelo Sistema de Geração  
de Ficha Catalográfica da Biblioteca Universitária da UFLA, com  
dados informados pelo(a) próprio(a) autor(a).**

Silva, Letícia Linhares da.

Desenvolvimento de extrato de taro (*Colocasia esculenta*) fermentado por co-cultura probiótica e seco por spray drying : otimização do processo, características físico-química e viabilidade celular / Letícia Linhares da Silva. - 2025.

101 p. : il.

Orientadora: Rosane Freitas Schwan

Coorientador: Dirceu de Sousa Melo

Coorientadora: Pâmela Mynsen Machado Martins

Tese (Doutorado) - Universidade Federal de Lavras, 2025.

Bibliografia.

1. *Colocasia esculenta*. 2. Otimização. 3. Simbióticos. 4. *Lactiplantibacillus plantarum*. 5. *Pichia kluyveri*. I. Freitas Schwan, Rosane. II. de Sousa Melo, Dirceu. III. Mynsen Machado Martins, Pâmela. IV. Universidade Federal de Lavras. V. Título.

**LETÍCIA LINHARES DA SILVA**

**DESENVOLVIMENTO DE EXTRATO DE TARO (*Colocasia esculenta*)  
FERMENTADO POR CO-CULTURA PROBIÓTICA E SECO POR SPRAY DRYING:  
OTIMIZAÇÃO DO PROCESSO, CARACTERÍSTICAS FÍSICO-QUÍMICA E  
VIABILIDADE CELULAR**

**DEVELOPMENT OF TARO EXTRACT (*Colocasia esculenta*) FERMENTED BY  
PROBIOTIC CO-CULTURE AND DRIED BY SPRAY DRYING: PROCESS  
OPTIMIZATION, PHYSICOCHEMICAL CHARACTERISTICS AND CELL VIABILITY**

Tese submetida à Universidade Federal de Lavras como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Ciências dos Alimentos, área de concentração Ciências dos Alimentos, para obtenção do título de Doutora.

APROVADA em 9 de maio de 2025.

DSc. Disney Ribeiro Dias	UFLA
DSc. Fernanda Demoliner	UFLA
DSc. Ana Paula Pereira Bressani	UFLA
DSc. Carolina Valeriano de Carvalho	UFLA

Prof<sup>ª</sup>. DSc. Rosane Freitas Schwan  
Orientadora

DSc. Dirceu de Sousa Melo  
DSc. Pâmela Mynsen Machado Martins  
Coorientadores

**LAVRAS - MG**  
**2025**  
**AGRADECIMENTOS**

À Deus por me dar força, saúde e coragem para concluir mais uma etapa. Pela benção de gerar uma vida, minha amada filha Lara.

Aos meus pais, Antônio Augusto e Angelita, por serem a base. Por me apoiarem, em todos os momentos da minha vida.

À toda minha família, em especial as minhas sobrinhas que sempre foram motivo de alegria e trouxeram leveza em período de turbulência.

Ao meu marido Rafael, pelo companheirismo, carinho, incentivo, acalento e paciência. Pelas noites e madrugadas me acompanhando no laboratório. Por nossa filha e o todo amor e cuidado conosco.

A meu amigo e coorientador Dirceu, que me incentivou a fazer o doutorado. Por aguentar meus momentos de desespero; por não me deixar desistir; por me ensinar e me acelerar. Sem dúvida nenhuma, o seu apoio foi fundamental para conclusão dessa etapa.

À minha orientadora, Prof. Dr<sup>a</sup>. Rosane Schwan, pela oportunidade de conhecimentos adquiridos, carinho, compreensão e confiança.

À Dr<sup>a</sup>. Pamela pela orientação, auxílios e correções e ao Dr. Victor Hugo pela paciência, pela colaboração direta no trabalho e por todo o conhecimento passado.

Aos meus colegas de laboratório e ao Núcleo de Estudos em Fermentações (NEFER), em especial ao Hygor, Iara, Cidinha, Nádia, Bia, Andreísa e Ivani pelas ajudas, conversas e risadas.

Ao Departamento de Nutrição, pela aprovação do meu afastamento para a conclusão do doutorado e pelo apoio com palavras acolhedoras.

Ao meu colega de trabalho Geraldo pelo incentivo e ajuda em análises.

À Universidade Federal de Lavras e ao Programa de Pós-Graduação em Ciência dos Alimentos pela oportunidade de realizar esse trabalho, em especial a Prof. Alcinéia pela presteza e esclarecimentos. Agradeço também a Capes, CNPq e FAPEMIG pela concessão da bolsa de estudos, e outras formas de fomento que tornaram possíveis a realização do doutorado.

**MUITO OBRIGADA!**

*“Se eu vi mais longe, foi por estar sobre os ombros de gigantes.”*

## RESUMO

Diante da demanda por praticidade e valor agregado, este estudo desenvolveu, por meio de otimização, um extrato seco de taro fermentado por co-cultura de bactéria ácido-lática (*Lactiplantibacillus plantarum* CCMA 0743) e levedura (*Pichia kluyveri* CCMA 0615), visando um produto funcional não lácteo com efeitos simbióticos e pós-bióticos e viabilidade bacteriana superior a 6 Log UFC/mL. As condições de processamento foram definidas por Metodologia de Superfície de Resposta (DCCR), com 5,0 Log UFC/mL de *P. kluyveri* (fixo), ~6,9 Log UFC/mL de *L. plantarum*, fermentação por 18 h a 30 °C e secagem por spray drying a 75 °C. O produto final apresentou baixa atividade de água (0,38), higroscopicidade (4,04) e pH (3,89), além de bom desempenho tecnológico (rendimento >50%, solubilidade >70%) e alta sobrevivência dos microrganismos (*L. plantarum* 90,74%, *P. kluyveri* 47,76%). Demonstrou estabilidade por seis meses sob refrigeração com viabilidade acima de 8 Log UFC/g e resistência às condições simuladas do trato gastrointestinal. A composição nutricional manteve-se estável, com leve redução de proteínas (-1,22 g/100 g) e retenção >50% do amido, favorecendo proteção celular e possível efeito prebiótico. A fermentação aumentou a produção de ácido lático (10,64 mg/g) e compostos voláteis, como hexanoico (437,90 mg/g), octanoico (103,00 mg/g), álcool benzílico (293,40 ng/g), feniletanol (9580,00 ng/g), além de cetonas e aldeídos que ampliaram a complexidade aromática. Esses resultados evidenciam o potencial do extrato como ingrediente simbiótico inovador, com estabilidade, viabilidade probiótica, geração de metabólitos bioativos e perfil sensorial atrativo.

**Palavras-chaves:** *Colocasia esculenta*; Otimização; Simbióticos; *Lactiplantibacillus plantarum*; *Pichia kluyveri*.

## ABSTRACT

In response to current consumer demand for convenience and added value, this study developed, through optimization, a spray-dried taro extract fermented by co-culture of lactic acid bacteria (*Lactiplantibacillus plantarum* CCMA 0743) and yeast (*Pichia kluyveri* CCMA 0615). The goal was to create a non-dairy functional ingredient with symbiotic and postbiotic effects, maintaining bacterial viability above 6 Log CFU/mL. Processing conditions were defined using Response Surface Methodology (Central Composite Rotational Design), with 5.0 Log CFU/mL of *P. kluyveri* (fixed), ~6.9 Log CFU/mL of *L. plantarum*, fermentation for 18 h at 30 °C, and spray drying at 75 °C. The final product showed low water activity (0.38), hygroscopicity (4.04), and pH (3.89), with good technological performance (yield >50%, solubility >70%) and high microbial survival (*L. plantarum* 90.74%, *P. kluyveri* 47.76%). It remained stable for six months under refrigeration, with viability above 8 Log CFU/g and resistance to simulated gastrointestinal conditions. Nutritional composition was preserved, with a slight protein reduction (−1.22 g/100 g) and >50% starch retention, contributing to cell protection and a potential prebiotic effect. Fermentation enhanced bioactive compound production, especially lactic acid (10.64 mg/g) and volatiles such as hexanoic acid (437.90 mg/g), octanoic acid (103.00 mg/g), benzyl alcohol (293.40 ng/g), and phenylethanol (9580.00 ng/g), imparting sweet and floral aromas. Compounds like 3,5-octadien-2-one (531.74 ng/g) and (E)-2-nonenal (1040.00 ng/g) increased aromatic complexity. These findings highlight the potential of the fermented taro extract as an innovative, non-dairy symbiotic ingredient, offering physicochemical stability, high probiotic viability, postbiotic production, and a desirable sensory profile.

**Keywords:** *Colocasia esculenta*; Optimization; Symbiotics; *Lactiplantibacillus plantarum*; *Pichia kluyveri*.

## INDICADORES DE IMPACTO

O presente trabalho possui impactos significativos de natureza social, tecnológica e econômica, ao propor o desenvolvimento de um ingrediente funcional não lácteo, em pó, com propriedades simbióticas e pós-bióticas, obtido a partir do extrato de taro fermentado por co-cultura probiótica. A pesquisa se insere nas áreas de Saúde e de Tecnologia e Produção, conforme a Política Nacional de Extensão, e está alinhada aos Objetivos de Desenvolvimento Sustentável da ONU, ao promover saúde e bem-estar, estimular práticas de consumo responsável, fomentar inovação industrial e apoiar o desenvolvimento de alimentos com maior valor agregado. Do ponto de vista tecnológico, o possível impacto gerado é evidenciado pela aplicação de biotecnologia, pelo potencial de uso de bactérias ácido-láticas e leveduras probióticas em processos fermentativos aplicados à formulação de alimentos funcionais, que demonstrou alto desempenho técnico, com taxa de sobrevivência superior a 90% para *Lactiplantibacillus plantarum* CCMA 0743 e estabilidade por até seis meses sob refrigeração. O produto apresentou rendimento do pó superior a 50%, solubilidade acima de 70%, pH acidificado (3,84) e baixa atividade de água (0,38), características que favorecem sua aplicação industrial. A otimização do processo por Metodologia de Superfície de Resposta, utilizando o Delineamento Composto Central Rotacional agregou rigor técnico e reprodutibilidade, aspectos essenciais para sua incorporação em linhas de produção. Social e economicamente, a formulação oferece uma alternativa inclusiva para consumidores com restrições ao consumo de lácteos, como intolerantes à lactose, alérgicos à proteína do leite e adeptos de dietas vegetarianas e veganas. A escolha do taro (*Colocasia esculenta*), cultura subutilizada no Brasil, contribui para a valorização de espécies nativas e o fortalecimento de cadeias produtivas locais, com potencial de geração de renda e incentivo à agricultura familiar.

## IMPACT INDICATORS

This work has significant social, technological, and economic impacts by proposing the development of a non-dairy functional ingredient in powder form, with symbiotic and postbiotic properties, obtained from taro extract fermented by probiotic co-culture. The research falls within the areas of Health and Technology and Production, in accordance with the National Extension Policy, and is aligned with the UN Sustainable Development Goals by promoting health and well-being, encouraging responsible consumption practices, fostering industrial innovation, and supporting the development of higher-value-added foods. From a technological perspective, the potential impact is evidenced by the application of biotechnology and the potential use of lactic acid bacteria and probiotic yeasts in fermentation processes applied to the formulation of functional foods. The research demonstrated high technical performance, with a survival rate exceeding 90% for *Lactiplantibacillus plantarum* CCMA 0743 and stability for up to six months under refrigeration. The product presented a powder yield of over 50%, solubility of over 70%, acidified pH (3.84), and low water activity (0.38), characteristics that favor its industrial application. Process optimization using Response Surface Methodology, using the Central Composite Rotational Design, added technical rigor and reproducibility, essential aspects for its incorporation into production lines. Socially and economically, the formulation offers an inclusive alternative for consumers with dairy restrictions, such as those with lactose intolerance, milk protein allergies, and vegetarian and vegan diets. The choice of taro (*Colocasia esculenta*), an underutilized crop in Brazil, contributes to the appreciation of native species and the strengthening of local production chains, with the potential to generate income and encourage family farming.

## SUMÁRIO

1.	INTRODUÇÃO .....	11
2.	REFERENCIAL TEÓRICO .....	12
2.1.	Benefícios do consumo de probióticos, pré-bióticos e pós-bióticos.....	12
2.1.1.	Probióticos.....	12
2.1.2.	Prebióticos.....	16
2.1.3.	Pós-bióticos .....	18
2.1.4.	Microencapsulação.....	21
2.1.5.	Taro ( <i>Colocasia esculenta</i> ).....	26
3.	CONSIDERAÇÕES GERAIS .....	31
	REFERÊNCIAS.....	33
	<b>ARTIGO - DESENVOLVIMENTO DE INGREDIENTE BIOATIVO NÃO LÁCTEO A PARTIR DE TARO (<i>Colocasia esculenta</i>) FERMENTADO POR CO-CULTIVO DE <i>L. Plantarum</i> e <i>P. Kluyveri</i>: FERMENTAÇÃO SIMBIÓTICA E SECAGEM POR SPRAY DRYING .....</b>	<b>49</b>
	RESUMO.....	49
1.	INTRODUÇÃO .....	51
2.	MATERIAIS E MÉTODOS .....	52
2.1.	Preparação do substrato fermentativo .....	52
2.2	Otimização através de metodologia de superfície de resposta .....	53
2.3	Microrganismos, condições de cultivo e fermentação .....	54
2.4	Microencapsulação por secagem por pulverização.....	55
2.5	População microbiana.....	55
2.6	Viabilidade celular, rendimento e taxa de sobrevivência após secagem .....	56
2.7	Análises no extrato seco otimizado e seu controle não inoculado .....	56
2.7.1	Viabilidade celular durante armazenamento .....	57
2.7.2	Atividade de água, higroscopicidade e solubilidade em água .....	57
2.7.3	Colorimetria, pH e composição centesimal.....	57
2.7.4	Morfologia e tamanho das microcápsulas (MEV).....	58
2.7.5	Concentração de ácidos orgânicos (HPLC) .....	59
2.7.6	Análise de compostos voláteis (GC-MS).....	59
2.7.7	Simulação do trato gastrointestinal .....	60
2.8	Análises estatísticas .....	61
3	RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	61
3.1	Otimização.....	61
3.2	Caracterização do extrato fermentado.....	66
4	CONCLUSÃO.....	85
	REFERÊNCIAS.....	86

## 1. INTRODUÇÃO

O mercado global de probióticos e alimentos fermentados está em rápida expansão, impulsionado por crescentes evidências científicas que comprovam os benefícios do consumo regular desses produtos para a saúde humana (Küçüköz; Trzaskowska, 2022). Comumente, produtos lácteos como iogurtes e leites fermentados são as principais matrizes utilizadas para o transporte de microrganismos probióticos. No entanto, o aumento da incidência de intolerância à lactose, alergias às proteínas do leite e a crescente adoção de dietas vegetarianas e veganas têm fomentado a busca por alternativas não lácteas com propriedades funcionais (Aspri; Papademas; Tsaltas, 2020; Zamfir; Angelescu; Voaides; Cornea *et al.*, 2022).

Paralelamente, o contínuo avanço científico tem incentivado a pesquisa e a seleção de novas linhagens probióticas, inclusive provenientes de microrganismos isolados de fermentações tradicionais. Menezes; Ramos; Cenzi; Melo *et al.* (2019), por exemplo, isolaram 13 cepas de leveduras de bebidas fermentadas indígenas, incluindo *Saccharomyces cerevisiae* e *Pichia kluyveri*, que apresentaram características tecnológicas desejáveis, como tolerância a condições adversas do trato gastrointestinal, hidrofobicidade e capacidade de adesão celular. Essas descobertas ampliam o potencial de aplicação de novas leveduras em produtos fermentados funcionais.

Além dos probióticos tradicionais, os pós-bióticos; produtos metabólicos, fragmentos celulares ou microrganismos inativados; têm ganhado destaque devido à sua elevada estabilidade físico-química, facilidade de manuseio, custo competitivo e perfil de segurança superior, especialmente para populações com imunidade vulnerável (Dunand; Burns; Binetti; Bergamini *et al.*, 2019; Ma; Tu; Chen, 2023).

Embora alimentos vegetais como frutas, hortaliças e grãos contenham prebióticos naturalmente, a ingestão dietética desses compostos nem sempre é suficiente para atingir níveis ideais. Como resposta, prebióticos vêm sendo produzidos por processos biotecnológicos e adicionados a alimentos processados, ampliando o acesso e a disponibilidade para os consumidores (Ferreira; Barroso; Castro; Da Rosa *et al.*, 2023). Nesse contexto, o desenvolvimento de produtos que reúnam simultaneamente compostos pré-, pró- e pós-bióticos representa uma estratégia inovadora e promissora para a promoção da saúde e a prevenção de doenças crônicas.

Entre os potenciais substratos vegetais para fermentação, destaca-se a *Colocasia esculenta*, popularmente conhecida como taro (Shah; Saeed; Afzaal; Waris *et al.*, 2022). Nutricionalmente, o taro apresenta características bastante atrativas: seu cormo é rico em

carboidratos, principalmente amido, que representa de 70 a 80% do peso seco da planta ((Shah; Saeed; Afzaal; Waris *et al.*, 2022)). Esse amido é altamente fermentável e pode ser convertido em amido resistente de alta qualidade por meio de processos térmicos simples (Hui; Zhu; Wang, 2024; Wu; Chiou, 2021). Além disso, a presença de fibras solúveis e insolúveis contribui para a estabilidade da matriz fermentativa e favorece o crescimento de microrganismos benéficos, funcionando como prebióticos no trato gastrointestinal (Saxby; Tipton; Lee; Wang *et al.*, 2020). Outro aspecto relevante é o teor de proteínas do taro, que, embora inferior ao conteúdo de carboidratos totais, fornece aminoácidos essenciais importantes para o metabolismo microbiano, visto que o nitrogênio é fundamental para a síntese de proteínas e ácidos nucleicos (Dahiya; Chowdhury; Kumar; Ghosh *et al.*, 2022).

Diante desse cenário, o desenvolvimento de novos ingredientes e suplementos baseados em matrizes vegetais fermentadas, com alegações combinadas de pré-, pró- e pós-bióticos, obtidos por processos otimizados que assegurem a estabilidade e a viabilidade celular, torna-se essencial para atender à crescente demanda por alimentos funcionais não lácteos. Tal avanço não apenas diversifica as opções de consumo, como também favorece a adesão a práticas alimentares mais saudáveis, ampliando o alcance e o impacto dos microrganismos e compostos bioativos na promoção da saúde.

Com base nisso, o presente trabalho teve como objetivo desenvolver um extrato de taro fermentado por co-cultura probiótica e seco por *spray drying*, com otimização das condições de processamento e análises físico-química, morfológica e avaliação da viabilidade celular no produto otimizado, visando consolidar o potencial simbiótico da formulação proposta.

## **2. REFERENCIAL TEÓRICO**

### **2.1. Benefícios do consumo de probióticos, pré-bióticos e pós-bióticos**

#### **2.1.1. Probióticos**

A ideia de que o consumo de probióticos é benéfico é antiga, remetendo ao seu surgimento, quando o cientista russo Elie Metchnikoff descobriu que as bactérias do ácido lático eram capazes de auxiliar na longevidade. Desde aquela época já existia a ideia de que os probióticos poderiam modificar o que hoje conhecemos como microbiota intestinal e, a partir disso, gerar benefícios à saúde (Guarner; Sanders; Szajewska; Cohen *et al.*, 2024).

Com o aprimoramento e consolidação desse conceito, desde 2014 considera-se que probióticos são microrganismos vivos que, quando administrados em quantidades adequadas, conferem benefício à saúde do hospedeiro (Hill; Guarner; Reid; Gibson *et al.*, 2014). Nesse sentido, é importante destacar que nem todos os microrganismos são probióticos. Conseqüentemente, não são todos os produtos fermentados que terão potencial probiótico (Dimidi; Cox; Rossi; Whelan, 2019).

Por exemplo, entre as bactérias ácido-láticas, bactérias fermentativas Gram positivas, não patogênicas e não toxigênicas, há várias espécies que também são probióticas, tais como: *Lactobacillus acidophilus*, *Lactobacillus rhamnosus*, *Lactobacillus plantarum*, *Lactococcus lactis*, e *Streptococcus thermophilus* (Feng; Wang, 2020). Contudo, outras espécies bacterianas, que não são ácido-láticas, como a *Akkermansia mucinophila*, *Christensenella minutus*, *Oxalobacter formigenes* além de leveduras, como a *Saccharomyces*, *Debaryomyces*, *Hanseniaspora*, *Pichia*, *Meyerozyma*, *Torulasporea*, também apresentam características que as definem como probióticas ou potencialmente probióticas (Guarner; Sanders; Szajewska; Cohen *et al.*, 2024; Jang; Lee; Paik, 2024; Staniszewski; Kordowska-Wiater, 2021).

O consumo de alimentos fermentados é uma prática humana que data desde 6.000 anos a.C, com aumento crescente na popularidade nos últimos anos (Patel; Butani; Kumar; Singh *et al.*, 2023). Os alimentos fermentados são aqueles que passam por processos microbianos controlados, com crescimento e conversão de componentes alimentares por meio de ação enzimática. Sua composição em si gera benefícios aos alimentos, dada sua capacidade de modificação e agregação de sabor, bem como do aumento da vida de prateleira (Dimidi; Cox; Rossi; Whelan, 2019). Contudo, o grande diferencial em termos de benefícios à saúde, é atrelado ao consumo dos microrganismos geralmente presentes nestes alimentos, com propriedades probióticas. Dessa forma, bactérias e leveduras devem apresentar como pré-requisito - empregados pela comunidade científica para sua seleção – as seguintes características: I) não ser patogênico; II) resistir a passagem pelo trato gastrointestinal (TGI); III) ser capaz de persistir no TGI; IV) prevenir a aderência de patógenos ao epitélio intestinal; V) apresentar capacidade de influenciar o metabolismo local; e VI) ser seguro e eficaz (Massoud; Jafari; Khosravi-Darani, 2024; Silva; Sardi; Pitanguí; Roque *et al.*, 2020).

Os mecanismos de atuação dos probióticos que geram benefícios à saúde do hospedeiro através da modulação da microbiota intestinal são diversos, incluindo benefícios imunológicos e não imunológicos (Gebreyel; Nicco; Al Khodor; Bilinski *et al.*, 2022; Wieërs; Belkhir; Enaud; Leclercq *et al.*, 2020).

Através da interação com a microbiota intestinal, os probióticos estimulam os mecanismos imunológicos da mucosa intestinal, favorecendo a identificação de antígenos, microrganismos patogênicos e compostos estranhos (Levy; Kolodziejczyk; Thaïss; Elinav, 2017). Com isso, o sistema de defesa torna-se mais efetivo, impedindo o aumento da permeabilidade intestinal e consequente inflamação crônica de baixo grau. Esse quadro é conhecido como endo toxemia metabólica, e é o mecanismo chave para o desenvolvimento das mais diversas doenças crônicas como obesidade, diabetes, câncer, entre outras doenças inflamatórias (Mohammad; Thiernemann, 2021).

A melhoria da barreira intestinal também estimula a ativação de macrófagos e aumenta a produção de imunoglobulina A (IgA), fortalecendo o sistema de defesa corporal e, portanto, a identificação de compostos estranhos (Mohammad; Thiernemann, 2021). Quanto maior a eficiência no reconhecimento desses compostos, menor o risco de aumento da permeabilidade intestinal e do desenvolvimento de inflamação crônica de baixo grau. Como resultado, ocorre a redução da probabilidade de instalação de um quadro inflamatório persistente, assim como a incidência de doenças associadas a inflamação crônica (Wieërs; Belkhir; Enaud; Leclercq *et al.*, 2020; Zhang; Zhang; Sun; Huang *et al.*, 2022).

Entre os benefícios não imunológicos cita-se a produção dos ácidos graxos de cadeia curta (AGCC), como o ácido acético, propiônico e butírico. Esses metabólitos desempenham um papel essencial na manutenção da saúde intestinal, especialmente o butirato, que atua como a principal fonte de energia para os colonócitos – células da mucosa intestinal (Liu; Wang; Yang; Zhang *et al.*, 2021). Sua ação fortalece a barreira epitelial ao modular a expressão de proteínas de junção estreita, reduzindo a permeabilidade paracelular e prevenindo a translocação bacteriana. Como resultado, há uma menor propensão ao desenvolvimento de inflamação crônica de baixo grau, promovendo um ambiente intestinal mais equilibrado e saudável (Carretta; Quiroga; López; Hidalgo *et al.*, 2021). Além disso, a produção de AGCC favorece a redução do pH do cólon, melhorando o crescimento de bactérias comensais - que não geram toxicidade ou efeito patogênico ao hospedeiro - e inibindo a multiplicação de bactérias patogênicas, que são os microrganismos responsáveis pelo desenvolvimento da permeabilidade intestinal e da inflamação crônica de baixo grau (García-Montero; Fraile-Martínez; Gómez-Lahoz; Pekarek *et al.*, 2021; Liu; Wang; Yang; Zhang *et al.*, 2021).

Os probióticos também melhoram integridade da barreira intestinal, pela indução da expressão de mucinas, glicoproteínas estruturais essenciais para a formação e manutenção da camada de muco que reveste o epitélio intestinal. Essa camada mucosa atua como uma barreira física e bioquímica, restringindo o contato direto entre microrganismos e o epitélio, além de

conter peptídeos antimicrobianos e imunomoduladores (Guo; Li; Tang; Chang *et al.*, 2022). O espessamento e a funcionalidade aprimorada dessa matriz mucosa dificultam a translocação de antígenos e moléculas estranhas, exigem a necessidade de ativação da resposta imunológica inata e adaptativa, o que, por sua vez, minimiza a produção de citocinas inflamatórias (García-Montero; Fraile-Martínez; Gómez-Lahoz; Pekarek *et al.*, 2021; Guo; Li; Tang; Chang *et al.*, 2022).

Além dos efeitos na barreira mucosa, os probióticos exercem funções metabólicas relevantes, como a facilitação da digestão de substratos alimentares complexos, promovendo um ambiente favorável para o crescimento de microrganismos comensais benéficos. Na ausência de probióticos, a fermentação de resíduos alimentares por bactérias patogênicas e patobiontes pode resultar na produção de metabólitos pró-inflamatórios e na disbiose intestinal. Assim, um intestino íntegro irá desempenhar melhor a sua função primária de digestão dos alimentos, permitindo maior eficiência no aproveitamento nutricional dos alimentos (Guarner; Sanders; Szajewska; Cohen *et al.*, 2024; Liu; Ma; Feng; Zhou *et al.*, 2023).

Diante do conhecimento a respeito dos efeitos benéficos do consumo de probióticos, cada vez mais estudos tem buscado a ampliação da gama de microrganismos com tais características. Menezes; Ramos; Cenzi; Melo *et al.* (2019), isolaram 13 cepas de leveduras de diferentes alimentos fermentados indígenas, dos quais 12 eram espécies de *Sacharomyces cerevisiae* (nove da bebida indígena caxiri e três do kefir) e um isolado *Pichia kluyveri* (da fermentação de cacau). Tais isolados mostraram características tecnológicas probióticas, como sobrevivência a 37 °C, tolerância à baixo pH e sais biliares, alto nível de hidrofobicidade, capacidade de autoagregação, coagregação com patógenos e adesão as células Caco-2 (Menezes; Ramos; Dias; Schwan, 2018). Já Miranda; Souza; Costa Sobrinho; Dias *et al.* (2023), encontraram 12 cepas de leveduras isoladas de pingo de queijo minas artesanal, com potencial probiótico, das quais nove eram das espécies *Yarrowia lipolytica* e *Kodamaea ohmeri*.

Outros autores também encontraram esse potencial em cepas de bactérias de diferentes origens. Alguns exemplos são os *Lactiplantibacillus plantarum* isolados de bebida indígena cauí, leite cru holandês e vegetais fermentados artesanalmente em Shaanxi, China (Fonseca; De Sousa Melo; Ramos; Dias *et al.*, 2021; Liu; Xue; Ding; An *et al.*, 2022; Zhang; Lai; Zhou; Yang *et al.*, 2022) e *Lactobacillus brevis* de vegetais fermentados artesanalmente em Shaanxi, China (Fonseca; De Sousa Melo; Ramos; Dias *et al.*, 2021; Liu; Xue; Ding; An *et al.*, 2022; Zhang; Lai; Zhou; Yang *et al.*, 2022). Dessa forma, a incorporação de probióticos na dieta representa uma estratégia promissora para a promoção da saúde e o equilíbrio da microbiota intestinal.

Nesse cenário, observa-se que o impacto benéfico dos probióticos pode ser amplificado quando combinados com compostos que favorecem seu crescimento e atividade no trato gastrointestinal. É nesse contexto que surgem os prebióticos, cuja função principal é atuar como substratos seletivos para microrganismos benéficos, potencializando seus efeitos sobre a saúde do hospedeiro.

### **2.1.2. Prebióticos**

Os prebióticos constituem uma classe de ingredientes funcionais que vêm ganhando relevância na área de alimentos e nutrição, especialmente por sua atuação sinérgica com os probióticos. São compostos bioativos adicionados ou naturalmente presentes em alguns alimentos que servem como substratos para microrganismos específicos do trato gastrointestinal, conferindo benefícios à saúde (Wu; Chiou, 2021). Para ser considerado um prebiótico, os compostos devem apresentar as seguintes características: (1) resistência à digestão, (2) fermentação seletiva por microbiota potencialmente benéfica no cólon e (3) estimulação seletiva do crescimento de probióticos (Slavin, 2013).

Os principais prebióticos conhecidos incluem oligossacarídeos e polissacarídeos como frutooligossacarídeos (FOS), inulina e amido resistente (Rezende; Lima; Naves, 2021). Seu principal alvo são espécies benéficas do trato gastrointestinal, especialmente *Lactobacillus* e *Bifidobacterium*, cuja fermentação gera ácidos graxos de cadeia curta (AGCCs) – acetato, propionato e butirato – associados à promoção da saúde intestinal, ao metabolismo energético e à resposta imunológica (Obayomi; Olaniran; Owa, 2024).

Embora naturalmente encontrados em pequenas quantidades em alimentos de origem vegetal, como frutas, verduras e grãos, a quantidade ideal de prebióticos nem sempre é alcançada apenas pela dieta. Por esse motivo, muitos prebióticos são produzidos biotecnologicamente e adicionados a alimentos processados para facilitar seu consumo e torná-los mais acessíveis aos consumidores (Ferreira; Barroso; Castro; Da Rosa *et al.*, 2023).

Atualmente, não existem recomendações dietéticas oficiais para a "ingestão adequada" ou "dose diária recomendada" de prebióticos em indivíduos saudáveis. A quantidade de prebióticos associada a efeitos benéficos à saúde geralmente varia entre 3 e 20 g por dia, podendo ser administrada em doses fracionadas ao longo do dia. Essa dosagem, no entanto, é específica para cada tipo de prebiótico e deve ser determinada com base na quantidade comprovadamente eficaz para promover os efeitos desejados (Hutkins; Walter; Gibson; Bedu-Ferrari *et al.*, 2024; Scott; Grimaldi; Cunningham; Sarbini *et al.*, 2019).

Um exemplo é o posicionamento da Autoridade Europeia para a Segurança Alimentar, que, em 2015, reconheceu que o consumo diário de 12 g de inulina de chicória nativa contribui para a manutenção da função intestinal normal, ao aumentar a frequência das evacuações (Agostoni; Canani; Fairweather-Tait; Heinonen *et al.*, 2015). Por outro lado, o Colégio Americano de Gastroenterologia recomendou evitar o uso de prebióticos em pacientes com síndrome do intestino irritável e outras doenças inflamatórias intestinais, pois seu uso pode induzir disbiose intestinal e agravar o quadro clínico (Ford; Moayyedi; Chey; Harris *et al.*, 2018). Portanto, a dose efetiva determinada para um prebiótico não pode ser automaticamente extrapolada para outros, sendo necessário avaliá-la de forma independente, de acordo com sua aplicação específica (Le Bastard; Chapelet; Javaudin; Lepelletier *et al.*, 2019).

Dentre os benefícios atribuídos ao consumo de prebióticos destacam-se a modulação da microbiota intestinal, o fortalecimento da barreira epitelial, o aumento da absorção de cálcio e a redução de processos inflamatórios intestinais (Carlson; Erickson; Lloyd; Slavin, 2018). Há também evidências de que seu consumo pode contribuir para a prevenção e o manejo de doenças crônicas não transmissíveis (DCNT), como doenças cardiovasculares, resistência à insulina, obesidade, síndrome metabólica e diabetes tipo 2 (Kim; Keogh; Clifton, 2017; Wu; Chiou, 2021). Grande parte desses efeitos benéficos é atribuída à fermentação de fibras prebióticas no cólon, promovendo o crescimento de bactérias benéficas e a produção de AGCCs (Wu; Chiou, 2021).

Nos últimos anos, a incorporação de prebióticos em alimentos fermentados tem se mostrado uma estratégia promissora para potencializar a viabilidade e os efeitos dos microrganismos probióticos, compondo produtos simbióticos (Martín; Langella, 2019). A adição de prebióticos a alimentos como iogurtes, bebidas vegetais fermentadas, Kombucha e kefir tem demonstrado melhorar tanto o perfil sensorial quanto a estabilidade microbiológica dos produtos (Ferreira; Barroso; Castro; Da Rosa *et al.*, 2023; Shori; Al Zahrani, 2022).

Além dos alimentos tradicionais, a indústria de alimentos tem investido significativamente no desenvolvimento de novos produtos funcionais e até mesmo embalagens bioativas com características simbióticas (probióticos e prébióticos adicionados em conjunto) (Nambiar; Perumal; Shittu; Sadiku *et al.*, 2023).

Esses produtos incluem barras energéticas, bebidas, sopas instantâneas, farinhas enriquecidas e suplementos em pó, que visam facilitar o consumo diário de prebióticos de forma prática e eficiente. O uso de matérias-primas alternativas, como subprodutos agroindustriais (por exemplo, casca de frutas, extratos vegetais e resíduos ricos em fibras), tem sido uma tendência sustentável e inovadora nesse contexto (Patel; Butani; Kumar; Singh *et al.*, 2023).

Portanto, os prebióticos representam um campo de pesquisa importante na nutrição e da tecnologia de alimentos. Sua incorporação em alimentos fermentados e o desenvolvimento de novos produtos enriquecidos com esses compostos ampliam as formas de promoção da saúde humana por meio da dieta, alinhando-se às demandas contemporâneas por alimentos mais saudáveis, sustentáveis e tecnologicamente avançados.

Além dos efeitos promovidos pelos probióticos e prebióticos, pesquisas mais recentes têm evidenciado que mesmo na ausência da viabilidade celular, compostos microbianos podem exercer importantes funções fisiológicas. Esse entendimento deu origem ao conceito de pós-bióticos (Liu; Yang; Liu; Jiang *et al.*, 2022; Mehta; Ayakar; Singhal, 2023).

### **2.1.3. Pós-bióticos**

Nos últimos anos, a microbiologia e a ciência dos alimentos têm sido impulsionadas por novas perspectivas que buscam ampliar a compreensão dos efeitos benéficos dos microrganismos além de sua viabilidade celular (Cuevas-González; Liceaga; Aguilar-Toalá, 2020). Nesse contexto, surgem os chamados pós-bióticos, definidos como células microbianas não viáveis, componentes estruturais ou metabólitos biologicamente ativos, geralmente produzidos durante processos fermentativos, capazes de promover efeitos benéficos à saúde humana (Vera-Santander; Hernández-Figueroa; Jiménez-Munguía; Mani-López *et al.*, 2023).

Entre os principais compostos presentes nesses produtos, destacam-se estruturas da parede celular, como peptidoglicanos e lipoproteínas, além de metabólitos como ácidos graxos de cadeia curta (AGCCs), bacteriocinas, enzimas, vitaminas e outras moléculas bioativas, que podem atuar no organismo humano de maneira semelhante aos probióticos vivos (Ma; Tu; Chen, 2023; Salminen; Collado; Endo; Hill *et al.*, 2021).

Comparados aos probióticos, os pós-bióticos apresentam características tecnológicas e funcionais relevantes. Por se tratar de microrganismos inativos ou de seus derivados, possuem maior estabilidade físico-química o que facilita o armazenamento, o manuseio e a distribuição e podem ser mais viáveis economicamente (Dunand; Burns; Binetti; Bergamini *et al.*, 2019). Do ponto de vista da segurança, seu uso elimina o risco de colonização exacerbada ou translocação bacteriana, aspectos especialmente importantes em indivíduos imunocomprometidos e neonatos. Adicionalmente, há um risco diminuído de transferência de genes de resistência antimicrobiana, fenômeno normalmente associado ao uso de microrganismos vivos (Ma; Tu; Chen, 2023).

Os benefícios atribuídos ao consumo de pós-bióticos têm sido extensivamente investigados e, de forma geral, são semelhantes àqueles promovidos por microrganismos probióticos. Estudos indicam que essas substâncias podem modular positivamente a microbiota intestinal, promovendo o equilíbrio do ecossistema intestinal e a inibição do crescimento de patógenos (Cicenia; Santangelo; Gambardella; Pallotta *et al.*, 2016; Kareem; Hooi Ling; Teck Chwen; May Foong *et al.*, 2014; Seo; Gyu Lee; Young Eor; Jin Jeon *et al.*, 2022). Além disso, os pós-bióticos apresentam atividade antimicrobiana por meio da produção de compostos com ação antagonista contra patógenos, reforçando seu potencial profilático e terapêutico, na proteção contra infecções (Bendjeddou; Fons; Strocker; Sadoun, 2012; Rajakovich; Balskus, 2019). Contribuem ainda para a integridade da barreira intestinal, fortalecendo as junções epiteliais e reduzindo a permeabilidade intestinal, elementos cruciais para a manutenção da saúde gastrointestinal (Martyniak; Medyńska-Przęczek; Wędrychowicz; Skoczzeń *et al.*, 2021).

Adicionalmente, Homayouni Rad; Aghebati Maleki; Samadi Kafil e Abbasi (2021), observaram que os pós-bióticos têm elevada capacidade de absorção pelo metabolismo e sinalização para vários órgãos e tecidos, podendo ativar diversas respostas biológicas que beneficiam o consumidor. Evidências indicam que essas moléculas são capazes de modular o sistema imune, estimulando mecanismos de defesa e atenuando processos inflamatórios sistêmicos, o que pode ser útil na prevenção e controle de doenças inflamatórias crônicas (Mehta; Ayakar; Singhal, 2023). Outro estudo recente também aponta sua influência positiva no metabolismo do hospedeiro, regulando vias bioquímicas associadas à homeostase energética, ao controle glicêmico e de sinalização celular (Bourebaba; Marycz; Mularczyk; Bourebaba, 2022).

Como exemplo da influência positiva sobre o metabolismo humano, os AGCCs resultantes da fermentação prebiótica exercem múltiplas funções no organismo. Eles promovem a acidificação do ambiente intestinal, reduzindo o pH e o crescimento de bactérias patogênicas, por consequência (Roupar; González; Martins; Gonçalves *et al.*, 2023). O pH mais ácido também favorece a absorção de cálcio no intestino distal, promovendo a saúde óssea e reduzindo o risco de osteoporose (Carlson; Erickson; Lloyd; Slavin, 2018).

Além disso, os colonócitos, células que revestem o cólon, utilizam os AGCCs, especialmente o butirato, como fonte energética. Este AGCC contribui para a preservação da integridade da barreira intestinal e para a regeneração do epitélio, estimulando ainda a produção de proteínas de junção estreita e mucinas, que atuam como barreiras contra a translocação de patógenos e substâncias pró-inflamatórias (Fei; Chen; Han; Zhang *et al.*, 2023; Ney; Wipplinger; Grossmann; Engert *et al.*, 2023).

Do ponto de vista metabólico, os AGCCs modulam processos sistêmicos ao ativar receptores acoplados à proteína G (GPCRs), como GPR41 (FFAR3) e GPR43 (FFAR2), envolvidos na transdução de sinais metabólicos (Aoki; Kamikado; Suda; Takii *et al.*, 2017; Silva; Bernardi; Frozza, 2020; Van Der Hee; Wells, 2021).

O GPR41, mais responsivo ao butirato e propionato, é ativado em células enteroendócrinas, promovendo a liberação do peptídeo YY (PYY), que reduz o apetite, diminui a motilidade intestinal e melhora a sensibilidade à insulina (Silva; Bernardi; Frozza, 2020). O GPR43, por sua vez, apresenta maior afinidade por acetato e propionato; sua ativação em adipócitos inibe o acúmulo de gordura e estimula o metabolismo lipídico, além de induzir a secreção do peptídeo-1 semelhante ao glucagon (GLP-1), que estimula a secreção de insulina e reduz a glicemia (Anachad; Taouil; Taha; Bennis *et al.*, 2023; Arora; Rudenko; Egerod; Husted *et al.*, 2019; Fujinaga; Ohta; Endo; Nakanuma *et al.*, 2022).

Outro efeito importante dos AGCCs é a indução do escurecimento do tecido adiposo branco (TAB), um processo que converte adipócitos brancos em adipócitos "beges", ou "amarronzados", metabolicamente mais ativos. Diferente do TAB, que armazena energia, o tecido adiposo marrom (TAM) é especializado na termogênese, aumentando o gasto energético corporal (em mais de 40%) por meio da ação da proteína desacopladora-1 (UCP-1) (Moreno-Navarrete; Fernandez-Real, 2019). Estudos indicam que o acetato estimula a formação de adipócitos beges e que o butirato regula a termogênese via ativação da enzima LSD1, responsável pela regulação da UCP-1 (Hu *et al.*, 2016; Wang *et al.*, 2020). Essa modulação da termogênese possui efeitos antiobesogênicos e favorece o equilíbrio metabólico (Park; Sharma; Lee, 2023).

Diante desse panorama, os pós-bióticos representam uma alternativa segura, estável e funcional para promover a saúde humana, especialmente em contextos nos quais a administração de microrganismos vivos não é recomendada. Seu potencial de aplicação na indústria de alimentos, suplementos e produtos farmacêuticos impulsiona o crescente interesse por essa classe emergente de compostos bioativos.

Considerando os amplos benefícios à saúde promovidos por probióticos, prebióticos e pós-bióticos, torna-se essencial garantir que esses compostos mantenham sua estabilidade, funcionalidade e segurança até o momento do consumo e durante sua passagem no trato gastrointestinal. Nesse contexto, tecnologias como a microencapsulação surgem como ferramentas estratégicas para proteger esses agentes funcionais de condições adversas, possibilitando sua liberação controlada em regiões-alvo do organismo. A seguir, serão

abordadas as principais características e avanços tecnológicos relacionados ao processo de encapsulamento, com ênfase na aplicação em probióticos.

#### **2.1.4. Microencapsulação**

O encapsulamento é uma técnica amplamente utilizada no desenvolvimento de novos produtos e suplementos probióticos. Além da indústria alimentícia, setores como o farmacêutico, cosmético e agroquímico empregam essa tecnologia com o objetivo de preservar a estabilidade, funcionalidade e biodisponibilidade dos compostos ativos, facilitando o acesso dos consumidores (Yao; Xie; Du; McClements *et al.*, 2020). Trata-se de um processo avançado da engenharia de materiais e biotecnologia que consiste na proteção e aprisionamento de partículas sólidas, gotículas líquidas ou gases dentro de uma camada de revestimento, formando pequenas cápsulas (Choudhury; Meghwal; Das, 2021).

Em geral, essa técnica é aplicada a substâncias sensíveis, como compostos aromáticos, vitaminas, óleos essenciais, enzimas, antioxidantes, fármacos e probióticos, protegendo-os de fatores externos como umidade, temperatura, oxidação e degradação enzimática (Pech-Canul; Ortega; García-Triana; González-Silva *et al.*, 2020; Rajam; Subramanian, 2022; Souza; Santos; Cunha; Pacheco *et al.*, 2024). Além da proteção, o encapsulamento possibilita a liberação controlada dos ativos, garantindo uma absorção gradual e eficiente. Isso potencializa seus efeitos terapêuticos e funcionais, tornando a tecnologia essencial para diversas aplicações (Calderón-Oliver; Ponce-Alquicira, 2022; Choudhury; Meghwal; Das, 2021).

No contexto da encapsulação de probióticos ou microencapsulação, os microrganismos benéficos são revestidos por um material protetor, denominado material de parede. Esse revestimento, quando aplicado de maneira eficaz, desempenha um papel essencial na proteção dos probióticos contra condições adversas, tanto durante o processo de encapsulamento, como altas temperaturas e estresse mecânico, quanto fatores ambientais externos, como oxidação, umidade e pH extremos. Como resultado, há uma redução significativa na perda de viabilidade dos microrganismos e um aumento da estabilidade, o que contribui diretamente para a ampliação do tempo de prateleira dos produtos que os contêm (Pech-Canul; Ortega; García-Triana; González-Silva *et al.*, 2020; Zhu; Wang; Bai; Deng *et al.*, 2021).

Os probióticos têm como principal destino o intestino grosso, onde exercem seus efeitos benéficos. Sua ação eficaz está ligada à recomendação de que as formulações contenham microrganismo probióticos na faixa de  $10^8$ – $10^9$  UFC/g (unidades formadoras de colônia por grama) no momento do consumo, garantindo uma contagem mínima de  $10^6$ – $10^7$  UFC/g no

intestino grosso. No entanto, a passagem pelo trato gastrointestinal representa um grande desafio, pois os microrganismos enfrentam o ambiente ácido do estômago ( $\text{pH} \approx 2$ ) e a ação de enzimas digestivas, fatores que podem comprometer sua sobrevivência (Rajam; Subramanian, 2022). Diante disso, a liberação controlada de probióticos surge como uma estratégia para maximizar sua eficácia, direcionando os microrganismos para as regiões-alvo do trato gastrointestinal, onde eles poderão exercer seus efeitos terapêuticos de forma mais eficiente (Afzal; Afzaal; Saeed; Shah *et al.*, 2024; Kowsalya; Sudha; Ali; Velmurugan *et al.*, 2023).

O uso de materiais de parede adequados na encapsulação não só protege as células probióticas, como também favorece sua sobrevivência durante o armazenamento e o processamento industrial (Liao; Pang; Jin; Xu *et al.*, 2020; Zhang; Gu; You; Sela *et al.*, 2021). Além disso, essa tecnologia permite a diversificação das formas de consumo, possibilitando que os probióticos sejam comercializados em pó, cápsulas, comprimidos ou incorporados a alimentos funcionais, como iogurtes, bebidas fermentadas e barras nutricionais (Koh; Lim; Tan; Kobun *et al.*, 2022; Muzzafar; Sharma, 2018; Ramirez-Olea; Herrera-Cruz; Chavez-Santoscoy, 2024).

Devido ao baixo custo e alta eficiência de rendimento, a secagem por atomização (*spray drying*) é uma das tecnologias mais utilizadas para a microencapsulação de probióticos. No entanto, fatores como desidratação térmica, perda de umidade e estresse oxidativo podem comprometer a viabilidade dos microrganismos. Com o objetivo de minimizar essas perdas, a seleção do material de parede torna-se um fator essencial (Zhou; Xu; Dong; Hu *et al.*, 2023). Assim, para serem usados em probióticos, os materiais encapsulantes devem ser de qualidade alimentar, biodegradáveis, capazes de formar uma barreira física entre o núcleo e o ambiente externo e não reagir com o material de núcleo (Rajam; Subramanian, 2022). Além disso, é fundamental que ele seja adequado e economicamente viável, levando em consideração as características do núcleo e sua aplicação prática. Assim, os principais critérios para sua escolha baseiam-se na capacidade de preservação da sobrevivência celular microbiana durante o processamento e o armazenamento prolongado, bem como em propriedades como solubilidade, fluidez, formação de filme e emulsificação (Li; Guo; Lin; Bao *et al.*, 2023).

Na microencapsulação de probióticos por *spray drying*, diversos materiais têm sido empregados como agentes de parede, incluindo carboidratos (maltodextrina, goma arábica, amido e inulina), proteínas (proteína do soro do leite, caseína e gelatina), lipídios (lecitina) e outros biopolímeros (alginato e quitosana) (Misra; Pandey; Dalbhat; Mishra, 2022). Dentre os materiais de parede, as proteínas têm se mostrado altamente eficazes na proteção e viabilidade dos microrganismos (Li; Guo; Lin; Bao *et al.*, 2023). Soukoulis; Behboudi-

Jobbehdar; Yonekura; Parmenter *et al.* (2013) encontraram que o uso de proteína do soro de leite como um dos componentes do material de parede, aumentou em até 70% a sobrevivência de *Lactobacillus acidophilus* NCIMB 701748. Dianawati; Lim; Ooi e Shah (2017), de forma semelhante, observaram que a adição de materiais à base de proteína também aumentou a sobrevivência de *L. acidophilus* durante a exposição à condição gastrointestinal simulada em comparação ao controle, sem adição de proteínas.

As proteínas possuem excelente capacidade emulsificante, formam matrizes estruturadas e coesas e criam barreiras eficientes contra a difusão de oxigênio, fatores essenciais para preservar a integridade das células probióticas (Razavi; Janfaza; Tasnim; Gibson *et al.*, 2021). Além disso, proteínas como *whey protein* e caseína demonstram boa solubilidade em meio aquoso, o que favorece a reidratação das microcápsulas e a liberação dos probióticos em ambientes específicos, no trato gastrointestinal (Burgain; Corgneau; Scher; Gaiani, 2015; Burgain; Gaiani; Cailliez-Grimal; Jeandel *et al.*, 2013).

Apesar de ser uma técnica eficiente, o custo dos materiais utilizados como parede na formulação de microcápsulas por secagem por *spray* deve ser criteriosamente avaliado, especialmente em aplicações industriais. Proteínas de alta pureza, como *whey protein* isolada e caseína hidrolisada, embora apresentem excelente capacidade emulsificante e formadora de filme, podem encarecer significativamente o processo, reduzindo suas previsões econômicas em larga escala (Kowalska; Ziarno; Ekielski; Żelaziński, 2022; Soukoulis; Behboudi-Jobbehdar; Yonekura; Parmenter *et al.*, 2013). Como alternativa, proteínas de menor custo, como proteínas de soro concentradas e proteínas vegetais derivadas de soja ou ervilha, vêm sendo amplamente estudadas devido ao seu potencial para substituir parcialmente proteínas de alto valor agregado, mantendo um equilíbrio entre desempenho tecnológico e previsões econômicas (Arslan; Erbas; Tontul; Topuz, 2015; Dianawati; Lim; Ooi; Shah, 2017).

Além das proteínas, os carboidratos desempenham um papel essencial na microencapsulação, contribuindo tanto para a formação da matriz protetora quanto para a estabilidade das microcápsulas. Substâncias como maltodextrina, goma arábica e sacarose são frequentemente utilizadas devido à sua solubilidade em água, baixa higroscopicidade e capacidade de formar películas protetoras ao redor dos microrganismos encapsulados (Kowalska; Ziarno; Ekielski; Żelaziński, 2022; Zhou; Xu; Dong; Hu *et al.*, 2023). A associação entre proteínas e carboidratos tem se mostrado uma estratégia eficaz para atualizar propriedades tecnológicas, reduzir custos e melhorar a taxa de sobrevivência dos microrganismos durante o processamento e armazenamento (Yao; Liu; He; Hu *et al.*, 2023; Ying; Sun; Sanguansri; Weerakkody *et al.*, 2012).

Além desses carboidratos, outros polímeros naturais, como amido, alginato e pectina, vêm sendo explorados na microencapsulação, devido ao seu baixo custo, ampla disponibilidade e propriedades funcionais desenvolvidas, como biocompatibilidade e biodegradabilidade (Annan; Borza; Hansen, 2008; Razavi; Janfaza; Tasnim; Gibson *et al.*, 2021; Xie; Zhao; Liu; Yue *et al.*, 2023). O amido, em particular, destaca-se como material de parede promissor, devido ao seu baixo custo e ampla disponibilidade, sendo encontrado em diversas fontes vegetais (Hoyos-Leyva; Bello-Pérez; Alvarez-Ramirez; Garcia, 2018).

Como um dos principais polissacarídeos naturais, o amido é reconhecido por sua segurança no consumo, baixo custo, ausência de alergenicidade e capacidade de formar géis com estrutura forte e flexível, sem alterar características sensoriais como cor, sabor e odor quando incorporado a outros produtos (Zhao; Li; Xia; Kang *et al.*, 2023). O amido é composto por dois polímeros principais: a amilose, responsável pela formação de géis e filmes resistentes, e a amilopectina, que confere maior solubilidade e flexibilidade às cápsulas (Razavi; Janfaza; Tasnim; Gibson *et al.*, 2021). A liberação do componente encapsulado ocorre a partir do envoltório de amido, sendo influenciada por variações de pH, temperatura, difusão de fluidos externos, reações químicas, hidratação enzimática ou ruptura mecânica (Chen; Su; Li; Man *et al.*, 2024; Qi; Tester, 2019).

O amido resistente, que não é digerido no intestino delgado por enzimas pancreáticas, é amplamente utilizado para fins de encapsulamento, proporcionando uma liberação mais eficiente das células em um estado viável e metabolicamente ativo no intestino grosso (Razavi; Janfaza; Tasnim; Gibson *et al.*, 2021). Esse tipo de amido é classificado em cinco categorias, com base em suas propriedades físico-químicas. O AR1, ou amido fisicamente encapsulado, está presente em grãos integrais, sementes e leguminosas, onde a estrutura celular protege fisicamente o amido, dificultando a ação das enzimas digestivas. O AR2, denominado amido granular resistente, é encontrado em alimentos ricos em amido cru, como batata crua e banana verde, cuja estrutura cristalina reduz sua digestibilidade. O AR3, conhecido como amido retrogradado, forma-se durante o cozimento e posterior resfriamento de alimentos ricos em amido, como batatas cozidas e arroz resfriado, tornando-se mais resistente à digestão. O AR4, ou amido quimicamente modificado, é produzido industrialmente por meio de processos químicos, como ligações cruzadas ou esterificação, que aumentam sua resistência à digestão. Por fim, o AR5, chamado de complexo amido-lipídio, é obtido por nanotecnologia, na qual moléculas de lipídios são conjugadas às de amido, conferindo maior resistência à digestão enzimática (Gutiérrez; Bello-Pérez, 2022; Tekin; Dincer, 2022).

Apesar de serem mais resistentes a digestão, nem todos os tipos de amido, citados anteriormente, são adequados como materiais de parede para microcápsulas. O AR1 e o AR2 apresentam instabilidade durante processos de mobilidade, aquecimento e expansão, comprometendo sua funcionalidade. Em contrapartida, o AR3 destaca-se por sua elevada resistência à digestão por amilases pancreáticas, além de apresentar excelente estabilidade térmica e alta capacidade de retenção de água, características essenciais para a preservação da estrutura celular de microrganismos encapsulados. De forma semelhante, o AR4 também demonstra alta estabilidade e resistência à digestão, sendo um material promissor para microencapsulação. No entanto, sua aplicação em larga escala é limitada devido a preocupações ambientais relacionadas aos processos químicos envolvidos. Em relação ao AR5, há poucos estudos sobre sua viabilidade como material de parede, evidenciando uma lacuna na literatura que requer investigação adicional (Tekin; Dincer, 2022; Zhao; Li; Xia; Kang *et al.*, 2023).

Dessa forma, a utilização do amido resistente dos tipos 3 e 4 na tecnologia de microencapsulação apresenta grande potencial para aumentar a estabilidade e a vida útil de compostos sensíveis, melhorando a resistência térmica e promovendo a liberação controlada de probióticos e outras moléculas biologicamente ativas (Misra; Pandey; Dalbhat; Mishra, 2022). Muhammad; Ramzan; Huo; Tian *et al.* (2017) observaram que revestimentos compostos por amidos resistentes atingiram taxas de eficiência superiores a 90% na microencapsulação de *Lactobacillus acidophilus* KLDS 1.1003. Além disso, verificaram que formulações contendo amido resistente resultaram em melhores taxas de sobrevivência de *Lactiplantibacillus plantarum* KLDS 1.0344 durante o armazenamento e sob condições gastrointestinais simuladas.

Assim, além de ser economicamente vantajoso em comparação a outros materiais de parede, o amido apresenta excelente capacidade de formação de filme, estabilidade térmica e resistência à umidade, contribuindo para a proteção e liberação controlada dos probióticos (Razavi; Janfaza; Tasnim; Gibson *et al.*, 2021). Sua modificação química ou física pode aprimorar ainda mais suas propriedades funcionais, tornando-o um agente encapsulante altamente eficaz para aplicações industriais em larga escala. Além disso, a crescente demanda por sistemas de encapsulamento naturais e sustentáveis reforça a importância do amido como uma alternativa promissora na indústria alimentícia, farmacêutica e biotecnológica.

### 2.1.5. Taro (*Colocasia esculenta*)

Diante da importância do material de parede na eficiência da microencapsulação, tem-se intensificado a busca por fontes naturais, sustentáveis e de baixo custo que apresentem boas propriedades tecnológicas e funcionais. Nesse cenário, o taro (*Colocasia esculenta*) tem se destacado como uma alternativa promissora, especialmente no setor alimentício, por ser rico em amido, amplamente cultivado em regiões tropicais e economicamente viável (Hui; Zhu; Wang, 2024; Koh; Lim; Tan; Kobun *et al.*, 2022; Zhu, 2016).

O taro é uma planta herbácea anual pertencente à família *Araceae*, nativo do Sudeste Asiático e amplamente cultivado em regiões tropicais e subtropicais (Mitharwal; Kumar; Chauhan; Taneja, 2022; Shah; Saeed; Afzaal; Waris *et al.*, 2022). Seu cormo é conhecido por vários outros nomes, que variam entre si de região para região e até mesmo de país para país, possuindo denominações como eddoe, cocoyam, dasheen ou tannia (Dilek; Bilgiçli, 2021; Kaushal; Kumar; Sharma, 2013).

No Brasil, essa diversidade na nomenclatura gerou confusão entre as espécies, sendo inhame no sudeste do país, considerado as plantas do gênero *Colocasia* enquanto no norte e nordeste esse mesmo termo se refere às do gênero *Dioscorea*, também conhecido como cará. Com o objetivo de uniformizar essa classificação, o I Simpósio Nacional sobre as Culturas do Inhame e Cará, realizado em 2001, recomendou o uso do termo taro para as variedades pertencentes ao gênero *Colocasia* e o termo inhame ou cará para as variedades pertencentes ao gênero *Dioscorea* (Pedralli; Carmo; Cereda; Puiatti, 2002).

Considerado um alimento de alto valor nutritivo, o taro é uma excelente fonte de amido, polissacarídeos, vitaminas, minerais e fibras alimentares, contribuindo para uma alimentação equilibrada e saudável (Otekunrin; Sawicka; Adeyonu; Otekunrin *et al.*, 2021). Com um índice glicêmico moderado (IG 63,1), ele provoca menores picos de insulina no organismo, fornecendo energia de forma gradual (Zhu, 2016). Seu amido, que compõe entre 70% e 80% de sua estrutura, possui grânulos de tamanho reduzido. Essa característica o torna de alta digestibilidade, sendo especialmente adequado para produtos extrusados especiais, como dietas de desmame infantil e alimentação de pacientes com distúrbios gastrointestinais (Momin; Mitra; Jamir; Kongbrailatpam, 2021; Shah; Saeed; Afzaal; Waris *et al.*, 2022).

Além de rico em carboidratos, este alimento apresenta-se como uma boa fonte de micronutrientes. A cada 100 g, o taro fornece aproximadamente 2% de cálcio e selênio, 7% de magnésio, 9% de fósforo, 15% de potássio, 4% de zinco, 11% de vitamina E e 5% de vitamina C em Valores Diários Recomendados (VDR), considerando uma dieta de 2000 calorias.

Comparado à batata-doce, mandioca, batata inglesa e cará (*Dioscorea alata*) (Tabela 1), ele apresenta maiores teores de fósforo, potássio, zinco, cobre e vitamina E (Shah; Saeed; Afzaal; Waris *et al.*, 2022; Tbc, 2025).

Tabela 1. Perfil nutricional do taro, batata-doce, mandioca, cará e batata inglesa.

<b>Nutrientes*</b>	<b>Unidade</b>	<b>Inhame, (Taro)</b>	<b>Batata Doce</b>	<b>Mandioca (aipim, macaxeira)</b>	<b>Cará</b>	<b>Batata Inglesa</b>
Energia	kJ	374,0	498,0	560,0	368,0	305,0
Energia	kcal	88,0	117,0	132,0	87,0	71,0
Umidade	g	76,3	67,1	65,4	73,7	80,5
Carboidrato total	g	20,3	28,7	32,6	23,0	16,5
Carboidrato disponível	g	18,7	25,5	30,5	15,7	15,2
Proteína	g	2,3	1,8	1,0	2,3	2,0
Lipídios	g	0,1	0,2	0,2	0,1	0,0
Fibra alimentar	g	1,6	3,2	2,1	7,3	1,3
Álcool	g	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Cinzas	g	1,0	2,2	0,8	0,9	0,9
Colesterol	mg	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Ácidos graxos saturados	g	0,1	0,1	0,1	0,0	0,0
Ácidos graxos monoinsaturados	g	NA	NA	0,1	NA	NA
Ácidos graxos poliinsaturados	g	0,1	0,1	NA	0,1	0,0
Ácidos graxos trans	g	0,0	0,0	NA	0,0	0,0
Cálcio	mg	15,5	30,3	13,8	3,9	3,8
Ferro	mg	0,0	0,4	0,3	0,2	0,4
Sódio	mg	NA	9,5	2,0	NA	NA

Tabela 1. Continua

Nutrientes*	Unidade	Inhame, (Taro)	Batata Doce	Mandioca (aipim, macaxeira)	Cará	Batata Inglesa
Magnésio	mg	28,2	26,0	40,4	11,5	15,0
Fósforo	mg	65,0	39,3	26,7	34,7	43,9
Potássio	mg	510,0	367,0	189,0	212,0	445,0
Manganês	mg	0,1	0,2	0,1	0,0	0,1
Zinco	mg	0,5	0,2	0,2	0,2	0,3
Cobre	mg	0,2	0,1	0,1	0,1	0,1
Selênio	mcg	0,9	0,9	0,6	0,9	0,3
Vitamina A (RE)	mcg	5,3	716,0	13,7	11,4	NA
Vitamina A (RAE)	mcg	2,6	358,0	6,9	5,7	NA
Vitamina D	mcg	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Alfa-tocoferol (Vitamina E)	mg	1,7	1,2	0,2	0,3	0,0
Tiamina	mg	0,1	0,1	NA	0,1	0,1
Riboflavina	mg	NA	NA	NA	NA	NA
Niacina	mg	NA	NA	NA	NA	NA
Vitamina B6	mg	0,1	0,1	0,0	0,0	0,2
Vitamina B12	mcg	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Vitamina C	mg	5,0	17,8	15,0	8,8	35,4
Equivalente de folato	mcg	17,8	15,9	23,2	19,9	16,9
Sal de adição	g	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Açúcar de adição	g	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0

Valores para os alimentos sem casca e crus em 100g de peso seco. Fonte: TBCA (<https://www.tbca.net.br>)

Embora seja altamente nutritivo, o taro é impactado negativamente pela quantidade significativa de cristais de oxalato de cálcio. Ao serem ingeridos, esses compostos podem causar irritação aguda e sensação de ardência na boca e na garganta (Kaushal; Kumar; Sharma, 2013). Além disso, os oxalatos são considerados antinutricionais devido à sua capacidade de se ligar ao cálcio da dieta, formando cristais insolúveis que dificultam sua absorção e utilização pelo organismo. A longo prazo, esse efeito pode contribuir para o desenvolvimento de condições como cálculos renais, osteomalácia e raquitismo (Mitharwal; Kumar; Chauhan; Taneja, 2022).

Outro fator antinutricional presente no taro são os inibidores de tripsina. A tripsina é uma enzima essencial para a digestão de proteínas no intestino delgado, sendo responsável pela

quebra de moléculas proteicas em peptídeos menores para posterior absorção. Os inibidores dessa enzima, presentes no taro, pertencem a uma classe de proteínas ou peptídeos que se ligam à tripsina e limitam sua atividade, dificultando a digestão proteica. A ingestão de altos níveis desses compostos pode causar problemas digestivos, como desconforto abdominal e redução da biodisponibilidade de aminoácidos essenciais (Kaushal; Kumar; Sharma, 2013; Shao; Zhang; Niu; Jin, 2018).

Apesar da presença de fatores antinutricionais, o taro é considerado um alimento seguro e recomendado para o consumo, seus efeitos podem ser minimizados ou eliminados por meio de técnicas simples de processamento, como descascamento, imersão, fermentação e cozimento em diferentes meios, incluindo vapor e grelha (Dilek; Bilgiçli, 2021; Mitharwal; Kumar; Chauhan; Taneja, 2022).

O taro também possui propriedades multifuncionais amplamente valorizadas pela indústria alimentícia. Seu amido desempenha diversas funções, como emulsificante, agente de enchimento, estabilizante e substituto de gordura, aprimorando a textura e a estabilidade de uma variedade de produtos (Gonzalez-Soto; De La Vega; García-Suarez; Agama-Acevedo *et al.*, 2011; Hoyos-Leyva; Chavez-Salazar; Castellanos-Galeano; Bello-Perez *et al.*, 2018). Além disso, estudos demonstraram sua capacidade de formar agregados esféricos, que atuam como barreiras eficientes contra a oxidação, degradação de compostos bioativos e perda de viabilidade de probióticos, contribuindo para a preservação e a qualidade dos alimentos (Alfaro-Galarza; López-Villegas; Rivero-Perez; Tapia- Maruri *et al.*, 2020; Chen; Chen; Chu; Chen *et al.*, 2025; Gupta; Guha; Srivastav, 2024; Setiarto; Kusumaningrum; Jenie; Khusniati *et al.*, 2021; Shao; Zhang; Niu; Jin, 2018).

A qualidade das capsulas formadas pelo amido de taro está diretamente relacionada a presença de 5 a 7% de proteínas em sua composição. Essas proteínas atuam como agentes de ligação, promovendo a coesão dos grânulos de amido e facilitando a formação de microesferas mais estáveis (Hoyos-Leyva; Chavez-Salazar; Castellanos-Galeano; Bello-Perez *et al.*, 2018). Além disso, o pequeno tamanho dos grânulos do amido do taro permite a obtenção de encapsulados mais uniformes e compactos, resultando em microestruturas mais estáveis e eficientes para a proteção de compostos bioativos (Alfaro-Galarza; López-Villegas; Rivero-Perez; Tapia- Maruri *et al.*, 2020; Rosales-Chimal; Navarro-Cortez; Bello-Perez; Vargas-Torres *et al.*, 2023; Shao; Zhang; Niu; Jin, 2018).

Predominantemente classificado como amido resistente tipo 2 (AR2), o amido cru do taro apresenta estrutura granular compacta, rígida e de baixa solubilidade, características que poderiam limitar sua aplicabilidade direta nos processos de microencapsulação (Kaushal;

Kumar; Sharma, 2013; Simsek; El, 2012). No entanto, seu alto teor de amilopectina, confere alta capacidade de formação de géis e a estabilidade térmica, que associados a procedimentos simples, como cozimento e resfriamento controlado, podem modificar sua estrutura, promovendo rearranjos moleculares que o tornam ainda mais adequado para essa aplicação tecnológica (Alfaro-Galarza; López-Villegas; Rivero-Perez; Tapia- Maruri *et al.*, 2020; Boahemaa; Dzandu; Amissah; Akonor *et al.*, 2024).

O tratamento térmico pode induzir gelatinização seguida de retrogradação, favorecendo a conversão do amido em amido resistente tipo 3 (AR3). Essa conversão melhora a estabilidade das cápsulas formadas e aumenta a proteção e retenção de probióticos e outros compostos bioativos (Setiarto; Jenie; Faridah; Sulistiani *et al.*, 2018; Simsek; El, 2012). Além disso, esse amido modificado apresenta maior resistência à umidade e ao calor, garantindo maior durabilidade e eficiência dos encapsulados durante o armazenamento e processamento (Singla; Singh; Dhull; Kumar *et al.*, 2020; Tekin; Dincer, 2022).

A presença de amido resistente de fácil modificação, proteínas naturais e grânulos de pequeno tamanho confere ao taro um diferencial significativo em relação a outros amidos vegetais (Rosales-Chimal; Navarro-Cortez; Bello-Perez; Vargas-Torres *et al.*, 2023). Sua capacidade de retrogradação reforça sua termoestabilidade, tornando-o um material de parede altamente funcional para proteção de probióticos em sistemas encapsulados. Além disso, essas propriedades permitem liberação controlada de ativos, contribuindo para a melhora da biodisponibilidade dos compostos encapsulados (Alfaro-Galarza; López-Villegas; Rivero-Perez; Tapia- Maruri *et al.*, 2020).

Dessa forma, além de seu papel nutricional, o taro se destaca como um ingrediente inovador para o desenvolvimento de produtos funcionais e tecnológicos. Sua baixa alergenicidade e origem vegetal fazem dele uma opção adequada para todas as populações, incluindo aquelas que seguem dietas vegetarianas e veganas, sem comprometer valores éticos ou nutricionais (Savoldi; Scheufele; Drunkler; Da Silva *et al.*, 2022). Essas características tornam o taro um ingrediente promissor, cuja versatilidade de aplicações merece maior exploração científica e industrial, especialmente nas indústrias alimentícia, farmacêutica e cosmética.

### **3. CONSIDERAÇÕES GERAIS**

A utilização de probióticos na alimentação tem sido amplamente reconhecida por seus benefícios à saúde, especialmente na promoção do equilíbrio da microbiota intestinal e no

fortalecimento do sistema imunológico. No entanto, desafios como a estabilidade e viabilidade desses microrganismos durante o processamento e armazenamento têm impulsionado o uso conjunto de prebióticos e a busca por tecnologias inovadoras, entre as quais a microencapsulação se destaca como uma solução eficaz. Esse processo protege os probióticos de condições adversas, garantindo sua funcionalidade e melhorando sua biodisponibilidade no organismo.

Nesse cenário, a escolha do material de parede é um fator determinante para o sucesso da microencapsulação, sendo o amido uma alternativa amplamente estudada. Dentre as fontes naturais de amido conhecidas, o taro (*Colocasia esculenta*) apresenta um amido de grande potencial tecnofuncional, sustentável e economicamente viável, tornando-se uma opção promissora para essa aplicação. Além de seu amido de alta qualidade, este alimento como um todo, se destaca por seu perfil nutricional atrativo, com alto teor de fibras, vitaminas e minerais, tornando-se um ingrediente com potencial para agregar valor à indústria de alimentos.

Dessa forma, o uso do taro na microencapsulação de probióticos representa uma abordagem inovadora, unindo benefícios nutricionais e avanços tecnológicos para o desenvolvimento de produtos enriquecidos com probióticos, aliando benefícios nutricionais e viabilidade tecnológica.

## REFERÊNCIAS

- Afzal, A.; Afzaal, M.; Saeed, F.; Shah, Y. A. *et al.* Milk protein based encapsulation of probiotics and other food material: comprehensive review. **International Journal of Food Properties**, 27, n. 1, p. 245-262, 2024/12/31 2024.
- Agostoni, C.; Canani, R. B.; Fairweather-Tait, S.; Heinonen, M. *et al.* Scientific Opinion on the substantiation of a health claim related to “native chicory inulin” and maintenance of normal defecation by increasing stool frequency pursuant to Article 13.5 of Regulation (EC) No 1924/2006. pp. 3951.
- Aguirre-Güitrón, L.; Calderón-Santoyo, M.; Ortiz-Basurto, R. I.; Bautista-Rosales, P. U. *et al.* Optimisation of the spray drying process of formulating the post-harvest biocontrol agent *Meyerozyma caribbica*. **Biocontrol Science and Technology**, 28, n. 6, p. 574-590, 2018.
- Albuquerque, T. M. R. D.; Garcia, E. F.; Oliveira Araújo, A. D.; Magnani, M. *et al.* In Vitro Characterization of Lactobacillus Strains Isolated from Fruit Processing By-Products as Potential Probiotics. **Probiotics and Antimicrobial Proteins**, 10, n. 4, p. 704-716, 2017.
- Aleman, R.; Montero-Fernández, I.; Marcía, J.; Saravia Maldonado, S. *et al.* Application of Fermentation as a Strategy for the Transformation and Valorization of Vegetable Matrices. **Fermentation**, 10, n. 3, 2024.
- Alfaro-Galarza, O.; López-Villegas, E. O.; Rivero-Perez, N.; Tapia- Maruri, D. *et al.* Protective effects of the use of taro and rice starch as wall material on the viability of encapsulated *Lactobacillus paracasei* subsp. *Paracasei*. **LWT**, 117, p. 108686, 2020/01/01/ 2020.
- Anachad, O.; Taouil, A.; Taha, W.; Bennis, F. *et al.* The Implication of Short-Chain Fatty Acids in Obesity and Diabetes. **Microbiology Insights**, 16, p. 11786361231162720, 2023.
- Annan, N. T.; Borza, A. D.; Hansen, L. T. Encapsulation in alginate-coated gelatin microspheres improves survival of the probiotic *Bifidobacterium adolescentis* 15703T during exposure to simulated gastro-intestinal conditions. **Food Research International**, 41, n. 2, p. 184-193, 2008/01/01/ 2008.
- Aoki, R.; Kamikado, K.; Suda, W.; Takii, H. *et al.* A proliferative probiotic *Bifidobacterium* strain in the gut ameliorates progression of metabolic disorders via microbiota modulation and acetate elevation. **Scientific Reports**, 7, n. 1, p. 43522, 2017/03/02 2017.
- Araújo Etchepare, M. D.; Nunes, G. L.; Nicoloso, B. R.; Barin, J. S. *et al.* Improvement of the viability of encapsulated probiotics using whey proteins. **Lwt**, 117, 2020.
- Arora, T.; Rudenko, O.; Egerod, K. L.; Husted, A. S. *et al.* Microbial fermentation of flaxseed fibers modulates the transcriptome of GPR41-expressing enteroendocrine cells and protects mice against diet-induced obesity. **American Journal of Physiology-Endocrinology and Metabolism**, 316, n. 3, p. E453-E463, 2019.

Arslan, S.; Erbas, M.; Tontul, I.; Topuz, A. Microencapsulation of probiotic *Saccharomyces cerevisiae* var. *boulardii* with different wall materials by spray drying. **LWT - Food Science and Technology**, 63, n. 1, p. 685-690, 2015/09/01/ 2015.

Aspri, M.; Papademas, P.; Tsaltas, D. Review on Non-Dairy Probiotics and Their Use in Non-Dairy Based Products. **Fermentation**, 6, n. 1, p. 30, 2020.

Batista, N. N.; Ramos, C. L.; Pires, J. F.; Moreira, S. I. *et al.* Nondairy ice cream based on fermented yam (*Dioscorea* sp.). **Food Science & Nutrition**, 7, n. 5, p. 1899-1907, 2019.

Bendjeddou, K.; Fons, M.; Strocker, P.; Sadoun, D. Characterization and purification of a bacteriocin from *Lactobacillus paracasei* subsp. *paracasei* BMK2005, an intestinal isolate active against multidrug-resistant pathogens. **World Journal of Microbiology and Biotechnology**, 28, n. 4, p. 1543-1552, 2012/04/01 2012.

Bian, X.; Chen, J.-R.; Yang, Y.; Yu, D.-H. *et al.* Effects of fermentation on the structure and physical properties of glutinous proso millet starch. **Food Hydrocolloids**, 123, 2022.

Boahemaa, L. V.; Dzandu, B.; Amisah, J. G. N.; Akonor, P. T. *et al.* Physico-chemical and functional characterization of flour and starch of taro (*Colocasia esculenta*) for food applications. **Food and Humanity**, 2, p. 100245, 2024/05/01/ 2024.

Boas, M. P. P. V.; Almeida, L. C.; Do Lago, R. C.; Zitha, E. Z. M. *et al.* Impact of acerola pulp on physical and chemical properties of lactose-free sweet bread during storage. **Food Chemistry Advances**, 4, 2024.

Boldrini, D. E. Starch-based materials for drug delivery in the gastrointestinal tract-A review. **Carbohydrate Polymers**, 320, 2023.

Bourebaba, Y.; Marycz, K.; Mularczyk, M.; Bourebaba, L. Postbiotics as potential new therapeutic agents for metabolic disorders management. **Biomedicine & Pharmacotherapy**, 153, p. 113138, 2022/09/01/ 2022.

Braga, A. B. a. C.; Costa, C. J. M.; Pomella, A. W. V.; Ribeiro, E. J. *et al.* Evaluation of lethality temperature and use of different wall materials in the microencapsulation process of *Trichoderma asperellum* conidias by spray drying. **Powder Technology**, 347, p. 199-206, 2019.

Brandão, N. A.; Tagliapietra, B. L.; Clerici, M. T. P. S. Taro [*Colocasia esculenta* (L.) Schott]: a critical review of its nutritional value and potential for food application. **Food Science and Technology**, 43, 2023.

Broeckx, G.; Vandenheuvel, D.; Claes, I. J. J.; Lebeer, S. *et al.* Drying techniques of probiotic bacteria as an important step towards the development of novel pharmabiotics. **International Journal of Pharmaceutics**, 505, n. 1-2, p. 303-318, 2016.

Burgain, J.; Corgneau, M.; Scher, J.; Gaiani, C. Chapter 20 - Encapsulation of Probiotics in Milk Protein Microcapsules. *In*: Sagis, L. M. C. (Ed.). **Microencapsulation and Microspheres for Food Applications**. San Diego: Academic Press, 2015. p. 391-406.

Burgain, J.; Gaiani, C.; Cailliez-Grimal, C.; Jeandel, C. *et al.* Encapsulation of *Lactobacillus rhamnosus* GG in microparticles: Influence of casein to whey protein ratio on bacterial survival during digestion. **Innovative Food Science & Emerging Technologies**, 19, p. 233-242, 2013/07/01/ 2013.

Bustos, A. Y.; Taranto, M. P.; Gerez, C. L.; Agriopoulou, S. *et al.* Recent Advances in the Understanding of Stress Resistance Mechanisms in Probiotics: Relevance for the Design of Functional Food Systems. **Probiotics and Antimicrobial Proteins**, 17, n. 1, p. 138-158, 2024.

Calderón-Oliver, M.; Ponce-Alquicira, E. The Role of Microencapsulation in Food Application. **Molecules**, 27, n. 5, p. 1499, 2022.

Cano-Chauca, M.; Stringheta, P. C.; Ramos, A. M.; Cal-Vidal, J. Effect of the carriers on the microstructure of mango powder obtained by spray drying and its functional characterization. **Innovative Food Science & Emerging Technologies**, 6, n. 4, p. 420-428, 2005.

Carlson, J. L.; Erickson, J. M.; Lloyd, B. B.; Slavin, J. L. Health Effects and Sources of Prebiotic Dietary Fiber. **Current Developments in Nutrition**, 2, n. 3, p. nzy005, 2018/03/01/ 2018.

Carretta, M. D.; Quiroga, J.; López, R.; Hidalgo, M. A. *et al.* Participation of Short-Chain Fatty Acids and Their Receptors in Gut Inflammation and Colon Cancer. **Frontiers in Physiology**, Volume 12 - 2021, 2021-April-08 2021. Review.

Chandralekha, A.; Tavanandi, A. H.; Amrutha, N.; Hebbar, H. U. *et al.* Encapsulation of yeast (*Saccharomyces cerevisiae*) by spray drying for extension of shelf life. **Drying Technology**, 34, n. 11, p. 1307-1318, 2016.

Chang, H. M.; Foo, H. L.; Loh, T. C.; Lim, E. T. C. *et al.* Comparative Studies of Inhibitory and Antioxidant Activities, and Organic Acids Compositions of Postbiotics Produced by Probiotic *Lactiplantibacillus plantarum* Strains Isolated From Malaysian Foods. **Frontiers in Veterinary Science**, 7, 2021.

Chen, C.; Su, Y.; Li, S.; Man, C. *et al.* Advances in oligosaccharides and polysaccharides with different structures as wall materials for probiotics delivery: A review. **International Journal of Biological Macromolecules**, 277, p. 134468, 2024/10/01/ 2024.

Chen, L.; Chen, B.; Chu, L.; Chen, L. *et al.* The storage quality and transcriptome analysis of fresh-cut taro by L-ascorbic acid combined with ultrasonic treatment. **Ultrasonics Sonochemistry**, 112, p. 107178, 2025/01/01/ 2025.

Choudhury, N.; Meghwal, M.; Das, K. Microencapsulation: An overview on concepts, methods, properties and applications in foods. **Food Frontiers**, 2, n. 4, p. 426-442, 2021.

Cicenia, A.; Santangelo, F.; Gambardella, L.; Pallotta, L. *et al.* Protective Role of Postbiotic Mediators Secreted by *Lactobacillus rhamnosus* GG Versus Lipopolysaccharide-induced Damage in Human Colonic Smooth Muscle Cells. **J Clin Gastroenterol**, 50 Suppl 2, Proceedings from the 8th Probiotics, Prebiotics & New Foods for Microbiota and Human Health meeting held in Rome, Italy on September 13-15, 2015, p. S140-s144, Nov/Dec 2016.

Cosme, F.; Inês, A.; Vilela, A. Consumer's acceptability and health consciousness of probiotic and prebiotic of non-dairy products. **Food Research International**, 151, 2022.

Cuevas-González, P. F.; Liceaga, A. M.; Aguilar-Toalá, J. E. Postbiotics and paraprobiotics: From concepts to applications. **Food Research International**, 136, p. 109502, 2020/10/01/2020.

Cui, S.; Hu, K.; Qian, Z.; Mao, B. *et al.* Improvement of Freeze-Dried Survival of *Lactiplantibacillus plantarum* Based on Cell Membrane Regulation. **Microorganisms**, 10, n. 10, 2022.

Dahiya, S.; Chowdhury, R.; Kumar, P.; Ghosh, S. *et al.* Recovery of Sugar and Nutrients from Algae and *Colocasia esculenta* (Taro) Leaves Using Chemical Hydrolysis. **Sustainability**, 14, n. 24, p. 16383, 2022.

Degrain, A.; Manhivi, V.; Remize, F.; Garcia, C. *et al.* Effect of Lactic Acid Fermentation on Color, Phenolic Compounds and Antioxidant Activity in African Nightshade. **Microorganisms**, 8, n. 9, 2020.

Desbois, A. P.; Smith, V. J. Antibacterial free fatty acids: activities, mechanisms of action and biotechnological potential. **Applied Microbiology and Biotechnology**, 85, n. 6, p. 1629-1642, 2009.

Dianawati, D.; Lim, S. F.; Ooi, Y. B. H.; Shah, N. P. Effect of Type of Protein-Based Microcapsules and Storage at Various Ambient Temperatures on the Survival and Heat Tolerance of Spray Dried *Lactobacillus acidophilus*. **Journal of Food Science**, 82, n. 9, p. 2134-2141, 2017.

Dilek, N. M.; Bilgiçli, N. Effect of taro [*Colocasia esculenta* (L.) Schott] flour and different shortening ratio on physical and chemical properties of gluten-free cookie. **Journal of Food Processing and Preservation**, 45, n. 11, p. e15894, 2021.

Dimidi, E.; Cox, S. R.; Rossi, M.; Whelan, K. Fermented Foods: Definitions and Characteristics, Impact on the Gut Microbiota and Effects on Gastrointestinal Health and Disease. **Nutrients**, 11, n. 8, p. 1806, 2019.

Dunand, E.; Burns, P.; Binetti, A.; Bergamini, C. *et al.* Postbiotics produced at laboratory and industrial level as potential functional food ingredients with the capacity to protect mice against *Salmonella* infection. **Journal of Applied Microbiology**, 127, n. 1, p. 219-229, 2019.

Fao/Who. Guidelines for the evaluation of probiotics in food. : FAO/WHO London, ON: 1-11 p. 2002.

Fei, Y.; Chen, Z.; Han, S.; Zhang, S. *et al.* Role of prebiotics in enhancing the function of next-generation probiotics in gut microbiota. **Critical Reviews in Food Science and Nutrition**, 63, n. 8, p. 1037-1054, 2023/03/23 2023.

Feng, T.; Wang, J. Oxidative stress tolerance and antioxidant capacity of lactic acid bacteria as probiotic: a systematic review. **Gut Microbes**, 12, n. 1, p. 1801944, 2020/11/09 2020.

Ferreira, I.; De Sousa Melo, D.; Menezes, A. G. T.; Fonseca, H. C. *et al.* Evaluation of potentially probiotic yeasts and *Lactiplantibacillus plantarum* in co-culture for the elaboration of a functional plant-based fermented beverage. **Food Research International**, 160, p. 111697, 2022/10/01/ 2022.

Ferreira, V. C.; Barroso, T. L. C. T.; Castro, L. E. N.; Da Rosa, R. G. *et al.* An overview of prebiotics and their applications in the food industry. **European Food Research and Technology**, 249, n. 11, p. 2957-2976, 2023/11/01 2023.

Fonseca, H. C.; De Sousa Melo, D.; Ramos, C. L.; Dias, D. R. *et al.* Probiotic Properties of Lactobacilli and Their Ability to Inhibit the Adhesion of Enteropathogenic Bacteria to Caco-2 and HT-29 Cells. **Probiotics and Antimicrobial Proteins**, 13, n. 1, p. 102-112, 2021/02/01 2021.

Ford, A. C.; Moayyedi, P.; Chey, W. D.; Harris, L. A. *et al.* American College of Gastroenterology Monograph on Management of Irritable Bowel Syndrome. **Am J Gastroenterol**, 113, n. Suppl 2, p. 1-18, Jun 2018.

Fujii, S.; Sakamoto, Y.; Aso, T.; Aktas, T. *et al.* Drying of Yeasts—Factors Affecting Inactivation During Drying. **Drying Technology**, 29, n. 16, p. 1981-1985, 2011.

Fujinaga, A.; Ohta, M.; Endo, Y.; Nakanuma, H. *et al.* Changes of Short-Chain Fatty Acids and Their Receptors in an Obese Rat Model After Sleeve Gastrectomy. **Obesity Surgery**, 32, n. 8, p. 2649-2657, 2022/08/01 2022.

García-Montero, C.; Fraile-Martínez, O.; Gómez-Lahoz, A. M.; Pekarek, L. *et al.* Nutritional Components in Western Diet Versus Mediterranean Diet at the Gut Microbiota–Immune System Interplay. Implications for Health and Disease. **Nutrients**, 13, n. 2, p. 699, 2021.

Gebrayel, P.; Nicco, C.; Al Khodor, S.; Bilinski, J. *et al.* Microbiota medicine: towards clinical revolution. **Journal of Translational Medicine**, 20, n. 1, p. 111, 2022/03/07 2022.

George, S.; Thomas, A.; Kumar, M. V. P.; Kamdod, A. S. *et al.* Impact of processing parameters on the quality attributes of spray-dried powders: a review. **European Food Research and Technology**, 249, n. 2, p. 241-257, 2022.

Gonçalves, R. F.; Silva, A. M. S.; Silva, A. M.; Valentão, P. *et al.* Influence of taro (*Colocasia esculenta* L. Shott) growth conditions on the phenolic composition and biological properties. **Food Chemistry**, 141, n. 4, p. 3480-3485, 2013.

Gonzalez-Soto, R. A.; De La Vega, B.; García-Suarez, F. J.; Agama-Acevedo, E. *et al.* Preparation of spherical aggregates of taro starch granules. **LWT - Food Science and Technology**, 44, n. 10, p. 2064-2069, 2011/12/01/ 2011.

Granato, D.; Barba, F. J.; Bursać Kovačević, D.; Lorenzo, J. M. *et al.* Functional Foods: Product Development, Technological Trends, Efficacy Testing, and Safety. **Annual Review of Food Science and Technology**, 11, n. 1, p. 93-118, 2020.

Guarner, F.; Sanders, M. E.; Szajewska, H.; Cohen, H. *et al.* World gastroenterology organisation global guidelines: probiotics and prebiotics. **Journal of clinical gastroenterology**, 58, n. 6, p. 533-553, 2024.

Guo, Q.; Li, S.; Tang, J.; Chang, S. *et al.* Microencapsulation of *Lactobacillus plantarum* by spray drying: Protective effects during simulated food processing, gastrointestinal conditions, and in kefir. **International Journal of Biological Macromolecules**, 194, p. 539-545, 2022.

Gupta, R. K.; Guha, P.; Srivastav, P. P. Exploring the potential of taro (*Colocasia esculenta*) starch: Recent developments in modification, health benefits, and food industry applications. **Food Bioengineering**, 3, n. 3, p. 365-379, 2024.

Gutiérrez, T. J.; Bello-Pérez, L. A. Self-assembled and assembled starch V-type complexes for the development of functional foodstuffs: A review. **Food Hydrocolloids**, 125, p. 107453, 2022/04/01/ 2022.

Hill, C.; Guarner, F.; Reid, G.; Gibson, G. R. *et al.* The International Scientific Association for Probiotics and Prebiotics consensus statement on the scope and appropriate use of the term probiotic. **Nature Reviews Gastroenterology & Hepatology**, 11, n. 8, p. 506-514, 2014/08/01 2014.

Homayouni Rad, A.; Aghebati Maleki, L.; Samadi Kafil, H.; Abbasi, A. Postbiotics: A novel strategy in food allergy treatment. **Crit Rev Food Sci Nutr**, 61, n. 3, p. 492-499, 2021.

Hoyos-Leyva, J. D.; Bello-Pérez, L. A.; Alvarez-Ramirez, J.; Garcia, H. S. Microencapsulation using starch as wall material: A review. **Food Reviews International**, 34, n. 2, p. 148-161, 2018/02/17 2018.

Hoyos-Leyva, J. D.; Chavez-Salazar, A.; Castellanos-Galeano, F.; Bello-Perez, L. A. *et al.* Physical and chemical stability of l-ascorbic acid microencapsulated into taro starch spherical aggregates by spray drying. **Food Hydrocolloids**, 83, p. 143-152, 2018.

Hui, G.; Zhu, P.; Wang, M. Structure and functional properties of taro starch modified by dry heat treatment. **International Journal of Biological Macromolecules**, 261, 2024.

Hutkins, R.; Walter, J.; Gibson, G. R.; Bedu-Ferrari, C. *et al.* Classifying compounds as prebiotics — scientific perspectives and recommendations. **Nature Reviews Gastroenterology & Hepatology**, 22, n. 1, p. 54-70, 2024.

Iaconelli, C.; Lemetais, G.; Kechaou, N.; Chain, F. *et al.* Drying process strongly affects probiotics viability and functionalities. **Journal of Biotechnology**, 214, p. 17-26, 2015.

Jabłońska-Ryś, E.; Sławińska, A.; Skrzypczak, K.; Goral, K. Dynamics of Changes in pH and the Contents of Free Sugars, Organic Acids and LAB in Button Mushrooms during Controlled Lactic Fermentation. **Foods**, 11, n. 11, 2022.

Jang, H. J.; Lee, N. K.; Paik, H. D. A Narrative Review on the Advance of Probiotics to Metabiotics. **J Microbiol Biotechnol**, 34, n. 3, p. 487-494, Mar 28 2024.

Karamad, D.; Khosravi-Darani, K.; Khaneghah, A. M.; Miller, A. W. Probiotic Oxalate-Degrading Bacteria: New Insight of Environmental Variables and Expression of the *oxc* and *frc* Genes on Oxalate Degradation Activity. **Foods**, 11, n. 18, 2022.

Kareem, K. Y.; Hooi Ling, F.; Teck Chwen, L.; May Foong, O. *et al.* Inhibitory activity of postbiotic produced by strains of *Lactobacillus plantarum* using reconstituted media supplemented with inulin. **Gut Pathogens**, 6, n. 1, 2014.

Karimifard, S.; Alavi Moghaddam, M. R. Application of response surface methodology in physicochemical removal of dyes from wastewater: A critical review. **Science of The Total Environment**, 640-641, p. 772-797, 2018.

Kaushal, P.; Kumar, V.; Sharma, H. K. Utilization of taro (*Colocasia esculenta*): a review. **Journal of Food Science and Technology**, 52, n. 1, p. 27-40, 2013.

Kaymak Ertekin, F.; Köprüalan Aydın, Ö.; Altay, Ö. Enhancing Viability of *Lactobacillus plantarum* BG24 Through Optimized Spray Drying: Insights Into Process Parameters, Carrier Agents, Comparative Analysis With Freeze Drying, and Storage Condition Influences. **Food Science & Nutrition**, 12, n. 12, p. 10330-10346, 2024.

Kim, Y. A.; Keogh, J. B.; Clifton, P. M. Probiotics, prebiotics, synbiotics and insulin sensitivity. **Nutrition Research Reviews**, 31, n. 1, p. 35-51, 2017.

Koh, W. Y.; Lim, X. X.; Tan, T.-C.; Kobun, R. *et al.* Encapsulated Probiotics: Potential Techniques and Coating Materials for Non-Dairy Food Applications. **Applied Sciences**, 12, n. 19, 2022.

Kowalska, E.; Ziarno, M.; Ekielski, A.; Żelaziński, T. Materials Used for the Microencapsulation of Probiotic Bacteria in the Food Industry. **Molecules**, 27, n. 10, 2022.

Kowsalya, M.; Sudha, K. G.; Ali, S.; Velmurugan, T. *et al.* Sustainability and controlled release behavior of microencapsulated *Lactobacillus plantarum* PRK7 and its application in probiotic yogurt production. **Food Bioscience**, 52, 2023.

Küçükgoz, K.; Trzaskowska, M. Nondairy Probiotic Products: Functional Foods That Require More Attention. **Nutrients**, 14, n. 4, 2022.

Kumar, A.; Green, K. M.; Rawat, M. A Comprehensive Overview of Postbiotics with a Special Focus on Discovery Techniques and Clinical Applications. **Foods**, 13, n. 18, 2024.

Lamidi, S.; Olaleye, N.; Bankole, Y.; Obalola, A. *et al.* Applications of Response Surface Methodology (RSM) in Product Design, Development, and Process Optimization. *In: Response Surface Methodology - Research Advances and Applications*, 2023. cap. Chapter 3.

Le Bastard, Q.; Chapelet, G.; Javaudin, F.; Lepelletier, D. *et al.* The effects of inulin on gut microbial composition: a systematic review of evidence from human studies. **European Journal of Clinical Microbiology & Infectious Diseases**, 39, n. 3, p. 403-413, 2019.

Lenth, R. V.; Lenth, M. R. V.; Vdgraph, S. Package 'rsm'. **R Foundation for Statistical Computing**, 2018.

Levy, M.; Kolodziejczyk, A. A.; Thaiss, C. A.; Elinav, E. Dysbiosis and the immune system. **Nature Reviews Immunology**, 17, n. 4, p. 219-232, 2017.

Li, M.; Guo, Q.; Lin, Y.; Bao, H. *et al.* Recent Progress in Microencapsulation of Active Peptides—Wall Material, Preparation, and Application: A Review. **Foods**, 12, n. 4, 2023.

Li, X.; Zhang, W.; Zeng, X.; Xi, Y. *et al.* Characterization of the Major Odor-Active Off-Flavor Compounds in Normal and Lipoxygenase-Lacking Soy Protein Isolates by Sensory-Directed Flavor Analysis. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, 71, n. 21, p. 8129-8139, 2023.

Liao, N.; Pang, B.; Jin, H.; Xu, X. *et al.* Potential of lactic acid bacteria derived polysaccharides for the delivery and controlled release of oral probiotics. **Journal of Controlled Release**, 323, p. 110-124, 2020.

Liao, Q.; Hang, X.; Liu, X.; Pan, J. *et al.* The influence of pH on heat stress response by probiotic *Lactobacillus plantarum* LP-Only. **Annals of Microbiology**, 60, n. 2, p. 341-348, 2010.

Liu, C.; Ma, N.; Feng, Y.; Zhou, M. *et al.* From probiotics to postbiotics: Concepts and applications. **Animal Research and One Health**, 1, n. 1, p. 92-114, 2023.

Liu, C.; Xue, W.-J.; Ding, H.; An, C. *et al.* Probiotic Potential of *Lactobacillus* Strains Isolated From Fermented Vegetables in Shaanxi, China. **Frontiers in Microbiology**, 12, 2022.

Liu, P.; Wang, Y.; Yang, G.; Zhang, Q. *et al.* The role of short-chain fatty acids in intestinal barrier function, inflammation, oxidative stress, and colonic carcinogenesis. **Pharmacological Research**, 165, 2021.

Liu, W.; Yang, G.; Liu, P.; Jiang, X. *et al.* Modulation of adipose tissue metabolism by microbial-derived metabolites. **Frontiers in Microbiology**, 13, 2022.

López-Palestino, A.; Gómez-Vargas, R.; Suárez-Quiroz, M.; González-Ríos, O. *et al.* Probiotic Potential of Lactic Acid Bacteria and Yeast Isolated from Cocoa and Coffee Bean Fermentation: A Review. **Fermentation**, 11, n. 2, 2025.

Louis, P.; Flint, H. J. Formation of propionate and butyrate by the human colonic microbiota. **Environmental Microbiology**, 19, n. 1, p. 29-41, 2016.

Ma, L.; Tu, H.; Chen, T. Postbiotics in Human Health: A Narrative Review. **Nutrients**, 15, n. 2, 2023.

Mansournia, M. A.; Waters, R.; Nazemipour, M.; Bland, M. *et al.* Bland-Altman methods for comparing methods of measurement and response to criticisms. **Global Epidemiology**, 3, 2021.

Martín, R.; Langella, P. Emerging Health Concepts in the Probiotics Field: Streamlining the Definitions. **Frontiers in Microbiology**, 10, 2019.

- Martins, P. M. M.; Batista, N. N.; Santos, L. D.; Dias, D. R. *et al.* Microencapsulation of epiphytic coffee yeasts by spray drying using different wall materials: Implementation in coffee medium. **International Journal of Food Microbiology**, 379, 2022.
- Martyniak, A.; Medyńska-Przęczek, A.; Wędrychowicz, A.; Skoczeń, S. *et al.* Prebiotics, Probiotics, Synbiotics, Paraprobiotics and Postbiotic Compounds in IBD. **Biomolecules**, 11, n. 12, 2021.
- Massoud, R.; Jafari, R.; Khosravi-Darani, K. Kombucha as a Health-Beneficial Drink for Human Health. **Plant Foods for Human Nutrition**, 79, n. 2, p. 251-259, 2024.
- Mccready, R. M.; Guggolz, J.; Silviera, V.; Owens, H. S. Determination of Starch and Amylose in Vegetables. **Analytical Chemistry**, 22, n. 9, p. 1156-1158, 2002.
- Mehta, J. P.; Ayakar, S.; Singhal, R. S. The potential of paraprobiotics and postbiotics to modulate the immune system: A Review. **Microbiological Research**, 275, 2023.
- Melini, F.; Melini, V.; Luziatelli, F.; Ficca, A. G. *et al.* Health-Promoting Components in Fermented Foods: An Up-to-Date Systematic Review. **Nutrients**, 11, n. 5, 2019.
- Méndez-Zamora, A.; Gutiérrez-Avendaño, D. O.; Arellano-Plaza, M.; De la torre gonzález, F. J. *et al.* The non-Saccharomyces yeast *Pichia kluyveri* for the production of aromatic volatile compounds in alcoholic fermentation. **FEMS Yeast Research**, 20, n. 8, 2020.
- Menezes, A. G. T.; Ramos, C. L.; Cenzi, G.; Melo, D. S. *et al.* Probiotic Potential, Antioxidant Activity, and Phytase Production of Indigenous Yeasts Isolated from Indigenous Fermented Foods. **Probiotics and Antimicrobial Proteins**, 12, n. 1, p. 280-288, 2019.
- Menezes, A. G. T.; Ramos, C. L.; Dias, D. R.; Schwan, R. F. Combination of probiotic yeast and lactic acid bacteria as starter culture to produce maize-based beverages. **Food Research International**, 111, p. 187-197, 2018.
- Miamoto, J. D. B. M.; Pereira, J.; Bertolucci, S. K. V. Obtaining and characterization of freeze-dried whole taro root (*Colocasia esculenta*), mucilage and residue as functional food. **Nutrição Brasil**, 17, n. 1, p. 9-18, 2018.
- Miranda, N. M. Z. D.; Souza, A. C. D.; Costa Sobrinho, P. D. S.; Dias, D. R. *et al.* Novel yeasts with potential probiotic characteristics isolated from the endogenous ferment of artisanal Minas cheese. **Brazilian Journal of Microbiology**, 54, n. 2, p. 1021-1033, 2023.
- Misra, S.; Pandey, P.; Dalbhat, C. G.; Mishra, H. N. Emerging Technologies and Coating Materials for Improved Probiotication in Food Products: a Review. **Food and Bioprocess Technology**, 15, n. 5, p. 998-1039, 2022.
- Mitharwal, S.; Kumar, A.; Chauhan, K.; Taneja, N. K. Nutritional, phytochemical composition and potential health benefits of taro (*Colocasia esculenta* L.) leaves: A review. **Food Chemistry**, 383, 2022.

Mitri, S.; Koubaa, M.; Maroun, R. G.; Rossignol, T. *et al.* Bioproduction of 2-Phenylethanol through Yeast Fermentation on Synthetic Media and on Agro-Industrial Waste and By-Products: A Review. **Foods**, 11, n. 1, 2022.

Mohammad, S.; Thiernemann, C. Role of Metabolic Endotoxemia in Systemic Inflammation and Potential Interventions. **Frontiers in Immunology**, 11, 2021.

Mohanta, R. K. Official Methods of Analysis of AOAC International. American Oil Chemists Society. Chemists, A. O. O. A. Maryland, USA: AOAC Press. 10 2016.

Momin, M.; Mitra, S.; Jamir, A.; Kongbrailatpam, M. Evaluation of physicochemical properties in different cultivars of Taro [*Colocasia esculenta* (L.) Schott]: A comparative study. **The Pharma Innovation Journal**, 10, n. 7, p. 1644-1649, 08/01 2021.

Moreno-Navarrete, J. M.; Fernandez-Real, J. M. The gut microbiota modulates both browning of white adipose tissue and the activity of brown adipose tissue. **Reviews in Endocrine and Metabolic Disorders**, 20, n. 4, p. 387-397, 2019/12/01 2019.

Muhammad, Z.; Ramzan, R.; Huo, G.-C.; Tian, H. *et al.* Integration of polysaccharide-thermoprotectant formulations for microencapsulation of *Lactobacillus plantarum*, appraisal of survivability and physico-biochemical properties during storage of spray dried powders. **Food Hydrocolloids**, 66, p. 286-295, 2017.

Muzzafar, A.; Sharma, V. Microencapsulation of probiotics for incorporation in cream biscuits. **Journal of Food Measurement and Characterization**, 12, n. 3, p. 2193-2201, 2018.

Nambiar, R. B.; Perumal, A. B.; Shittu, T.; Sadiku, E. R. *et al.* Editorial: Probiotics, prebiotics, synbiotics, postbiotics, & paraprobiotics - New perspective for functional foods and nutraceuticals. **Frontiers in Nutrition**, 10, 2023.

Ney, L.-M.; Wipplinger, M.; Grossmann, M.; Engert, N. *et al.* Short chain fatty acids: key regulators of the local and systemic immune response in inflammatory diseases and infections. **Open Biology**, 13, n. 3, 2023.

Nunes, G. L.; Etchepare, M. D. A.; Cichoski, A. J.; Zepka, L. Q. *et al.* Inulin, hi-maize, and trehalose as thermal protectants for increasing viability of *Lactobacillus acidophilus* encapsulated by spray drying. **Lwt**, 89, p. 128-133, 2018.

Obayomi, O. V.; Olaniran, A. F.; Owa, S. O. Unveiling the role of functional foods with emphasis on prebiotics and probiotics in human health: A review. **Journal of Functional Foods**, 119, 2024.

Otekunrin, O. A.; Sawicka, B.; Adeyonu, A. G.; Otekunrin, O. A. *et al.* Cocoyam [*Colocasia esculenta* (L.) Schott]: Exploring the Production, Health and Trade Potentials in Sub-Saharan Africa. **Sustainability**, 13, n. 8, 2021.

Park, S.-J.; Sharma, A.; Lee, H.-J. Postbiotics against Obesity: Perception and Overview Based on Pre-Clinical and Clinical Studies. **International Journal of Molecular Sciences**, 24, n. 7, 2023.

Pasquet, P. L.; Julien-David, D.; Zhao, M.; Villain-Gambier, M. *et al.* Stability and preservation of phenolic compounds and related antioxidant capacity from agro-food matrix: Effect of pH and atmosphere. **Food Bioscience**, 57, 2024.

Patel, P.; Butani, K.; Kumar, A.; Singh, S. *et al.* Effects of Fermented Food Consumption on Non-Communicable Diseases. **Foods**, 12, n. 4, 2023.

Pech-Canul, A. D. L. C.; Ortega, D.; García-Triana, A.; González-Silva, N. *et al.* A Brief Review of Edible Coating Materials for the Microencapsulation of Probiotics. **Coatings**, 10, n. 3, p. 197, 2020.

Pedralli, G.; Carmo, C. a. S. D.; Cereda, M.; Puiatti, M. Uso de nomes populares para as espécies de Araceae e Dioscoreaceae no Brasil. **Horticultura Brasileira**, 20, n. 4, p. 530-532, 2002.

Pereira, M. T. L.; Cavalcante, M. P.; Da Silva, S. F.; Sensheng, Y. *et al.* Effect of Different Carrier Agents on the Yield of Powered Plant Beverage Obtained by Spray Drying and Characterization of Physicochemical Properties. **ACS Food Science & Technology**, 4, n. 10, p. 2392-2399, 2024.

Qi, X.; Tester, R. F. Starch granules as active guest molecules or microorganism delivery systems. **Food Chemistry**, 271, p. 182-186, 2019.

R Core Team. **R: a language and environment for statistical computing**. Versão 4.5. R Foundation for Statistical Computing, 2025.

Radulović, Z.; Miočinović, J.; Mirković, N.; Mirković, M. *et al.* Survival of spray-dried and free-cells of potential probiotic *Lactobacillus plantarum* 564 in soft goat cheese. **Animal Science Journal**, 88, n. 11, p. 1849-1854, 2017.

Rajakovich, L. J.; Balskus, E. P. Metabolic functions of the human gut microbiota: the role of metalloenzymes. **Natural Product Reports**, 36, n. 4, p. 593-625, 2019.

Rajam, R.; Subramanian, P. Encapsulation of probiotics: past, present and future. **Beni-Suef University Journal of Basic and Applied Sciences**, 11, n. 1, 2022.

Ramirez-Olea, H.; Herrera-Cruz, S.; Chavez-Santoscoy, R. A. Microencapsulation and controlled release of *Bacillus clausii* through a novel non-digestible carbohydrate formulation as revolutionizing probiotic delivery. **Heliyon**, 10, n. 2, 2024.

Razavi, S.; Janfaza, S.; Tasnim, N.; Gibson, D. L. *et al.* Microencapsulating polymers for probiotics delivery systems: Preparation, characterization, and applications. **Food Hydrocolloids**, 120, 2021.

Resende, I. F.; Martins, P. M. M.; De Souza Melo, D.; Magnani, M. *et al.* Development and characterization of microencapsulated *Pichia kluyveri* CCMA 0615 with probiotic properties and its application in fermented beverages. **International Journal of Food Microbiology**, 427, 2025.

Rezende, E. S. V.; Lima, G. C.; Naves, M. M. V. Dietary fibers as beneficial microbiota modulators: A proposed classification by prebiotic categories. **Nutrition**, 89, 2021.

Ribeiro, L. S.; Miguel, M. G. D. C. P.; Evangelista, S. R.; Martins, P. M. M. *et al.* Behavior of yeast inoculated during semi-dry coffee fermentation and the effect on chemical and sensorial properties of the final beverage. **Food Research International**, 92, p. 26-32, 2017.

Rong, Y.; Yu, X.; Hong, K. Synergistic Effect Enhances Aromatic Profile in Beer Brewing Through Mixed-Culture Fermentation of *Pichia kluyveri* and *Saccharomyces cerevisiae* var. *diastaticus*. **Fermentation**, 11, n. 3, 2025.

Rosales-Chimal, S.; Navarro-Cortez, R. O.; Bello-Perez, L. A.; Vargas-Torres, A. *et al.* Optimal conditions for anthocyanin extract microencapsulation in taro starch: Physicochemical characterization and bioaccessibility in gastrointestinal conditions. **International Journal of Biological Macromolecules**, 227, p. 83-92, 2023.

Roupar, D.; González, A.; Martins, J. T.; Gonçalves, D. A. *et al.* Modulation of Designed Gut Bacterial Communities by Prebiotics and the Impact of Their Metabolites on Intestinal Cells. **Foods**, 12, n. 23, 2023.

Sadeghi, A.; Ebrahimi, M.; Shahryari, S.; Kharazmi, M. S. *et al.* Food applications of probiotic yeasts; focusing on their techno-functional, postbiotic and protective capabilities. **Trends in Food Science & Technology**, 128, p. 278-295, 2022.

Salminen, S.; Collado, M. C.; Endo, A.; Hill, C. *et al.* The International Scientific Association of Probiotics and Prebiotics (ISAPP) consensus statement on the definition and scope of postbiotics. **Nature Reviews Gastroenterology & Hepatology**, 18, n. 9, p. 649-667, 2021.

Santos, W. P.; Carvalho, B. F.; Ávila, C. L. S.; Júnior, G. S. D. *et al.* Glycerin as an additive for sugarcane silage. **Annals of Microbiology**, 65, n. 3, p. 1547-1556, 2014.

Savoldi, T. E.; Scheufele, F. B.; Drunkler, D. A.; Da Silva, G. J. *et al.* Microencapsulation of *Saccharomyces boulardii* using vegan and vegetarian wall materials. **Journal of Food Processing and Preservation**, 46, n. 7, 2022.

Saxby, S.; Li, Y.; Lee, C.; Kim, Y. S. Assessing the Prebiotic Potential of Taro (*Colocasia esculenta*) with Probiotic *Lactobacillus* Species in an in Vitro Human Digestion System (P20-022-19). **Current Developments in Nutrition**, 3, 2019.

Saxby, S.; Tipton, L.; Lee, C.; Wang, L. *et al.* Prebiotic Potential of Taro (*Colocasia esculenta*) to Modulate Gut Bacteria Composition and Short Chain Fatty Acid Production. **Current Developments in Nutrition**, 4, 2020.

Saxby, S. M. **The potential of Taro (*Colocasia esculenta*) as a dietary prebiotic source for the prevention of colorectal cancer**. 2020. (Doctor of Philosophy) - Department of Nutrition, University of Hawai'i at Manoa.

Scarpellini, E.; Rinninella, E.; Basilico, M.; Colomier, E. *et al.* From Pre- and Probiotics to Post-Biotics: A Narrative Review. **International Journal of Environmental Research and Public Health**, 19, n. 1, 2021.

Scott, K. P.; Grimaldi, R.; Cunningham, M.; Sarbini, S. R. *et al.* Developments in understanding and applying prebiotics in research and practice—an ISAPP conference paper. **Journal of Applied Microbiology**, 128, n. 4, p. 934-949, 2019.

Seo, K.-H.; Gyu Lee, H.; Young Eor, J.; Jin Jeon, H. *et al.* Effects of kefir lactic acid bacteria-derived postbiotic components on high fat diet-induced gut microbiota and obesity. **Food Research International**, 157, 2022.

Setiarto, R.; Jenie, B.; Faridah, D.; Sulistiani *et al.* Effect of lactic acid bacteria fermentation and autoclaving-cooling for resistant starch and prebiotic properties of modified taro flour. **International Food Research Journal**, 25, p. 1691-1697, 08/01 2018.

Setiarto, R. H. B.; Kusumaningrum, H. D.; Jenie, B. S. L.; Khusniati, T. *et al.* Modified taro starch as alternative encapsulant for microencapsulation of *Lactobacillus plantarum* SU-LS 36. **Czech Journal of Food Sciences**, 38, n. 5, p. 293-300, 2021.

Shah, Y. A.; Saeed, F.; Afzaal, M.; Waris, N. *et al.* Industrial applications of taro (*Colocasia esculenta*) as a novel food ingredient: A review. **Journal of Food Processing and Preservation**, 46, n. 11, 2022.

Shao, P.; Zhang, H.; Niu, B.; Jin, W. Physical stabilities of taro starch nanoparticles stabilized Pickering emulsions and the potential application of encapsulated tea polyphenols. **International Journal of Biological Macromolecules**, 118, p. 2032-2039, 2018.

Sharma, R.; Rashidinejad, A.; Jafari, S. M. Application of Spray Dried Encapsulated Probiotics in Functional Food Formulations. **Food and Bioprocess Technology**, 15, n. 10, p. 2135-2154, 2022.

Shori, A. B.; Al Zahrani, A. J. Non-dairy plant-based milk products as alternatives to conventional dairy products for delivering probiotics. **Food Science and Technology**, 42, 2022.

Silva, D. R.; Sardi, J. D. C. O.; Pitangui, N. D. S.; Roque, S. M. *et al.* Probiotics as an alternative antimicrobial therapy: Current reality and future directions. **Journal of Functional Foods**, 73, 2020.

Silva, Y. P.; Bernardi, A.; Frozza, R. L. The Role of Short-Chain Fatty Acids From Gut Microbiota in Gut-Brain Communication. **Frontiers in Endocrinology**, 11, 2020.

Simsek, S.; El, S. N. Production of resistant starch from taro (*Colocasia esculenta* L. Schott) corm and determination of its effects on health by in vitro methods. **Carbohydrate Polymers**, 90, n. 3, p. 1204-1209, 2012.

Singla, D.; Singh, A.; Dhull, S. B.; Kumar, P. *et al.* Taro starch: Isolation, morphology, modification and novel applications concern - A review. **International Journal of Biological Macromolecules**, 163, p. 1283-1290, 2020.

Slavin, J. Fiber and Prebiotics: Mechanisms and Health Benefits. **Nutrients**, 5, n. 4, p. 1417-1435, 2013.

Song, Y.; Cen, X.; Zhang, Y.; Bíró, I. *et al.* Development and Validation of a Subject-Specific Coupled Model for Foot and Sports Shoe Complex: A Pilot Computational Study. **Bioengineering**, 9, n. 10, 2022.

Soukoulis, C.; Behboudi-Jobbehdar, S.; Yonekura, L.; Parmenter, C. *et al.* Impact of Milk Protein Type on the Viability and Storage Stability of Microencapsulated *Lactobacillus acidophilus* NCIMB 701748 Using Spray Drying. **Food and Bioprocess Technology**, 7, n. 5, p. 1255-1268, 2013.

Souza, H. F. D.; Santos, F. R. D.; Cunha, J. S.; Pacheco, F. C. *et al.* Microencapsulation to Harness the Antimicrobial Potential of Essential Oils and Their Applicability in Dairy Products: A Comprehensive Review of the Literature. **Foods**, 13, n. 14, 2024.

Staniszewski, A.; Kordowska-Wiater, M. Probiotic and Potentially Probiotic Yeasts—Characteristics and Food Application. **Foods**, 10, n. 6, 2021.

Tbca. Tabela de comparação entre alimentos. 2025.

Tekin, T.; Dincer, E. Effect of resistant starch types as a prebiotic. **Applied Microbiology and Biotechnology**, 107, n. 2-3, p. 491-515, 2022.

Topolska, K.; Florkiewicz, A.; Filipiak-Florkiewicz, A. Functional Food—Consumer Motivations and Expectations. **International Journal of Environmental Research and Public Health**, 18, n. 10, 2021.

Ueda, J. M.; Morales, P.; Fernández-Ruiz, V.; Ferreira, A. *et al.* Powdered Foods: Structure, Processing, and Challenges: A Review. **Applied Sciences**, 13, n. 22, 2023.

Van Der Hee, B.; Wells, J. M. Microbial Regulation of Host Physiology by Short-chain Fatty Acids. **Trends in Microbiology**, 29, n. 8, p. 700-712, 2021.

Van Engeland, C.; Haut, B.; Debaste, F. A Closer Look at the Potential Mechanisms of Action of Protective Agents Used in the Drying of Microorganisms: A Review. **Microorganisms**, 13, n. 2, 2025.

Vera-Santander, V. E.; Hernández-Figueroa, R. H.; Jiménez-Munguía, M. T.; Mani-López, E. *et al.* Health Benefits of Consuming Foods with Bacterial Probiotics, Postbiotics, and Their Metabolites: A Review. **Molecules**, 28, n. 3, 2023.

Wang, Y.; Wu, J.; Lv, M.; Shao, Z. *et al.* Metabolism Characteristics of Lactic Acid Bacteria and the Expanding Applications in Food Industry. **Frontiers in Bioengineering and Biotechnology**, 9, 2021.

Wickham, H.; Averick, M.; Bryan, J.; Chang, W. *et al.* Welcome to the Tidyverse. **Journal of open source software**, 4, n. 43, p. 1686, 2019.

Wieërs, G.; Belkhir, L.; Enaud, R.; Leclercq, S. *et al.* How Probiotics Affect the Microbiota. **Frontiers in Cellular and Infection Microbiology**, 9, 2020.

Wu, H.; Chiou, J. Potential Benefits of Probiotics and Prebiotics for Coronary Heart Disease and Stroke. **Nutrients**, 13, n. 8, 2021.

Xie, A.; Zhao, S.; Liu, Z.; Yue, X. *et al.* Polysaccharides, proteins, and their complex as microencapsulation carriers for delivery of probiotics: A review on carrier types and encapsulation techniques. **International Journal of Biological Macromolecules**, 242, 2023.

Yao, H.; Liu, B.; He, L.; Hu, J. *et al.* The incorporation of peach gum polysaccharide into soy protein based microparticles improves probiotic bacterial survival during simulated gastrointestinal digestion and storage. **Food Chemistry**, 413, 2023.

Yao, M.; Xie, J.; Du, H.; McClements, D. J. *et al.* Progress in microencapsulation of probiotics: A review. **Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety**, 19, n. 2, p. 857-874, 2020.

Ying, D.; Sun, J.; Sanguansri, L.; Weerakkody, R. *et al.* Enhanced survival of spray-dried microencapsulated *Lactobacillus rhamnosus* GG in the presence of glucose. **Journal of Food Engineering**, 109, n. 3, p. 597-602, 2012.

Zamfir, M.; Angelescu, I.-R.; Voaides, C.; Cornea, C.-P. *et al.* Non-Dairy Fermented Beverages Produced with Functional Lactic Acid Bacteria. **Microorganisms**, 10, n. 12, 2022.

Zhang, L.; Zhang, T.; Sun, J.; Huang, Y. *et al.* Calorie restriction ameliorates hyperglycemia, modulates the disordered gut microbiota, and mitigates metabolic endotoxemia and inflammation in type 2 diabetic rats. **Journal of Endocrinological Investigation**, 46, n. 4, p. 699-711, 2022.

Zhang, W.; Lai, S.; Zhou, Z.; Yang, J. *et al.* Screening and evaluation of lactic acid bacteria with probiotic potential from local Holstein raw milk. **Frontiers in Microbiology**, 13, 2022.

Zhang, Z.; Gu, M.; You, X.; Sela, D. A. *et al.* Encapsulation of bifidobacterium in alginate microgels improves viability and targeted gut release. **Food Hydrocolloids**, 116, 2021.

Zhao, D.; Li, Z.; Xia, J.; Kang, Y. *et al.* Research progress of starch as microencapsulated wall material. **Carbohydrate Polymers**, 318, 2023.

Zhao, S.; Lau, R.; Zhong, Y.; Chen, M.-H. *et al.* Lactate cross-feeding between *Bifidobacterium* species and *Megasphaera indica* contributes to butyrate formation in the human colonic environment. **Applied and Environmental Microbiology**, 90, n. 1, 2024.

Zhou, R.; Xu, Y.; Dong, D.; Hu, J. *et al.* The effects of microcapsules with different protein matrixes on the viability of probiotics during spray drying, gastrointestinal digestion, thermal treatment, and storage. **eFood**, 4, n. 4, 2023.

Zhu, F. Structure, properties, and applications of aroid starch. **Food Hydrocolloids**, 52, p. 378-392, 2016.

Zhu, Y.; Wang, Z.; Bai, L.; Deng, J. *et al.* Biomaterial-based encapsulated probiotics for biomedical applications: Current status and future perspectives. **Materials & Design**, 210, 2021.

Żółkiewicz, J.; Marzec, A.; Ruszczyński, M.; Feleszko, W. Postbiotics—A Step Beyond Pre- and Probiotics. **Nutrients**, 12, n. 8, 2020.

**ARTIGO - DESENVOLVIMENTO DE INGREDIENTE BIOATIVO NÃO LÁCTEO A PARTIR DE TARO (*Colocasia esculenta*) FERMENTADO POR CO-CULTIVO DE *L. Plantarum* e *P. Kluyveri*: FERMENTAÇÃO SIMBIÓTICA E SECAGEM POR SPRAY DRYING**

**RESUMO**

Alimentos funcionais oferecem benefícios à saúde além da nutrição básica, estimulando o desenvolvimento de produtos com múltiplas propriedades. Este estudo visou desenvolver e otimizar um extrato funcional não lácteo de taro fermentado por co-cultivo de *Lactiplantibacillus plantarum* CCMA 0743 e *Pichia kluyveri* CCMA 0615, seguido de secagem por spray drying. A otimização foi feita via Metodologia de Superfície de Resposta com Delineamento Composto Central Rotacional, fixando o inóculo de *P. kluyveri* em 5.0 Log UFC/mL e otimizando *L. plantarum* em cerca de 6.9 Log UFC/mL, com fermentação a 30 °C por 18 h e secagem a 74,9 °C. O produto apresentou baixa atividade de água (0,38), baixa higroscopicidade (4,04%) e pH 3,89, favorecendo a estabilidade microbiológica. O rendimento superou 50%, com solubilidade acima de 70% e alta viabilidade probiótica: 90,74% para *L. plantarum* e 47,76% para *P. kluyveri*. Mais de 50% do amido foi preservado, sugerindo efeito prebiótico. A fermentação elevou os níveis de ácido láctico (10,64 mg/g) e de ácidos graxos de cadeia média, como hexanoico (437,90 ng/g) e octanoico (103,00 ng/g), considerados pós-bióticos funcionais. Compostos voláteis como feniletanol (9580 ng/g), álcool benzílico (293,40 ng/g), 3,5-octadien-2-ona (531,74 ng/g) e (E)-2-nonenal (1040 ng/g) também se intensificaram, enriquecendo o perfil sensorial. Durante 180 dias sob refrigeração, *L. plantarum* manteve viabilidade acima de 8 Log UFC/g e mostrou alta resistência a condições gastrointestinais simuladas, enquanto *P. kluyveri* foi menos estável (<2 Log UFC/g). O extrato desenvolvido reúne estabilidade, viabilidade probiótica, potencial simbiótico e complexidade aromática, sendo promissor como ingrediente funcional não lácteo.

**Palavras-chave:** Alimentos funcionais; Probiótico; Simbiótico; Spray dryer.

## ABSTRACT

Functional foods offer health benefits beyond basic nutrition, driving interest in products with multiple functional properties. This study aimed to develop and optimize a non-dairy functional taro extract fermented by co-cultivation of *Lactiplantibacillus plantarum* CCMA 0743 and *Pichia kluyveri* CCMA 0615, followed by spray drying. Process conditions were optimized using Response Surface Methodology with a Central Composite Rotational Design, fixing *P. kluyveri* inoculum at 5.0 Log CFU/mL and optimizing *L. plantarum* around 6.9 Log CFU/mL, with fermentation at 30 °C for 18 h and drying at 74.9 °C. The product showed low water activity (0.38), low hygroscopicity (4.04%), and pH 3.89, contributing to microbiological safety. It had a yield above 50%, solubility over 70%, and high probiotic viability: 90.74% for *L. plantarum* and 47.76% for *P. kluyveri*. Over 50% of starch was retained, contributing to cell protection and a potential prebiotic effect. Fermentation enhanced bioactive compounds, notably lactic acid (10.64 mg/g) and medium-chain fatty acids such as hexanoic (437.90 ng/g) and octanoic acid (103.00 ng/g), recognized as postbiotics. Volatile compounds like phenylethanol (9580 ng/g), benzyl alcohol (293.40 ng/g), 3,5-octadien-2-one (531.74 ng/g), and (E)-2-nonenal (1040 ng/g) were also intensified, likely due to *P. kluyveri* fermentation, enhancing aromatic complexity. During 180 days of refrigerated storage, *L. plantarum* remained viable above 8 Log CFU/g and showed high tolerance to simulated gastrointestinal conditions, whereas *P. kluyveri* was more sensitive, dropping below 2 Log CFU/g. The developed fermented taro extract demonstrated promising characteristics as a non-dairy functional ingredient, combining physicochemical stability, probiotic viability, symbiotic potential, and enhanced sensory profile.

**Keywords:** Functional foods. Probiotic. Symbiotic. Spray dryer

## 1. INTRODUÇÃO

A crescente conscientização sobre a importância da alimentação para a saúde geral e sua capacidade de prevenir e mitigar doenças tem impulsionado a demanda por alimentos funcionais que, além de suas funções nutricionais básicas, ofereçam benefícios adicionais à saúde (Granato; Barba; Bursac Kovačević; Lorenzo *et al.*, 2020; Topolska; Florkiewicz; Filipiak-Florkiewicz, 2021). Nesse contexto, produtos simbióticos, promovem a ingestão comitente de prebióticos, probióticos, e ainda pós-bióticos têm ganhado destaque devido aos seus efeitos benéficos, incluindo a modulação da microbiota intestinal, a redução de marcadores inflamatórios e a prevenção de doenças metabólicas e neurodegenerativas (Liu; Xue; Ding; An *et al.*, 2022; Scarpellini; Rinninella; Basilico; Colomier *et al.*, 2021; Zhang; Zhang; Sun; Huang *et al.*, 2022).

O taro (*Colocasia esculenta*), planta nativa do Sudeste Asiático, é amplamente cultivado em regiões tropicais e subtropicais. Em 2019, a produção mundial foi estimada em 10,54 milhões de toneladas, com destaque para o continente Africano, responsável por mais de 75% desse volume (Miamoto; Pereira; Bertolucci, 2018; Otekunrin; Sawicka; Adeyonu; Otekunrin *et al.*, 2021). No Brasil, este tubérculo, representa aproximadamente 2% da produção nacional e apresenta uma diversidade de nomenclatura que historicamente gerou confusão entre as espécies: no Sudeste, o termo "inhame" referia-se ao taro (*Colocasia*), enquanto no Norte e Nordeste era associado às espécies do gênero *Dioscorea*, conhecidas também como "cará". Visando padronizar essa terminologia, o I Simpósio Nacional sobre as Culturas do Inhame e do Cará, realizado em 2001, estabeleceu o uso dos termos "taro" para as variedades do gênero *Colocasia* e "inhame" ou "cará" para aquelas pertencentes ao gênero *Dioscorea* (Pedralli; Carmo; Cereda; Puiatti, 2002).

Anteriormente considerada a 14ª hortaliça mais cultivada no mundo (Gonçalves; Silva; Silva; Valentão *et al.*, 2013; Mitharwal; Kumar; Chauhan; Taneja, 2022), o taro destaca-se pelo elevado teor de fibras, mucilagem, polifenóis e fonte de amido resistente, características que lhe conferem potencial prebiótico e aplicabilidade no desenvolvimento de alimentos funcionais (Gonçalves; Silva; Silva; Valentão *et al.*, 2013; Mitharwal; Kumar; Chauhan; Taneja, 2022; Shah; Saeed; Afzaal; Waris *et al.*, 2022). O consumo de taro, também pode favorecer a produção de ácidos graxos de cadeia curta e promover uma modulação positiva da microbiota intestinal (Saxby; Li; Lee; Kim, 2019). A fermentação de alimentos vegetais, como o taro, com culturas probióticas, pode enriquecer o produto

com microrganismos benéficos e compostos bioativos, ampliando seus efeitos funcionais (Aleman; Montero-Fernández; Marcía; Saravia Maldonado *et al.*, 2024).

Além da busca por alimentos funcionais, observa-se uma crescente demanda por probióticos em matrizes não lácteas, motivada por restrições alimentares como intolerância à lactose, alergias às proteínas do leite e adoção de dietas vegetarianas (Shori; Al Zahrani, 2022). Nesse sentido, o taro surge como uma alternativa viável, oferecendo uma matriz vegetal de baixo custo, rica em compostos bioativos. No entanto, a utilização de matrizes vegetais para o carregamento de probióticos apresenta desafios, especialmente no que se refere à manutenção da viabilidade dos microrganismos.

A ausência de componentes como proteínas e lipídios comumente encontrados em matrizes lácteas comprometem a estabilidade das culturas probióticas em substratos vegetais (Küçüköz; Trzaskowska, 2022). Para superar essa limitação, técnicas de preservação da viabilidade microbiana têm sido exploradas, sendo a secagem por atomização (*spray drying*) uma das mais utilizadas. Essa técnica permite a microencapsulação de probióticos, protegendo-os de condições adversas e prolongando sua estabilidade durante o armazenamento (Sharma; Rashidinejad; Jafari, 2022).

Diante desse contexto, o presente estudo teve como objetivo desenvolver um extrato fermentado seco de taro utilizando uma co-cultura de *Lactiplantibacillus plantarum* CCMA 0743 e *Pichia kluyveri* CCMA 0615, microrganismos potencialmente probióticos além de otimizar as condições de formulação e de secagem por atomização, visando à máxima viabilidade probiótica. A proposta busca obter um ingrediente funcional inovador que integre os benefícios de prebióticos, probióticos e pós-bióticos, configurando uma alternativa não láctea acessível para aplicação em alimentos funcionais.

## **2. MATERIAIS E MÉTODOS**

### **2.1. Preparação do substrato fermentativo**

Os cormos de taro (*Colocasia esculenta*) foram adquiridos em um mercado local no município de Lavras, Minas Gerais. Após a seleção, os cormos foram submetidos à lavagem com água corrente e sanitizados em solução de hipoclorito de sódio a 200 ppm por 30 minutos, visando à remoção de sujidades e impurezas superficiais.

Em seguida, as cascas foram retiradas manualmente, e os cormos foram cortados em cubos de aproximadamente 2 cm. Para a obtenção do extrato de taro, os cubos foram

processados em liquidificador industrial Fak® Lar-2 com água filtrada na proporção de 1:1.5 (massa/massa). A mistura obtida foi filtrada em tecido voil com dupla camada, resultando em um extrato líquido homogêneo.

Frascos previamente esterilizados, com o extrato (aproximadamente 400ml) correspondendo às diferentes condições experimentais do processo de otimização, foram submetidos à pasteurização a 72 °C por 2 minutos, seguido de resfriamento imediato e armazenamento a 4°C até o momento da inoculação.

## 2.2 Otimização através de metodologia de superfície de resposta

A formulação do extrato seco de taro fermentado foi otimizada por meio da Metodologia de Superfície de Resposta (MSR), utilizando o software Statistica (versão 10.0) e o pacote `rsm` no R, adotando o Delineamento Composto Central Rotacional (DCCR) como estratégia experimental. Três variáveis independentes foram selecionadas para o modelo: a concentração do inóculo de *Lactiplantibacillus plantarum*, o tempo de fermentação e a temperatura de entrada do ar de secagem. O DCCR permite avaliar efeitos lineares, quadráticos e interativos entre os fatores sobre a variável resposta: viabilidade celular, expressa em log da conversão de UFC/g.

O delineamento foi composto por cinco níveis codificados (- $\alpha$ , -1, 0, +1, + $\alpha$ ), sendo os pontos fatoriais (-1 e +1), axiais (- $\alpha$  e + $\alpha$ ) e centrais (0). Foram realizados 14 experimentos com 5 repetições no ponto central, totalizando 19 corridas, executadas em ordem aleatória. O valor de alpha ( $\alpha$ ) foi definido a 1.682 para rotabilidade, e a modelagem matemática baseou-se em um polinômio de segunda ordem para a variável de resposta  $Y$ , conforme a equação geral:

$$Y = \beta_0 + \beta_1x_1 + \beta_2x_2 + \beta_3x_3 + \beta_{\{12\}x_1x_2} + \beta_{\{13\}x_1x_3} + \beta_{\{23\}x_2x_3} + \beta_{\{11\}x_1^2} + \beta_{\{22\}x_2^2} + \beta_{\{33\}x_3^2}$$

A análise estatística foi realizada no R (R Core Team, 2025), com os pacotes `rsm` (Lenth; Lenth; Vdgraph, 2018) e `tidyverse` (Wickham; Averick; Bryan; Chang *et al.*, 2019). A partir da equação de superfície ajustada, onde os coeficientes estimados foram obtidos diretamente do modelo por meio da função `coef` (modelo), realizou-se a análise de variância (ANOVA) para verificar a significância do modelo, bem como gráficos de contorno da resposta em função das variáveis pareadas, fixando a terceira variável em três níveis: mínima, média, máxima e condição ótima estimada.

As condições ótimas para cada fator foram estimadas utilizando a função *optimize*. A combinação dessas condições forneceu um ponto de operação com máxima resposta prevista para a variável “Conversão (Log UFC g<sup>-1</sup>)”. Para validar a acurácia da predição do modelo, utilizou-se o gráfico de Bland–Altman comparando os valores observados e o valor predito.

### 2.3 Microrganismos, condições de cultivo e fermentação

As cepas *Pichia kluyveri* CCMA 0615 (levedura) e *Lactiplantibacillus plantarum* CCMA 0743 (bactéria ácido-lática - BAL), pertencentes à Coleção de Culturas de Microbiologia Agrícola (CCMA) da Universidade Federal de Lavras, foram selecionadas com base em seus atributos probióticos e pós-bióticos, e em aplicações tecnológicas previamente avaliadas (Ferreira; De Sousa Melo; Menezes; Fonseca *et al.*, 2022; Fonseca; De Sousa Melo; Ramos; Dias *et al.*, 2021; Menezes; Ramos; Cenzi; Melo *et al.*, 2019). A reativação das cepas foi realizada em meio ágar YEPG para a levedura [composição em g/L: extrato de levedura 10, glicose 20, peptona 20 e ágar 20] e em ágar MRS (52.2 g/L) para a BAL, sob condições apropriadas, conforme Ferreira; De Sousa Melo; Menezes; Fonseca *et al.* (2022).

A inoculação das culturas microbianas no extrato de taro foi realizada em duas etapas. Inicialmente, *P. kluyveri* foi adicionada em uma concentração fixa de 5.0 log UFC/mL, com o objetivo principal de promover a produção de metabólitos no meio fermentativo. Em seguida, *L. plantarum* foi adicionado em co-cultivo, atuando como microrganismo probiótico principal do produto, em concentrações estabelecidas pelo planejamento experimental baseado no Delineamento Composto Central Rotacional (DCCR), variando de 5,0 (-1) a 7,0 (1) log UFC/mL.

No processo fermentativo, os frascos contendo o extrato inoculado com *P. kluyveri* e *L. plantarum* foram incubados em agitador tipo shaker, a 30 °C e 110 rpm, por período, também definido DCCR, com valores de -1 e 1 de 8 e 24 horas, respectivamente. Alíquotas foram coletadas imediatamente após a inoculação e ao final dos períodos fermentativos para enumeração microbiana. Após o término da fermentação, os extratos foram submetidos ao processo de secagem por atomização (spray drying).

## 2.4 Microencapsulação por secagem por pulverização

Os extratos fermentados de taro foram submetidos à secagem por atomização (spray drying) utilizando um equipamento em escala laboratorial (modelo SD 5.0; Labmaq do Brasil, Ribeirão Preto, SP, Brasil). A temperatura de entrada do ar de secagem foi ajustada conforme os parâmetros estabelecidos pelo DCCR, 85 °C (-1) e 115 °C (+1), respectivamente. Em todos os experimentos, as soluções de alimentação (400 mL) foram mantidas sob agitação magnética constante à temperatura ambiente (aproximadamente 25 °C) e bombeadas para a câmara de secagem por meio de uma bomba peristáltica. Os parâmetros de secagem utilizados foram: taxa de alimentação de 1,5 L/h, vazão do ar de secagem de 1,5 L/h e vazão do ar de atomização de 60 L/h. Os extratos secos foram acondicionados em embalagens de 250 g (poliéster, metalização e polietileno) e seladas a vácuo em embalagem opaca com proteção a luz e umidade. As amostras foram armazenadas sob refrigeração (4 °C) para análises posteriores e para análise de estabilidade dos microrganismos ao armazenamento, as amostras foram mantidas em temperaturas de refrigeração e ambiente.

## 2.5 População microbiana

As populações de BAL e levedura foram quantificadas por meio da técnica de contagem em placa por microgotas, com diluições seriadas. Para enumeração no extrato de taro líquido, alíquotas de 100 µL foram utilizadas para iniciar as diluições. Já para o extrato seco, amostras de 1 g foram hidratadas em 9 mL de água peptonada 0.1% [g/L: peptona (Himedia)], homogeneizadas em vórtex e, em seguida, incubadas por 30 min para hidratação celular (Chandralekha; Tavanandi; Amrutha; Hebbar *et al.*, 2016). As diluições seriadas foram realizadas em triplicata e plaqueadas nos meios seletivos: ágar MRS suplementado com 4 mL/L de nistatina para enumeração da BAL; e YEPG pH 3.5 [em g/L: extrato de levedura 10 (Himedia), glicose 20 (Dinâmica), peptona 20 (Himedia) e ágar 20 (Himedia)] para a contagem da levedura. As placas foram incubadas a 37 °C para BAL e a 28 °C para a levedura, por 48 horas. Após o período de incubação, as colônias formadas foram contadas e os resultados expressos como log<sub>10</sub> UFC/mL para o extrato líquido e log<sub>10</sub> UFC/g para o extrato seco.

## 2.6 Viabilidade celular, rendimento e taxa de sobrevivência após secagem

O rendimento do extrato seco, obtido após a secagem (massa/massa) foi calculado conforme a Eq. (1):

$$\text{Rendimento de secagem} = \frac{W_p (1 - X_{w_{pó}})}{T_s} \times 100 \quad \text{Eq.(1)}$$

em que  $W_p$  representa a massa do pó coletado após a secagem,  $X_{w_{pó}}$  é a fração de água presente no pó, e  $T_s$  corresponde ao total de sólidos secos presentes na solução de alimentação antes da secagem (Chandralekha; Tavanandi; Amrutha; Hebbar *et al.*, 2016).

A viabilidade celular (conversão) após o processo de secagem foi calculada segundo a Eq. (2):

$$\text{Viabilidade celular (Log UFC/g)} = \log_{10} \left( \frac{N_p \times W_p}{W_{\text{solução}}} \right) \quad \text{Eq.(2)}$$

Onde  $N_p$  é a contagem de unidades formadoras de colônia (UFC g<sup>-1</sup>) no pó seco,  $W_p$  é a massa do pó obtido após a secagem, e  $W_{\text{solução}}$  é a massa da solução líquida utilizada como alimentação no processo de secagem.

A taxa de sobrevivência (eficiência) foi calculada conforme a Eq. (3):

$$\text{Eficiência (\%)} = \frac{\left( \frac{\text{Log } N \times W_p}{V} \right)}{\log N_o} \times 100 \quad \text{Eq.(3)}$$

Onde  $N$  é o número de células viáveis (UFC mL<sup>-1</sup> de material úmido) no pó,  $W_p$  é o peso do pó coletado após a secagem,  $V$  é o volume da suspensão de alimentação e  $N_o$  é o número de células viáveis (UFC mL<sup>-1</sup>) nas suspensões iniciais (Martins; Batista; Santos; Dias *et al.*, 2022). Tais respostas foram utilizados na análise do DCCR para descoberta dos parâmetros de otimização que culminam em um resultado mais eficiente.

## 2.7 Análises no extrato seco otimizado e seu controle não inoculado

Após a otimização dos parâmetros de produção, foram realizadas análises de caracterização do pó, composição nutricional e produção de metabolitos, no extrato fermentado seco e em seu análogo não fermentado.

### 2.7.1 Viabilidade celular durante armazenamento

A viabilidade dos microrganismos inoculados no extrato seco otimizado foi monitorada a cada 30 dias durante um período de 180 dias de armazenamento, sob duas condições distintas: temperatura refrigerada (4 °C) e ambiente (25°C). As células microbianas foram enumeradas conforme metodologia descrita anteriormente.

### 2.7.2 Atividade de água, higroscopicidade e solubilidade em água

A atividade de água ( $A_w$ ) foi determinada a 25 °C utilizando um medidor digital AquaLab 4TEV (METER Group, Inc., EUA). Aproximadamente 3 g de cada amostra (extrato seco não inoculado e fermentado) foram colocadas no recipiente de leitura, e os valores foram registrados após estabilização.

A solubilidade em água foi avaliada de acordo com Cano-Chauca; Stringheta; Ramos e Cal-Vidal (2005), utilizando 0.5 g de amostra em 50 mL de água destilada, homogeneizadas em agitador orbital (100 rpm/30 min), seguidas de centrifugação (1310 RCF/5 min); o sobrenadante foi seco em estufa (105 °C) até peso constante. A higroscopicidade foi determinada utilizando 0.3 g de amostra em placas de Petri, armazenadas por 7 dias em dessecador sem sílica (25 °C) contendo solução saturada de cloreto de sódio. O ganho de massa foi expresso como grama de água absorvida por 100 g de sólidos secos (Braga; Costa; Pomella; Ribeiro *et al.*, 2019).

### 2.7.3 Colorimetria, pH e composição centesimal

A cor ( $L^*$ ,  $C^*$  e  $h^\circ$ ) foi determinada utilizando um colorímetro CR-400 (Konica Minolta, Tóquio, Japão) calibrado de acordo com o sistema CIE (iluminante D65), como realizado por Boas; Almeida; Do Lago; Zitha *et al.* (2024).

Os valores de pH do extrato líquido não inoculado e fermentado foram determinados por um medidor de pH (PHS-3E).

A composição centesimal dos extratos secos foi determinada por meio da análise dos seguintes componentes: umidade, extrato etéreo, proteína bruta, cinzas (resíduo mineral fixo), fibra bruta e carboidratos totais (extrato não nitrogenado – NNE), conforme os métodos descritos pela Association of Official Analytical Chemists (Mohanta, 2016).

A umidade foi determinada por secagem das amostras em estufa a 105 °C até peso constante. O extrato etéreo foi obtido por extração com éter de petróleo em aparelho de

Soxhlet. A proteína bruta foi quantificada pelo método de Mohanta (2016), utilizando-se o fator de conversão de nitrogênio para proteína igual a 6.25. As cinzas foram determinadas por incineração das amostras em forno mufla a 550 °C por 4 horas. A fibra bruta foi obtida por digestão ácida e alcalina sequenciais. Os carboidratos totais foram calculados por diferença, subtraindo-se da matéria seca os teores de proteína bruta, extrato etéreo, cinzas e fibras.

A determinação do teor de amido foi realizada segundo o método colorimétrico da antrona, com adaptações (McCreedy; Guggolz; Silveira; Owens, 2002). Inicialmente, 0.1 g da amostra seca foi homogeneizada com 10 mL de solução de ácido perclórico 52% (v/v), sendo agitada em agitador orbital por 30 minutos a 25 °C. A mistura foi centrifugada a 3000 rpm por 10 minutos, e o sobrenadante foi coletado. A extração foi repetida uma vez com o resíduo, somando os sobrenadantes para análise. Para a quantificação, 1 mL do extrato foi adicionado a 4 mL da solução de antrona (0.2% m/v de antrona em ácido sulfúrico concentrado). A mistura foi homogenizada cuidadosamente e incubada em banho-maria a 100 °C por 12 minutos. Após o resfriamento em banho de gelo por 5 minutos, as leituras de absorbância foram realizadas em espectrofotômetro a 630 nm. A curva padrão foi construída utilizando soluções padrão de glicose (0 a 100 µg/mL), e os resultados foram expressos como porcentagem de amido total, considerando a conversão de glicose para amido pelo fator 0.9 ( $\text{glicose} \times 0.9 = \text{amido}$ ).

Todos os ensaios foram realizados em triplicata, e os resultados expressos considerado 100g de matéria seca.

#### **2.7.4 Morfologia e tamanho das microcápsulas (MEV)**

A morfologia das microcápsulas obtidas por spray drying foi analisada por microscopia eletrônica de varredura (MEV), utilizando um equipamento Jeol JSM 6360 LV, com tensão de aceleração de 20 kV, em modo de alto vácuo e sem inclinação. As amostras foram fixadas em stubs de alumínio com fita de carbono dupla face e metalizadas com ouro (camada de ~3 nm) em metalizador a vácuo.

O diâmetro das partículas foi determinado com o software ImageJ (versão 2014, NIH, EUA), a partir da medição de 300 microcápsulas por tratamento (não inoculado e fermentado), conforme metodologia realizada por Resende; Martins; De Souza Melo; Magnani *et al.* (2025).

### 2.7.5 Concentração de ácidos orgânicos (HPLC)

Os ácidos orgânicos foram avaliados homogeneizando 1 g de extrato de taro seco (inoculado e fermentado) em 9 mL de água ultrapura com o auxílio de um agitador orbital por 20 min. O pH de cada amostra foi então determinado. Uma porção deste extrato aquoso (2 mL) foi acidificada com 10 µL de 50% (v/v) de H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>.

A quantificação dos ácidos orgânicos foi realizada por Cromatografia Líquida de Alta Eficiência (HPLC), usando um sistema (Modelo LC-10Ai; Shimadzu Corp., Tóquio, Japão) equipado com um sistema de detecção duplo consistindo em um detector UV-vis (SPD-10Ai; Shimadzu) e um detector de índice de refração (RID-10Ai; Shimadzu). A separação foi conduzida em uma coluna de exclusão iônica Shim-pack SCR-101H (7,9 mm × 30 cm), mantida a 50 °C, conforme descrito por Santos; Carvalho; Ávila; Júnior *et al.* (2014).

A identificação dos compostos foi baseada na comparação dos tempos de retenção com padrões externos. As concentrações dos ácidos orgânicos foram determinadas por meio de curvas de calibração construídas com soluções padrão.

### 2.7.6 Análise de compostos voláteis (GC-MS)

Os compostos voláteis foram extraídos por microextração manual em fase sólida no espaço livre (HS-SPME). As análises foram conduzidas usando 1g de cada amostra colocada em frasco de 15 mL. Para extrair os compostos, uma fibra de divinilbenzeno/carboxeno/ polidimetilsiloxano (DVB/CAR/PDMS) de 50/30 µm fornecida pela Supelco (Bellefonte, PA, EUA) foi usada. Essa fibra foi balanceada por 15 min a 60 °C e posteriormente exposta ao frasco de cada amostra por 30 min na mesma temperatura.

Em um cromatógrafo gasoso acoplado a espectrômetro de massas (GC-MS QP2010, Shimadzu, Japão), equipado com uma coluna Carbowax (30 m × 0,25 mm di × 0,25 µm espessura de filme), realizou-se análise dos compostos voláteis. A temperatura do forno foi ajustada em 40 °C por 5 min, aumentada para 220 °C (a uma taxa de 10 °C/min) e por fim, mantida a 220 °C por 10 min. O gás de arraste foi hélio de alta pureza, a 0,7 mL/min. O detector de massa seletivo foi um quadrupolo com um sistema de ionização por impacto eletrônico a 70 eV e 250 °C. Os compostos voláteis foram identificados usando a solução GC/MS ver. 2.6 A extração e os parâmetros de análise foram feitos de acordo com Ribeiro; Miguel; Evangelista; Martins *et al.* (2017).

Os dados cromatográficos e espectrais de massa foram analisados com o software de solução GC-MS da Shimadzu. Os compostos foram identificados pela comparação de seus espectros de massa com a biblioteca espectral de massa do NIST e o índice de retenção linear, em relação ao 4-nonanol, padrão interno utilizado.

### 2.7.7 Simulação do trato gastrointestinal

A sobrevivência do *L. plantarum* no extrato seco fermentado de taro e no meio de cultivo MRS (controle), sob as condições simuladas do trato gastrointestinal foi avaliada conforme descrito por Resende *et al.* 2025. Amostras do pó (concentração de  $10^7$  UFC/mL) foram diluídas em uma solução tampão pH = 7.2 [g/L: cloreto de sódio 82, fosfato dissódico 10.5 e fosfato monossódico 3,55]. Um volume inicial de 25 mL do inóculo de cada repetição foi transferido para frascos de vidro estéril (250 mL), nos quais foi realizada a simulação sequencial das etapas digestivas: oral, gástrica, duodenal e ileal.

A fase oral foi simulada pela adição de solução de  $\alpha$ -amilase (100  $\mu$ g/mL em 1 mM de  $\text{CaCl}_2$ ), com ajuste de pH para 6.9 utilizando  $\text{NaHCO}_3$  1 M. A adição da enzima foi realizada à taxa de 0.6 mL/min, sob agitação de 200 rpm, durante 2 minutos. Na simulação gástrica, foi adicionada solução de pepsina (25 mg/mL em HCl 0.1 M) na proporção de 0.05 mL/mL, com redução gradual do pH por adição de HCl 1 M, conforme a seguinte sequência: pH 5.5 (10 min), pH 4.6 (10 min), pH 3.8 (10 min), pH 2.8 (20 min), pH 2.3 (20 min) e pH 2.0 (20 min), sob agitação constante (130 rpm).

A etapa duodenal foi conduzida com a adição de pancreatina (2 g/L) e sais biliares (12 g/L), ambos diluídos em  $\text{NaHCO}_3$  0.1 M, na proporção de 0.25 mL/mL. O pH foi ajustado para 5,0 e mantido por 30 minutos sob agitação a 45 rpm. Já fase ileal, o pH foi ajustado para 6.5 com  $\text{NaHCO}_3$  0.1 M e o sistema foi incubado por 60 minutos sob as mesmas condições de agitação. Todas as etapas foram conduzidas em incubadora orbital (Thermo Scientific, MaxQ 4000, EUA) a 37 °C, simulando a temperatura fisiológica. Todas as soluções enzimáticas foram previamente esterilizadas por filtração (0.22  $\mu$ m; Kasvi, Brasil). As enzimas e os sais biliares utilizados foram adquiridos da Sigma-Aldrich (St. Louis, EUA).

Durante cada etapa da simulação, alíquotas de 100  $\mu$ L foram coletadas e submetidas a diluições seriadas decimais ( $10^{-1}$  a  $10^{-5}$ ). Posteriormente, 10  $\mu$ L de cada diluição foram inoculados em triplicata em meio ágar MRS, utilizando a técnica de

microgotas. As placas foram incubadas a 37 °C por 24 horas, e as colônias foram quantificadas. Os resultados foram expressos em  $\log_{10}$  UFC/mL.

## 2.8 Análises estatísticas

A otimização dos parâmetros de produção do extrato seco fermentado foi realizada por meio de um Delineamento Composto Central Rotacional (DCCR). A adequação do modelo foi avaliada por análise de variância (ANOVA), teste de falta de ajuste e coeficiente de determinação ( $R^2$ ), com significância ao nível de  $p < 0.05$ . A validação do modelo foi conduzida por meio da comparação entre valores preditos e experimentais (obtidos em triplicata sob as condições otimizadas), utilizando o gráfico de Bland-Altman para avaliar a concordância. A modelagem dos dados foi realizada utilizando o pacote SRM do software R-Studio.

Todos os experimentos foram conduzidos em triplicata, com os resultados expressos como média  $\pm$  desvio padrão e, nível de significância estabelecido em  $p < 0.05$ . Os dados foram submetidos ao teste t de Student ou o teste de Mann-Whitney (GraphPad Prism 4.0), conforme a normalidade dos dados. E para avaliação de compostos voláteis, foi realizada por Análise de Componentes Principais (ACP), utilizando o software SensoMaker (v1.92).

## 3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

### 3.1 Otimização

A Metodologia de Superfície de Resposta (MRS) baseia-se na aplicação de fórmulas matemáticas e testes estatísticos para estabelecer relações entre variáveis independentes, possibilitando a construção de um modelo capaz de prever a faixa ideal dessas variáveis para maximizar os resultados desejados (Lamidi; Olaleye; Bankole; Obalola *et al.*, 2023). Neste estudo, o DCCR foi utilizado como método de otimização. A variável resposta de maior interesse avaliada foi a conversão celular após a secagem por spray dryer. Essa métrica expressa simultaneamente a viabilidade da cepa *L. plantarum* CCMA 0743 ao final do processo e a eficiência de recuperação da biomassa sólida, pode ser definida pela seguinte equação:

$$\hat{Y} = -16.7053 + 0.6349 x_1 + 3.8933 x_2 + 0.1380 x_3 - 0.0499 x_1 x_2 - 0.0017 x_1 x_3 - 0.0107 x_2 x_3 - 0.0047 x_1^2 - 0.1467 x_2^2 - 0.0003 x_3^2$$

Onde  $x_1$  é o tempo de fermentação (horas),  $x_2$  é a população no inóculo (Log UFC mL<sup>-1</sup>) e  $x_3$  é a temperatura do ar de entrada (°C) no secador.

A modelagem por superfície de resposta foi conduzida com base em 19 rodadas experimentais (Tabela 1), utilizando três variáveis independentes: tempo de fermentação (horas), quantidade de inóculo do *L. plantarum* CCMA 0743 (Log UFC/mL) e temperatura de entrada do ar de secagem no spray dryer (°C).

Table 1. Valores reais e codificados no delineamento composto central rotacional (CCDR)

Runs	Coded Points			Fermentation Time	Inoculum CCMA 0743	Inlet Air Temp.	Efficiency (Survival)	Drying Yield	Conversion
				(h)	(Log UFC mL <sup>-1</sup> )	(°C)	(%)	(%)	(Log UFC mL <sup>-1</sup> )
1	-1	-1	-1	8	5	85	79.320	68.060	5.868
2	-1	1	1	8	7	115	77.240	73.460	6.904
3	1	-1	1	24	5	115	76.490	76.870	6.631
4	1	1	-1	24	7	85	77.480	72.760	7.117
5	0	0	0	16	6	100	78.660	75.280	7.055
6	-1	-1	1	8	5	115	79.560	65.090	6.018
7	-1	1	-1	8	7	85	83.640	69.800	7.299
8	1	-1	-1	24	5	85	81.250	74.460	7.187
9	1	1	1	24	7	115	63.050	64.530	5.825
10	0	0	0	16	6	100	79.820	66.810	7.227
11	- $\alpha$	0	0	2.6	6	100	66.580	71.080	5.792
12	$\alpha$	0	0	29.4	6	100	72.680	79.620	6.562
13	0	- $\alpha$	0	16	4.3	100	71.550	75.510	5.940
14	0	$\alpha$	0	16	7.7	100	79.020	78.430	7.259
15	0	0	- $\alpha$	16	6	74.9	79.920	78.030	7.193
16	0	0	$\alpha$	16	6	125.1	69.450	73.860	6.450
17	0	0	0	16	6	100	79.140	73.560	7.221
18	0	0	0	16	6	100	74.460	76.050	6.760
19	0	0	0	16	6	100	78.760	77.000	7.170

$\alpha = 1.682$ , para rotabilidade.

O modelo quadrático ajustado para a conversão celular mostrou-se significativo, conforme os resultados da análise de variância (Tabela 2).

Table 2. Análise de variância (ANOVA) do modelo Gerado no CCDR.

	<b>GL</b>	<b>SQ</b>	<b>QM</b>	<b>F</b>	<b>Pr(&gt;F)</b>	<b>Sig.</b>
FO	3	2.0863	0.69543	15.1274	0.000734	***
TWI	3	1.80036	0.60012	13.0541	0.001255	**
PQ	3	1.37687	0.45896	9.9834	0.003191	**
Resíduo	9	0.41375	0.04597			
Falta de ajuste	5	0.26165	0.05233	1.3762	0.389698	
Erro puro	4	0.1521	0.03802			
	<b>R<sup>2</sup></b>	0.927	<b>Adj.R<sup>2</sup></b>	0.854		
			<b>F-test</b>	12.72	0.000407	***

19 rodadas;  $\alpha = 1.682$

Os termos de primeira ordem (FO), de interação bidimensional (TWI) e de quadrado puro (PQ) apresentaram valores de p inferiores a 0.01, indicando contribuição estatisticamente significativa na explicação da resposta observada. Além disso, a ausência de significância para o erro de falta de ajuste sugere que o modelo é adequado para representar as condições testadas (Lamidi; Olaleye; Bankole; Obalola *et al.*, 2023).

O modelo ajustado permitiu a construção de superfícies de contorno representando o comportamento da conversão celular em função das variáveis investigadas. Na Figura 1 estão apresentadas as curvas de contorno obtidas para três valores fixos da temperatura de entrada do ar de secagem no spray dryer (máxima, média e mínima, que também foi a ótima prevista), além do valor otimizado, mantendo-se constantes os demais fatores.

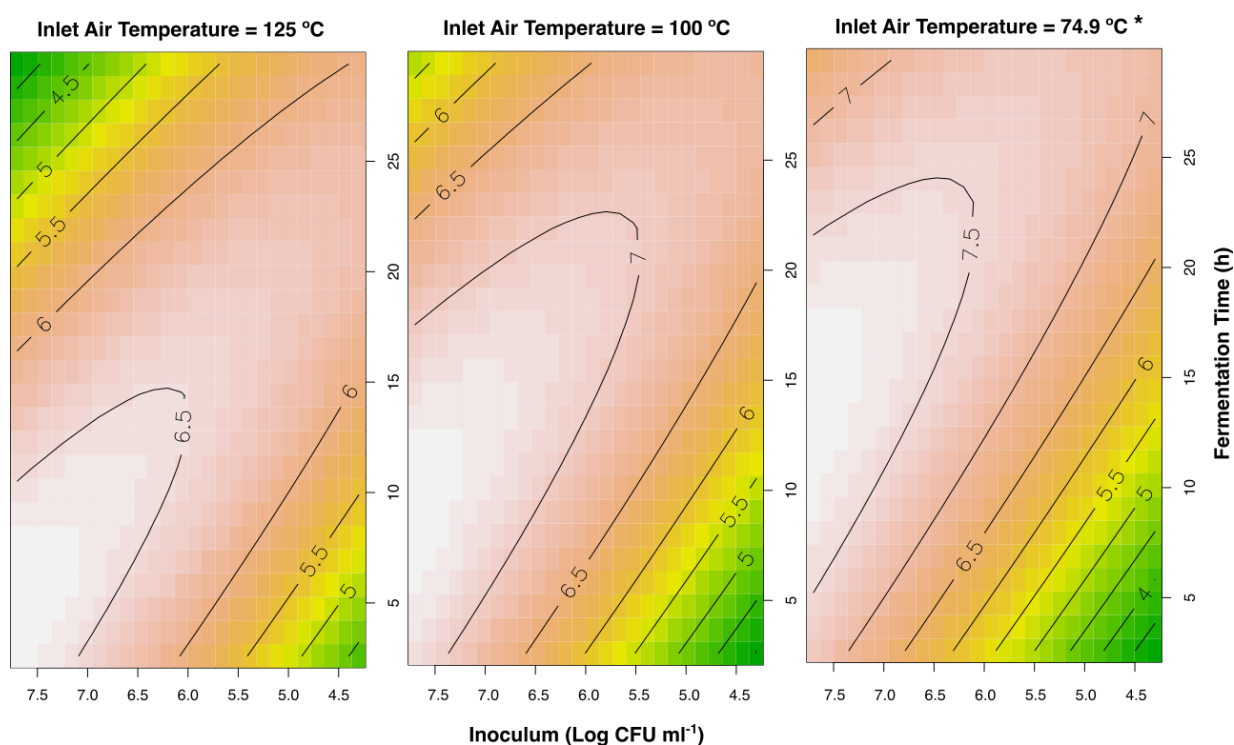


Figura 1. Superfícies de contorno da conversão celular (Log UFC/g) em função do tempo de fermentação e da quantidade de inóculo bacteriano nas temperaturas mínima (ponto ótimo\*), máxima, e média obtidas a partir do modelo quadrático ajustado.

Observou-se que a conversão foi mais favorecida nas regiões centrais do domínio experimental, principalmente para tempos de fermentação entre 16 e 19 horas e concentrações de inóculo entre 6.5 e 7.0 Log UFC/mL. O aumento do tempo de fermentação ou da carga de inóculo acima dos valores máximos testados ( $\alpha$ ) resultou em decréscimos da conversão.

A partir do modelo ajustado, foi possível estimar o ponto ótimo de operação dentro do domínio experimental, no qual a conversão celular seria maximizada. As condições correspondentes ao ótimo estimado foram: tempo de fermentação de 17.91 horas, inóculo de *L. plantarum* CCMA 0743 de 6.91 Log UFC/mL e temperatura de entrada de 74.90 °C. Nessas condições, o valor predito para a conversão celular foi de 7.67 Log UFC/ g. Essa combinação de fatores representa a condição ideal que maximiza a resposta dentro dos limites operacionais testados, e sua proximidade com o centro do domínio experimental indica robustez da otimização.

A partir da definição dos pontos ótimos operacionais, novo experimento foi realizado e avaliado com base na conversão celular após a secagem por spray dryer, para

posterior caracterização do produto otimizado. Este experimento visou comparar os resultados com as previsões modeladas. Se os resultados concordarem com as previsões, pode-se concluir que o modelo desenvolvido é robusto e insensível a ruídos e/ou tolerâncias, feitos pela alteração dos níveis dos fatores (Karimifard; Alavi Moghaddam, 2018).

Os resultados do gráfico de Bland-Altman (Figura 2) indicaram um bom nível de concordância entre os valores observados experimentalmente e o valor predito pelo modelo ajustado.

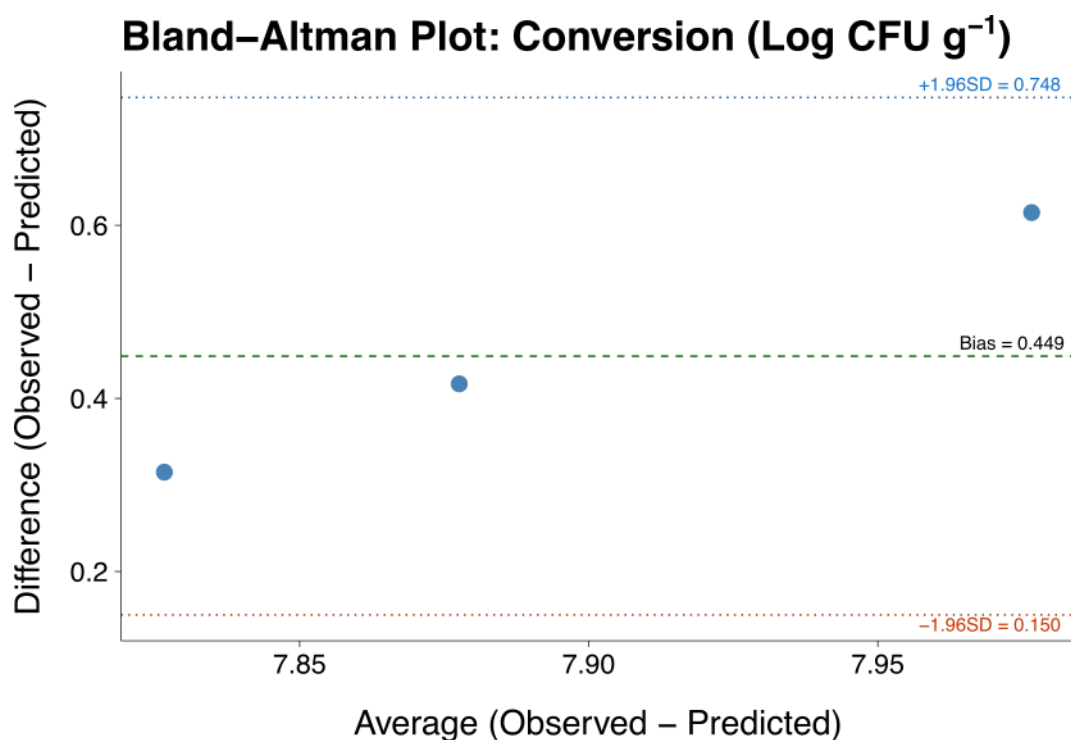


Figura 3. Gráfico de Bland-Altman representando a concordância entre os valores observados e o valor predito pelo modelo para a conversão celular (Log UFC) após a secagem por spray dryer. Cada ponto representa um experimento individual. A linha tracejada indica o viés médio (bias), e as linhas pontilhadas delimitam os limites de concordância calculados como  $\pm 1.96$  vezes o desvio padrão das diferenças.

Utilizado na validação de modelos de superfície de resposta, o gráfico de Bland-Altman verifica a concordância entre valores preditos e experimentais, permitindo identificar tendências sistemáticas. A predominância de pontos dentro dos limites de concordância ( $\pm 1.96$  DP) indica boa precisão e confiabilidade do modelo nas condições estudadas (Mansournia; Waters; Nazemipour; Bland *et al.*, 2021). No presente estudo, as diferenças entre os valores observados (7.984; 8.284; 8.086 Log UFC g<sup>-1</sup>) e o valor predito (7.6692 Log UFC g<sup>-1</sup>) apresentaram uma média de diferença (bias) de 0.4488 Log UFC, com limites de concordância entre 0.1531 e 0.7445 Log UFC g<sup>-1</sup>. Isso sugere que o modelo tende a subestimar levemente a conversão observada, mas mantém os desvios dentro de um intervalo considerado aceitável para variações experimentais (Karimifard; Alavi Moghaddam, 2018). Assim, a visualização por meio do gráfico de Bland-Altman permite constatar que todos os pontos avaliados estão próximos ao valor zero (representado pela linha central), indicando concordância entre o valor predito e o observado, resultando em maior confiabilidade da predição do modelo e sua adequação para estimar a conversão celular em diferentes combinações experimentais (Song; Cen; Zhang; Bíró *et al.*, 2022).

### 3.2 Caracterização do extrato fermentado

Diversos fatores devem ser considerados no desenvolvimento de novos produtos alimentícios, incluindo a estabilidade durante o armazenamento, a composição físico-química e nutricional, bem como, no caso de formulações contendo probióticos, a capacidade dos microrganismos se manterem viáveis ao longo do tempo de estocagem e sobreviverem às condições adversas do trato gastrointestinal (Albuquerque; Garcia; Oliveira Araújo; Magnani *et al.*, 2017). Nesse contexto, foram realizadas análises físico-químicas e microbiológicas do extrato fermentado otimizado, cujos resultados foram comparados ao extrato controle não fermentado (não inoculado).

Altos índices de eficiência (superior a 80%) são desejáveis em produtos microencapsulados, pois asseguram maior viabilidade microbiana e contribuem para a manutenção da funcionalidade do produto (Araújo Etchepare; Nunes; Nicoloso; Barin *et al.*, 2020). A eficiência do extrato fermentado otimizado em manter a viabilidade de *L. plantarum* CCMA 0743 após a secagem por spray drying foi expressiva, com média de 90.74% (Tabela 3) e valores individuais variando entre 89.68% e 92.69%. Esses

resultados indicaram que a maior parte da biomassa microbiana de *L. plantarum* CCMA0743 incorporada na formulação foi efetivamente recuperada no produto seco, demonstrando adequada proteção das células ao longo do processo de secagem. Essa eficiência de encapsulamento é comparável à de outros estudos que utilizaram materiais de parede convencionalmente empregados na microencapsulação de probióticos. Por exemplo, Guo; Li; Tang; Chang *et al.* (2022) relataram valores de recuperação de células viáveis de *L. plantarum* de 93.79% ao utilizarem soro de leite e dextrana como agente encapsulante, enquanto Nunes; Etchepare; Cichoski; Zepka *et al.* (2018) obtiveram 93.12% com o uso de inulina.

Table 3. Physicochemical and microbiological characterization of non-fermented and fermented taro extract obtained by spray drying.

Variables	Taro extract	
	Non-fermented	Fermented
Powder yield (%)	60.09 ± 0.95	56.74 ± 3.56
Viability <i>L. plantarum</i> (%)	–	90.74 ± 1.69
Viability <i>P. kluyveri</i> (%)	–	47.76 ± 7.46
pH	6.43 ± 0.04	3.89 ± 0.08*
Water activity (aw)	0.43 ± 0.02	0.38 ± 0.03
Hygroscopicity (g/100 g)	3.69 ± 1.69	4.04 ± 1.63
Water solubility (%)	76.70 ± 2.44	76.57 ± 0.95
L	62.40 ± 3.79	65.01 ± 3.40
C	10.01 ± 0.61	12.93 ± 0.65 *
h°	93.52 ± 0.31	81.30 ± 0.13 *
Particle size D50(µm)	4.31 ± 1.58	4.39 ± 1.69

Data are expressed as mean ± standard deviation. Student's t-test was used to compare the non-fermented and fermented taro extract after drying. \*Indicates a statistically significant difference compared to the Control group (p < 0.05). L = lightness, C = chroma, h° = hue angle

A levedura *Pichia kluyveri* CCMA 0615 apresentou valores de eficiência inferiores, com uma média de 47.76%. Embora os valores de sobrevivência dessa levedura sejam relativamente baixos, é amplamente reconhecido que certos microrganismos apresentam uma capacidade reduzida de resistir às adversidades do processo de secagem, demonstrando maior sensibilidade (Bustos; Taranto; Gerez; Agriopoulou *et al.*, 2024). Os mecanismos de proteção intrínsecos a esses microrganismos incluem o acúmulo de substâncias osmo-protetoras, modificações na composição da membrana celular e a expressão de proteínas de choque térmico (HSPs), processos já observados em *Lactiplantibacillus plantarum* (Broeckx; Vandenneuvel;

Claes; Lebeer *et al.*, 2016; Cui; Hu; Qian; Mao *et al.*, 2022; Iaconelli; Lemetais; Kechaou; Chain *et al.*, 2015; Liao; Hang; Liu; Pan *et al.*, 2010). Por outro lado, ainda são limitados os estudos que exploram os efeitos da microencapsulação na viabilidade de *P. kluyveri*. Um estudo recente, realizado com a cepa *P. kluyveri* CCMA 0615, observou uma maior sensibilidade ao estresse causado pela secagem, quando comparada à *Saccharomyces cerevisiae* (Resende; Martins; De Souza Melo; Magnani *et al.*, 2025).

Os resultados obtidos neste estudo corroboram o potencial do extrato fermentado de taro como uma matriz alternativa eficaz para a veiculação de probióticos, particularmente bactérias ácido-láticas (BAL), mesmo em processos que envolvem temperaturas elevadas, como a secagem por spray drying. Em relação à levedura, embora tenha sido observada a necessidade de um material de parede celular mais eficiente para a preservação de sua viabilidade, a menor taxa de sobrevivência da levedura não compromete a funcionalidade do extrato seco de taro fermentado. Isso se deve ao fato de que a contribuição de *P. kluyveri* durante o processo fermentativo favorece a formação de compostos bioativo relevantes para a qualidade e funcionalidade do produto (Cosme; Inês; Vilela, 2022; López-Palestino; Gómez-Vargas; Suárez-Quiroz; González-Ríos *et al.*, 2025; Sadeghi; Ebrahimi; Shahryari; Kharazmi *et al.*, 2022).

A secagem por atomização é um dos métodos mais utilizados para a obtenção de alimentos em pó, por permitir a rápida remoção da água e preservar características essenciais como a cor, a estabilidade física e a qualidade funcional do produto (George; Thomas; Kumar; Kamdod *et al.*, 2022). No presente estudo, o extrato de taro fermentado (Tabela 3) apresentou baixa atividade de água (0.38), baixa higroscopicidade (<5 g/100 g) e boa solubilidade (>70%), características atribuídas à matriz alimentar utilizada.

A ausência de diferenças significativas entre o extrato fermentado e o controle não inoculado reforça o papel do taro nessas características, o que é corroborado por Hoyos-Leyva; Chavez-Salazar; Castellanos-Galeano; Bello-Perez *et al.* (2018), que relataram valores semelhantes de atividade de água (0.3 – 0.4) ao utilizarem amido de taro como material de parede. Valores de atividade de água inferiores a 0.45 são considerados ideais para inibir o crescimento microbiano e reduzir reações indesejáveis, como oxidação e escurecimento não enzimático, favorecendo a estabilidade físico-química e a segurança durante o armazenamento (Tapia; Alzamora; Chirife, 2020). Além disso, a baixa higroscopicidade e a elevada solubilidade do pó desenvolvido conferem maior vida útil, facilidade de armazenamento e melhor aplicabilidade em formulações

alimentícias, superando limitações frequentemente observadas em produtos em pó com alta absorção de umidade (Ueda; Morales; Fernández-Ruiz; Ferreira *et al.*, 2023).

O pH também é um dos parâmetros amplamente utilizados na avaliação da estabilidade e qualidade de produtos alimentícios. No presente estudo, o pH significativamente mais baixo observado no extrato de taro fermentado (pH 3.89), em comparação ao controle não fermentado (pH 6.43), é um resultado esperado em decorrência da atividade fermentativa dos microrganismos, especialmente *L. plantarum*, que promove a produção de ácidos orgânicos, como o ácido láctico (Jabłońska-Ryś; Sławińska; Skrzypczak; Goral, 2022). Esse pH reduzido representa uma vantagem importante tanto para a estabilidade microbiológica, dificultando o crescimento de microrganismos contaminantes e deterioradores, quanto para a funcionalidade do produto, ao contribuir para a redução da oxidação e da degradação de nutrientes sensíveis ao pH. De acordo com Pasquet; Julien-David; Zhao; Villain-Gambier *et al.* (2024), compostos fenólicos; importantes bioativos presentes em alimentos de origem vegetal; apresentam menor susceptibilidade à oxidação em ambientes mais ácidos. Esse achado reforça os benefícios associados a valores reduzidos de pH quando o taro é utilizado como matriz alimentar.

O rendimento representa a fração de material seco coletado em relação à massa total da formulação líquida submetida à secagem (George; Thomas; Kumar; Kamdod *et al.*, 2022). Embora rendimentos superiores a 60% sejam considerados ideais, os valores observados para o extrato fermentado e não fermentado, de 56.7% e 60.0%, respectivamente, encontram-se dentro da faixa comum para a secagem por spray (20% a 70%) (Pereira; Cavalcante; Da Silva; Sensheng *et al.*, 2024). Rosales-Chimal; Navarro-Cortez; Bello-Perez; Vargas-Torres *et al.* (2023), em seus experimentos de otimização utilizando amido de taro como material encapsulante, encontraram variação de 33 a 73% de rendimento. Tais variações foram atribuídas ao alto teor de sólidos dissolvidos, como amidos e açúcares redutores, pois possuem tendência à aderência de partículas nas paredes da câmara de secagem. Em conjunto, os resultados obtidos confirmaram que o pó microencapsulado apresentou alta recuperação celular, bom desempenho tecnológico e rendimento técnico compatível com processos industriais de secagem, sendo promissor para aplicações funcionais como ingrediente probiótico em alimentos em pó ou suplementos.

Ainda sobre as características dos extratos secos obtidos, notou-se que a fermentação resultou em alterações significativas nos parâmetros colorimétricos, com

aumento do índice de cromaticidade ( $C^*$ ) de  $10.01 \pm 0.61$  no controle não fermentado para  $12.93 \pm 0.65$  no extrato fermentado, indicando maior saturação e intensidade da cor. Paralelamente, foi observada uma redução no ângulo de matiz ( $h^\circ$ ), de  $93.52 \pm 0.31$  para  $81.30 \pm 0.13$ , indicando aproximação da tonalidade do produto para matizes mais avermelhadas ou alaranjadas. Essas mudanças podem estar associadas à transformação ou degradação de compostos naturais presentes no taro, como flavonoides, antocianinas ou outros polifenóis, resultante do metabolismo microbiano durante a fermentação (Degrain; Manhivi; Remize; Garcia *et al.*, 2020).

O tamanho das partículas do extrato (microcápsulas) foi semelhante entre os tratamentos, com médias de  $4.31 \mu\text{m}$  para o extrato não fermentado e  $4.39 \mu\text{m}$  para o fermentado. As imagens obtidas por microscopia eletrônica de varredura estão apresentadas na Figura 3. Em ambos os tratamentos, foram observadas partículas com morfologias diversas e tamanhos irregulares, incluindo estruturas com superfícies lisas e outras com aspecto rugoso, além da presença de aglomerados. Essas características morfológicas estão diretamente relacionadas à composição da matriz, com destaque para a presença de amido (Rosales-Chimal; Navarro-Cortez; Bello-Perez; Vargas-Torres *et al.*, 2023).

Imagens de microscopia do amido de taro revelam grânulos de diferentes formas e dimensões, incluindo estruturas arredondadas, poliédricas com formação de aglomerados (Brandão; Tagliapietra; Clerici, 2023). Importante destacar que as micrografias não indicaram a presença de fissuras ou rachaduras evidentes nas superfícies das microcápsulas, sugerindo boa integridade estrutural das partículas formadas pelo processo de secagem. Tamanho e a morfologia semelhantes, foram relatados por Rezende; Lima e Naves (2021) no processo de microencapsulação de *P. kluyveri* CCMA 0615, utilizando protocolo de secagem por spray dryer e materiais de parede convencionais, como soro de leite e alginato. Esses resultados indicaram que o extrato de taro pode ser uma alternativa viável como material de parede para a encapsulação de microrganismos probióticos, gerando partículas com características comparáveis às obtidas com matrizes convencionais.

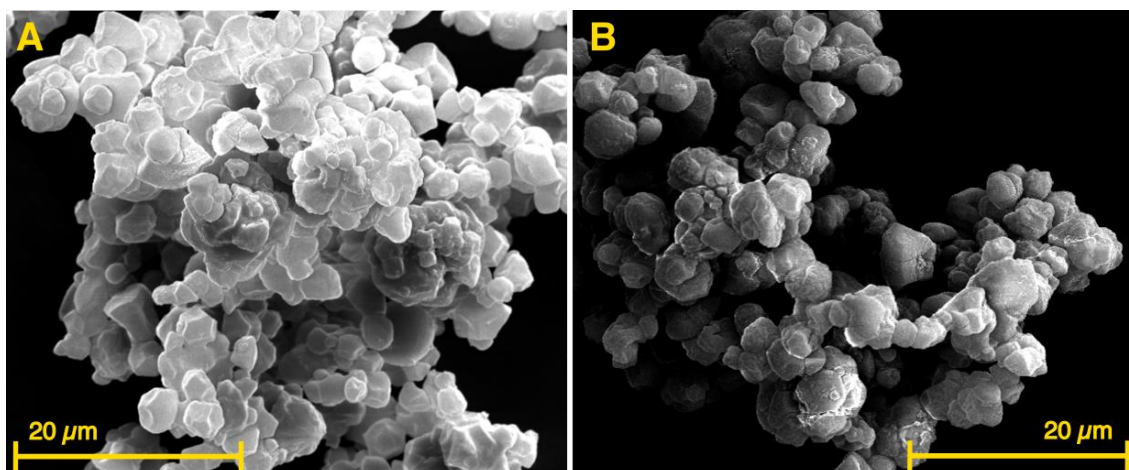


Figura 3. Micrografias de varredura por microscopia eletrônica das microcápsulas obtidas após o processo de secagem por atomização. (A) Tratamento controle (não fermentado); (B) Tratamento com extrato fermentado por *Lactiplantibacillus plantarum* e *Pichia kluyveri*.

Em relação ao aspecto nutricional os extratos produzidos não diferiram para a maioria dos parâmetros avaliados (Tabela 4). O extrato fermentado apresentou maior umidade e redução de 15% do conteúdo de proteínas. Estas alterações podem estar relacionadas ao processo de fermentação com a ação enzimática dos microrganismos sobre as macromoléculas, resultando na liberação de compostos de menor peso molecular, como ácidos orgânicos, peptídeos e açúcares redutores, que são mais higroscópicos e dificultam a remoção da água durante o processo de secagem, contribuindo para o aumento do teor residual de umidade no extrato fermentado (Bian; Chen; Yang; Yu *et al.*, 2022).

Table 4. Nutritional composition of non-fermented and fermented taro extract dried by spray drying.

Nutritional facts (g per 100g)	Taro extract	
	Non-fermented	Fermented
Energy (Kcal)	332.3 ± 4.67	331.8 ± 2.18
Moisture (g)	8.68 ± 0.08	9.05 ± 0.02 *
Total carbohydrates (g)	74.41 ± 0.57	75.38 ± 0.65
Starch (g)	42.39 ± 0.32	41.02 ± 1.52
Proteins (g)	7.83 ± 0.54	6.61 ± 0.22 *
Lipids (g)	0.37 ± 0.04	0.42 ± 0.12
Crude fiber (g)	2.45 ± 1.10	2.40 ± 0.77
Ash (g)	6.27 ± 0.03	6.14 ± 0.18

Data are expressed as mean ± standard deviation. Student's t-test was used to compare non-fermented and fermented taro extracts after drying. \*Indicates a statistically significant difference between treatments ( $p < 0.05$ ).

Apesar da redução do teor de proteína do extrato fermentado, este ainda é superior ao encontrado na maioria dos farináceos convencionais derivados de tubérculos, como polvilho e fécula de mandioca, que geralmente apresentam baixos níveis proteicos (Otekunrin; Sawicka; Adeyonu; Otekunrin *et al.*, 2021; Zhu, 2016). Além do seu conteúdo proteico, o conteúdo de fibras do extrato seco, em torno de 2.4% em ambos os tratamentos, destaca-se positivamente frente a esses e outros ingredientes amiláceos - polvilho doce, fécula de mandioca, amido de milho, dentre outros, os quais apresentam teores muito baixos (0.2 a 0.7%) ou nulos de fibras (Shah; Saeed; Afzaal; Waris *et al.*, 2022).

Adicionalmente, os extratos secos de taro apresentaram conteúdo expressivo de amido, representando mais de 50% do total de carboidrato calculado: aproximadamente 41 g dentre os 74 g por 100 g de produto. Esse elevado teor de amido considerado um aspecto relevante da composição nutricional do extrato de taro, não apenas pela sua contribuição como fonte energética, mas principalmente por seu potencial funcional. Predominantemente classificado como amido resistente tipo 2 (AR2), o amido cru de taro apresentou estrutura granular densa e compacta, baixa solubilidade em água e resistência à digestão enzimática no intestino delgado (Kaushal; Kumar; Sharma, 2013; Simsek; El, 2012). Além disso, a composição rica em amilopectina confere ao amido de taro elevada capacidade de gelatinização e formação de géis estáveis, características que o tornam interessante para aplicações tecnológicas em alimentos (Alfaro-Galarza; López-Villegas; Rivero-Perez; Tapia- Maruri *et al.*, 2020).

Processos térmicos simples, como o cozimento seguido de resfriamento controlado, podem promover rearranjos estruturais que resultam na formação de amido resistente tipo 3 (AR3), por meio da retrogradação (Setiarto; Jenie; Faridah; Sulistiani *et al.*, 2018). Esse tipo de modificação aumenta a fração de amido que resiste à digestão, reforçando seu valor funcional. O amido resistente, em suas diferentes formas, é reconhecido por atuar como composto prebiótico, uma vez que escapa à digestão no trato gastrointestinal superior e é fermentado no cólon, promovendo o crescimento de bactérias benéficas, como as do gênero *Lactobacillus* e *Bifidobacterium* (Tekin; Dincer, 2022). Essa fermentação leva à produção de ácidos graxos de cadeia curta, como o butirato, associados à manutenção da integridade da mucosa intestinal, modulação do sistema imune e prevenção de distúrbios metabólicos (Saxby; Tipton; Lee; Wang *et al.*, 2020; Saxby, 2020).

Além da função prébiotica, foi relatado que o AR3 produzido a partir do amido de taro pela aplicação de processos de aquecimento, como ocorre no presente estudo pelos processos de pasteurização e secagem em spray dryer, possui a capacidade de ligação de ácidos biliares *in vitro* e assim possível efeito sobre a redução efetiva de colesterol (Simsek; El, 2012). Estes resultados indicaram que o extrato de taro fermentado pode oferecer vantagens nutricionais e funcionais, associando propriedade prebióticos e probióticas, caracterizando-se como um simbiótico.

A quantificação de ácidos orgânicos por HPLC revelou diferenças significativas entre o extrato de taro não inoculado e o fermentado com *L. plantarum* e *P. kluyveri* (Tabela 5).

Tabela 5. Concentration of organic acids in non-inoculated and fermented taro extract after spray drying.

Taro extract	Concentration of Acids (mg/g)								
	Butyric	Citric	Isobutyric	Lactic	Malic	Oxalic	Propionic	Succinic	Tartaric
Non-inoculated	0.009 ± 0.001	1.85 ± 0.02	0.05 ± 0.01	0.08 ± 0.01	4.37 ± 0.04	0.22 ± 0.01	0.015 ± 0.001	0.22 ± 0.01	0.002 ± 0.001
Fermented extract	0.01 ± 0.001*	2.11 ± 0.05*	0.02 ± 0.01*	10.64 ± 0.19*	4.68 ± 0.08*	0.07 ± 0.00*	0.01 ± 0.001*	0.07 ± 0.001*	0.04 ± 0.004*

Data are expressed as mean ± standard deviation. Student's t-test was used to compare non-fermented and fermented taro extracts after drying. \*Indicates a statistically significant difference between treatments ( $p < 0.05$ )

O aumento acentuado de ácido láctico no extrato fermentado, de 0.01 g/100g no controle para  $10.64 \pm 0.19$  g/100g no fermentado, destaca a intensa atividade fermentativa de *L. plantarum*, uma bactéria ácido-láctica heterofermentativa facultativa, amplamente conhecida por sua capacidade de metabolizar açúcares como glicose e sacarose com produção predominante de ácido láctico como metabólito final (Wang; Wu; Lv; Shao *et al.*, 2021). O aumento do ácido láctico está diretamente relacionado ao baixo valor de pH do extrato fermentado, o que confere maior segurança e estabilidade do produto (Possas; Bonilla-Luque; Valero, 2021). Além disso, o ácido láctico é considerado um pós-biótico importante com efeitos antimicrobianos e moduladores da microbiota intestinal (Salminen; Collado; Endo; Hill *et al.*, 2021).

Alguns grupos bacterianos, tais como dos gêneros *Bifidobacterium* e *Eubacterium*, comumente presentes na microbiota humana e animal, são capazes de converter o ácido láctico em ácido butírico por meio dos mecanismos "cross-feeding" - ( $2 \text{ lactatos} + \text{acetato} \rightarrow \text{butirato} + 2\text{CO}_2 + 2\text{H}_2$ ) (Zhao; Lau; Zhong; Chen *et al.*, 2024).

Assim, uma produção sustentada de ácido butírico a partir de ácido lático proveniente da dieta promove a modulação da microbiota, fortalecimento da barreira epitelial do intestino e saúde intestinal, aumentando a relevância do processo fermentativo no produto (Louis; Flint, 2016). Em menor magnitude, foi observado aumento do ácido cítrico ( $1.85 \pm 0.02$  para  $2.11 \pm 0.05$  g/100g) e málico ( $4.37 \pm 0.04$  para  $4.68 \pm 0.08$ g/100g) para o extrato fermentado ( $p < 0,05$ ).

A redução significativa no teor de ácido oxálico de  $0.22 \pm 0.01$  para  $0.07 \pm 0.00$  g/100g, redução de 68%, é um resultado importante, pois esse composto possui atividade antinutricional, sendo capaz de formar complexos insolúveis com cálcio e ferro no intestino, prejudicando a absorção destes minerais (Zayed; Adly; Farag, 2025). A degradação do ácido oxálico pode estar associada à ação de enzimas microbianas como oxalato descarboxilases ou à acidólise mediada por microrganismos fermentadores facultativos (Murru; Blaiotta; Peruzzy; Santonicola *et al.*, 2017). Embora *L. plantarum* não seja classificado como oxalotrófico, há relatos da capacidade de algumas cepas da espécie em reduzir o teor de oxalato em matrizes vegetais (Karamad; Khosravi-Darani; Khaneghah; Miller, 2022).

A fermentação demonstrou ser uma estratégia eficaz para melhorar a qualidade nutricional e tecnológica do extrato de taro, promovendo a acidificação natural do meio, conferindo mais segurança e estabilidade, além da diversificação do perfil de ácidos orgânicos, produção de pós-bióticos e a redução de compostos antinutricionais.

A análise de compostos voláteis por GC-MS mostrou mudanças claras no perfil do extrato de taro após a fermentação. Para explorar essas alterações, foi realizada uma Análise de Componentes Principais (PCA), permitindo visualizar a separação entre os tratamentos de extratos fermentados e não fermentados com base na variância explicada por cada componente no perfil metabólico (Figura 4).

O gráfico à esquerda mostra a projeção das amostras nos componentes PC1 e PC2, que explicam aproximadamente 94.7% e 4.5% da variância total, respectivamente. O gráfico à direita apresenta a projeção nos componentes PC1 e PC3, que representa mais 0.9% da variância. A separação observada entre os grupos evidencia a alteração no perfil de compostos voláteis promovida pela fermentação. A separação clara entre os grupos de tratamento foi confirmada por análise estatística multivariada por permutação (PERMANOVA), com resultado significativo ( $F = 102$ ,  $p = 0,020$ ).

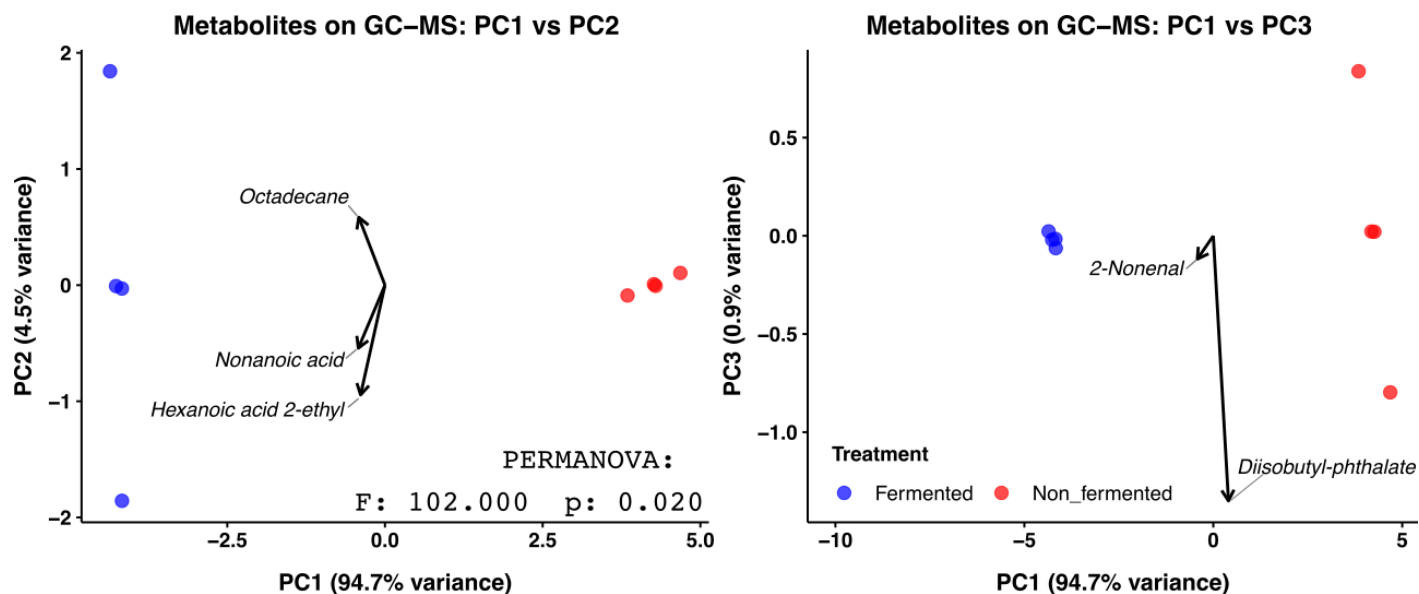


Figura 4. Análise de Componentes Principais (PCA) dos extratos de taro fermentado (azul) e não fermentado (vermelho), com base no perfil de metabólitos detectados por GC-MS. As setas inseridas em cada gráfico correspondem aos cinco autovetores (compostos) que mais contribuíram para a variabilidade explicada por esses componentes. A magnitude e direção das setas representam, respectivamente, a força e o sentido da correlação de cada metabólito com os eixos principais, sendo todas escaladas de forma proporcional para permitir a comparação visual entre os compostos.

O heatmap representa a abundância relativa normalizada dos compostos voláteis identificados por GC-MS nos extratos secos fermentados e não fermentados de taro (Figura 5). A coloração varia de vermelho (alta concentração relativa) a azul (baixa concentração relativa), padronizado entre  $-1$  e  $+1$ . No extrato não fermentado, destacaram-se compostos como 1-octen-3-ol, homosalato e diisobutyl phthalate, compostos que compõem o perfil volátil característico de vegetais crus ou minimamente processados (Li; Zhang; Zeng; Xi *et al.*, 2023). Em contraste, o extrato fermentado apresentou um perfil mais complexo e funcionalmente interessante, com abundância expressiva de álcoois superiores phenylethyl alcohol e benzyl alcohol, ácidos caproico e caprílico, além da cetona 3,5-octadien-2-one. Esses resultados indicam que a fermentação por *L. plantarum* e *P. kluyveri* promoveu uma profunda transformação qualitativa no perfil de compostos voláteis, reduzindo compostos indesejáveis por voláteis que possuam atividade benéfica ao organismo e sensorialmente positivos.

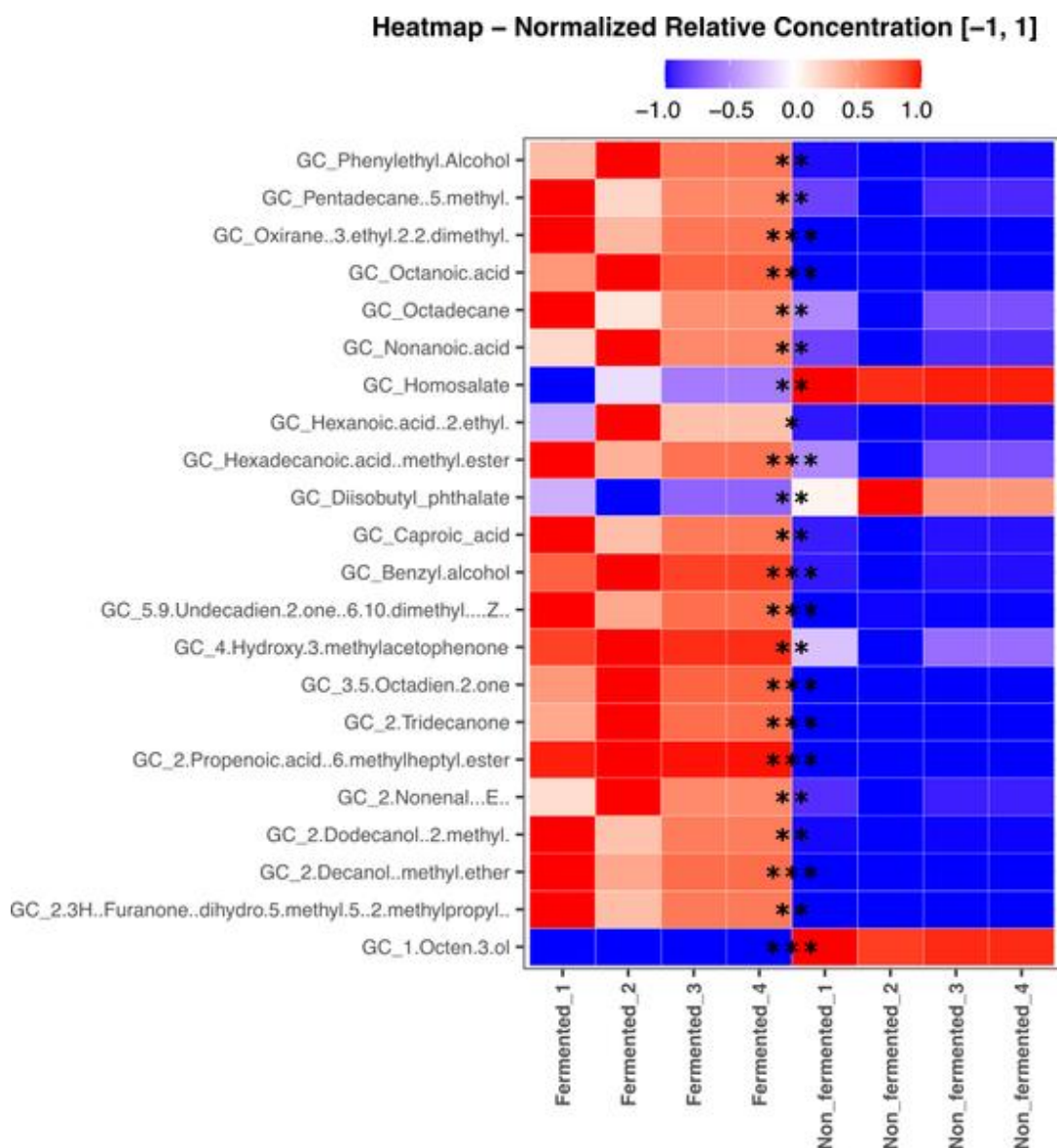


Figura 5. Heatmap dos compostos voláteis detectados por GC-MS nos extratos de taro fermentado e não fermentado. As abundâncias foram escaladas por composto (z-score), com valores mais elevados em vermelho e valores reduzidos em azul. Os tratamentos estão agrupados na parte inferior e os compostos na lateral esquerda, com base na similaridade de seus perfis. \* Mostra o nível de significância da diferença entre tratamentos.

A *P. kluyveri* é amplamente reconhecida por sua capacidade de intensificar o perfil aromático de alimentos fermentados, sendo responsável pela produção de álcoois superiores, ésteres e outros compostos voláteis com impacto sensorial positivo (Méndez-Zamora; Gutiérrez-Avenidaño; Arellano-Plaza; De la torre gonzález *et al.*, 2020). Dentre os álcoois superiores, destacou-se o aumento significativo do phenylethyl álcool com aroma frutado e de rosas, cuja concentração passou de  $328.50 \pm 43.10$  ng/g no extrato não fermentado para  $9580.00 \pm 1806.00$  ng/g no fermentado. De forma semelhante, o benzyl álcool apresentou incremento de  $24.86 \pm 3.09$  ng/g para  $293.40 \pm 16.33$  ng/g,

intensificando notas frutadas e levemente picantes. Esses compostos são produtos clássicos do metabolismo da levedura via rota de Ehrlich, a partir da degradação de aminoácidos aromáticos (Mitri; Koubaa; Maroun; Rossignol *et al.*, 2022; Rong; Yu; Hong, 2025).

Outros compostos com propriedades sensoriais específicas também foram detectados em maiores concentrações no extrato fermentado, como o (E)-2-nonenal (de  $536.80 \pm 18.46$  para  $1040.00 \pm 134.90$  ng/g), associado a notas levemente oleosas e florais, e o 3,5-octadien-2-one, ausente no controle e presente apenas no extrato fermentado ( $531.74 \pm 72.05$  ng/g), caracterizado por notas verdes e herbáceas (Tabela 6). Ambos são derivados da oxidação de ácidos graxos insaturados, processo possivelmente mediado pela atividade enzimática da levedura *Pichia kluyveri*. A presença desses voláteis contribui para a complexidade aromática do produto, sendo os descritores florais e herbáceos considerados positivos para a aceitação sensorial de alimentos fermentados à base de plantas (Melini; Melini; Luziatelli; Ficca *et al.*, 2019).

Do ponto de vista da contribuição do *L. plantarum*, observou-se aumento nos níveis de ácidos graxos voláteis, mais acentuadamente o ácido caproico (de  $51.61 \pm 6.09$  para  $437.90 \pm 78.47$ ng/g) e ácido caprílico (de 0 para  $103.00 \pm 13.58$  ng/g), ambos relacionados a notas de queijo, gordura e pungência, comumente encontradas em produtos lácteos maturados. A produção desses ácidos pode decorrer da fermentação secundária de aminoácidos de cadeia ramificada e lipídios residuais, conforme observado em fermentações envolvendo cepas de *L. plantarum* (Chang; Foo; Loh; Lim *et al.*, 2021). Os ácidos caproico e caprílico são ácidos graxos de cadeia média (MCFAs), com propriedade lipofílica que, são reconhecidos como pósbióticos (Kumar; Green; Rawat, 2024). Estes compostos têm atividade antimicrobiana contra bactérias Gram-negativas e fungos, devido a incorporação destes ácidos graxos na membrana, promovendo sua desestabilização (Desbois; Smith, 2009). Esta incorporação seletiva ocorre pela maior interação do ácido caproico e caprílico aos lipopolissacarídeos (LPS) e esteróis da membrana. A presença destes ácidos contribui não apenas para o perfil sensorial do produto, mas também para sua funcionalidade, reforçando o valor do extrato fermentado como um ingrediente bioativo.

Além do enriquecimento do perfil desejável, a fermentação também promoveu a redução completa do 1-octen-3-ol (de  $1912.00 \pm 49.74$ ng/g para 0). Este composto é associado a aromas indesejáveis como mofo, cogumelo e terra, comumente presentes em

alimentos vegetais crus ou pouco processados (Li; Zhang; Zeng; Xi *et al.*, 2023). Esse resultado reforça a função tecnológica da fermentação na eliminação de off-flavors.

Em conjunto, os resultados revelam um perfil volátil complexo e equilibrado, aproximando o extrato fermentado de produtos lácteos em termos sensoriais. Este perfil é altamente desejável em formulações de alimentos plant-based fermentados, como análogos de iogurtes, bebidas e queijos veganos (Batista; Ramos; Pires; Moreira *et al.*, 2019)

Table 6. Volatile compounds identified by GC-MS analysis for the control and fermented taro extract

Chemical Class	Volatile Compounds	Ret Time	Ret Index	Sensory Perception	Concentration (ng/g)	
					Non-fermented	Fermented
Acids	Caproic acid	16.028	2110	cheesy, oily, pungent, sour <sup>1</sup>	51.61 ± 6.09	437.90 ± 78.47 *
	Caprylic acid	18.775	2308	cheesy, fatty, oily <sup>1</sup>	0.00 ± 0.00	103.00 ± 13.58 *
	Nonanoic acid	20.009	2397	coconut, fatty <sup>1</sup>	20.44 ± 2.09	53.16 ± 8.73
	6-methylheptyl acrylate	10.528	1452	-	0.00 ± 0.00	903.70 ± 6.37 *
	2-Ethylhexanoic acid	17380	2207	cheesy <sup>1</sup>	50.52 ± 0.54	86.77 ± 18.77
Alcohols	1-octen-3-ol	9.936	1418	cucumber, earthy, floral, mushroom, green, musty, and meat <sup>1</sup>	1912.00 ± 49.74	0.00 ± 0.00 *
	Benzyl Alcohol	16.404	2137	pungent, spicy, fruity <sup>1</sup>	24.86 ± 3.09	293.40 ± 16.33*
	Phenylethyl Alcohol	16.915	2174	sweet, peach, rose <sup>1</sup>	328.50 ± 43.10	9580.00 ± 1806.0*
	2-Methyl-2-dodecanol	15486	2071	waxy, fatty <sup>2</sup>	56.14 ± 1.87	684.24 ± 130.76*
Aldehydes	(E)-2-Nonenal	11462	1507	papery, fatty, violet <sup>1</sup>	536.80 ± 18.46	1040.00 ± 134.90*
Alkanes	Octadecane	15.864	2098	-	66.53 ± 10.51	123.80 ± 18.76*
	5-Methylpentadecane	12202	1550	-	28.84 ± 4.55	104.33 ± 19.63
Ketones	2-Tridecanone	15.692	2086	salty <sup>1</sup>	0.00 ± 0.00	110.20 ± 17.72*
	3,5-Octadien-2-one	12.035	1540	green, herbaceous, pungent <sup>1</sup>	0.00 ± 0.00	531.74 ± 72.05*
	Geranylacetone	16159	2119	floral, fruity <sup>3</sup>	56.56 ± 0.06	99.55 ± 6.99*
Esters	Diisobutyl phthalate	24.047	2688	roasted potato <sup>1</sup>	755.20 ± 87.81	531.50 ± 61.49*
	Methyl palmitate	20.618	2441	clove <sup>1</sup>	31.02 ± 2.07	43.22 ± 2.51*
	Homosalate	23118	2621	mild minty <sup>4</sup>	109.20 ± 0.58	78.00 ± 8.71*

Tabela 6. Continuação

<b>Ethers</b>	2-Decanol, methyl ether	18047	2255	-	0.00 ± 0.00	177.70 ± 28.47
	2(3H)-Furanone, dihydro-5-methyl-5-(2-methylpropyl)-	19.631	2370	-	0.00 ± 0.00	400.90 ± 79.09*
<b>Others</b>	4-Hydroxy-3-methylacetophenone	20.279	2416	-	42.18 ± 3.85	58.59 ± 0.59 *
	2,3-Epoxy-2-methylpentane	12594	1573	-	0.00 ± 0.00	550.87 ± 103.45 *

Values are expressed as the mean concentration (µg/mL). -: sensory perception not found. Sensory perceptions were mentioned in: <sup>1</sup>(*PubChem*, n.d.); <sup>2</sup>(Denk et al., 2019); <sup>3</sup>(Deng et al., 2024; Zhu et al., 2024); <sup>4</sup>(Mao et al., 2024)

A viabilidade de *L. plantarum* CCMA 0743 e *P. kluyveri* CCMA 0615 microencapsulados pelo extrato de taro foi monitorada ao longo 180 dias sob duas condições de armazenamento: temperatura ambiente (~25 °C) e refrigeração a 4 °C. Os resultados evidenciaram perfis distintos de estabilidade entre os microrganismos testados (Figura 6).

Em relação à levedura *P. kluyveri*, observou-se que o processo de secagem promoveu acentuada redução da viabilidade celular já nos primeiros 30 dias, com contagens decrescendo para níveis inferiores a  $10^2$  UFC/g, tanto sob refrigeração quanto em temperatura ambiente. Diferentes estudos sugerem que leveduras do gênero *Pichia* podem ser particularmente sensíveis ao estresse térmico e osmótico imposto pelo processo de atomização por spray drying, resultando em baixa viabilidade pós-secagem e durante o armazenamento, especialmente em temperaturas ambientes (Aguirre-Güitrón; Calderón-Santoyo; Ortiz-Basurto; Bautista-Rosales *et al.*, 2018; Resende; Martins; De Souza Melo; Magnani *et al.*, 2025). Apesar da baixa viabilidade, destaca-se que *P. kluyveri* contribuiu significativamente para o perfil aromático do extrato fermentado, como evidenciado pela produção de compostos voláteis desejáveis. Além disso, as células de leveduras não viáveis têm sido associadas a efeitos benéficos à saúde por meio da ação de seus componentes estruturais, como mananas e  $\beta$ -glucanas presentes na parede celular, e metabólitos residuais (Sadeghi; Ebrahimi; Shahryari; Kharazmi *et al.*, 2022; Żółkiewicz; Marzec; Ruszczyński; Feleszko, 2020). Assim, as células da levedura presentes no extrato, mesmo que não viáveis, podem conferir propriedades pós-bióticas, ampliando a funcionalidade do produto.

*L. plantarum* demonstrou elevada viabilidade imediatamente após o processo de secagem, com contagens na ordem de  $10^9$  UFC/g. A estabilidade da bactéria foi diretamente influenciada pela temperatura de armazenamento. Em temperatura ambiente, observou-se redução para metade da população inicial após 30 dias, e queda drástica para menos de  $10^2$  UFC/g em 60 dias. Em contraste, a refrigeração foi eficaz na preservação da viabilidade, mantendo os níveis praticamente inalterados até 180 dias. Esses dados confirmam a conhecida robustez de *L. plantarum* a condições adversas de processamento e armazenamento (Kaymak Ertekin; Köprüalan Aydın; Altay, 2024; Radulović; Miočinović; Mirković; Mirković *et al.*, 2017). A manutenção da viabilidade de *L. plantarum* CCMA 0743 com contagens superiores a  $10^8$  UFC/g após 180 dias de armazenamento refrigerado confirma a estabilidade do microrganismo e assegura a propriedade probiótica do produto a longo prazo.

A sensibilidade da levedura e a necessidade de refrigeração para manutenção da viabilidade microbiana, pode representar uma limitação tecnológica relevante. Essa limitação pode estar relacionada à degradação de componentes celulares sensíveis ao calor, à baixa tolerância ao estresse oxidativo e à possível reativação metabólica em condições de umidade residual (Fujii; Sakamoto; Aso; Aktas *et al.*, 2011; Martins; Batista; Santos; Dias *et al.*, 2022). Estratégias promissoras para atenuar estes problemas incluem a incorporação de adjuvantes protetores durante a secagem, tais como alginato, gomas vegetais, oligossacarídeos e outros, os quais podem estabilizar membranas celulares e enzimas, aumentando a sobrevivência e estabilidade durante o armazenamento (Van Engeland; Haut; Debaste, 2025).

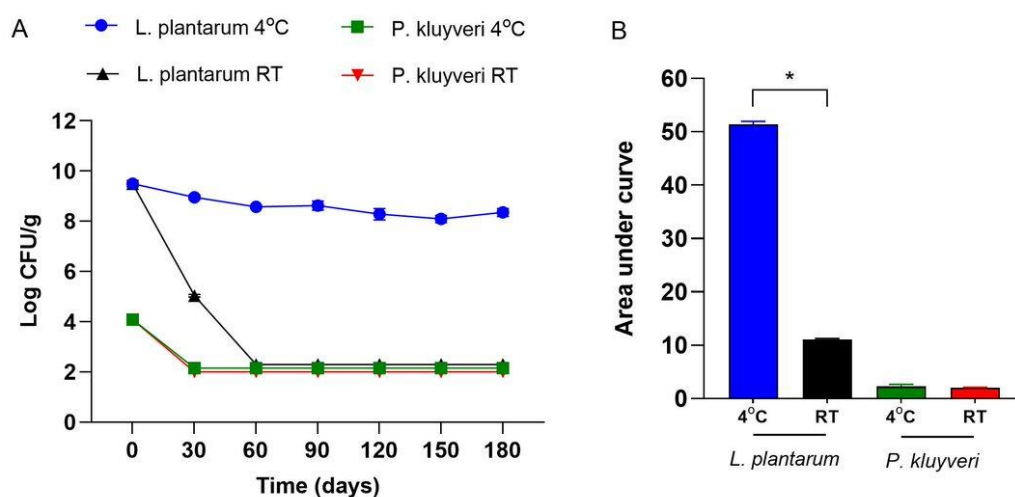


Figura 6. Gráfico de viabilidade ao armazenamento refrigerado por 180 dias.

A sobrevivência de microrganismos probióticos à passagem pelo trato gastrointestinal (TGI), chegando viável ao cólon é um pré-requisito essencial para garantir sua funcionalidade no hospedeiro (Hill; Guarner; Reid; Gibson *et al.*, 2014). No presente estudo, a sobrevivência de *L. plantarum* CCMA 0743 presente no extrato seco de taro após 6 meses de armazenamento e a mesma bactéria em meio MRS foi submetida a simulação pela passagem no TGI (Figura 7).

A contagem inicial de *L. plantarum* foi de 8.33 log UFC/mL no extrato fermentado de taro e 8.84 log UFC/mL no meio MRS. Após a simulação completa do trato gastrointestinal, as populações viáveis remanescentes foram de 6.79 log UFC/mL para o extrato e 7.34 log UFC/mL para o MRS, permanecendo, em ambos os casos, acima

de  $10^6$  UFC/mL. Essa faixa é considerada adequada para que microrganismos probióticos exerçam seus efeitos benéficos à saúde do hospedeiro, conforme recomendação de organismos internacionais, que indicam uma concentração mínima de  $10^6$  UFC/mL no produto no momento do consumo (Fao/Who, 2002). O momento de transição do estômago para o duodeno, com aumento do pH de 2 para 5 e adição de sais biliares e pancreatina, caracteriza-se como o principal ponto crítico para a sobrevivência da bactéria durante o trânsito gastrointestinal simulado. Apesar da redução significativa observada, a velocidade de perda celular foi menor no extrato fermentado, que apresentou uma taxa de decaimento de  $-0.0074 \log \text{ min}^{-1}$  ( $R^2 = 0.895$ ), em comparação ao valor de  $-0.0091 \log/\text{min}$  registrado para a suspensão em MRS ( $R^2 = 0.892$ ).

Essa menor taxa de decaimento no extrato pode ser atribuída a efeitos protetores conferidos pelos sólidos presentes no extrato de taro, como amido, o conteúdo proteico e fibras solúveis, componentes que podem atuar como barreiras físicas e químicas durante o trânsito gastrointestinal (Gupta; Guha; Srivastav, 2024). Essas substâncias tendem a formar géis viscosos ou microambientes coloidais que encapsulam as células probióticas, protegendo-as contra o pH gástrico e a ação de enzimas digestivas e sais biliares (Boldrini, 2023). No estudo conduzido por Setiarto; Kusumaningrum; Jenie; Khusniati *et al.* (2021), demonstraram que o amido de taro modificado por dois ciclos de autoclavagem e resfriamento (AC-2C) foi eficaz como material encapsulante para *L. plantarum* SU-LS36. A microencapsulação com esse amido resultou em microcápsulas esféricas com alta eficiência de encapsulação (89,83%) e proporcionou proteção significativa durante o processo de secagem por spray drying e armazenamento por até 6 semanas à temperatura ambiente. Esses resultados, assim, como do presente estudo indicam que o taro pode formar uma matriz protetora produzindo microcápsulas que protegem as células durante o armazenamento e conferem resistência contra as condições adversas do TGI.

Os resultados reforçam o potencial do extrato fermentado de taro pela cocultura de *L. plantarum* e *P. kluveri* como uma matriz encapsulante natural e funcional, capaz de substituir ou complementar materiais de parede tradicionais utilizados em processos de secagem por spray drying, como maltodextrina, soro de leite e alginato. Além de ser um ingrediente de baixo custo, o taro é um alimento natural e versátil, adequado para diferentes perfis de consumidores, incluindo vegetarianos/veganos, diabéticos e pessoas com intolerâncias alimentares.

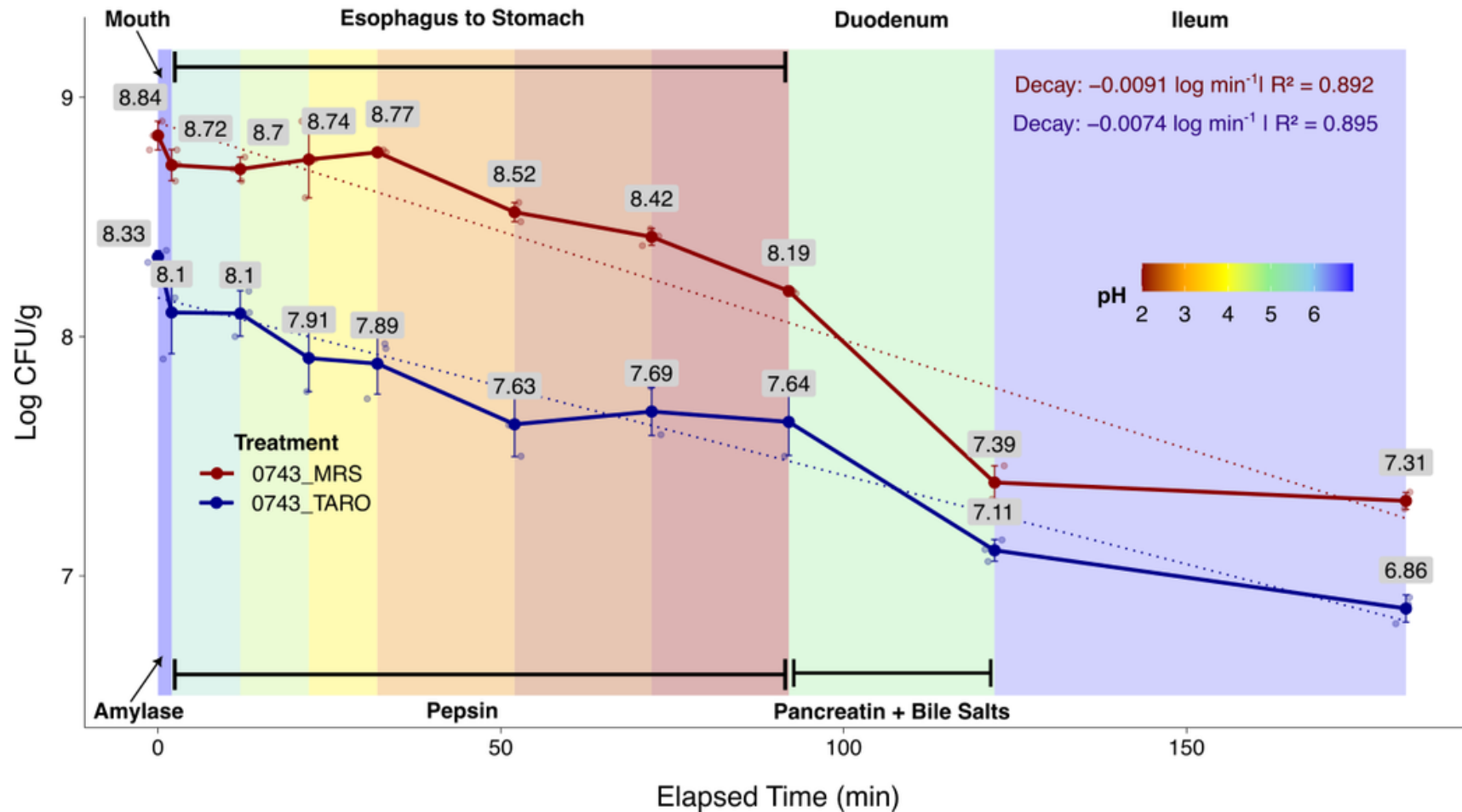


Figura 7. Sobrevivência de bactérias (log CFU/g) ao longo do trato gastrointestinal simulado, nas condições de tratamento com 0743\_MRS (vermelho) e 0743\_TARO (azul). As fases da digestão (boca, esôfago/estômago, duodeno e íleo) são indicadas por faixas de cores e associadas a mudanças de pH (gradiente colorido). As taxas de decaimento microbiano (em log CFU/min) e coeficientes de determinação ( $R^2$ ) são apresentadas para cada tratamento

#### 4 CONCLUSÃO

O presente estudo elaborou o extrato fermentado seco de taro utilizando a co-cultura de *Lactiplantibacillus plantarum* CCMA 0743 e *Pichia kluyveri* CCMA 0615, resultando em um produto inovador, não lácteo, estável e potencialmente funcional. Primeiramente, a matriz fermentada de taro contribuiu como agente encapsulante natural, com elevada eficiência de retenção celular, baixa atividade de água e estabilidade ao armazenamento e a passagem pelo TGI simulado (acima de  $10^6$  UFC/mL). Além disso, o processo de fermentação conferiu ao extrato características desejáveis, como a produção de compostos pós-bióticos (ácido láctico, hexanoico e octanoico), redução de compostos antinutricionais como o ácido oxálico, enriquecimento do perfil sensorial e estabilidade microbiológica para a cepa probiótica bacteriana.

Em conjunto, os dados demonstraram que o extrato fermentado de taro reúne propriedades de interesse nutricional, funcional e tecnológico, unindo prebióticos e probióticos viáveis, caracterizando-se como um simbiótico, somado as propriedades pós-bióticos com os compostos produzidos durante a fermentação e componentes células da levedura. A composição baseada em ingrediente vegetal, de baixo custo e aplicável a diferentes públicos, reforça seu potencial como alternativa funcional à base de plantas para veiculação de probióticos e como suplemento para adição em alimentos.

Para comprovar a funcionalidade do extrato fermentado de taro, estudos futuros devem incluir ensaios em modelos *in vitro* de fermentação colônica, com o objetivo de avaliar seu impacto na microbiota intestinal, especialmente na produção de metabólitos bioativos e na modulação de grupos microbianos benéficos. Na sequência, a realização de ensaios *in vivo*, inicialmente em modelos animais e posteriormente em humanos, será fundamental para validar seus efeitos sobre a microbiota, saúde intestinal e geral, consolidando sua aplicação como alimento funcional. Do ponto de vista tecnológico, o extrato desenvolvido apresenta características promissoras para a formulação de alimentos não lácteos fermentados, como iogurtes, queijos veganos, bebidas e suplementos em pó, oferecendo uma alternativa funcional e estável, isenta de ingredientes de origem animal e adequada a públicos com restrições alimentares.

## REFERÊNCIAS

- Afzal, A.; Afzaal, M.; Saeed, F.; Shah, Y. A. *et al.* Milk protein based encapsulation of probiotics and other food material: comprehensive review. **International Journal of Food Properties**, 27, n. 1, p. 245-262, 2024/12/31 2024.
- Agostoni, C.; Canani, R. B.; Fairweather-Tait, S.; Heinonen, M. *et al.* Scientific Opinion on the substantiation of a health claim related to “native chicory inulin” and maintenance of normal defecation by increasing stool frequency pursuant to Article 13.5 of Regulation (EC) No 1924/2006. pp. 3951.
- Aguirre-Güitrón, L.; Calderón-Santoyo, M.; Ortiz-Basurto, R. I.; Bautista-Rosales, P. U. *et al.* Optimisation of the spray drying process of formulating the post-harvest biocontrol agent *Meyerozyma caribbica*. **Biocontrol Science and Technology**, 28, n. 6, p. 574-590, 2018.
- Albuquerque, T. M. R. D.; Garcia, E. F.; Oliveira Araújo, A. D.; Magnani, M. *et al.* In Vitro Characterization of Lactobacillus Strains Isolated from Fruit Processing By-Products as Potential Probiotics. **Probiotics and Antimicrobial Proteins**, 10, n. 4, p. 704-716, 2017.
- Aleman, R.; Montero-Fernández, I.; Marcía, J.; Saravia Maldonado, S. *et al.* Application of Fermentation as a Strategy for the Transformation and Valorization of Vegetable Matrices. **Fermentation**, 10, n. 3, 2024.
- Alfaro-Galarza, O.; López-Villegas, E. O.; Rivero-Perez, N.; Tapia- Maruri, D. *et al.* Protective effects of the use of taro and rice starch as wall material on the viability of encapsulated *Lactobacillus paracasei* subsp. *Paracasei*. **LWT**, 117, p. 108686, 2020/01/01/ 2020.
- Anachad, O.; Taouil, A.; Taha, W.; Bennis, F. *et al.* The Implication of Short-Chain Fatty Acids in Obesity and Diabetes. **Microbiology Insights**, 16, p. 11786361231162720, 2023.
- Annan, N. T.; Borza, A. D.; Hansen, L. T. Encapsulation in alginate-coated gelatin microspheres improves survival of the probiotic *Bifidobacterium adolescentis* 15703T during exposure to simulated gastro-intestinal conditions. **Food Research International**, 41, n. 2, p. 184-193, 2008/01/01/ 2008.
- Aoki, R.; Kamikado, K.; Suda, W.; Takii, H. *et al.* A proliferative probiotic *Bifidobacterium* strain in the gut ameliorates progression of metabolic disorders via microbiota modulation and acetate elevation. **Scientific Reports**, 7, n. 1, p. 43522, 2017/03/02 2017.
- Araújo Etchepare, M. D.; Nunes, G. L.; Nicoloso, B. R.; Barin, J. S. *et al.* Improvement of the viability of encapsulated probiotics using whey proteins. **Lwt**, 117, 2020.
- Arora, T.; Rudenko, O.; Egerod, K. L.; Husted, A. S. *et al.* Microbial fermentation of flaxseed fibers modulates the transcriptome of GPR41-expressing enteroendocrine cells and protects mice against diet-induced obesity. **American Journal of Physiology-Endocrinology and Metabolism**, 316, n. 3, p. E453-E463, 2019.

Arslan, S.; Erbas, M.; Tontul, I.; Topuz, A. Microencapsulation of probiotic *Saccharomyces cerevisiae* var. *boulardii* with different wall materials by spray drying. **LWT - Food Science and Technology**, 63, n. 1, p. 685-690, 2015/09/01/ 2015.

Aspri, M.; Papademas, P.; Tsaltas, D. Review on Non-Dairy Probiotics and Their Use in Non-Dairy Based Products. **Fermentation**, 6, n. 1, p. 30, 2020.

Batista, N. N.; Ramos, C. L.; Pires, J. F.; Moreira, S. I. *et al.* Nondairy ice cream based on fermented yam (*Dioscorea* sp.). **Food Science & Nutrition**, 7, n. 5, p. 1899-1907, 2019.

Bendjeddou, K.; Fons, M.; Strocker, P.; Sadoun, D. Characterization and purification of a bacteriocin from *Lactobacillus paracasei* subsp. *paracasei* BMK2005, an intestinal isolate active against multidrug-resistant pathogens. **World Journal of Microbiology and Biotechnology**, 28, n. 4, p. 1543-1552, 2012/04/01 2012.

Bian, X.; Chen, J.-R.; Yang, Y.; Yu, D.-H. *et al.* Effects of fermentation on the structure and physical properties of glutinous proso millet starch. **Food Hydrocolloids**, 123, 2022.

Boahemaa, L. V.; Dzandu, B.; Amisah, J. G. N.; Akonor, P. T. *et al.* Physico-chemical and functional characterization of flour and starch of taro (*Colocasia esculenta*) for food applications. **Food and Humanity**, 2, p. 100245, 2024/05/01/ 2024.

Boas, M. P. P. V.; Almeida, L. C.; Do Lago, R. C.; Zitha, E. Z. M. *et al.* Impact of acerola pulp on physical and chemical properties of lactose-free sweet bread during storage. **Food Chemistry Advances**, 4, 2024.

Boldrini, D. E. Starch-based materials for drug delivery in the gastrointestinal tract-A review. **Carbohydrate Polymers**, 320, 2023.

Bourebaba, Y.; Marycz, K.; Mularczyk, M.; Bourebaba, L. Postbiotics as potential new therapeutic agents for metabolic disorders management. **Biomedicine & Pharmacotherapy**, 153, p. 113138, 2022/09/01/ 2022.

Braga, A. B. a. C.; Costa, C. J. M.; Pomella, A. W. V.; Ribeiro, E. J. *et al.* Evaluation of lethality temperature and use of different wall materials in the microencapsulation process of *Trichoderma asperellum* conidias by spray drying. **Powder Technology**, 347, p. 199-206, 2019.

Brandão, N. A.; Tagliapietra, B. L.; Clerici, M. T. P. S. Taro [*Colocasia esculenta* (L.) Schott]: a critical review of its nutritional value and potential for food application. **Food Science and Technology**, 43, 2023.

Broeckx, G.; Vandenheuvel, D.; Claes, I. J. J.; Lebeer, S. *et al.* Drying techniques of probiotic bacteria as an important step towards the development of novel pharmabiotics. **International Journal of Pharmaceutics**, 505, n. 1-2, p. 303-318, 2016.

Burgain, J.; Corgneau, M.; Scher, J.; Gaiani, C. Chapter 20 - Encapsulation of Probiotics in Milk Protein Microcapsules. *In*: Sagis, L. M. C. (Ed.). **Microencapsulation and Microspheres for Food Applications**. San Diego: Academic Press, 2015. p. 391-406.

Burgain, J.; Gaiani, C.; Cailliez-Grimal, C.; Jeandel, C. *et al.* Encapsulation of *Lactobacillus rhamnosus* GG in microparticles: Influence of casein to whey protein ratio on bacterial survival during digestion. **Innovative Food Science & Emerging Technologies**, 19, p. 233-242, 2013/07/01/ 2013.

Bustos, A. Y.; Taranto, M. P.; Gerez, C. L.; Agriopoulou, S. *et al.* Recent Advances in the Understanding of Stress Resistance Mechanisms in Probiotics: Relevance for the Design of Functional Food Systems. **Probiotics and Antimicrobial Proteins**, 17, n. 1, p. 138-158, 2024.

Calderón-Oliver, M.; Ponce-Alquicira, E. The Role of Microencapsulation in Food Application. **Molecules**, 27, n. 5, p. 1499, 2022.

Cano-Chauca, M.; Stringheta, P. C.; Ramos, A. M.; Cal-Vidal, J. Effect of the carriers on the microstructure of mango powder obtained by spray drying and its functional characterization. **Innovative Food Science & Emerging Technologies**, 6, n. 4, p. 420-428, 2005.

Carlson, J. L.; Erickson, J. M.; Lloyd, B. B.; Slavin, J. L. Health Effects and Sources of Prebiotic Dietary Fiber. **Current Developments in Nutrition**, 2, n. 3, p. nzy005, 2018/03/01/ 2018.

Carretta, M. D.; Quiroga, J.; López, R.; Hidalgo, M. A. *et al.* Participation of Short-Chain Fatty Acids and Their Receptors in Gut Inflammation and Colon Cancer. **Frontiers in Physiology**, Volume 12 - 2021, 2021-April-08 2021. Review.

Chandralekha, A.; Tavanandi, A. H.; Amrutha, N.; Hebbar, H. U. *et al.* Encapsulation of yeast (*Saccharomyces cerevisiae*) by spray drying for extension of shelf life. **Drying Technology**, 34, n. 11, p. 1307-1318, 2016.

Chang, H. M.; Foo, H. L.; Loh, T. C.; Lim, E. T. C. *et al.* Comparative Studies of Inhibitory and Antioxidant Activities, and Organic Acids Compositions of Postbiotics Produced by Probiotic *Lactiplantibacillus plantarum* Strains Isolated From Malaysian Foods. **Frontiers in Veterinary Science**, 7, 2021.

Chen, C.; Su, Y.; Li, S.; Man, C. *et al.* Advances in oligosaccharides and polysaccharides with different structures as wall materials for probiotics delivery: A review. **International Journal of Biological Macromolecules**, 277, p. 134468, 2024/10/01/ 2024.

Chen, L.; Chen, B.; Chu, L.; Chen, L. *et al.* The storage quality and transcriptome analysis of fresh-cut taro by L-ascorbic acid combined with ultrasonic treatment. **Ultrasonics Sonochemistry**, 112, p. 107178, 2025/01/01/ 2025.

Choudhury, N.; Meghwal, M.; Das, K. Microencapsulation: An overview on concepts, methods, properties and applications in foods. **Food Frontiers**, 2, n. 4, p. 426-442, 2021.

Cicenia, A.; Santangelo, F.; Gambardella, L.; Pallotta, L. *et al.* Protective Role of Postbiotic Mediators Secreted by *Lactobacillus rhamnosus* GG Versus Lipopolysaccharide-induced Damage in Human Colonic Smooth Muscle Cells. **J Clin Gastroenterol**, 50 Suppl 2, Proceedings from the 8th Probiotics, Prebiotics & New Foods for Microbiota and Human Health meeting held in Rome, Italy on September 13-15, 2015, p. S140-s144, Nov/Dec 2016.

Cosme, F.; Inês, A.; Vilela, A. Consumer's acceptability and health consciousness of probiotic and prebiotic of non-dairy products. **Food Research International**, 151, 2022.

Cuevas-González, P. F.; Liceaga, A. M.; Aguilar-Toalá, J. E. Postbiotics and paraprobiotics: From concepts to applications. **Food Research International**, 136, p. 109502, 2020/10/01/2020.

Cui, S.; Hu, K.; Qian, Z.; Mao, B. *et al.* Improvement of Freeze-Dried Survival of *Lactiplantibacillus plantarum* Based on Cell Membrane Regulation. **Microorganisms**, 10, n. 10, 2022.

Dahiya, S.; Chowdhury, R.; Kumar, P.; Ghosh, S. *et al.* Recovery of Sugar and Nutrients from Algae and *Colocasia esculenta* (Taro) Leaves Using Chemical Hydrolysis. **Sustainability**, 14, n. 24, p. 16383, 2022.

Degrain, A.; Manhivi, V.; Remize, F.; Garcia, C. *et al.* Effect of Lactic Acid Fermentation on Color, Phenolic Compounds and Antioxidant Activity in African Nightshade. **Microorganisms**, 8, n. 9, 2020.

Desbois, A. P.; Smith, V. J. Antibacterial free fatty acids: activities, mechanisms of action and biotechnological potential. **Applied Microbiology and Biotechnology**, 85, n. 6, p. 1629-1642, 2009.

Dianawati, D.; Lim, S. F.; Ooi, Y. B. H.; Shah, N. P. Effect of Type of Protein-Based Microcapsules and Storage at Various Ambient Temperatures on the Survival and Heat Tolerance of Spray Dried *Lactobacillus acidophilus*. **Journal of Food Science**, 82, n. 9, p. 2134-2141, 2017.

Dilek, N. M.; Bilgiçli, N. Effect of taro [*Colocasia esculenta* (L.) Schott] flour and different shortening ratio on physical and chemical properties of gluten-free cookie. **Journal of Food Processing and Preservation**, 45, n. 11, p. e15894, 2021.

Dimidi, E.; Cox, S. R.; Rossi, M.; Whelan, K. Fermented Foods: Definitions and Characteristics, Impact on the Gut Microbiota and Effects on Gastrointestinal Health and Disease. **Nutrients**, 11, n. 8, p. 1806, 2019.

Dunand, E.; Burns, P.; Binetti, A.; Bergamini, C. *et al.* Postbiotics produced at laboratory and industrial level as potential functional food ingredients with the capacity to protect mice against *Salmonella* infection. **Journal of Applied Microbiology**, 127, n. 1, p. 219-229, 2019.

Fao/Who. Guidelines for the evaluation of probiotics in food. : FAO/WHO London, ON: 1-11 p. 2002.

Fei, Y.; Chen, Z.; Han, S.; Zhang, S. *et al.* Role of prebiotics in enhancing the function of next-generation probiotics in gut microbiota. **Critical Reviews in Food Science and Nutrition**, 63, n. 8, p. 1037-1054, 2023/03/23 2023.

Feng, T.; Wang, J. Oxidative stress tolerance and antioxidant capacity of lactic acid bacteria as probiotic: a systematic review. **Gut Microbes**, 12, n. 1, p. 1801944, 2020/11/09 2020.

Ferreira, I.; De Sousa Melo, D.; Menezes, A. G. T.; Fonseca, H. C. *et al.* Evaluation of potentially probiotic yeasts and *Lactiplantibacillus plantarum* in co-culture for the elaboration of a functional plant-based fermented beverage. **Food Research International**, 160, p. 111697, 2022/10/01/ 2022.

Ferreira, V. C.; Barroso, T. L. C. T.; Castro, L. E. N.; Da Rosa, R. G. *et al.* An overview of prebiotics and their applications in the food industry. **European Food Research and Technology**, 249, n. 11, p. 2957-2976, 2023/11/01 2023.

Fonseca, H. C.; De Sousa Melo, D.; Ramos, C. L.; Dias, D. R. *et al.* Probiotic Properties of Lactobacilli and Their Ability to Inhibit the Adhesion of Enteropathogenic Bacteria to Caco-2 and HT-29 Cells. **Probiotics and Antimicrobial Proteins**, 13, n. 1, p. 102-112, 2021/02/01 2021.

Ford, A. C.; Moayyedi, P.; Chey, W. D.; Harris, L. A. *et al.* American College of Gastroenterology Monograph on Management of Irritable Bowel Syndrome. **Am J Gastroenterol**, 113, n. Suppl 2, p. 1-18, Jun 2018.

Fujii, S.; Sakamoto, Y.; Aso, T.; Aktas, T. *et al.* Drying of Yeasts—Factors Affecting Inactivation During Drying. **Drying Technology**, 29, n. 16, p. 1981-1985, 2011.

Fujinaga, A.; Ohta, M.; Endo, Y.; Nakanuma, H. *et al.* Changes of Short-Chain Fatty Acids and Their Receptors in an Obese Rat Model After Sleeve Gastrectomy. **Obesity Surgery**, 32, n. 8, p. 2649-2657, 2022/08/01 2022.

García-Montero, C.; Fraile-Martínez, O.; Gómez-Lahoz, A. M.; Pekarek, L. *et al.* Nutritional Components in Western Diet Versus Mediterranean Diet at the Gut Microbiota–Immune System Interplay. Implications for Health and Disease. **Nutrients**, 13, n. 2, p. 699, 2021.

Gebrayel, P.; Nicco, C.; Al Khodor, S.; Bilinski, J. *et al.* Microbiota medicine: towards clinical revolution. **Journal of Translational Medicine**, 20, n. 1, p. 111, 2022/03/07 2022.

George, S.; Thomas, A.; Kumar, M. V. P.; Kamdod, A. S. *et al.* Impact of processing parameters on the quality attributes of spray-dried powders: a review. **European Food Research and Technology**, 249, n. 2, p. 241-257, 2022.

Gonçalves, R. F.; Silva, A. M. S.; Silva, A. M.; Valentão, P. *et al.* Influence of taro (*Colocasia esculenta* L. Shott) growth conditions on the phenolic composition and biological properties. **Food Chemistry**, 141, n. 4, p. 3480-3485, 2013.

Gonzalez-Soto, R. A.; De La Vega, B.; García-Suarez, F. J.; Agama-Acevedo, E. *et al.* Preparation of spherical aggregates of taro starch granules. **LWT - Food Science and Technology**, 44, n. 10, p. 2064-2069, 2011/12/01/ 2011.

Granato, D.; Barba, F. J.; Bursać Kovačević, D.; Lorenzo, J. M. *et al.* Functional Foods: Product Development, Technological Trends, Efficacy Testing, and Safety. **Annual Review of Food Science and Technology**, 11, n. 1, p. 93-118, 2020.

Guarner, F.; Sanders, M. E.; Szajewska, H.; Cohen, H. *et al.* World gastroenterology organisation global guidelines: probiotics and prebiotics. **Journal of clinical gastroenterology**, 58, n. 6, p. 533-553, 2024.

Guo, Q.; Li, S.; Tang, J.; Chang, S. *et al.* Microencapsulation of *Lactobacillus plantarum* by spray drying: Protective effects during simulated food processing, gastrointestinal conditions, and in kefir. **International Journal of Biological Macromolecules**, 194, p. 539-545, 2022.

Gupta, R. K.; Guha, P.; Srivastav, P. P. Exploring the potential of taro (*Colocasia esculenta*) starch: Recent developments in modification, health benefits, and food industry applications. **Food Bioengineering**, 3, n. 3, p. 365-379, 2024.

Gutiérrez, T. J.; Bello-Pérez, L. A. Self-assembled and assembled starch V-type complexes for the development of functional foodstuffs: A review. **Food Hydrocolloids**, 125, p. 107453, 2022/04/01/ 2022.

Hill, C.; Guarner, F.; Reid, G.; Gibson, G. R. *et al.* The International Scientific Association for Probiotics and Prebiotics consensus statement on the scope and appropriate use of the term probiotic. **Nature Reviews Gastroenterology & Hepatology**, 11, n. 8, p. 506-514, 2014/08/01 2014.

Homayouni Rad, A.; Aghebati Maleki, L.; Samadi Kafil, H.; Abbasi, A. Postbiotics: A novel strategy in food allergy treatment. **Crit Rev Food Sci Nutr**, 61, n. 3, p. 492-499, 2021.

Hoyos-Leyva, J. D.; Bello-Pérez, L. A.; Alvarez-Ramirez, J.; Garcia, H. S. Microencapsulation using starch as wall material: A review. **Food Reviews International**, 34, n. 2, p. 148-161, 2018/02/17 2018.

Hoyos-Leyva, J. D.; Chavez-Salazar, A.; Castellanos-Galeano, F.; Bello-Perez, L. A. *et al.* Physical and chemical stability of l-ascorbic acid microencapsulated into taro starch spherical aggregates by spray drying. **Food Hydrocolloids**, 83, p. 143-152, 2018.

Hui, G.; Zhu, P.; Wang, M. Structure and functional properties of taro starch modified by dry heat treatment. **International Journal of Biological Macromolecules**, 261, 2024.

Hutkins, R.; Walter, J.; Gibson, G. R.; Bedu-Ferrari, C. *et al.* Classifying compounds as prebiotics — scientific perspectives and recommendations. **Nature Reviews Gastroenterology & Hepatology**, 22, n. 1, p. 54-70, 2024.

Iaconelli, C.; Lemetais, G.; Kechaou, N.; Chain, F. *et al.* Drying process strongly affects probiotics viability and functionalities. **Journal of Biotechnology**, 214, p. 17-26, 2015.

Jabłońska-Ryś, E.; Sławińska, A.; Skrzypczak, K.; Goral, K. Dynamics of Changes in pH and the Contents of Free Sugars, Organic Acids and LAB in Button Mushrooms during Controlled Lactic Fermentation. **Foods**, 11, n. 11, 2022.

Jang, H. J.; Lee, N. K.; Paik, H. D. A Narrative Review on the Advance of Probiotics to Metabiotics. **J Microbiol Biotechnol**, 34, n. 3, p. 487-494, Mar 28 2024.

Karamad, D.; Khosravi-Darani, K.; Khaneghah, A. M.; Miller, A. W. Probiotic Oxalate-Degrading Bacteria: New Insight of Environmental Variables and Expression of the *oxc* and *frc* Genes on Oxalate Degradation Activity. **Foods**, 11, n. 18, 2022.

Kareem, K. Y.; Hooi Ling, F.; Teck Chwen, L.; May Foong, O. *et al.* Inhibitory activity of postbiotic produced by strains of *Lactobacillus plantarum* using reconstituted media supplemented with inulin. **Gut Pathogens**, 6, n. 1, 2014.

Karimifard, S.; Alavi Moghaddam, M. R. Application of response surface methodology in physicochemical removal of dyes from wastewater: A critical review. **Science of The Total Environment**, 640-641, p. 772-797, 2018.

Kaushal, P.; Kumar, V.; Sharma, H. K. Utilization of taro (*Colocasia esculenta*): a review. **Journal of Food Science and Technology**, 52, n. 1, p. 27-40, 2013.

Kaymak Ertekin, F.; Köprüalan Aydın, Ö.; Altay, Ö. Enhancing Viability of *Lactobacillus plantarum* BG24 Through Optimized Spray Drying: Insights Into Process Parameters, Carrier Agents, Comparative Analysis With Freeze Drying, and Storage Condition Influences. **Food Science & Nutrition**, 12, n. 12, p. 10330-10346, 2024.

Kim, Y. A.; Keogh, J. B.; Clifton, P. M. Probiotics, prebiotics, synbiotics and insulin sensitivity. **Nutrition Research Reviews**, 31, n. 1, p. 35-51, 2017.

Koh, W. Y.; Lim, X. X.; Tan, T.-C.; Kobun, R. *et al.* Encapsulated Probiotics: Potential Techniques and Coating Materials for Non-Dairy Food Applications. **Applied Sciences**, 12, n. 19, 2022.

Kowalska, E.; Ziarno, M.; Ekielski, A.; Żelaziński, T. Materials Used for the Microencapsulation of Probiotic Bacteria in the Food Industry. **Molecules**, 27, n. 10, 2022.

Kowsalya, M.; Sudha, K. G.; Ali, S.; Velmurugan, T. *et al.* Sustainability and controlled release behavior of microencapsulated *Lactobacillus plantarum* PRK7 and its application in probiotic yogurt production. **Food Bioscience**, 52, 2023.

Küçükgöz, K.; Trzaskowska, M. Nondairy Probiotic Products: Functional Foods That Require More Attention. **Nutrients**, 14, n. 4, 2022.

Kumar, A.; Green, K. M.; Rawat, M. A Comprehensive Overview of Postbiotics with a Special Focus on Discovery Techniques and Clinical Applications. **Foods**, 13, n. 18, 2024.

Lamidi, S.; Olaleye, N.; Bankole, Y.; Obalola, A. *et al.* Applications of Response Surface Methodology (RSM) in Product Design, Development, and Process Optimization. *In: Response Surface Methodology - Research Advances and Applications*, 2023. cap. Chapter 3.

Le Bastard, Q.; Chapelet, G.; Javaudin, F.; Lepelletier, D. *et al.* The effects of inulin on gut microbial composition: a systematic review of evidence from human studies. **European Journal of Clinical Microbiology & Infectious Diseases**, 39, n. 3, p. 403-413, 2019.

Lenth, R. V.; Lenth, M. R. V.; Vdgraph, S. Package 'rsm'. **R Foundation for Statistical Computing**, 2018.

Levy, M.; Kolodziejczyk, A. A.; Thaiss, C. A.; Elinav, E. Dysbiosis and the immune system. **Nature Reviews Immunology**, 17, n. 4, p. 219-232, 2017.

Li, M.; Guo, Q.; Lin, Y.; Bao, H. *et al.* Recent Progress in Microencapsulation of Active Peptides—Wall Material, Preparation, and Application: A Review. **Foods**, 12, n. 4, 2023.

Li, X.; Zhang, W.; Zeng, X.; Xi, Y. *et al.* Characterization of the Major Odor-Active Off-Flavor Compounds in Normal and Lipoxygenase-Lacking Soy Protein Isolates by Sensory-Directed Flavor Analysis. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, 71, n. 21, p. 8129-8139, 2023.

Liao, N.; Pang, B.; Jin, H.; Xu, X. *et al.* Potential of lactic acid bacteria derived polysaccharides for the delivery and controlled release of oral probiotics. **Journal of Controlled Release**, 323, p. 110-124, 2020.

Liao, Q.; Hang, X.; Liu, X.; Pan, J. *et al.* The influence of pH on heat stress response by probiotic *Lactobacillus plantarum* LP-Only. **Annals of Microbiology**, 60, n. 2, p. 341-348, 2010.

Liu, C.; Ma, N.; Feng, Y.; Zhou, M. *et al.* From probiotics to postbiotics: Concepts and applications. **Animal Research and One Health**, 1, n. 1, p. 92-114, 2023.

Liu, C.; Xue, W.-J.; Ding, H.; An, C. *et al.* Probiotic Potential of *Lactobacillus* Strains Isolated From Fermented Vegetables in Shaanxi, China. **Frontiers in Microbiology**, 12, 2022.

Liu, P.; Wang, Y.; Yang, G.; Zhang, Q. *et al.* The role of short-chain fatty acids in intestinal barrier function, inflammation, oxidative stress, and colonic carcinogenesis. **Pharmacological Research**, 165, 2021.

Liu, W.; Yang, G.; Liu, P.; Jiang, X. *et al.* Modulation of adipose tissue metabolism by microbial-derived metabolites. **Frontiers in Microbiology**, 13, 2022.

López-Palestino, A.; Gómez-Vargas, R.; Suárez-Quiroz, M.; González-Ríos, O. *et al.* Probiotic Potential of Lactic Acid Bacteria and Yeast Isolated from Cocoa and Coffee Bean Fermentation: A Review. **Fermentation**, 11, n. 2, 2025.

Louis, P.; Flint, H. J. Formation of propionate and butyrate by the human colonic microbiota. **Environmental Microbiology**, 19, n. 1, p. 29-41, 2016.

Ma, L.; Tu, H.; Chen, T. Postbiotics in Human Health: A Narrative Review. **Nutrients**, 15, n. 2, 2023.

Mansournia, M. A.; Waters, R.; Nazemipour, M.; Bland, M. *et al.* Bland-Altman methods for comparing methods of measurement and response to criticisms. **Global Epidemiology**, 3, 2021.

Martín, R.; Langella, P. Emerging Health Concepts in the Probiotics Field: Streamlining the Definitions. **Frontiers in Microbiology**, 10, 2019.

Martins, P. M. M.; Batista, N. N.; Santos, L. D.; Dias, D. R. *et al.* Microencapsulation of epiphytic coffee yeasts by spray drying using different wall materials: Implementation in coffee medium. **International Journal of Food Microbiology**, 379, 2022.

Martyniak, A.; Medyńska-Przęczek, A.; Wędrychowicz, A.; Skoczeń, S. *et al.* Prebiotics, Probiotics, Synbiotics, Paraprobiotics and Postbiotic Compounds in IBD. **Biomolecules**, 11, n. 12, 2021.

Massoud, R.; Jafari, R.; Khosravi-Darani, K. Kombucha as a Health-Beneficial Drink for Human Health. **Plant Foods for Human Nutrition**, 79, n. 2, p. 251-259, 2024.

Mccready, R. M.; Guggolz, J.; Silviera, V.; Owens, H. S. Determination of Starch and Amylose in Vegetables. **Analytical Chemistry**, 22, n. 9, p. 1156-1158, 2002.

Mehta, J. P.; Ayakar, S.; Singhal, R. S. The potential of paraprobiotics and postbiotics to modulate the immune system: A Review. **Microbiological Research**, 275, 2023.

Melini, F.; Melini, V.; Luziatelli, F.; Ficca, A. G. *et al.* Health-Promoting Components in Fermented Foods: An Up-to-Date Systematic Review. **Nutrients**, 11, n. 5, 2019.

Méndez-Zamora, A.; Gutiérrez-Avendaño, D. O.; Arellano-Plaza, M.; De la torre gonzález, F. J. *et al.* The non-Saccharomyces yeast *Pichia kluyveri* for the production of aromatic volatile compounds in alcoholic fermentation. **FEMS Yeast Research**, 20, n. 8, 2020.

Menezes, A. G. T.; Ramos, C. L.; Cenzi, G.; Melo, D. S. *et al.* Probiotic Potential, Antioxidant Activity, and Phytase Production of Indigenous Yeasts Isolated from Indigenous Fermented Foods. **Probiotics and Antimicrobial Proteins**, 12, n. 1, p. 280-288, 2019.

Menezes, A. G. T.; Ramos, C. L.; Dias, D. R.; Schwan, R. F. Combination of probiotic yeast and lactic acid bacteria as starter culture to produce maize-based beverages. **Food Research International**, 111, p. 187-197, 2018.

Miamoto, J. D. B. M.; Pereira, J.; Bertolucci, S. K. V. Obtaining and characterization of freeze-dried whole taro root (*Colocasia esculenta*), mucilage and residue as functional food. **Nutrição Brasil**, 17, n. 1, p. 9-18, 2018.

Miranda, N. M. Z. D.; Souza, A. C. D.; Costa Sobrinho, P. D. S.; Dias, D. R. *et al.* Novel yeasts with potential probiotic characteristics isolated from the endogenous ferment of artisanal Minas cheese. **Brazilian Journal of Microbiology**, 54, n. 2, p. 1021-1033, 2023.

Misra, S.; Pandey, P.; Dalbhat, C. G.; Mishra, H. N. Emerging Technologies and Coating Materials for Improved Probiotication in Food Products: a Review. **Food and Bioprocess Technology**, 15, n. 5, p. 998-1039, 2022.

Mitharwal, S.; Kumar, A.; Chauhan, K.; Taneja, N. K. Nutritional, phytochemical composition and potential health benefits of taro (*Colocasia esculenta* L.) leaves: A review. **Food Chemistry**, 383, 2022.

Mitri, S.; Koubaa, M.; Maroun, R. G.; Rossignol, T. *et al.* Bioproduction of 2-Phenylethanol through Yeast Fermentation on Synthetic Media and on Agro-Industrial Waste and By-Products: A Review. **Foods**, 11, n. 1, 2022.

Mohammad, S.; Thiernemann, C. Role of Metabolic Endotoxemia in Systemic Inflammation and Potential Interventions. **Frontiers in Immunology**, 11, 2021.

Mohanta, R. K. Official Methods of Analysis of AOAC International. American Oil Chemists Society. Chemists, A. O. O. A. Maryland, USA: AOAC Press. 10 2016.

Momin, M.; Mitra, S.; Jamir, A.; Kongbrailatpam, M. Evaluation of physicochemical properties in different cultivars of Taro [*Colocasia esculenta* (L.) Schott]: A comparative study. **The Pharma Innovation Journal**, 10, n. 7, p. 1644-1649, 08/01 2021.

Moreno-Navarrete, J. M.; Fernandez-Real, J. M. The gut microbiota modulates both browning of white adipose tissue and the activity of brown adipose tissue. **Reviews in Endocrine and Metabolic Disorders**, 20, n. 4, p. 387-397, 2019/12/01 2019.

Muhammad, Z.; Ramzan, R.; Huo, G.-C.; Tian, H. *et al.* Integration of polysaccharide-thermoprotectant formulations for microencapsulation of *Lactobacillus plantarum*, appraisal of survivability and physico-biochemical properties during storage of spray dried powders. **Food Hydrocolloids**, 66, p. 286-295, 2017.

Murru, N.; Blaiotta, G.; Peruzzy, M. F.; Santonicola, S. *et al.* Screening of oxalate degrading lactic acid bacteria of food origin. **Italian Journal of Food Safety**, 6, n. 2, 2017.

Muzzafar, A.; Sharma, V. Microencapsulation of probiotics for incorporation in cream biscuits. **Journal of Food Measurement and Characterization**, 12, n. 3, p. 2193-2201, 2018.

Nambiar, R. B.; Perumal, A. B.; Shittu, T.; Sadiku, E. R. *et al.* Editorial: Probiotics, prebiotics, synbiotics, postbiotics, & paraprobiotics - New perspective for functional foods and nutraceuticals. **Frontiers in Nutrition**, 10, 2023.

Ney, L.-M.; Wipplinger, M.; Grossmann, M.; Engert, N. *et al.* Short chain fatty acids: key regulators of the local and systemic immune response in inflammatory diseases and infections. **Open Biology**, 13, n. 3, 2023.

Nunes, G. L.; Etchepare, M. D. A.; Cichoski, A. J.; Zepka, L. Q. *et al.* Inulin, hi-maize, and trehalose as thermal protectants for increasing viability of *Lactobacillus acidophilus* encapsulated by spray drying. **Lwt**, 89, p. 128-133, 2018.

Obayomi, O. V.; Olaniran, A. F.; Owa, S. O. Unveiling the role of functional foods with emphasis on prebiotics and probiotics in human health: A review. **Journal of Functional Foods**, 119, 2024.

Otekunrin, O. A.; Sawicka, B.; Adeyonu, A. G.; Otekunrin, O. A. *et al.* Cocoyam [*Colocasia esculenta* (L.) Schott]: Exploring the Production, Health and Trade Potentials in Sub-Saharan Africa. **Sustainability**, 13, n. 8, 2021.

Park, S.-J.; Sharma, A.; Lee, H.-J. Postbiotics against Obesity: Perception and Overview Based on Pre-Clinical and Clinical Studies. **International Journal of Molecular Sciences**, 24, n. 7, 2023.

Pasquet, P. L.; Julien-David, D.; Zhao, M.; Villain-Gambier, M. *et al.* Stability and preservation of phenolic compounds and related antioxidant capacity from agro-food matrix: Effect of pH and atmosphere. **Food Bioscience**, 57, 2024.

Patel, P.; Butani, K.; Kumar, A.; Singh, S. *et al.* Effects of Fermented Food Consumption on Non-Communicable Diseases. **Foods**, 12, n. 4, 2023.

Pech-Canul, A. D. L. C.; Ortega, D.; García-Triana, A.; González-Silva, N. *et al.* A Brief Review of Edible Coating Materials for the Microencapsulation of Probiotics. **Coatings**, 10, n. 3, p. 197, 2020.

Pedralli, G.; Carmo, C. a. S. D.; Cereda, M.; Puiatti, M. Uso de nomes populares para as espécies de Araceae e Dioscoreaceae no Brasil. **Horticultura Brasileira**, 20, n. 4, p. 530-532, 2002.

Pereira, M. T. L.; Cavalcante, M. P.; Da Silva, S. F.; Sensheng, Y. *et al.* Effect of Different Carrier Agents on the Yield of Powered Plant Beverage Obtained by Spray Drying and Characterization of Physicochemical Properties. **ACS Food Science & Technology**, 4, n. 10, p. 2392-2399, 2024.

Possas, A.; Bonilla-Luque, O. M.; Valero, A. From Cheese-Making to Consumption: Exploring the Microbial Safety of Cheeses through Predictive Microbiology Models. **Foods**, 10, n. 2, 2021.

Qi, X.; Tester, R. F. Starch granules as active guest molecules or microorganism delivery systems. **Food Chemistry**, 271, p. 182-186, 2019.

R Core Team. **R: a language and environment for statistical computing**. Versão 4.5. R Foundation for Statistical Computing, 2025.

Radulović, Z.; Miočinović, J.; Mirković, N.; Mirković, M. *et al.* Survival of spray-dried and free-cells of potential probiotic *Lactobacillus plantarum* 564 in soft goat cheese. **Animal Science Journal**, 88, n. 11, p. 1849-1854, 2017.

Rajakovich, L. J.; Balskus, E. P. Metabolic functions of the human gut microbiota: the role of metalloenzymes. **Natural Product Reports**, 36, n. 4, p. 593-625, 2019.

Rajam, R.; Subramanian, P. Encapsulation of probiotics: past, present and future. **Beni-Suef University Journal of Basic and Applied Sciences**, 11, n. 1, 2022.

Ramirez-Olea, H.; Herrera-Cruz, S.; Chavez-Santoscoy, R. A. Microencapsulation and controlled release of *Bacillus clausii* through a novel non-digestible carbohydrate formulation as revolutionizing probiotic delivery. **Heliyon**, 10, n. 2, 2024.

Razavi, S.; Janfaza, S.; Tasnim, N.; Gibson, D. L. *et al.* Microencapsulating polymers for probiotics delivery systems: Preparation, characterization, and applications. **Food Hydrocolloids**, 120, 2021.

Resende, I. F.; Martins, P. M. M.; De Souza Melo, D.; Magnani, M. *et al.* Development and characterization of microencapsulated *Pichia kluyveri* CCMA 0615 with probiotic properties and its application in fermented beverages. **International Journal of Food Microbiology**, 427, 2025.

Rezende, E. S. V.; Lima, G. C.; Naves, M. M. V. Dietary fibers as beneficial microbiota modulators: A proposed classification by prebiotic categories. **Nutrition**, 89, 2021.

Ribeiro, L. S.; Miguel, M. G. D. C. P.; Evangelista, S. R.; Martins, P. M. M. *et al.* Behavior of yeast inoculated during semi-dry coffee fermentation and the effect on chemical and sensorial properties of the final beverage. **Food Research International**, 92, p. 26-32, 2017.

Rong, Y.; Yu, X.; Hong, K. Synergistic Effect Enhances Aromatic Profile in Beer Brewing Through Mixed-Culture Fermentation of *Pichia kluyveri* and *Saccharomyces cerevisiae* var. *diastaticus*. **Fermentation**, 11, n. 3, 2025.

Rosales-Chimal, S.; Navarro-Cortez, R. O.; Bello-Perez, L. A.; Vargas-Torres, A. *et al.* Optimal conditions for anthocyanin extract microencapsulation in taro starch: Physicochemical characterization and bioaccessibility in gastrointestinal conditions. **International Journal of Biological Macromolecules**, 227, p. 83-92, 2023.

Roupar, D.; González, A.; Martins, J. T.; Gonçalves, D. A. *et al.* Modulation of Designed Gut Bacterial Communities by Prebiotics and the Impact of Their Metabolites on Intestinal Cells. **Foods**, 12, n. 23, 2023.

Sadeghi, A.; Ebrahimi, M.; Shahryari, S.; Kharazmi, M. S. *et al.* Food applications of probiotic yeasts; focusing on their techno-functional, postbiotic and protective capabilities. **Trends in Food Science & Technology**, 128, p. 278-295, 2022.

Salminen, S.; Collado, M. C.; Endo, A.; Hill, C. *et al.* The International Scientific Association of Probiotics and Prebiotics (ISAPP) consensus statement on the definition and scope of postbiotics. **Nature Reviews Gastroenterology & Hepatology**, 18, n. 9, p. 649-667, 2021.

Santos, W. P.; Carvalho, B. F.; Ávila, C. L. S.; Júnior, G. S. D. *et al.* Glycerin as an additive for sugarcane silage. **Annals of Microbiology**, 65, n. 3, p. 1547-1556, 2014.

Savoldi, T. E.; Scheufele, F. B.; Drunkler, D. A.; Da Silva, G. J. *et al.* Microencapsulation of *Saccharomyces boulardii* using vegan and vegetarian wall materials. **Journal of Food Processing and Preservation**, 46, n. 7, 2022.

Saxby, S.; Li, Y.; Lee, C.; Kim, Y. S. Assessing the Prebiotic Potential of Taro (*Colocasia esculenta*) with Probiotic *Lactobacillus* Species in an in Vitro Human Digestion System (P20-022-19). **Current Developments in Nutrition**, 3, 2019.

Saxby, S.; Tipton, L.; Lee, C.; Wang, L. *et al.* Prebiotic Potential of Taro (*Colocasia esculenta*) to Modulate Gut Bacteria Composition and Short Chain Fatty Acid Production. **Current Developments in Nutrition**, 4, 2020.

Saxby, S. M. **The potential of Taro (*Colocasia esculenta*) as a dietary prebiotic source for the prevention of colorectal cancer**. 2020. (Doctor of Philosophy) - Department of Nutrition, University of Hawai'i at Manoa.

Scarpellini, E.; Rinninella, E.; Basilico, M.; Colomier, E. *et al.* From Pre- and Probiotics to Post-Biotics: A Narrative Review. **International Journal of Environmental Research and Public Health**, 19, n. 1, 2021.

Scott, K. P.; Grimaldi, R.; Cunningham, M.; Sarbini, S. R. *et al.* Developments in understanding and applying prebiotics in research and practice—an ISAPP conference paper. **Journal of Applied Microbiology**, 128, n. 4, p. 934-949, 2019.

Seo, K.-H.; Gyu Lee, H.; Young Eor, J.; Jin Jeon, H. *et al.* Effects of kefir lactic acid bacteria-derived postbiotic components on high fat diet-induced gut microbiota and obesity. **Food Research International**, 157, 2022.

Setiarto, R.; Jenie, B.; Faridah, D.; Sulistiani *et al.* Effect of lactic acid bacteria fermentation and autoclaving-cooling for resistant starch and prebiotic properties of modified taro flour. **International Food Research Journal**, 25, p. 1691-1697, 08/01 2018.

Setiarto, R. H. B.; Kusumaningrum, H. D.; Jenie, B. S. L.; Khusniati, T. *et al.* Modified taro starch as alternative encapsulant for microencapsulation of *Lactobacillus plantarum* SU-LS 36. **Czech Journal of Food Sciences**, 38, n. 5, p. 293-300, 2021.

Shah, Y. A.; Saeed, F.; Afzaal, M.; Waris, N. *et al.* Industrial applications of taro (*Colocasia esculenta*) as a novel food ingredient: A review. **Journal of Food Processing and Preservation**, 46, n. 11, 2022.

Shao, P.; Zhang, H.; Niu, B.; Jin, W. Physical stabilities of taro starch nanoparticles stabilized Pickering emulsions and the potential application of encapsulated tea polyphenols. **International Journal of Biological Macromolecules**, 118, p. 2032-2039, 2018.

Sharma, R.; Rashidinejad, A.; Jafari, S. M. Application of Spray Dried Encapsulated Probiotics in Functional Food Formulations. **Food and Bioprocess Technology**, 15, n. 10, p. 2135-2154, 2022.

Shori, A. B.; Al Zahrani, A. J. Non-dairy plant-based milk products as alternatives to conventional dairy products for delivering probiotics. **Food Science and Technology**, 42, 2022.

Silva, D. R.; Sardi, J. D. C. O.; Pitangui, N. D. S.; Roque, S. M. *et al.* Probiotics as an alternative antimicrobial therapy: Current reality and future directions. **Journal of Functional Foods**, 73, 2020.

Silva, Y. P.; Bernardi, A.; Frozza, R. L. The Role of Short-Chain Fatty Acids From Gut Microbiota in Gut-Brain Communication. **Frontiers in Endocrinology**, 11, 2020.

Simsek, S.; El, S. N. Production of resistant starch from taro (*Colocasia esculenta* L. Schott) corm and determination of its effects on health by in vitro methods. **Carbohydrate Polymers**, 90, n. 3, p. 1204-1209, 2012.

Singla, D.; Singh, A.; Dhull, S. B.; Kumar, P. *et al.* Taro starch: Isolation, morphology, modification and novel applications concern - A review. **International Journal of Biological Macromolecules**, 163, p. 1283-1290, 2020.

Slavin, J. Fiber and Prebiotics: Mechanisms and Health Benefits. **Nutrients**, 5, n. 4, p. 1417-1435, 2013.

Song, Y.; Cen, X.; Zhang, Y.; Bíró, I. *et al.* Development and Validation of a Subject-Specific Coupled Model for Foot and Sports Shoe Complex: A Pilot Computational Study. **Bioengineering**, 9, n. 10, 2022.

Soukoulis, C.; Behboudi-Jobbehdar, S.; Yonekura, L.; Parmenter, C. *et al.* Impact of Milk Protein Type on the Viability and Storage Stability of Microencapsulated *Lactobacillus acidophilus* NCIMB 701748 Using Spray Drying. **Food and Bioprocess Technology**, 7, n. 5, p. 1255-1268, 2013.

Souza, H. F. D.; Santos, F. R. D.; Cunha, J. S.; Pacheco, F. C. *et al.* Microencapsulation to Harness the Antimicrobial Potential of Essential Oils and Their Applicability in Dairy Products: A Comprehensive Review of the Literature. **Foods**, 13, n. 14, 2024.

Staniszewski, A.; Kordowska-Wiater, M. Probiotic and Potentially Probiotic Yeasts—Characteristics and Food Application. **Foods**, 10, n. 6, 2021.

Tapia, M. S.; Alzamora, S. M.; Chirife, J. Effects of Water Activity (*a<sub>w</sub>*) on Microbial Stability as a Hurdle in Food Preservation. *In: Water Activity in Foods*, 2020. p. 323-355.

Tbca. Tabela de comparação entre alimentos. 2025.

Tekin, T.; Dincer, E. Effect of resistant starch types as a prebiotic. **Applied Microbiology and Biotechnology**, 107, n. 2-3, p. 491-515, 2022.

Topolska, K.; Florkiewicz, A.; Filipiak-Florkiewicz, A. Functional Food—Consumer Motivations and Expectations. **International Journal of Environmental Research and Public Health**, 18, n. 10, 2021.

Ueda, J. M.; Morales, P.; Fernández-Ruiz, V.; Ferreira, A. *et al.* Powdered Foods: Structure, Processing, and Challenges: A Review. **Applied Sciences**, 13, n. 22, 2023.

Van Der Hee, B.; Wells, J. M. Microbial Regulation of Host Physiology by Short-chain Fatty Acids. **Trends in Microbiology**, 29, n. 8, p. 700-712, 2021.

Van Engeland, C.; Haut, B.; Debaste, F. A Closer Look at the Potential Mechanisms of Action of Protective Agents Used in the Drying of Microorganisms: A Review. **Microorganisms**, 13, n. 2, 2025.

Vera-Santander, V. E.; Hernández-Figueroa, R. H.; Jiménez-Munguía, M. T.; Mani-López, E. *et al.* Health Benefits of Consuming Foods with Bacterial Probiotics, Postbiotics, and Their Metabolites: A Review. **Molecules**, 28, n. 3, 2023.

Wang, Y.; Wu, J.; Lv, M.; Shao, Z. *et al.* Metabolism Characteristics of Lactic Acid Bacteria and the Expanding Applications in Food Industry. **Frontiers in Bioengineering and Biotechnology**, 9, 2021.

Wickham, H.; Averick, M.; Bryan, J.; Chang, W. *et al.* Welcome to the Tidyverse. **Journal of open source software**, 4, n. 43, p. 1686, 2019.

Wieërs, G.; Belkhir, L.; Enaud, R.; Leclercq, S. *et al.* How Probiotics Affect the Microbiota. **Frontiers in Cellular and Infection Microbiology**, 9, 2020.

Wu, H.; Chiou, J. Potential Benefits of Probiotics and Prebiotics for Coronary Heart Disease and Stroke. **Nutrients**, 13, n. 8, 2021.

Xie, A.; Zhao, S.; Liu, Z.; Yue, X. *et al.* Polysaccharides, proteins, and their complex as microencapsulation carriers for delivery of probiotics: A review on carrier types and encapsulation techniques. **International Journal of Biological Macromolecules**, 242, 2023.

Yao, H.; Liu, B.; He, L.; Hu, J. *et al.* The incorporation of peach gum polysaccharide into soy protein based microparticles improves probiotic bacterial survival during simulated gastrointestinal digestion and storage. **Food Chemistry**, 413, 2023.

Yao, M.; Xie, J.; Du, H.; McClements, D. J. *et al.* Progress in microencapsulation of probiotics: A review. **Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety**, 19, n. 2, p. 857-874, 2020.

Ying, D.; Sun, J.; Sanguansri, L.; Weerakkody, R. *et al.* Enhanced survival of spray-dried microencapsulated *Lactobacillus rhamnosus* GG in the presence of glucose. **Journal of Food Engineering**, 109, n. 3, p. 597-602, 2012.

Zamfir, M.; Angelescu, I.-R.; Voaides, C.; Cornea, C.-P. *et al.* Non-Dairy Fermented Beverages Produced with Functional Lactic Acid Bacteria. **Microorganisms**, 10, n. 12, 2022.

Zayed, A.; Adly, G. M.; Farag, M. A. Management Strategies for the Anti-nutrient Oxalic Acid in Foods: A Comprehensive Overview of Its Dietary Sources, Roles, Metabolism, and Processing. **Food and Bioprocess Technology**, 18, n. 5, p. 4280-4300, 2025.

Zhang, L.; Zhang, T.; Sun, J.; Huang, Y. *et al.* Calorie restriction ameliorates hyperglycemia, modulates the disordered gut microbiota, and mitigates metabolic endotoxemia and inflammation in type 2 diabetic rats. **Journal of Endocrinological Investigation**, 46, n. 4, p. 699-711, 2022.

Zhang, W.; Lai, S.; Zhou, Z.; Yang, J. *et al.* Screening and evaluation of lactic acid bacteria with probiotic potential from local Holstein raw milk. **Frontiers in Microbiology**, 13, 2022.

Zhang, Z.; Gu, M.; You, X.; Sela, D. A. *et al.* Encapsulation of bifidobacterium in alginate microgels improves viability and targeted gut release. **Food Hydrocolloids**, 116, 2021.

Zhao, D.; Li, Z.; Xia, J.; Kang, Y. *et al.* Research progress of starch as microencapsulated wall material. **Carbohydrate Polymers**, 318, 2023.

Zhao, S.; Lau, R.; Zhong, Y.; Chen, M.-H. *et al.* Lactate cross-feeding between *Bifidobacterium* species and *Megasphaera indica* contributes to butyrate formation in the human colonic environment. **Applied and Environmental Microbiology**, 90, n. 1, 2024.

Zhou, R.; Xu, Y.; Dong, D.; Hu, J. *et al.* The effects of microcapsules with different protein matrixes on the viability of probiotics during spray drying, gastrointestinal digestion, thermal treatment, and storage. **eFood**, 4, n. 4, 2023.

Zhu, F. Structure, properties, and applications of aroid starch. **Food Hydrocolloids**, 52, p. 378-392, 2016.

Zhu, Y.; Wang, Z.; Bai, L.; Deng, J. *et al.* Biomaterial-based encapsulated probiotics for biomedical applications: Current status and future perspectives. **Materials & Design**, 210, 2021.

Żółkiewicz, J.; Marzec, A.; Ruszczyński, M.; Feleszko, W. Postbiotics—A Step Beyond Pre- and Probiotics. **Nutrients**, 12, n. 8, 2020.