

Microencapsulação de *Lactobacillus acidophilus* em emulsão de óleo de coco e sua viabilidade durante armazenamento em temperatura ambiente

Microencapsulation of *Lactobacillus acidophilus* in coconut oil emulsion and its viability during storage at room temperature

Microencapsulación de *Lactobacillus acidophilus* en emulsión de aceite de coco y su viabilidad durante almacenamiento a temperatura ambiente

Recebido: 26/03/2026 | Aceito: 29/04/2026 | Publicado: 01/05/2026

Carolina Vitor Miguel¹

ORCID: <https://orcid.org/0009-0009-8080-3447>

Centro Federal de Educação Tecnológica Celso Suckow da Fonseca, Brasil

E-mail: carolina.vitor@hotmail.com

Sandra Regina Alves Confort¹

ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-7117-3548>

Centro Federal de Educação Tecnológica Celso Suckow da Fonseca, Brasil

E-mail: sanconfort@yahoo.com.br

Diana Clara Nunes de Lima¹

ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-4960-1467>

Centro Federal de Educação Tecnológica Celso Suckow da Fonseca, Brasil

E-mail: diana.lima@cefet-rj.br

Miguel Meirelles de Oliveira¹

ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-5878-036X>

Centro Federal de Educação Tecnológica Celso Suckow da Fonseca, Brasil

E-mail: miguel.oliveira@cefet-rj.br

Resumo

O desenvolvimento de alimentos probióticos enfrenta desafios relacionados à manutenção da viabilidade dos micro-organismos durante a vida de prateleira em temperatura ambiente. A maioria dos produtos probióticos disponíveis necessita de refrigeração para garantir a sobrevivência das bactérias benéficas, o que limita sua aplicação em diferentes matrizes alimentares. Nesse contexto, estratégias de microencapsulação têm sido investigadas para proteger os micro-organismos contra condições ambientais adversas. O presente estudo teve como objetivo desenvolver um sistema de encapsulação de *Lactobacillus acidophilus* utilizando óleo de coco como material encapsulante e avaliar a viabilidade do probiótico durante o armazenamento em temperatura ambiente. A cultura liofilizada foi dispersa em óleo de coco fundido, resfriada para formação de partículas lipídicas sólidas e posteriormente emulsificada em meio aquoso. As amostras foram armazenadas a 19 °C por 12 semanas, sendo realizadas análises microbiológicas, além de pH e acidez titulável. O probiótico encapsulado apresentou redução de apenas 1,6 ciclos logarítmicos após 12 semanas, mantendo contagem superior a 10⁷ UFC.g⁻¹, enquanto o probiótico não encapsulado apresentou contagem inferior a 10¹ UFC.g⁻¹ após 5 semanas. Conclui-se que o óleo de coco apresenta potencial como material encapsulante para probióticos em alimentos armazenados à temperatura ambiente.

Palavras-chave: Microencapsulação; Probióticos; Emulsão; Óleo de Coco; Viabilidade Microbiana.

Abstract

The development of probiotic foods faces challenges related to maintaining the viability of microorganisms during shelf life at room temperature. Most probiotic products currently available require refrigeration to ensure the survival of beneficial bacteria, which limits their application in different food matrices. In this context, microencapsulation strategies have been investigated to protect microorganisms against adverse environmental conditions. The present study aimed to develop an encapsulation system for *Lactobacillus acidophilus* using coconut oil as an encapsulating material and to evaluate probiotic viability during storage at room temperature. Lyophilized cultures were dispersed in melted coconut oil, cooled to form solid lipid particles, and subsequently emulsified in an aqueous medium. Samples were stored at 19 °C for 12 weeks, during which microbiological analyses were performed, along with pH and titratable acidity measurements. The encapsulated probiotic showed a reduction of only 1.6 logarithmic cycles after 12 weeks, maintaining counts above 10⁷ CFU g⁻¹, whereas the non-encapsulated probiotic showed counts lower than 10¹

¹ Centro Federal de Educação Tecnológica Celso Suckow da Fonseca – CEFET-RJ, Brasil.

CFU g⁻¹ after 5 weeks. The results indicate that coconut oil has potential as an encapsulating material for probiotics in foods stored at room temperature.

Keywords: Microencapsulation; Probiotics; Emulsion; Coconut Oil; Microbial Viability.

Resumen

El desarrollo de alimentos probióticos enfrenta desafíos relacionados con el mantenimiento de la viabilidad de los microorganismos durante la vida útil a temperatura ambiente. La mayoría de los productos probióticos disponibles requiere refrigeración para garantizar la supervivencia de las bacterias beneficiosas, lo que limita su aplicación en diferentes matrices alimentarias. En este contexto, se han investigado estrategias de microencapsulación para proteger los microorganismos frente a condiciones ambientales adversas. El presente estudio tuvo como objetivo desarrollar un sistema de encapsulación de *Lactobacillus acidophilus* utilizando aceite de coco como material encapsulante y evaluar la viabilidad del probiótico durante el almacenamiento a temperatura ambiente. La cultura liofilizada fue dispersada en aceite de coco fundido, enfriada para formar partículas lipídicas sólidas y posteriormente emulsificada en un medio acuoso. Las muestras se almacenaron a 19 °C durante 12 semanas, realizándose análisis microbiológicos, además de pH y acidez titulable. El probiótico encapsulado presentó una reducción de solo 1,6 ciclos logarítmicos después de 12 semanas, manteniendo recuentos superiores a 10⁷ UFC g⁻¹, mientras que el probiótico no encapsulado presentó recuentos inferiores a 10¹ UFC g⁻¹ después de 5 semanas. Los resultados indican que el aceite de coco presenta potencial como material encapsulante para probióticos en alimentos almacenados a temperatura ambiente.

Palabras clave: Microencapsulación; Probióticos; Emulsión; Aceite de Coco; Viabilidad Microbiana.

1. Introdução

Probióticos são definidos como microrganismos vivos que, quando administrados em quantidades adequadas, conferem benefícios à saúde do hospedeiro (Hill et al., 2014). Esses microrganismos têm sido amplamente estudados devido ao seu potencial na modulação da microbiota intestinal, no fortalecimento do sistema imunológico e na prevenção de diversas doenças metabólicas e gastrointestinais (Markowiak & Śliżewska, 2017). O crescente interesse por alimentos funcionais tem impulsionado o desenvolvimento de produtos alimentícios contendo probióticos, especialmente nas últimas décadas.

Para que os efeitos benéficos sejam alcançados, é fundamental que os microrganismos probióticos permaneçam viáveis no alimento até o momento do consumo. De modo geral, recomenda-se que os produtos probióticos apresentem contagens mínimas entre 10⁶ e 10⁷ UFC por grama ou mililitro no momento da ingestão (Tripathi & Giri, 2014). Entretanto, a manutenção da viabilidade desses microrganismos durante o processamento e armazenamento dos alimentos representa um dos principais desafios tecnológicos na área de alimentos funcionais. Fatores ambientais como temperatura, presença de oxigênio, atividade de água e acidez podem comprometer a sobrevivência das células probióticas (Emon et al., 2025).

Diante desse cenário, diversas estratégias têm sido investigadas para melhorar a estabilidade e a sobrevivência dos probióticos em alimentos. Entre essas estratégias, a microencapsulação tem se destacado como uma abordagem promissora, pois permite a incorporação das células microbianas em uma matriz protetora capaz de reduzir a exposição a condições ambientais adversas (Yao et al., 2020). Essa técnica pode contribuir para aumentar a estabilidade dos probióticos durante o armazenamento e também melhorar sua sobrevivência durante a passagem pelo trato gastrointestinal.

Diferentes materiais e sistemas têm sido utilizados para a encapsulação de probióticos, incluindo polissacarídeos, proteínas e lipídios. Sistemas lipídicos apresentam vantagens importantes, pois podem atuar como barreiras hidrofóbicas contra a absorção de água e oxigênio, fatores que influenciam diretamente a viabilidade microbiana (Sbehat et al., 2022). Nesse contexto, o uso de lipídios naturais, como o óleo de coco, tem despertado interesse devido às suas propriedades físico-químicas e ao potencial de formar estruturas protetoras capazes de preservar a estabilidade de microrganismos probióticos.

Apesar dos avanços nas tecnologias de encapsulação, a maioria dos produtos probióticos disponíveis comercialmente ainda necessita de armazenamento sob refrigeração para garantir a manutenção da viabilidade celular. A preservação da estabilidade de probióticos em produtos armazenados à temperatura ambiente permanece como um desafio relevante para o desenvolvimento de novos alimentos funcionais.

Dessa forma, o presente estudo teve como objetivo desenvolver um sistema de encapsulação de *Lactobacillus acidophilus* utilizando óleo de coco como material encapsulante e avaliar a viabilidade do probiótico durante o armazenamento em temperatura ambiente.

2. Metodologia

Realizou-se uma pesquisa experimental, de natureza laboratorial, com abordagem quantitativa, voltada à avaliação da viabilidade microbiológica de *Lactobacillus acidophilus* encapsulado em emulsão de óleo de coco ao longo do armazenamento, e qualitativa na interpretação das imagens micrográficas obtidas por microscopia óptica (Risemberg et al., 2026; Pereira et al., 2018). Os dados experimentais foram analisados por meio de estatística descritiva, incluindo gráficos de linhas, distribuição de frequência, valores médios e desvio padrão, bem como análise estatística inferencial por meio de testes de comparação de médias ao nível de 5% de significância (Costa Neto & Bekman, 2009). Esse delineamento metodológico permitiu avaliar de forma integrada a estabilidade do probiótico encapsulado sob condições controladas de armazenamento.

2.1 Micro-organismo probiótico e material encapsulante

Foi utilizada a cultura comercial liofilizada de *Lactobacillus acidophilus* LA-5® (Nu-trish®, Chr. Hansen, Dinamarca). O óleo de coco comercial (Natural Life – Kodilar, Brasil) foi utilizado como material encapsulante da cultura probiótica.

2.2 Encapsulação do probiótico em óleo de coco

Para avaliar a viabilidade de *L. acidophilus* encapsulado em óleo de coco, o experimento foi conduzido em capela de fluxo laminar. Inicialmente, 2 g (p/p) da cultura liofilizada foram adicionados a 100 g (p/p) de óleo de coco previamente fundido, promovendo a dispersão homogênea da cultura no meio lipídico. Em seguida, o sistema foi submetido a resfriamento sob agitação constante até atingir 10 °C, permitindo a solidificação do óleo de coco e a formação de partículas lipídicas contendo o probiótico.

Mantendo-se a temperatura de 10 °C, foram transferidos 3 g da matriz lipídica contendo o probiótico para tubos contendo 6 mL de caldo nutriente composto por 1% de peptona caseína, 1% de glicose e 0,5% de extrato de levedura. Posteriormente, a mistura foi homogeneizada com auxílio de mixer (Oster High Power 800 W), formando uma emulsão de óleo de coco contendo o probiótico disperso no meio aquoso.

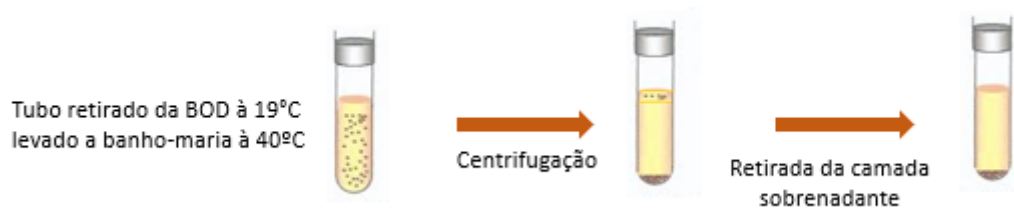
As amostras foram armazenadas a 19 °C durante 12 semanas para monitoramento da viabilidade microbiológica e dos parâmetros físico-químicos.

Para a amostra controle, a cultura liofilizada de *L. acidophilus* foi adicionada diretamente ao caldo nutriente e mantida nas mesmas condições de armazenamento (19 °C) durante o período experimental.

2.3 Avaliação da viabilidade microbiológica

A viabilidade celular foi avaliada por meio de análises microbiológicas realizadas a cada 7 dias durante 12 semanas. Para a recuperação das células probióticas presentes na matriz lipídica, os tubos contendo as amostras foram inicialmente aquecidos a 40 °C para promover a fusão do óleo, seguido de agitação e centrifugação a 1100 rpm.

Figura 1 - Esquema do preparo dos tubos para análise microbiológica.



Fonte: Dados da pesquisa (2026).

2.4 Esquema do preparo dos tubos para análise microbiológica

Após centrifugação, o sobrenadante contendo o óleo foi removido, permanecendo o sedimento composto pela cultura probiótica dispersa no caldo nutriente. Essa suspensão foi utilizada para a determinação da contagem microbiológica.

A contagem de células viáveis foi realizada de acordo com o método descrito por Zacarchenco e Massaguer-Roig (2004), utilizando ágar MRS (de Man, Rogosa and Sharpe) por meio de plaqueamento em profundidade. As placas foram incubadas a 36 °C por 72 horas, sendo posteriormente realizada a contagem das colônias.

Considerando que a cultura probiótica originalmente dispersa em 3 g de óleo de coco foi transferida para 6 mL de caldo nutriente, ocorreu uma diluição da amostra equivalente a duas vezes. Dessa forma, os valores obtidos na contagem microbiológica foram multiplicados por 2 para representar a contagem real do probiótico na matriz lipídica. Esse procedimento foi aplicado apenas às amostras contendo o probiótico encapsulado.

2.5 Rendimento de encapsulação

O rendimento de encapsulação (RE) foi calculado de acordo com a Equação 1, conforme descrito por Martins et al. (2013) e Zanjani et al. (2018):

$$RE = N \times 100 / N_0 \quad \text{Eq. 1}$$

onde:

N = número de células viáveis após o processo de encapsulação

N₀ = número de células viáveis antes da encapsulação

Esse cálculo foi utilizado para avaliar a relação entre o processo de encapsulamento e a sobrevivência das células probióticas.

2.6 Microscopia óptica

As estruturas formadas pelas partículas de óleo de coco contendo *L. acidophilus* foram observadas em microscópio óptico (Biofocus). As amostras foram analisadas em aumentos de 40×, 100×, 400× e 1000×.

Análises físico-químicas

As análises físico-químicas de pH e acidez titulável foram realizadas no caldo nutriente das amostras controle e encapsuladas com o objetivo de monitorar a atividade metabólica das culturas durante o armazenamento.

As determinações foram realizadas a cada quatro dias, de acordo com os métodos descritos pelo Instituto Adolfo Lutz (IAL, 2008).

2.7 Análise estatística

Os resultados obtidos foram submetidos à análise estatística por meio de análise de variância (ANOVA), utilizando o

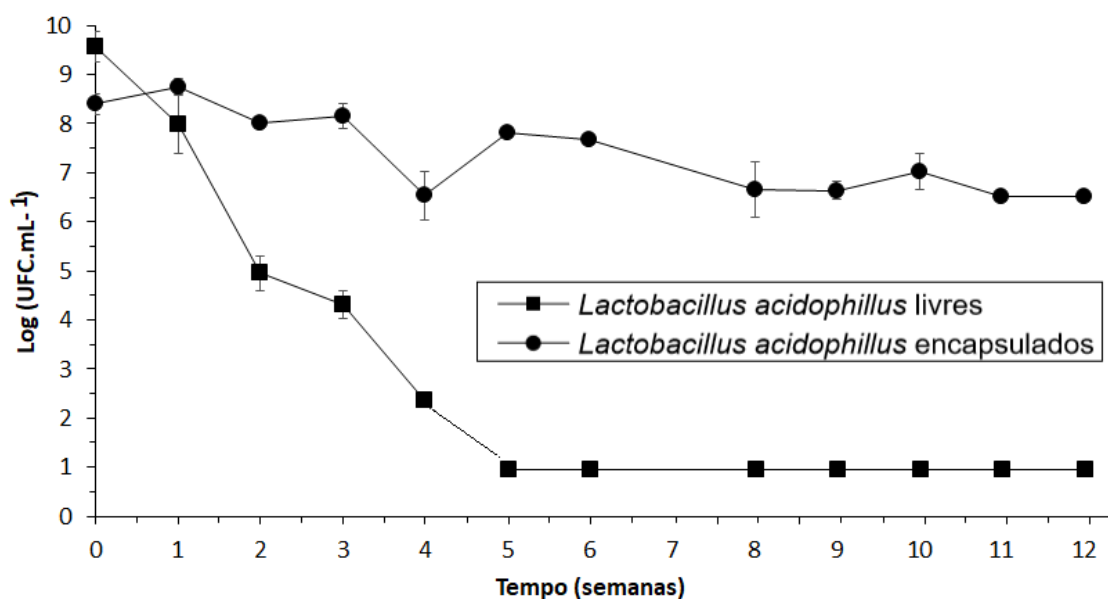
software Microsoft Excel. A comparação entre médias foi realizada pelo teste t ao nível de 5% de significância, utilizando o software XLStat (Addinsoft, Paris, França).

3. Resultados e Discussão

Na Figura 2 e a Tabela 1 apresentam os valores das contagens de *Lactobacillus acidophilus* encapsulados em emulsão de óleo de coco e não encapsuladas. No dia zero (após a produção das capsulas) a contagem inicial foi extremamente elevada. A tabela 1 mostra que não houve diferença significativa entre as contagens, apresentando $2,71 \times 10^9$ UFC.mL⁻¹ para as amostras encapsuladas e $4,46 \times 10^9$ UFC.mL⁻¹ para a amostra controle. Contudo após a estocagem a 19° C por 2 semanas o tratamento controle apresentou contagem de $1,10 \times 10^5$ UFC. mL⁻¹, valor significativamente menor que a amostra encapsulada que conseguiu manter a viabilidade acima de 10^9 UFC. mL⁻¹. Após as 12 semanas as amostras com óleo de coco apresentaram contagem de $5,65 \times 10^7$ UFC. mL⁻¹, enquanto a amostra controle após a quinta semana não exibiu nenhuma célula viável nas diluições 10⁻¹.

De acordo com a característica probiótica de alimentos, é frequentemente estabelecido o consumo de 108 UFC. mL⁻¹ e 109 UFC. mL⁻¹ por dia para promover benefícios a saúde do consumidor (Kechagia et al., 2013; Kazemi et al., 2022; Emon et al., 2025). Desta forma, evidencia-se que apenas as amostras utilizando microcápsula de óleo de coco se mostraram efetivamente probióticas após 12 semanas de estocagem a 19° C, e a amostra controle perdendo totalmente a viabilidade das células probióticas após 5 semanas. Sendo assim, as capsulas de probiótico em óleo de coco exibem excelente potencial para serem utilizadas como ingredientes em produtos comercializados a temperatura ambiente, sendo necessário a adição de 2mL de óleo de coco com probiótico para que atinja 108 células viáveis de *Lactobacillus acidophilus*, ou 20 mL de óleo de coco para 109 células viáveis. Considerando que a recomendação de ingestão diária de óleo de coco é de 30 mL (Silva et al, 2011) torna-se viável o consumo de óleo de coco como veículo para micro-organismos probióticos. Ou seja, a utilização como ingrediente de 2 mL de óleo de coco com probiótico em 200 mL de uma bebida representaria apenas 1% do produto e haveria *L. acidophilus* vivos o suficiente para o produto se enquadrar como alimento probiótico (108 UFC por porção).

Figura 2 - Contagem de células viáveis durante armazenamento a 19 °C por 12 semanas estocados a 19° C.



Fonte: Dados da pesquisa (2026).

Se for necessário reduzir a quantidade de óleo de coco utilizada nas formulações dos produtos, é possível aumentar o inóculo de probiótico no processo de encapsulação. Para isso, pode-se considerar que após 12 semanas de armazenamento (19 °C) a população de *Lactobacillus acidophilus* reduziu 1,68 ciclos logarítmicos, este valor pode ser utilizado para fazer uma estimativa na proporção de probiótico, fazendo assim uma possível correção na contagem final esperada de 10⁸ a 10⁹ células viáveis. Contudo, para valores mais precisos é necessário realizar novos estudos com o aumento da concentração de probiótico no óleo de coco.

Essa estabilidade observada no *L. acidophilus* durante a estocagem só foi possível devido à encapsulação da cultura liofilizada no óleo de coco, que atuou como uma proteção hidrofóbica a absorção de água pela cultura e assim manteve o metabolismo da cultura baixo. Desta forma, é possível manter a cultura liofilizada dentro da emulsão de óleo de coco, mesmo quando a emulsão é adicionada em meio aquoso. É importante ressaltar que para melhorar essa proteção desempenhada pelo lipídeo, o probiótico deve estar na parte interna da emulsão. Para isso, o ponto de fusão do lipídeo é extremamente importante, pois o óleo de coco é sólido em temperaturas inferiores a 25 °C (Machado; Chaves & Antoniassi, 2006) o que impede a movimentação do probiótico e o mantém na parte interna da emulsão (Figura 3; d). Caso o probiótico fosse colocado em um lipídeo com baixo ponto de fusão, a ausência de cristais de gordura permitiria a convecção do probiótico dentro da emulsão com tendência a ocupar a interface óleo e gordura, pois o micro-organismo tem maior afinidade pela água do que pelo lipídeo. Estudo realizado por Firoozmand e Rousseau (2016), mostrou que bactérias e leveduras atuam como agente emulsificante cobrindo a interface entre o óleo e a água devido às estruturas hidrofóbicas na parede da membrana celular. Hou, et al. (2003) emulsificou óleo de gergelim e leite desnatado contendo *L. bulgaricus* e observou que o óleo contribuiu para a manutenção da viabilidade da cultura, quando comparado ao controle (somente com leite), após 16 dias a 4 °C houve perda na viabilidade de 1 e 4 ciclos log, respectivamente.

Tabela 1 - Dados obtidos nas análises microbiológicas (UFC.g-1) durante 12 semanas estocados a 19° C.

Tempo (Semana)	Contagem de células viáveis encapsuladas	Contagem de células viáveis livres
0	2,71 x 10 ⁹ a	4,46 x 10 ⁹ a
1	4,38 x 10 ⁹ a	2,21 x 10 ⁸ a
2	1,05 x 10 ⁹ a	1,10 x 10 ⁵ b
3	1,60 x 10 ⁹ a	4,95 x 10 ⁴ b
4	5,30 x 10 ⁷ a	1,70 x 10 ³ b
5	6,50 x 10 ⁸	< 10
6	4,70 x 10 ⁸	< 10
8	7,80 x 10 ⁷	< 10
9	4,63 x 10 ⁶	< 10
10	1,38 x 10 ⁸	< 10
11	3,30 x 10 ⁷	< 10
12	5,65 x 10 ⁷	< 10

a, b – valores com letra igual na mesma linha não diferem entre si pelo teste de T ao nível de 5% de significância (p>0,05).
Fonte: Dados da pesquisa (2026).

Em estudo semelhante realizado por Okuro et al. (2013), foi encapsulado *L. acidophilus* em gordura de palma hidrogenada (fusão 43 °C) adicionados de inulina e polidextrose, posteriormente as partículas foram produzidas por spray refrigerado. A estocagem das partículas a 22°C mostrou que após 90 dias houve redução de 4 e 3,4 ciclos log para amostras

com inulina e polidextrose, respectivamente. Comparando esses resultados com os dados encontrados neste estudo a encapsulação com óleo de coco apresentou melhores resultados, com redução de apenas 1,6 ciclos log após 90 dias a 19°C. Este fato pode ter ocorrido pela diferença na temperatura de estocagem realizada nos estudos. Além disso, Okuro et al. (2013) mostraram que a encapsulação com gordura de palma hidrogenada aumentou a resistência do probiótico a simulação in vitro ao fluido gástrico e intestinal com redução de 30 % dos probióticos para amostras encapsuladas com gordura de palma e eliminação total dos probióticos não encapsulados. Outro estudo realizado por Pedroso et al. (2013) com microcápsulas de *B. animalis* subsp. *lactis* (BI – 01) e *L. acidophilus* em manteiga de cacau armazenadas a -18° C, 7° C e 37° C apresentaram viabilidade por 90, 60 e 30 dias, respectivamente, em cada temperatura de armazenamento. Morsy et al. (2022) encapsulou *Lactobacillus rhamnosus* em manteiga de cacau e adicionou em néctar de morango e manteve viabilidade de 78,63% das células por 4 semanas a 25 ° C. Comparando o encapsulante lipídico utilizado nos estudos citados, e sabendo que o óleo de coco apresenta em sua cadeia maior proporção de ácidos graxos saturados, voltamos na questão da importância do ponto de fusão na escolha do material lipídico a ser utilizado, visto que o ponto de fusão diminui à medida que aumenta o número de insaturações na cadeia lipídica (Emon et al., 2025).

Alguns estudos na literatura (Emon et al. 2025) mostram que quando utilizados materiais não lipídicos para encapsulação, há uma maior dificuldade em manter a viabilidade das células durante a estocagem em temperatura ambiente. Em partículas de alginato e carboximetil celulose houve redução da viabilidade de *L. casei* de 7,88 para 5,47 log CFU/mL após 30 dias (Sultana et al. 2023). A utilização de proteína do soro como agente encapsulante de *L. platarum* adicionado em suco de maçã com redução de 4 log após 2 meses de estocagem (Sun et al., 2022). Contudo, há estudo que mostra a melhor eficiência na proteção de *L. reuteri* em partícula de alginato junto com óleo de gergelim, sendo adicionado em suco de goiaba, mantendo 90% da viabilidade após 2 meses de estocagem (Javed et al. (2023)

A microscopia ótica mostra as emulsões (Figura 3; a), que não possui formato esférico perfeito como são convencionalmente visualizados em microscopias. Este fato é justificado pela homogeneização que foi feita a 10 °C (óleo de coco no estado sólido) para garantir que os probióticos fossem mantidos na parte interna do lipídeo. Homogeneização é convencionalmente realizada com gordura no estado líquido (Firoozmand & Rousseau, 2016; Hou, et al. 2003), porém se o óleo de coco estivesse no estado líquido o probiótico seria deslocado para a interface da emulsão. Na Figura 3 (b) não é possível verificar micro-organismos na interface da emulsão, fato observado também nas objetivas de 1000 vezes (Figura 3, d). Além disso, as microscopias mostram que na parte interna da emulsão possuíam aglomerados de probióticos protegidos da absorção de água (Figura 3; d).

Figura 3 - Microscopia ótica da emulsão de óleo de coco com *Lactobacillus acidophilus* com objetivas de 40x (a), 100x (b), 400x (c) e 1000x (d).



Fonte: Dados da pesquisa (2026).

A microencapsulação de *Lactobacillus acidophilus* se mostrou eficiente, apresentando um rendimento elevado de

88,58%. A diversidade de micro-organismos, técnicas e materiais encapsulantes estudados, dificulta uma comparação direta entre o rendimento obtido no presente trabalho, porém muitos trabalhos anteriores comprovaram a eficiência da técnica de encapsulação na viabilidade de micro-organismos probióticos. Como Zanjani et al. (2018) que avaliaram a sobrevivência de probióticos micro encapsulados com diferentes amidos, quitosana e poli-L-lisina que obtiveram como rendimento de 89,71 %, 93,50% e 97,32%, respectivamente. Holkem et al. (2016) avaliaram a microencapsulação de Bifidobacterium BB-12 através da geleificação iônica com alginato associada à liofilização obtendo eficiência de 89%. Cabuk (2015) na avaliação da melhoria da viabilidade de Lactobacillus acidophilus durante a liofilização em microcápsulas de proteínas de soro-pululano obteve uma eficiência de 90%. Porém é relatado na literatura que processos de encapsulação que envolvem secagem com calor, como por exemplo spray-dryer possuem menor eficiência de encapsulação, como evidenciado por Moayyedi et al. (2018) que concluíram que a viabilidade de L. rhamnosus (em proteína de soro de leite) foi significativamente maior em microcápsulas liofilizadas do que em microcápsulas secas por spray-dryer e por eletro pulverização, mostrando também maior estabilidade sob condições de armazenamento quando

Em relação ao pH e acidez apresentados na Tabela 2 é importante destacar que bactérias do gênero Lactobacillus, incluindo Lactobacillus acidophilus, apresentam atividade metabólica fortemente dependente do pH, sendo capazes de produzir ácidos orgânicos a partir da fermentação de carboidratos, o que resulta na redução do pH do meio (Adamberg et al., 2003). No presente estudo, observou-se que as amostras controle apresentaram redução significativa do pH ao longo do armazenamento, atingindo valores próximos de 5,0, concomitantemente ao aumento da acidez titulável. Esse comportamento indica elevada atividade metabólica das células livres, com consequente produção de ácido lático.

Tabela 2 - Valores médios (\pm desvio padrão) de pH e acidez durante 16 dias de armazenamento a 19 °C.

Tempo (dias)	pH		Acidez (g.100 mL ⁻¹)	
	Encapsulado	Controle	Encapsulado	Controle
0	6,69 \pm 0,02 a	6,69 \pm 0,01 a	1,03 \pm 0,00 a	1,03 \pm 0,00 a
4	6,55 \pm 0,01 a	5,26 \pm 0,01 b	1,13 \pm 0,11 a	1,54 \pm 0,00 b
8	6,59 \pm 0,01 a	5,17 \pm 0,01 b	1,54 \pm 0,00 a	2,06 \pm 0,00 b
12	6,40 \pm 0,01 a	4,81 \pm 0,07 b	1,44 \pm 0,11 a	2,06 \pm 0,00 b
16	6,69 \pm 0,01 a	5,00 \pm 0,10 b	1,54 \pm 0,00 a	2,70 \pm 0,18 b

a, b – valores com letra igual na mesma linha não diferem entre si pelo teste de T ao nível de 5% de significância ($p > 0,05$).

Fonte: Dados da pesquisa (2026).

Em contrapartida, as amostras contendo o probiótico encapsulado em óleo de coco mantiveram valores de pH relativamente estáveis ao longo do tempo, sem variações significativas quando comparadas ao tempo inicial. Esse resultado sugere que a encapsulação limitou a atividade metabólica das células, reduzindo a produção de ácidos orgânicos. Tal efeito é desejável do ponto de vista tecnológico, uma vez que a redução da atividade metabólica está diretamente associada à maior estabilidade e sobrevivência dos probióticos durante o armazenamento.

Esse comportamento pode ser explicado pelo papel da matriz lipídica como barreira física à difusão de água e substratos, restringindo o contato das células com o meio aquoso. De acordo com Rodrigues et al. (2020) e Yao et al. (2020), sistemas de microencapsulação eficientes promovem a manutenção dos microrganismos em estado de baixa atividade metabólica, reduzindo o consumo de nutrientes e a produção de metabólitos, o que contribui para prolongar a viabilidade celular.

Além disso, estudos indicam que a elevada atividade metabólica de células livres pode acelerar sua própria inativação

devido ao acúmulo de ácidos orgânicos e consequente queda do pH, criando um ambiente desfavorável à sobrevivência (Tripathi & Giri, 2014; Terpou et al., 2019). Esse fenômeno é consistente com os resultados observados no presente estudo, onde o tratamento controle apresentou maior acidificação, porém menor viabilidade ao longo do armazenamento.

Portanto, os dados obtidos indicam que a encapsulação em óleo de coco foi eficaz não apenas como mecanismo de proteção física, mas também como estratégia de modulação metabólica, mantendo as células em estado mais estável e menos ativo. Esse equilíbrio entre proteção estrutural e redução da atividade metabólica é considerado um dos principais fatores para o aumento da sobrevivência de probióticos em sistemas alimentares, especialmente em condições de armazenamento à temperatura ambiente (Sbehat et al., 2022).

4. Conclusão

Os resultados obtidos demonstraram que a encapsulação de *Lactobacillus acidophilus* em óleo de coco foi eficiente para aumentar a estabilidade da cultura durante o armazenamento em temperatura ambiente. A população de células encapsuladas apresentou maior viabilidade ao longo das 12 semanas de estocagem a 19 °C quando comparada à cultura adicionada na forma livre, evidenciando o efeito protetor da matriz lipídica sobre o micro-organismo probiótico.

A utilização do óleo de coco como material encapsulante mostrou-se promissora, uma vez que sua estrutura lipídica e o estado sólido em temperaturas próximas à ambiente favoreceram a manutenção da cultura liofilizada no interior da emulsão, reduzindo o contato com a fase aquosa e contribuindo para a preservação da viabilidade celular. O sistema de encapsulação apresentou rendimento de 88,58%, indicando elevada eficiência do processo.

Dessa forma, o óleo de coco apresenta potencial como material encapsulante para probióticos, podendo atuar como veículo para a incorporação de micro-organismos benéficos em produtos alimentícios. Entretanto, estudos adicionais são necessários para avaliar a aplicação desse sistema em diferentes matrizes alimentares, bem como investigar a estabilidade dos probióticos durante o processamento dos alimentos e sob condições simuladas do trato gastrointestinal.

Referências

- Adamberg, K., Kask, S., Laht, T. M. & Paalme, T. (2003). The effect of temperature and pH on the growth of lactic acid bacteria: a pH-auxostat study. *International Journal of Food Microbiology*, 85, 171–183.
- Arratia-Quijada, J. Nuño, K., Ruíz-Santoyo, V. & Andrade-Espinoza, B.A. (2024) Nano-encapsulation of probiotics: Need and critical considerations to design new non-dairy probiotic products, *Journal of Functional Foods*, 116(1).
- Çabuk, B. & Harsa, S. T. (2015). Improved viability of *Lactobacillus acidophilus* NRRL-B 4495 during freeze-drying in whey protein-pullulan microcapsules. *Journal of Microencapsulation*, 32(3), 300–307.
- Costa Neto, P. L. O. & Bekman, O. R. (2009). *Análise estatística da decisão*. Editora Blucher.
- Emon, D. D., Islam, M.S., Mazumder, A.R., Aziz, M.G. & Rahman S. (2025). Recent applications of microencapsulation techniques for delivery of functional ingredients in food products: a comprehensive review. *Food Chemistry Advances*, 6, 1–24.
- Firoozmand, H. & Rousseau, D. (2016). Microbial cells as colloidal particles : Pickering oil-in-water emulsions stabilized by bacteria and yeast. *FRIN*, 81, 66–73.
- Hill, C., Guarner, F., Reid, G., Gibson, G. R., Merenstein, D. J., Pot, B., Morelli, L., Canani, R. B., Flint, H. J., Salminen, S., Calder, P. C. & Sanders, M. E. (2014). 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(8), 506–514.
- Hou, Y. H., Lin, M. Y., Chen, Y. C. & Chen, J. S. (2003). Increase of viability of entrapped cells of *Lactobacillus delbrueckii* ssp. *bulgaricus* in artificial sesame oil emulsions. *Journal of Dairy Science*, 86(2), 424–428.
- Instituto Adolfo Lutz (2008). *Métodos físico-químicos para análise de alimentos*. (4 ed.). São Paulo: Instituto Adolfo Lutz.
- Javed, M. S., Amir, M., Amjad, A., Shah, M., Anwar, M. J., & Ahmad, F. (2023). Viability of microencapsulated probiotics (*Lactobacillus reuteri*) in guava juice. *Journal of Animal & Plant Sciences*, 33, 644–654

- Kazemi, M., Shahidi, F.; Varidi, M. J. & Roshanak, S. (2022). Encapsulation of *Lactobacillus acidophilus* in solid lipid microparticles via cryomilling. *Food Chemistry*, 381, 132262.
- Kechagia, M., Basoulis, D., Konstantopoulou, S., Dimitriadi, D., Gyftopoulou, K., Skarmoutsou, N., & Fakiri, E. M. (2013). Health Benefits of Probiotics: Review. Hindawi Publishing Corporation ISRN Nutrition
- Machado, G. C., Moraes, N. H. P., Silva, F. A., Oliveira, C. G. & Silva, C. G. (2006) Composição em ácidos graxos e caracterização física e química de óleos hidrogenados de coco babaçu. *Revista Ceres, Viçosa*, 53(308), 463-470.
- Markowiak, P. & Śliżewska, K. (2017). Effects of probiotics on human health. *Nutrients*, 9(9), 1021.
- Martin, M. J., Lara-Villoslada, F., Ruiz, M.A. & Morales, M.E. Effect of unmodified starch on viability of alginate-encapsulated *Lactobacillus fermentum* CECT5716. *LWT - Food Science and Technology*, 53(2), 480–486.
- Moayyedi, M., Eskandari, M. H., Rad, A. H. E., Mousavi, S. M. & Khorshidi, A. S. (2018). Effect of drying methods (electrospraying, freeze drying and spray drying) on survival and viability of microencapsulated *Lactobacillus rhamnosus* ATCC 7469. *Journal of Functional Foods*, 40, 391-399.
- Morsy, M. K., Morsy, O. M., Abdelmonem, M. A., & Elsabagh, R. (2022). Anthocyanincolored microencapsulation effects on survival rate of *Lactobacillus rhamnosus* GG, color stability, and sensory parameters in strawberry nectar model. *Food and Bioprocess Technology*, 15, 352–367
- Okuro, P. K., de Matos Junior, F. E., Favaro-Trindade, C. S., de Alencar, S. M., Sesmero, A. M. & Grosso, C. R. F. (2013). Co-encapsulation of *Lactobacillus acidophilus* with inulin or polydextrose in solid lipid microparticles provides protection and improves stability. *Food Research International*, 53(1), 96-103.
- Pedroso, D. L., Thomazini, M., Heinemann, R. J. B. & Favaro-Trindade, C. S. (2013). Microencapsulation of *Bifidobacterium animalis* subsp. *lactis* and *Lactobacillus acidophilus* in cocoa butter using spray chilling technology. *Brazilian Journal of Microbiology*, 44(3), 777-783.
- Pereira et al. (2018). *Metodologia da pesquisa científica*. [Free ebook]. Editora da UFSM.
- Rodrigues, F. J., Cedran, M. F., Bicas, J. L. & Sato, H. H. (2020). Encapsulated probiotic cells: relevant techniques and food applications. *Food Research International*, 137, 109682.
- Risemberg, R. I. C., Wakin, M., & Shitsuka, R. (2026). A importância da metodologia científica no desenvolvimento de artigos científicos. *E-Acadêmica*, 7(1), e0171675. <https://doi.org/10.52076/eacad-v7i1.675>.
- Sbehat, M., Mauriello, G. & Altamimi, M. (2022). Microencapsulation of probiotics for food functionalization: an update on literature reviews. *Microorganisms*, 10(10), 1948.
- Shitsuka, R. et al. (2014). *Matemática fundamental para tecnologia*. (2ed). Editora Érica.
- Silva, R., Fortes, R. & Soares, H. (2011) Efeitos da suplementação dietética com óleo de coco no perfil lipídico e cardiovascular de indivíduos dislipidêmicos. *Brasília Med*; 48(1), 42-49.
- Sultana, M., Chan, E. S., Janarthanan, P., & Choo, W. S. (2023). Functional orange juice with *Lactobacillus casei* and tocotrienol-enriched flaxseed oil co-encapsulation: Physicochemical properties, probiotic viability, oxidative stability, and sensorial acceptability. *LWT*, 188, Article 115388.
- Sun, W., Nguyen, Q. D., Sipiczki, G., Ziane, S. R., Hristovski, K., Friedrich, L., et al. (2022). Microencapsulation of *Lactobacillus plantarum* 299v strain with whey proteins by lyophilization and its application in production of probiotic apple juices. *Applied Sciences*, 13, 318
- Terpou, A., Papadaki, A., Lappa I.L., Kachrimanidou, V., Bosnea, L.A., & Kopsahelis, N. (2019). Probiotics in food systems: significance and emerging strategies. *Nutrients*, 7(11), 458.
- Tripathi, M. K. & Giri, S. K. (2014). Probiotic functional foods: survival of probiotics during processing and storage. *Journal of Functional Foods*, 9, 225–241.
- Yao, M., Xie, J., Du, H., McClements, D. J., Xiao, H. & Li, L. (2020). Progress in microencapsulation of probiotics: a review. *Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety*, 19(2), 857–874.
- Zacarchenco, B. & Massaguer-Roig, S. (2004). Avaliação sensorial, microbiológica e de pós-acidificação durante a vida-de-prateleira de leites fermentados contendo *Streptococcus thermophilus*, *Bifidobacterium longum* e *Lactobacillus acidophilus*. *Food Science and Technology*. 24(4), 674–679.
- Zanjani, M. A. K., Ehsani, M.R., Tharsi, B.G. & Sharifan, A. (2018). Promoting *Lactobacillus casei* and *Bifidobacterium adolescentis* survival by microencapsulation with different starches and chitosan and poly L-lysine coatings in ice cream. *Journal of Food Processing and Preservation* 42(1), 1–10, 2018.