



## **SORO DE LEITE CAPRINO COMO AGENTE ENCAPSULANTE POR LIOFILIZAÇÃO**

**Antonio Alef Pereira de Oliveira<sup>1</sup>; Layane Rosa da Silva<sup>2</sup>; Francisco de Assis Oliveira<sup>3</sup>; José Douglas Bernardino Domingos<sup>4</sup>; Camila Sampaio Mangolim<sup>5</sup>**

**DOI:** <https://doi.org/10.31692/IIICIAGRO.0162>

### **RESUMO**

O presente trabalho apresenta a produção de um material de parede para o processo de microencapsulação por meio de liofilização, utilizando o soro do leite caprino como material de parede para revestir compostos com propriedades bioativas. Compostos bioativos são substâncias químicas presentes em plantas e frutas e são amplamente conhecidos por trazerem benefícios à saúde, podendo ser designados como alimentos funcionais por apresentarem propriedades funcionais. Entretanto, esses compostos bioativos são extremamente sensíveis a vários fatores no meio em que estão expostos. Um dos fatores que podem contribuir para a manutenção da viabilidade, é o agente encapsulante. Sendo assim, a encapsulação desses compostos surge como uma alternativa, bem como de fornecimento desses compostos em quantidades adequadas em vários períodos do ano. O soro utilizado foi colocado em recipientes de polipropileno com capacidade para 50 mL em cada frasco. Após acondicionados nos recipientes específicos, os frascos foram levados para o ultrafrezzer e mantidos por 72h a -80°C. Passado essas horas, o material foi levado para o liofilizador por 48h, em ambiente climatizado e controlado. As condições de secagem por liofilização foram: pressão 40 nm Hg, temperatura de congelamento -55°C, temperatura do condensador 45°C e temperatura de trabalho em 18°C (Tw). O rendimento final foi de 800g de soro de leite caprino liofilizado. Neste contexto, o objetivo deste trabalho é fornecer um estudo sobre o agente encapsulante de soro do leite caprino e seu meio de preparo como material de parede, bem como os parâmetros referentes à técnica de liofilização para obtenção desse encapsulante.

**Palavras-Chave:** Bioativos; liofilização; encapsulante; funcionais; material de parede

### **ABSTRACT**

The present work presents a production of a wall material for the microencapsulation process by means of lyophilization, using goat whey as a wall material to coat compounds with bioactive properties. Bioactive compounds are substances present in plants and fruits and are widely known to bring health benefits, and can be designated as functional functions because they have functional properties. These bioactive compounds are extremely varied, but many factors are not exposed. One of the factors that can contribute to the maintenance of viability is the encapsulating agent. Therefore, a composite encapsulation appears as an alternative, as well as several periods of the year. The serum used was placed in polypropylene containers with a capacity of 50 mL in each vial. After being placed in the specifics, the flasks were taken to the ultrafrezzer and the recipient for 72h at 80°C. After these hours, the material was taken to the lyophilizer for 48 hours, in an acclimatized and controlled environment. The drying conditions for lyophilization were: pressure 40 nm Hg, freezing temperature -55°C, condenser temperature 45°C and working temperature at 18°C (Tw). The final yield was 800g of goat milk. In this context, the objective of this work is to provide a milk on the caprine whey encapsulating agent and its means of preparing this material as a milk wall, as well as the parameters of technical milk study. of

lyophilization for encapsulating dessert.

Keywords: Bioactives; lyophilization; encapsulant; functional; wall materia

<sup>1</sup> Me. Em Tecnologia Agroalimentar, Universidade Federal da Paraíba, [antonio.alef@academico.ufpb.br](mailto:antonio.alef@academico.ufpb.br)

<sup>2</sup> Me. Em Ciência e Tecnologia de Alimentos, Universidade Federal da Paraíba, [layanerossa@gmail.com](mailto:layanerossa@gmail.com)

<sup>3</sup> Me. Em Ciência Animal, Universidade Federal da Paraíba, [thyneoliver@gmail.com](mailto:thyneoliver@gmail.com)

<sup>4</sup> Bacharelado em Nutrição, Universidade Federal de Campina Grande, [douglas94nc@gmail.com](mailto:douglas94nc@gmail.com)

<sup>5</sup> Professora Dra. Do Departamento PPGTA, Universidade Federal da Paraíba, [camilamangolim@gmail.com](mailto:camilamangolim@gmail.com)

## INTRODUÇÃO

Atualmente, o desenvolvimento de alimentos funcionais por meio da adição de compostos bioativos detém muitos desafios tecnológicos. Muitos compostos bioativos são altamente lipofílicos e, conseqüentemente, apresentam baixa solubilidade em água, o que faz com que sua adição na maioria dos alimentos seja dificultada. Além disso, a baixa solubilidade, também significa menor absorção no trato gastrointestinal e, por conseguinte, sua biodisponibilidade torna-se limitada. Assim, na indústria alimentar, tornou-se evidente a necessidade imediata no desenvolvimento de sistemas para proteger e liberar os compostos bioativos presentes nos alimentos funcionais (CHAMPAGNE; FUSTIER, 2007; DONSI et al., 2011).

Os compostos bioativos podem ser encontrados principalmente em frutas, vegetais, cereais, oleaginosas e óleos, como por exemplo, maçãs, frutas cítricas, uvas, cebolas, cenouras, tomates, alhos, feijões, cacau, soja, semente de gergelim, semente de algodão, amendoins, semente de mostarda, arroz, arroz selvagem, folhas de cevada e aveia, o termo compostos bioativos refere-se a um grupo de compostos produzidos pelas plantas, os quais exibem significativas propriedades biológicas, como, atividade antioxidante, antimicrobiana, anti-inflamatória e anti-tumoral, com grande potencial de exploração nas indústrias farmacêuticas, alimentícias e químicas. Estes compostos variam muito em termos de estrutura e função química (KRISETHERTON et al. 2002; SECOLIN, 2014).

Pensando em uma alternativa promissora para aumentar a estabilidade dos compostos bioativos e preservar sua atividade antioxidante, a técnica de microencapsulação vem sendo amplamente desenvolvida. A microencapsulação é um método no qual substâncias bioativas são cobertas por ou incorporadas em um material de parede (revestimento, matriz, encapsulante ou transportador). Com a encapsulação, o composto ativo pode ser protegido de fatores ambientais destrutivos, liberado de forma controlada ou solubilizado. Fatores decisivos para uma encapsulação bem sucedida são: o processo de encapsulação em si e os fatores físico-químicos

intrínsecos da matriz encapsulante e do composto ativo, os quais determinam sua combinação ótima. Um encapsulante adequado é escolhido com base no processo utilizado, tipo de composto ativo, custo, estabilidade durante o armazenamento, restrições legais e religiosas e funcionalidade na aplicação final (PARAMERA, KONTELES e KARATHANOS, 2011).

Na indústria de alimentos, várias técnicas são aplicadas na encapsulação de ingredientes sensíveis a fatores diversos, como: *spray drying*, *spray cooling/chilling*, extrusão, inclusão molecular, liofilização, entre outros (TOLUN, ALTINTAS e ARTIK, 2016). A escolha da melhor técnica leva em consideração aplicações específicas e parâmetros como tamanho de partícula, morfologia, custo do processo, etc. A técnica de microencapsulação é uma opção promissora para a estabilização de pigmentos, onde os compostos sensíveis são encapsulados por um material de revestimento ou parede protegendo de fatores que possam vir a causar sua deterioração pela luz, oxigênio entre outros. A necessidade de proteção ao meio ambiente tem gerado a busca por um maior aproveitamento das matérias-primas agrícolas e seus resíduos. No Brasil, em razão da intensa atividade agrícola, é gerada uma grande quantidade de resíduos da agroindústria, que podem possuir alto valor agregado. Dos vários materiais que têm sido utilizados como agentes encapsulante já relatados em pesquisas desenvolvidas, a goma arábica é a que mais se destaca. Entretanto, cápsulas de goma arábica apresentam uma limitada barreira à oxidação, pois atuam como uma membrana semipermeável e sua permeabilidade ao oxigênio é um fator preponderante na vida útil do material encapsulado (GHARSALLAOUI et al., 2007).

Além do tradicional emprego do soro de leite na elaboração de bebidas lácteas (ALMEIDA; BONASSI; ROÇA, 2001; SIVIERI; OLIVEIRA, 2002; PENNA; OLIVEIRA; TAMIME, 2003; MAGENIS et al., 2006; CUNHA et al., 2008; CASTRO et al., 2009a; CASTRO et al., 2009b; CUNHA et al., 2009), novas e interessantes aplicações para o soro têm sido desenvolvidas. Um exemplo é o uso de proteínas do soro como encapsulantes ou coadjuvantes de encapsulação de componentes bioativos e funcionais como óleos essenciais, ômega-3 e microrganismos probióticos (SMITHERS, 2008).

Proteínas do soro de leite, na forma de concentrado ou isolado, têm sido utilizadas na microencapsulação de probióticos (GUERIN; VUILLEMARD; SUBIRADE, 2003; PICOT; LACROIX, 2004; REID et al., 2005; REID et al., 2007; RODRÍGUEZ-HUEZO et al., 2007; GBASSI et al., 2009). Alguns trabalhos também empregaram soro doce concentrado e permeado de soro (PIMENTEL-GONZÁLEZ et al., 2009; RIVEROS et al., 2009).

Neste contexto, o objetivo deste trabalho é fornecer um estudo sobre o agente encapsulante de soro do leite caprino e seu meio de preparo como material de parede, bem como

os parâmetros referentes à técnica de liofilização para obtenção desse encapsulante.

## REFERENCIAL TEÓRICO

### Soro do leite caprino

O soro de leite é o principal subproduto da indústria de laticínios, sendo obtido a partir do líquido resultante após a precipitação da gordura e das caseínas do leite durante a fabricação de queijos, é um subproduto das queijarias, possui alto valor nutricional e até pouco tempo era rejeitado, tornando-se um resíduo de elevado impacto ambiental quando eliminado no ambiente, principalmente em cursos de água. Esse desperdício vem sendo gradualmente reduzido na indústria, onde tem sido utilizado na composição de produtos alimentícios diversos, inclusive na elaboração de compostos lácteos, líquidos ou em pó, geralmente com preços mais acessíveis e atualmente vem sendo estudado como material de parede para microencapsulação de compostos bioativos, devido sua alta compatibilidade com o material do núcleo, evitando assim a degradação das propriedades funcionais, apresentando na sua composição uma mistura de lactose, minerais e proteínas globulares, com locais específicos de ligação ao cálcio, que favorece a formarem géis e microcápsulas sem o uso de tratamento térmico severo e qualquer produto químico (KRUNIC et al., 2018).

Segundo Madrona et al. (2009) no Brasil, porém, esse aproveitamento é dedicado quase exclusivamente ao leite bovino. O leite caprino, já de baixa aceitabilidade por boa parcela da população devido ao sabor peculiar, transmite essa característica ao soro, um produto de gosto ácido e normalmente inaceitável para consumo direto. Alternativas para contornar esse problema são possíveis por meio de misturas e incorporações de outros ingredientes que conduzam a um novo produto, preferencialmente aproveitando as disponibilidades e produções locais, a substituição de parte do leite pelo soro de queijo significa para a indústria diminuição nos custos de fabricação e uma forma racional de aproveitamento deste produto secundário, que apresenta excelente valor nutritivo.

Sem contar, que o soro apresenta elevado valor nutricional, uma vez que retém cerca de 55% dos nutrientes do leite (LEITE et al., 2012). É composto por água, lactose, proteínas, gorduras e sais minerais, especialmente o cálcio (PESCUMA et al., 2010), além de ácido láctico, ácido cítrico, compostos nitrogenados não proteicos e vitaminas do complexo B (DRAGONE et al., 2009). Por apresentar estes nutrientes, uma das alternativas de aproveitamento do mesmo é na utilização como material de parede encapsulante e para

formulação de bebidas lácteas, contudo, segundo Magalhães et al. (2011) no Brasil, cerca de 50% do soro decorrente da produção de queijos ainda não é aproveitado devido ao grande volume produzido, ocasionando desperdício nutricional, perda financeira e impactos ambientais relevantes.

Sendo que, as Bactérias do Ácido Láctico são conhecidas pelo seu potencial em produzir compostos antimicrobianos, amplamente aplicados na indústria de alimentos, tais como as bacteriocinas (GARCI et al., 2006).

As principais características que tornam as proteínas de soro de leite interessantes para aplicação como material de parede na elaboração de micropartículas são as propriedades funcionais como: a solubilidade, capacidade emulsificante, estabilidade das emulsões, e capacidade de formação de micropartículas. Além das propriedades encapsulantes, as proteínas do soro são uma excelente fonte de aminoácidos essenciais, favorecendo assim a sua aplicabilidade (ABBASI et al., 2014). As encapsulações com proteína do leite têm grande potencialidade na produção de probióticos micro encapsulados. Diversos autores mostraram a eficiência de microencapsulação de probióticos em soro de leite, vale destacar o trabalho desenvolvido por KIM et al. (2017), que encapsularam *Lactobacillus acidophilus* por gelificação iônica com extrusão eletrostática, sendo que o material encapsulado apresentou maior sobrevivência em armazenamento refrigerado e condições gastrointestinais in vitro. *Lactobacillus reuteri* microencapsulado em soro de leite a 20% apresentou taxa de sobrevivência de 32% em comparação com as não encapsuladas, quando expostas ao suco gástrico artificial (JANTZEN; GÖPEL; BEERMANN, 2013). *L. acidophilus* LA- 25 5 microencapsulado em soro de leite e aplicado em iogurte teve sua estabilidade confirmada por 10 semanas de estocagem (WANG et al., 2017).

O soro representa uma excelente fonte de proteínas funcionais (SMITHERS, 2008). As proteínas do soro correspondem a 20% das proteínas do leite e as principais são a  $\beta$ -lactoglobulina (56-60%),  $\alpha$ -lactoalbumina (18-24%), soroalbumina bovina (6-12%) e imunoglobulinas (6-12%) (MORR; HÁ, 1993) (Tabela 1). Do ponto de vista aminoacídico (aminoácidos essenciais), as proteínas de soro apresentam quase todos os aminoácidos essenciais em excesso às recomendações, exceto pelos aminoácidos aromáticos (fenilalanina, tirosina) que não aparecem em excesso, mas atendem às recomendações para todas as idades. Além disso, apresentam elevadas concentrações dos aminoácidos triptofano, cisteína, leucina, isoleucina e lisina (SGARBIERI, 2004).

Tabela 01. Principais proteínas encontradas no soro de leite.

|                     | Proteínas     |                |              |                 |
|---------------------|---------------|----------------|--------------|-----------------|
|                     | $\beta$ - Lg* | $\alpha$ - La* | Soroalbumina | Imunoglobulinas |
| Concentração (g/L)  | 2,0-4,0       | 0,6-1,7        | 0,4          | 0,4-1,0         |
| Ponto isoeletrico   | 5,2           | 4,2-4,5        | 4,7-4,9      | 5,5-8,3         |
| Peso molecular (Da) | 18.300        | 14.200         | 66.300       | 80.000-90.000   |

$\beta$ - Lg =  $\beta$ -lactoglobulina;  $\alpha$ - La =  $\alpha$ -lactoalbumina.

Fonte: Morr e Há (1993); Ordóñez et al. (2005).

A qualidade nutricional de uma proteína é comumente expressa pelos seguintes parâmetros: índice de aminoácidos corrigidos para digestibilidade protéica (Protein Digestibility Corrected Amino Acid Score, PDCAAS); relação de eficiência protéica (Protein Efficiency Ratio, PER); e valor biológico (Biological Value, BV). As proteínas do soro apresentam dois desses índices (PER e BV) mais elevados do que as caseínas e comparáveis à proteína do ovo (Tabela 2) e, portanto, são consideradas altamente digeríveis e absorvidas pelo organismo humano (SGARBIERI, 2004). Devido ao seu elevado valor biológico são necessários apenas 14,5 gramas de proteínas do soro por dia para satisfazer as necessidades diárias protéicas, em comparação com 17,4 gramas de proteína do ovo (LAGRANGE; DALLAS, 1997).

Tabela 02. Valores de qualidade nutricional de algumas proteínas.

| PROTEÍNA                        | PDCAAS <sup>1</sup> | PER <sup>2</sup> | BV <sup>3</sup> |
|---------------------------------|---------------------|------------------|-----------------|
| Proteínas do soro               | 1,00                | 3,2              | 100             |
| Ovo inteiro                     | 1,00                | 3,8              | 88-100          |
| Caseínas                        | 1,00                | 2,5              | 80              |
| Concentrado de proteína de soja | 0,99                | 2,2              | 70              |
| Proteína da carne               | 0,92                | 2,9              | 80              |

1. Obtido pela comparação da composição de aminoácidos essenciais da proteína sendo avaliada com um padrão de referência estabelecido pela FAO/WHO, considerada a digestibilidade protéica.

2. Relação entre ganho de peso e proteína consumida por animais em crescimento, sob condições padrão.

3. Representa aquela fração de proteína que, absorvida pelo organismo, é retida para manutenção e crescimento.

Fonte: Antunes (2003).

Além das propriedades nutricionais, as proteínas do soro apresentam propriedades funcionais tecnológicas de grande interesse para a indústria de alimentos, como a solubilidade em ampla faixa de pH, a alta capacidade de retenção de água e as propriedades emulsificantes (CHATTERTON et al., 2006). Atribuem-se também às proteínas do soro de leite propriedades funcionais fisiológicas, como atividades anti-câncer, hipocolesterolêmica, anti-inflamatória, de proteção e reparo das células entéricas, ação imunomoduladora, antiulcerogênica, anti-hipertensiva e benefício à atividade esportiva (McINTOSH, 1998; MORENO, 2002; ROSANELI, 2002; COSTA, 2004; SGARBIERI, 2004).

Soro e produtos de soro têm sido empregados com sucesso na indústria de alimentos, sendo que o valor nutricional e o custo razoável são fatores chave que estimulam essa utilização (LIU et al., 2005). Pode ser utilizado na elaboração de produtos dietéticos, nos quais age como substituto de gordura, em produtos de panificação, confeitaria, cárneos, sopas, molhos para salada, alimentos infantis, bebidas para atletas, dietas enterais e em produtos lácteos (ANTUNES; CAZETTO; BOLINI, 2004; BRANS, 2004; MENEZES, 2011).

Mesmo com as evoluções tecnológicas para a transformação do soro em outros produtos com valores agregados, sua utilização ou descarte ainda é um problema na indústria de laticínios (FERCHICHI et al., 2005; PANESAR et al., 2007). Países como Estados Unidos, Austrália, Canadá e Nova Zelândia e nações da União Européia processam este subproduto reconhecendo-o como ingrediente funcional e agregando valor à linha de produção da indústria láctea (SILVA; BOLINI, 2006).

### **Compostos bioativos**

Um composto bioativo pode ser definido como uma substância que possui um efeito benéfico sobre um organismo vivo, tecido ou célula. Apresentando diversas características terapêuticas, como por exemplo, a diminuição da ocorrência de algumas enfermidades degenerativas tais como câncer e diabetes, a diminuição dos elementos de risco de enfermidades cardiovasculares, demonstram igualmente, atividade antioxidante, antialérgicos, anti-inflamatório, antimicrobiano entre outros. Estudos estão sendo executados no mundo inteiro para averiguar o valor nutritivo das frutas. O reconhecimento dos atributos físico-químicos e a quantificação dos compostos bioativos são de benefício para adicionar qualidade nutricional e valor ao produto final (MARTINS et al., 2011; SOUZA et al., 2012).

Os mais relevantes compostos bioativos são as vitaminas e os metabólitos secundários

(DEMBITSKY et al., 2011). Os metabólitos secundários podem ser definidos como compostos orgânicos que, ainda que não estejam prontamente conectado ao crescimento e desenvolvimento vegetal, demonstram relevante papel no resguardo das plantas contra herbívoros, infecção por microrganismos patogênicos e tem ação atrativa (odor, cor e sabor) para animais polinizadores. Compreendem compostos fenólicos, terpenos e compostos nitrogenados (AZMIR et al., 2013). Todavia, o organismo humano não possui a capacidade de sintetizar os compostos bioativos, desse modo a fonte desses é proveniente da dieta alimentar com vegetais (ROCHA, 2011). Pesquisas reafirmam que a existência de compostos fenólicos concede as frutas características antioxidantes, antienzimáticas e antimicrobianas, e sua ingestão tem sido coligado à diminuição do risco de diversas enfermidades (RAO e RAO, 2007; BASTOS et al., 2015; PAZ et al., 2015).

### **Microencapsulação**

A tecnologia de microencapsulação foi definida por Todd (1970) como o empacotamento com finas coberturas poliméricas de sólidos, líquidos ou material gasoso, dando origem a microcápsulas que podem liberar seus conteúdos a taxas controladas sob influência de condições específicas (ANAL; STEVENS, 2005; KAILASAPATHY; MASONDOLE, 2005; ANAL; STEVENS; REMUÑÁN-LÓPEZ, 2006). Arshady (1993) descreveu as microcápsulas como embalagens extremamente pequenas, compostas por um polímero como material de parede e um material ativo chamado de núcleo. O diâmetro e a forma podem variar de acordo com o agente encapsulante e método utilizados (FAVARO-TRINDADE; GROSSO, 2003; ANAL; SINGH, 2007).

O processo de microencapsulamento com soro de leite apresenta-se como uma técnica em que compostos bioativos sensíveis são encapsulados por um material de revestimento ou parede, protegendo de fatores que possam causar a sua deterioração, tais como a luz e oxigênio. Também contribui para o aumento da vida útil dos compostos e controla sua liberação no meio. Inúmeros materiais de parede podem ser utilizados no processo de microencapsulamento, porém os mais comumente utilizados são as maltodextrinas, as quais são provenientes de hidrolisados de amido, altamente solúveis em água, com baixa viscosidade, sabor agradável e apresentam soluções incolores (ESTUPIÑAN et al., 2011).

Durante o processo de microencapsulação, o revestimento criado no composto encapsulado pode ocorrer pelas técnicas de coacervação, co-cristalização, inclusão molecular, secagem por pulverização (ou spray drying), spray chilling, extrusão e secagem em leito

fluidizado, liofilização; sendo que a escolha da técnica dependerá do tipo de material a ser microencapsulado, aplicação final e mecanismo de liberação (LE et al., 2019). A técnica por liofilização tem sido uma alternativa de encapsulado mais utilizado, devido funcionar em baixas temperaturas, a frio, evitando a degradação dos compostos bioativos que são sensíveis a elevadas temperaturas.

Diferentes materiais podem ser utilizados como material de revestimento, incluindo gelatina (LI et al., 2009), alginato de sódio (MANDAL; PUNIYA; SINGH, 2006), amidos (YING et al., 2010), maltodextrina (REDDY; ISHWARYA; ANANDHARAMAKRISHNAN, 2019) e proteínas de soro de leite (YING et al., 2010), sendo este um material de baixo custo e de segurança em alimentos (GBASSI et al., 2009; WANG et al., 2017).

A morfologia da microcápsula obtida, depende de como é o material do núcleo, e do processo de deposição do material de revestimento (SAIFULLAH et al., 2019). O material a ser encapsulado pode ser puro ou uma mistura, sendo denominado como material ativo ou núcleo, enquanto que o material que forma a cápsula é chamado de material de revestimento ou de parede, carreador ou agente encapsulante (FANG; BHANDARI, 2010). Normalmente, as microcápsulas apresentam forma esférica, com diâmetro compreendido entre 1,0 e 5000 µm, porém o tamanho, a forma, e a estrutura das microcápsulas dependem dos materiais empregados como agentes encapsulantes e do método empregado na produção (FANG; BHANDARI, 2012). No entanto, o composto a ser encapsulado geralmente permanece no núcleo da cápsula cercado pelo agente de encapsulação ou disperso em uma matriz contendo o agente de encapsulação.

Alguns tipos de microcápsulas podem ter mais de um agente encapsulante, construindo paredes diferentes com diferentes propriedades químicas e físicas. Os diferentes tipos de micropartículas são produzidos a partir de uma ampla gama de agentes encapsulantes e por grande número de processos de microencapsulação (ESTEVINHO et al., 2013).

Tendo em vista isso, as encapsulações com material feitos com soro do leite caprino teriam grande potencialidade na produção de microencapsulados.

### **Liofilização**

A liofilização é uma técnica baseada na desidratação de um produto congelado por sublimação, sendo realizado, primeiramente, um congelamento rápido do produto seguido da sublimação do gelo sob vácuo (AZEREDO, 2005).

Assim, a água passa do estado sólido diretamente para o gasoso, necessitando estar na

região de temperatura abaixo do ponto triplo. Na Figura 1, é possível observar o diagrama de fases da água e seu ponto triplo, que acontece a 639,95 Pa e 273,15 K. Essa técnica destaca-se dentre as demais usadas na microencapsulação pela aplicação de baixas temperaturas, o que propicia a preservação do núcleo.

Nesse método, ocorre um enrijecimento da estrutura pelo congelamento da superfície do material, na qual ocorre a sublimação, que é útil para prevenir colapsos da matriz sólida após a secagem. O efeito é a formação de um poro que é facilmente reidratado com água. A proliferação das bactérias não fica viável no material seco, entretanto elas não são exterminadas por este tipo de secagem. Como não há água no meio, as atividades das enzimas são inativadas após a secagem, e as reações químicas oxidativas ou não-oxidativas ocorrem em baixa quantidade, trazendo resultados bastante satisfatórios (BOSS, 2004).

O processo de liofilização pode ser dividido em três etapas: congelamento rápido, secagem primária e secagem secundária. O congelamento rápido é essencial para as etapas seguintes, visto que ocorre a formação e distribuição dos tamanhos dos poros, que influenciam na qualidade do material. Na secagem primária, ocorre a sublimação e na secagem secundária, ocorre a remoção da umidade sublimada (JAYARAMAN; GUPTA, 1995).

A liofilização pode ser realizada em aparelho tipo bandeja, multibatelada, túnel, Vacuum-Spray Freeze Dryers, contínuo e por micro-ondas. A escolha será de acordo com o material. Esse processo é extremamente utilizado em fármacos (vacinas, antibióticos), materiais biológicos e alimentos (carnes, café, sopa, leite), cujas propriedades organolépticas são importantes e devem ser conservadas. A desvantagem desse processo é o alto custo, mas que pode ser contornado pela falta de manuseio específico e estocagem do produto em local refrigerado, principalmente se ele contiver alto valor agregado (BOSS, 2004).

### **Materiais de Parede**

Os materiais de parede utilizados como encapsulantes na liofilização podem ser vários: goma arábica, ágar, alginato e carragena; os carboidratos amido, amidos modificados, soro de leite, dextrinas e sacarose; as celuloses carboximetilcelulose, acetilcelulose, nitrocelulose; os lipídios parafina, mono e diacilgliceróis, óleos e gorduras; os materiais inorgânicos sulfato de cálcio e silicatos; as proteínas do glúten, caseína, gelatina e albumina (FAVARO-TRINTADE; PINHO; ROCHA, 2008).

O material encapsulante deve apresentar algumas características como: boas

propriedades reológicas a altas concentrações e facilidade de manuseio durante o processo; habilidade para dispersar ou emulsificar o material ativo e estabilizar a emulsão produzida; não reatividade com o material a ser encapsulado tanto durante o processo como durante o armazenamento prolongado; envolver e reter o material ativo dentro de sua estrutura durante o processo e armazenamento; liberar completamente o solvente ou outros materiais usados durante a encapsulação através da secagem ou de outras operações de remoção do solvente; promover máxima proteção do material ativo contra condições ambientais (oxigênio, calor, luz, umidade); solubilidade em solventes aceitáveis na indústria de alimentos (como água e etanol); baixo custo e uso permitido em alimentos (food-grade status) (DESAI; PARK, 2005).

### **Microencapsulação em soro de leite**

Além das conhecidas propriedades de emulsificação, geleificação e formação de filme das proteínas do soro, suas propriedades microencapsulantes têm sido investigadas e reportadas, focalizando principalmente no método de spray drying para obtenção de microcápsulas (LEE; ROSENBERG, 2000; GHARSALLAOUI et al., 2007). Entre os biopolímeros utilizados como agentes de cobertura, as proteínas do soro surgem como candidatos potenciais, pois são completamente biodegradáveis e amplamente utilizadas em muitos tipos de alimentos (GBASSI et al., 2009).

Proteínas do soro, na forma de WPC ou WPI, têm sido usadas com sucesso como agentes encapsulantes ou coadjuvantes na microencapsulação de probióticos (GUERIN; VUILLEMARD; SUBIRADE, 2003; PICOT; LACROIX, 2004; REID et al., 2005; REID et al., 2007; RODRÍGUEZ-HUEZO et al., 2007; GBASSI et al., 2009; WEINBRECK; BODNÁR; MARCO, 2010; RODRIGUES et al., 2011a; RODRIGUES et al., 2011b). Com relação ao emprego de soro líquido, Pimentel-gonzález et al. (2009) microencapsularam *L. rhamnosus* pelo método de emulsificação utilizando soro doce concentrado. O soro mostrou-se como um agente emulsificante eficiente, sendo que os 40 probióticos microencapsulados apresentaram maior resistência às condições gastrointestinais simuladas, possivelmente devido ao fato do soro atuar como um agente tamponante.

### **METODOLOGIA**

A pesquisa foi realizada no laboratório de pesquisas do Programa de Pós-Graduação em Tecnologia Agroalimentar da Universidade Federal da Paraíba, no Centro de Ciências Humanas, Sociais e Agrárias- PPGTA/UFPB/CCHSA, em parceria com o laboratório de

Tecnologia de Leite e Derivados e no laboratório de análises físico-químicas, ambos do CCHSA/UFPB. Para obtermos o soro do leite caprino, se fez necessário realizar o processamento de um tipo de queijo caprino tipo petit-suisse, o leite caprino foi oriundo de uma fazenda local da cidade de Bananeiras-PB, da qual é produtora de produtos com leite caprino. Com os 7% de soro obtidos, utilizamos 3L para o preparo do material de parede encapsulante. O soro utilizado foi colocado em recipientes de polipropileno com capacidade para 50 mL em cada frasco. Após acondicionados nos recipientes específicos, os frascos foram levados para o ultrafreezer e mantidos por 72h a  $-80^{\circ}\text{C}$ . Passado essas horas, o material foi levado para o liofilizador por 48h, em ambiente climatizado e controlado. As condições de secagem por liofilização foram: pressão 40 nm Hg, temperatura de congelamento  $-55^{\circ}\text{C}$ , temperatura do condensador  $45^{\circ}\text{C}$  e temperatura de trabalho em  $18^{\circ}\text{C}$  ( $T_w$ ). O rendimento final foi de 800g de soro de leite caprino liofilizado. Depois o material liofilizado foi mantido em armazenamento, ultrafreezer de modelo MDF-U33V-PA, Panasonic, temperatura de  $-80^{\circ}\text{C}$ , para que posteriormente possa ser utilizado como um material de revestimento ou de parede microencapsulante.

**Figura 01:** Soro de leite caprino obtido após processamento do queijo caprino tipo petit-suisse.



**Fonte:** Própria (2022).

**Figura 02:** Soro de leite caprino em recipientes de polipropileno com capacidade para 50 mL



**Fonte:** Própria (2022).

**Figura 03:** Soro do leite caprino retirado do ultrafreezer acondicionado nas bandejas do liofilizador.



**Fonte:** Própria (2022).

**Figura 4:** A esquerda soro de leite caprino não liofilizado, e a direita soro de leite caprino liofilizado após 48h.



**Fonte:** Própria (2022).

## RESULTADOS E DISCUSSÃO

Com relação ao meio de armazenamento do encapsulante. O congelamento está entre os métodos mais populares e eficientes de preservação de alimentos (KIANI; SUN, 2011). Dessa maneira o material de parede liofilizado foi armazenado em um ultrafreezer a  $-80^{\circ}\text{C}$ , do qual é capaz de inibir qualquer reação enzimática, e destinado ao acondicionamento de amostras sensíveis a decomposição durante o armazenamento, podendo assim permanecer por um longo período de tempo. Essa etapa se fez necessária pois segundo Dempsey e Bansal (2012), o congelamento lento (convencional) produz grandes cristais de gelo, desenvolvem-se através das paredes das células, permitindo que ocorra a entrada de oxigênio, ocasionando rancidez aumentando o risco de gotejamento avançado no descongelamento, ocasionando a formação de cristais de gelo maiores e a distribuição desigual no tecido alimentar que podem romper irreversivelmente a estrutura celular, causando alterações nas propriedades sensoriais e perda de nutrientes (ZHU; ZHOU; SUN, 2019). Já o congelamento rápido em temperaturas muito baixas garante a qualidade nutricional, bem como o sabor e a textura dos alimentos, devido à formação de pequenos e uniformes cristais de gelo, para isso taxas de congelamento ultra-altas podem ser obtidas usando nitrogênio líquido (STINCO et al., 2013).

Haiying, Shaozhi e Guanguiming (2007), avaliaram as propriedades relevantes de congelamento de quatro tipos de vegetais, cogumelo, couve-flor verde, feijão-marinho e vagem de ervilha e o estudo demonstrou que o congelamento mais rápido produziria cristais de gelo menores, o que traria menos danos às microestruturas. Portanto, o congelamento rápido é necessário para manter a qualidade dos alimentos, uma vez que produz pequenos cristais de gelo (DEMPSEY; BANSAL, 2012; HAIYING; SHAOZHI; GUANGUIMING, 2007; ZHU;

Kono et al. (2017), verificaram que o congelamento rápido tem influência significativa na superfície do filé de salmão, e um número de pequenos cristais de gelo com uma pequena área de proporção dentro da camada superficial foi observado em amostras congeladas rapidamente, ao contrário dos grandes cristais de gelo com uma grande proporção entre as amostras congeladas normais. Com relação a liofilização que é um método que envolve a desidratação do material congelado sob um processo de sublimação a vácuo. É uma técnica comumente usada para preservar principalmente bactérias probióticas, uma vez que promove menor estresse às células e resulta em fermentos com maior viabilidade. (Martín et al., 2015; Martins et al., 2019; Silva et al., 2014). Entretanto, entre as técnicas de secagem possíveis, a secagem por spray dryer é uma das predominantes na indústria de laticínios para desidratação de produtos lácteos. Esse processo consiste na remoção parcial da água contida no produto,

viabilizando o armazenamento, conservação por períodos mais longos e redução de custos logísticos (Schuck et al., 2012). Apesar disso, a desvantagem é que a temperatura usada no processo pode não ser adequada para encapsular culturas bacterianas probióticas, ocasionando perdar funcionais, Martin et al. (2015). A fim de superar esta característica e melhorar as condições durante a secagem, vários métodos vem sendo estudados e desenvolvidos, normalmente, usando temperaturas mais baixas (Liu et al., 2017). Como por exemplo a liofilização que é uma técnica baseada na desidratação de um produto congelado por sublimação, sendo realizado, primeiramente, um congelamento rápido do produto seguido da sublimação do gelo sob vácuo (AZEREDO, 2005). Essa técnica destaca-se dentre as demais usadas na microencapsulação pela aplicação de baixas temperaturas, o que propicia a preservação do núcleo. Outro ponto positivo para utilizar a liofilização é que, como as bactérias probióticas são sensíveis ao calor, a utilização do processo de liofilização apresenta como principal vantagem a estabilidade das bactérias probióticas, as quais permanecem viáveis após este processo. Além disso, as atividades das enzimas são inativadas porque não há água no meio e as reações químicas oxidativas ou não-oxidativas ocorrem em pequena quantidade, trazendo um resultado satisfatório (BOSS, 2004). Outra vantagem são as mínimas perdas de nutrientes e a rápida reidratação do produto seco. Por este motivo, mostra-se aplicável à indústria de alimentos já que proporciona a obtenção de produtos de alto valor agregado (CELESTINO, 2010). Com relação a escolha do material a ser utilizado como agente encapsulante deve-se considerar uma série de fatores, destacando-se propriedades físicas e químicas de compatibilidade destes em relação ao material a ser encapsulado. Em especial, a temperatura de transição vítrea do encapsulante, a superfície do núcleo encapsulado e fatores econômicos devem ser estudados (Martín et al., 2015; Rodrigues et al., 2020). Os encapsulantes devem atender ainda aos seguintes requisitos: boas propriedades de formação de filme; baixa higroscopicidade; baixa viscosidade a altas concentrações de sólidos (menor que 0,5 Pa.s em concentrações superiores a 45%); sabor e odor suaves; fácil reconstituição; e baixo custo (Food Ingredients Brasil, 2013). Segundo Dianawati; Mishra; Shah (2015) vários materiais de encapsulamento preparados a partir de carboidratos (álcoois de açúcar, açúcares, polissacarídeos, hidrocoloides) ou proteínas (à base de leite ou soro do leite) ou diversas combinações têm sido estudados, para verificar sua eficácia na proteção de bactérias probióticas. As proteínas do soro do leite são geralmente consideradas materiais adequados para microencapsulamento em aplicações alimentares, especialmente em alimentos líquidos e semi-sólidos. Possuem a vantagem de desenvolver matrizes de tamanhos controlados, sem qualquer

efeito adverso no sabor dos alimentos (Abd El-Salam & El-Shibiny, 2015). Além disso, podem apresentar efeitos estabilizadores desejáveis na textura dos alimentos. Essa proteína do soro de leite é empregado como agente encapsulante, devido principalmente a suas propriedades gelificantes e emulsificantes e formação de filme, tornando-se interessante na microencapsulação (CORTI et al., 2017; RAJAM & ANANDHARAMAKRISHNAN, 2015).

O isolado proteico do soro de leite é um ingrediente nutricional amplamente utilizado na indústria de alimentos, esse ingrediente possui uma excelente atividade de superfície devido à sua composição mista de  $\beta$ -lactoglobulina,  $\alpha$ -lactoalbumina, albumina de soro e outras proteínas, como a caseína (KLEIN et al. 2010). O uso combinado de proteínas com derivados de amido, pode ser uma outra alternativa de encapsulante, como por exemplo a maltodextrina, além de ter baixo custo possui baixa higroscopicidade, evitando a aglomeração de partículas, o que pode ser interessante para melhorar as propriedades da superfície necessárias para alcançar uma microencapsulação mais eficaz (Corti et al., 2017).

## CONSIDERAÇÕES FINAIS

O soro de leite é o principal subproduto da indústria de laticínios, é um subproduto das queijarias, possui alto valor nutricional e até pouco tempo era rejeitado, tornando-se um resíduo de elevado impacto ambiental quando eliminado no ambiente. Esse desperdício vem sendo gradualmente reduzido na indústria, onde tem sido utilizado na composição de produtos alimentícios diversos, e atualmente vem sendo utilizado como material de parede para microencapsulação de compostos bioativos, devido sua alta compatibilidade com o material do núcleo, evitando assim a degradação das propriedades funcionais. Os parâmetros de secagem estabelecidos por liofilização se torna viável, pois as bactérias probióticas são sensíveis ao calor, e a utilização do processo por liofilização se resume por congelamento, sublimação e dessorção, em ambiente a 18°C e com a unidade condensadora a -55°C apresenta como principal vantagem a estabilidade das bactérias probióticas, as quais permanecem viáveis após este processo. Porém, atrelado ao alto custo, está a alta qualidade do alimento produzido. O produto que se deseja conservar apresenta, no fim do processo, características que não seriam possíveis de serem alcançadas com outras técnicas (FELLOEWS, 2000). Diante disso, este estudo apresentou uma técnica para obtenção de um material de parede encapsulante do qual poderá servir como um microencapsulante de compostos bioativos desde que apresentem compatibilidade com o material do núcleo.

## REFERÊNCIAS

- ABBASI, A. et al. Stability of vitamin D3 encapsulated in nanoparticles of whey protein isolate. *Food Chemistry*, v. 143, p. 379–383, 2014.
- Abd El-Salam, M. H., & El-Shibiny, S. (2015). Preparation and properties of milk proteins-based encapsulated probiotics: a review. *Dairy Science and Technology*, 95(4), 393–412. <https://doi.org/10.1007/s13594-015-0223-8>.
- ANAL, A. K.; SINGH, H. Recent advances in microencapsulation of probiotics for industrial applications and targeted delivery. *Trends in Food Science & Technology*, v.18, p. 240–251, 2007.
- ANTUNES, A.E.C.; CAZETTO, T.F.; BOLINI, H.M.A. Iogurtes desnatados probióticos adicionados de concentrado protéico do soro de leite: perfil de textura, sinérese e análise sensorial. *Alimentos e Nutrição*, v.15, p.107-114, 2004.
- ANTUNES, A.J. Funcionalidade de proteínas do soro de leite bovino. São Paulo: Manole, 2003. 135p.
- AZEREDO, H. M. C. Encapsulação: aplicação à tecnologia de alimentos. *Alimentos e Nutrição*, v. 16, n. 1, p. 89-97, 2005.
- BOSS, E. A. (2004). Modelagem e otimização do processo de liofilização: aplicação para leite desnatado e café solúvel.107f. Tese (Doutorado). Universidade de Campinas. Faculdade de Engenharia Química, São Paulo.
- BOSS, E. A. Modelagem e Otimização do Processo de Liofilização: Aplicação para Leite Desnatado e Café Solúvel. Tese de Doutorado. Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2004.
- CELESTINO, S. M. C. (2010). Princípios de Secagem de Alimentos. Planaltina, DF: Embrapa Cerrados. p. 33-46.
- CHAMPAGNE C.P.; FUSTIER P. Microencapsulation for the improved delivery of bioactive compounds into foods. *Current Opinion in Biotechnology*, v.18, p.184-190, 2007.
- CHATTERTON, D.E.W.; SMITHERS, G.; ROUPAS, P.; BRODKORB, A. Bioactivity of  $\beta$ -lactoglobulin and  $\alpha$ -lactalbumin - Technological implications for processing. *International Dairy Journal*, v.16, p. 229–1240, 2006.
- CORTI, D., Bittencourt, P. R. S., & Drunkler, D. A. Use of milk protein and maltodextrin in the microencapsulation of *Lactobacillus acidophilus*: a model approach. *Acta Scientiarum. Technology*, v.39, p.573-577, 2017.
- DESAI, K. G. H.; PARK, H. J. Recent developments in microencapsulation of food ingredients. *Drying Technology*, v. 23, p. 1361-1394, 2005.

DRAGONE, G. et al. Characterization of volatile compounds in an alcoholic beverage produced by whey fermentation. *Food Chemistry*, v. 112, n. 4, p. 929-935, 2009.

ESTEVINHO, B. N. et al. Microencapsulation with chitosan by spray drying for industry applications - A review. *Trends in Food Science and Technology*, v. 31, n. 2, p. 138– 155, 2013.

FANG, Z.; BHANDARI, B. Comparing the efficiency of protein and maltodextrin on spray drying of bayberry juice. *Food Research International*, v. 48, n. 2, p. 478–483, 2012.

FERCHICHI, M.; CRABBE, E.; GIL, G.H.; HINTZ, W.; ALMADIDY, A. Influence of initial pH on hydrogen production from cheese whey. *Journal of Biotechnology*, v. 120, p. 402-409, 2005.

GARCI, B. E.; GUERRERO-LEGARRETA, I.; REGALADO, C. Effect of *Lactococcus lactis* UQ2 and its bacteriocin on *Listeria monocytogenes* biofilms. *Food Control*, v. 19, p. 670–680, 2008.

GBASSI, G. K. et al. Microencapsulation of *Lactobacillus plantarum* spp in an alginate matrix coated with whey proteins. *International Journal of Food Microbiology*, v. 129, n. 1, p. 103–105, 2009.

GHARSALLAOUI, A., ROUDAUT, G., CHAMBIN, O., VOILLEY, A., SAUREL, R. Applications of spray drying in microencapsulation of food ingredients: An overview. *Food Research International*, v. 40, p. 1107–1121, 2007.

GUERIN, D.; VUILLEMARD, J. C.; SUBIRADE, M. Protection of bifidobacterias encapsulated in polysaccharide-protein gel beads against gastric juice and bile. *Journal of Food Protection*, v. 66, p. 2076–2084, 2003.

JAYARAMAN, K. S.; GUPTA, D. K. Drying of Fruits and Vegetable. In: MUJUMDAR, A. S. *Handbook of Industrial Drying*. Nova York: Marcel Dekker, p. 643-665, 1995.

KIM, J. U. et al. Encapsulation of probiotic *Lactobacillus acidophilus* by ionic gelation with electrostatic extrusion for enhancement of survival under simulated gastric conditions and during refrigerated storage. *International Journal of Food Science and Technology*, v. 52, n. 2, p. 519–530, 2017.

KLEIN, M., Aserin, A., Svitov, I., & Garti, N. Enhanced stabilization of cloudy emulsions with gum Arabic and whey protein isolate. *Colloids and Surfaces B: Biointerfaces*, v.77, p.75-81, 2010.

KRIS-ETHERTON, P. M.; HECKER, K.D.; BONANOME, A.; COVAL, S.M.; BINKOSKI, A.E.; HILPERT, K. F.; GRIEL, A.E.; ETHERTON, T.D. Bioactive Compounds in Foods: Their Role in the Prevention of Cardiovascular Disease and Cancer. *The American Journal of Medicine*, v. 113, p. 71S-88S, 2002.

KRUNIC, T. et al. *Whey to Quality of Food Products*. [s.l.] Elsevier Inc., 2018.

LAGRANGE, V.; DALLAS, P. Produtos de soro dos EUA: disponibilidade, recursos tecnológicos, aplicações. *Engenharia de alimentos*, n.15, p.27-29, 1997.

LE, N. T. T. et al. Evaluation of factors affecting antimicrobial activity of bacteriocin from *Lactobacillus plantarum* microencapsulated in alginate-gelatin capsules and its application on pork meat as a bio-preservative. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, v. 16, n. 6, 2019.

LEITE, M. T. et al. Canonical analysis technique as an approach to determine optimal conditions for lactic acid production by *Lactobacillus helveticus*. *International Journal of Chemical Engineering*, v. 2012, Article ID 303874, 9 p., 2012. doi: 10.1155/2012/303874.

Liu, H., Cui, S. W., Chen, M., Li, Y., Liang, R., Xu, F., & Zhong, F. (2017). Protective approaches and mechanisms of microencapsulation to the survival of probiotic bacteria during processing, storage and gastrointestinal digestion: A review. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, 59(17), 2863–2878. <https://doi.org/10.1080/10408398.2017.1377684>.

LIU, X.; CHUNG, Y. K.; YANG, S. T.; YOUSEF, A. E. Continuous nisin production in laboratory media and whey permeate by immobilized *Lactococcus lactis*. *Process Biochemistry*, v. 40, p. 13–24, 2005.

Madrona, G.S.; Zotarelli, M.F.; Bergamasco, R.; Branco, I. G. Estudo do efeito da adição de soro de queijo na qualidade sensorial do doce de leite pastoso. *Ciência e Tecnologia de Alimentos*, v.29, n.4, p.826-833, 2009.

MAGALHÃES, K. T. et al. Comparative study of the biochemical changes and volatile compound formations during the production of novel whey-based kefir beverages and traditional milk kefir. *Food Chemistry*, v. 126, n. 1, p. 249-253, 2011.

MANDAL, S.; PUNIYA, A. K.; SINGH, K. Effect of alginate concentrations on survival of microencapsulated *Lactobacillus casei* NCDC-298. *International Dairy Journal*, v. 16, n. 10, p. 1190–1195, 2006.

Martins, E., Cnossen, D. C., Silva, C. R. J., Cezarino, J. C., Nero, L. A., Perrone, I. T., & Carvalho, A. F. (2019). Determination of ideal water activity and powder temperature after spray drying to reduce *Lactococcus lactis* cell viability loss. *Journal of Dairy Science*, 102(7), 6013–6022. <https://doi.org/10.3168/jds.2019-16297>.

McINTOSH, G.H. et al. Whey proteins as functional food ingredients? *International Dairy Journal*, v. 8, p. 425-434, 1998.

MORR, C. V.; HÁ, E. Y. W. Whey Protein Concentrates and Isolates: Processing and Functional Properties. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, v.33, p.431-476, 1993.

PARAMERA, E. I.; KONTELES, S. J.; KARATHANOS, V. T. Stability and release properties of curcumin encapsulated in *Saccharomyces cerevisiae*, beta-cyclodextrin and modified starch. **Food Chemistry**, v. 125, p.

PESCUMA, M. et al. Functional fermented whey-based beverage using lactic acid bacteria. *International Journal of Food Microbiology*, v. 141, n. 1-2, p. 73-81, 2010.

REDDY, M. N. P.; ISHWARYA, S. P.; ANANDHARAMAKRISHNAN, C. Nanoencapsulation of roasted coffee bean oil in whey protein wall system through nanospray drying. *Journal of Food Processing and Preservation*, v. 43, n. 3, p. 1– 8, 2019.

RODRÍGUEZ-HUEZO, M.E.; DURÁN-LUGO, R.; PRADOBARRAGÁN, L.A.; CRUZ-SOSA, F.; LOBATO-CALLEROS, C.; ALVAREZ-RAMÍREZ, J.; VERNON-CARTER, E.J. Pre-selection of protective colloids for enhanced viability of *Bifidobacterium bifidum* following spray-drying and storage, and evaluation of aguamiel as thermoprotective prebiotic. *Food Research International*, v.40, p.1299–1306, 2007.

SAIFULLAH, M. et al. Micro and nano encapsulation, retention and controlled release of flavor and aroma compounds: A critical review. *Trends in Food Science and Technology*, v. 86, n. September 2018, p. 230–251, 2019.

Schuck, P., Dolivet, A., Méjean, S., Hervé, C., & Jeantet, R. (2012). Spray drying of dairy bacteria: New opportunities to improve the viability of bacteria powders. *International Dairy Journal*, 31(1), 12–17. <https://doi.org/10.1016/j.idairyj.2012.01.006>.

SGARBIERI, V.C. Propriedades fisiológicas-funcionais das proteínas do soro de leite. *Revista de Nutrição*, v.17, p. 397-409, 2004.

SHAH, N.P. Functional cultures and health benefits. *International Dairy Journal*, v.17, p.1262–1277, 2007.

SILVA, K.; BOLINI, H.M.A. Avaliação sensorial de sorvete formulado com produto de soro ácido de leite bovino. *Ciência e Tecnologia de Alimentos*, v. 26, p. 116-122, 2006.

SMITHERS, G.W. Whey and whey proteins - From „gutter-to-gold“. *International Dairy Journal*, v. 18, p. 695–704, 2008.

TOLUN, A.; ALTINTAS, Z.; ARTIK, N. Microencapsulation of grape polyphenols using maltodextrin and gum arabic as two alternative coating materials: Development and characterization. **Journal of Biotechnology**, v. 239, p. 23-33, 2016.

WANG, Q. et al. UV–Vis and ATR–FTIR spectroscopic investigations of postmortem interval based on the changes in rabbit plasma. *PLoS ONE*, v. 12, n. 7, p. 1–16, 2017.

YING, D. Y. et al. Microencapsulated *Lactobacillus rhamnosus* GG Powders: Relationship of Powder Physical Properties to Probiotic Survival during Storage. *Journal of Food Science*, v. 75, n. 9, 2010.