MICROENCAPSULAMENTO NA INDÚSTRIA DE LÁCTEOS

Paulo Henrique do Valle Janke¹, Anna Carolina Gonçalves Penna¹, Carlos Augusto de Freitas Peregrino², Eliane Teixeira Mársico³, Adriana Cristina de Oliveira Silva³

¹Discentes de Doutorado e Mestrado do Programa de Pós-Graduação em Higiene Veterinária e Processamento Tecnológico de Produtos de Origem Animal (PGHIGVET) da Universidade Federal Fluminense (UFF), Niterói, Rio de Janeiro, Brasil.

²Professor Associado da Faculdade de Farmácia, Laboratório Universitário Rodolpho Albino, LURA/PROEX- Universidade Federal Fluminense, Niterói, Rio de Janeiro, Brasil

³Professora Associada do Departamento de Tecnologia de Alimentos, Universidade Federal Fluminense (UFF), Faculdade de Veterinária, Niterói, Rio de Janeiro, Brasil
ph_janke@hotmail.com

Recebido em: 15/08/2021 – Aprovado em: 15/09/2021 – Publicado em: 30/09/2021

DOI: 10.18677/EnciBio_2021C29

trabalho licenciado sob licença [Creative Commons Attribution-NonCommercial-NoDerivatives 4.0 International License](https://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/4.0/).

RESUMO

Este trabalho teve como objetivo fazer uma revisão bibliográfica sobre as principais técnicas e métodos de microencapsulamento aplicados na indústria de alimentos, incluindo suas vantagens e desvantagens e realizar um levantamento dos trabalhos mais recentes sobre este tema onde substâncias bioativas foram microencapsuladas para serem incorporados em matrizes lácteas com a finalidade de agregar valor, devido seu apelo funcional e como forma de inovação no setor que está cada vez mais exigente e anseia por novos produtos.

PALAVRAS-CHAVE: Microencapsulamento; Matrizes Lácteas; Substâncias Bioativas.

MICROENCAPSULATION IN DAIRY INDUSTRY: REVIEW

ABSTRACT

This work aimed to make a bibliographic review on the main microencapsulation techniques and methods applied in the food industry, including its advantages and disadvantages, as also survey the most recent works on this topic where bioactive compound were microencapsulated to be incorporated in milk matrices with the purpose of adding value, due to its functional appeal and as a form of innovation in the sector that is increasingly demanding and yearning for new products.

KEYWORDS: Microencapsulation; Milk Matrices; Bioactive Compounds.

INTRODUÇÃO

A microencapsulação é uma técnica realizada por diferentes áreas de pesquisa (alimentar, medicinal e farmacêutica). Nesse contexto, cabe salientar que o conhecimento de física, química, polímeros, coloides, bioquímica e ciência de matérias são indispensáveis para sua execução. Dessa forma, no que tange a área alimentícia pode-se salientar que seus primeiros estudos ocorreram na década de 1950 com a microencapsulação de óleos concentrados por Griffin (1951) (SOUZA *et al.*, 2005; DAHAKAL; HE, 2020).

Nesse viés, o processo de microencapsulação consiste em um método no qual invólucros de tamanho muito reduzido, atuam como uma carapaça que protege uma substância ativa de interesse químico, alimentar, farmacêutico ou biológico. Sendo que o principal objetivo é melhorar a *performance* da substância ativa e criar novas aplicabilidades (DAHAKAL; HE, 2020).

De acordo com Favaro-Trindade *et al.* (2008) o microencapsulamento ocorre quando um princípio ativo é protegido por uma membrana semipermeável (material de parede) contra fatores intrínsecos e extrínsecos, a fim de modular a entrada e saída de substâncias da microcápsula. Desse modo, é possível criar mecanismos de liberação controlada de acordo com o pH, rompimento físico, difusão e osmolaridade que permitem que o princípio ativo atue no local e no tempo desejado.

Na área alimentícia, a microencapsulação é bastante difundida, pois essa técnica admite que um ingrediente frágil possa ser protegido contra degradação e por danos na sua transferência para o meio externo. Também, é capaz de converter líquidos em sólidos para utilização em sistemas secos, camuflar sabores e odores indesejáveis, reduzir higroscopicidade e separar ingredientes para que não se contraponham (DESAI; PARK, 2005; SILVA *et al.*, 2014; PEREIRA *et al.*, 2018).

Dessa forma, o objetivo dessa revisão é elucidar as principais técnicas de microencapsulamento utilizadas na área de alimentos, em especial em produtos lácteos, como forma de garantir a integridade dos ingredientes alimentares, promovendo inovações tecnológicas aos produtos.

MICROENCAPSULAMENTO

Estrutura e morfologia

As microcápsulas são classificadas de acordo com sua estrutura e morfologia. A morfologia da microcápsula é dividida em mononuclear (núcleo contínuo), multinuclear (polinuclear) e microesfera (matricial) (SILVA *et al.*, 2014). Além disso, as cápsulas podem ser de formato regular ou irregular e possuir tamanhos diferentes ($>5,000\mu\text{m}$; $0,2$ a $5,000\mu\text{m}$ e $<0,2\mu\text{m}$) macrocápsulas, microcápsulas e nanocápsulas respectivamente (ESTEVINHO *et al.*, 2013; SILVA *et al.*, 2014; BAKRY *et al.*, 2015; CASANOVA; SANTOS, 2015; PEREIRA *et al.*, 2018).

Para uma facilidade de compreensão, a designação de microcápsula se refere a uma substância ativa de interesse bem definida que é completamente envolta pelo material de parede. Já a microesfera, a substância ativa de interesse está dispersa, ocupando tanto o centro como a periferia da cápsula (ESTEVINHO *et al.*, 2013; SILVA *et al.*, 2014; BAKRY *et al.*, 2015 PEREIRA *et al.*, 2018; BAH *et al.*, 2020) (Figura 1).

FIGURA 1. Esquema de Microesfera e Microcápsula

Fonte: (BAH *et al.*, 2020)

Materiais de parede

A escolha dos materiais de parede é de extrema importância para eficácia do processo, bem como da estabilidade das microcápsulas formadas, devendo ser criteriosamente avaliados e estudados (SINKO; KOHN, 1993).

A eficiência do material de parede está relacionada a sua capacidade de manter e selar o núcleo dentro da cápsula, não ser reativo e proteger o mesmo de condições adversas. Assim como, não apresentar sabor desagradável quando utilizado em alimentos (SILVA *et al.*, 2014). Dessa forma, os materiais mais utilizados pela indústria são os carboidratos (amidos dextrinas, xaropes e inulina), celuloses (carboxi-metil-celulose), gomas (arábica, guar), lipídeos (cera, óleos e gorduras hidrogenadas) e proteínas (glúten, caseína, isolado proteico do soro de leite (WPI) e albumina) (SHAHIDI; HAN, 1993; SILVA *et al.*, 2014).

Os materiais de eleição em sua maioria para indústria de alimentos são os carboidratos e as gomas devido ao custo-benefício. Características físicas como higroscopicidade e solubilidade conferem estabilidade em matrizes alimentícias, tendo como exemplo a maltodextrina (VANISKI *et al.*, 2017). Além disso, na área de alimentos é importante avaliar as legislações alimentares que aprovam ou reprovam certos compostos a serem adicionados e o número máximo de cada ingrediente.

Principais técnicas

A microencapsulação pode ser realizada por diferentes técnicas, que podem ser físico-químicas, físicas ou químicas, com aplicabilidade na indústria alimentícia (Quadro 1).

QUADRO 1 – Principais métodos de microencapsulamento

Métodos físicos	<i>Spray Drying</i> , <i>Spray Chilling (Cooling)</i> , Revestimento Em Leito Fluidizado, Extrusão, Extrusão Centrífuga em múltiplos orifícios, Co-Cristalização e Liofilização.
Métodos químicos	Polimerização <i>In situ</i> (Emulsão), Polimerização Interfacial, Inclusão Molecular.
Métodos físico-químicos	Coacervação Simples, Coacervação Complexa, Lipossomas, Lipoesferas, Evaporação por Solvente.

Fonte: Favaro-Trindade *et al.*, (2008)

A escolha adequada da técnica depende do tipo de material de parede utilizado, tamanho da partícula, das propriedades químicas e físicas do núcleo e da parede. Além disso, as técnicas podem ser combinadas entre si como no caso do *spray drying* e da fluidização (SHAHIDI; HAN, 1993; ESTEVINHO *et al.*, 2013; SILVA *et al.*, 2014; BAKRY *et al.*, 2015; CASANOVA; SANTOS, 2015; PEREIRA *et al.*, 2018).

Spray drying

A secagem por aspersão é considerada a técnica mais comum e acessível quanto ao processo de microencapsulação, sendo utilizada na indústria alimentícia com frequência para encapsular óleos, sabores, lipídeos e pigmentos. É realizada através de uma dispersão da substância ativa junto com seus materiais de parede formando uma solução para posterior atomização. No interior do equipamento a solução é direcionada ao atomizador que irá produzir gotículas e em seguida dispersar as mesmas em uma câmara de ar quente. O material de parede é então solidificado com o seu núcleo, enquanto ocorre a evaporação do solvente, formando assim as microcápsulas (DESAI; PARK, 2005; FAVARO-TRINDADE *et al.*, 2008; KHAN, 2016; BAKRY *et al.*, 2015) (Figuras 2).

FIGURA 2. Esquema do Equipamento de *Spray Drying*

Fonte: (SAKIRAN *et al.*, 2018)

É importante ainda avaliar parâmetros do processamento para maximizar a obtenção de produtos estáveis durante o armazenamento e incorporação em matrizes alimentares, incluindo padrões de temperatura (entrada e saída), de vazão e pressão de ar (CAVALCANTE *et al.*, 2017), além de avaliar a temperatura vítrea dos compostos para não ter entupimento no bico de atomização. Na indústria laticinista a secagem por *spray drying* é amplamente difundida para a produção de ingredientes lácteos com custos de processamento comercialmente acessíveis, apresentando custo de evaporação dez vezes inferior ao processo de liofilização (SCHUCK, 2013).

Esta técnica tem sido aplicada com sucesso no encapsulamento de culturas probióticas, a exemplo do estudo realizado por Rosolen *et al.* (2019) ao microencapsular cultura simbiótica (*Lactococcus lactis* subsp. *lactis* R7) utilizando inulina e soro de leite. Os pesquisadores observaram que o soro associado a inulina como material de parede conferiu uma excelente proteção do *L. lactis* R7 durante o

processo de atomização permanecendo estável por seis meses em diferentes temperaturas de armazenamento. Além disso, as microcápsulas permaneceram estáveis em testes de estabilidade térmica e em simulações *in vitro* do trato gastrointestinal, assim como preservaram de forma favorável sua morfologia pelo período de 7 - 64 dias de armazenamento.

Spray chilling (cooling)

Semelhante ao método de *spray drying*, considerado como uma variação do mesmo. Consiste no aquecimento do material de parede e da substância ativa até o seu ponto de fusão com o solvente, fazendo com que o núcleo fique disperso pelo material de parede. Posteriormente, um jato de ar frio no atomizador é utilizado para solidificar o material de parede, permitindo dessa forma que o núcleo seja encapsulado com eficiência (SHAHIDI; HAN, 1993; GIBBS *et al.*, 1999; GOUIN 2004, DESAI; PARK, 2005).

A aplicação na área de alimentos do *spray chilling* tem sido usada na formulação de ingredientes e biocompostos como em estudo feito por Mazzocato e colaboradores (2019) ao realizar o microencapsulamento de vitamina B12, com intuito de melhorar sua estabilidade frente a fatores extrínsecos e intrínsecos. Os resultados se mostraram favoráveis, pois foi alcançado um rendimento expressivo (76 – 100%), estabilidade durante o armazenamento, preservação da cianocobalamina e liberação controlada ideal no intestino delgado.

Revestimento em leito fluidizado

Essa técnica considerada bastante eficiente na indústria de alimentos e farmacêutica devido seu processo permitir a mistura de ingredientes, granulação (unidade farmacológica sólida) e secagem no mesmo recipiente, fazendo com que haja uma redução do tempo de processamento se comparado a outras técnicas de encapsulação (SHAHIDI; HAN, 1993; GIBBS *et al.*, 1999; GOUIN 2004, DESAI; PARK, 2005; BAKRY *et al.*, 2015).

A metodologia consiste em suspender partículas em pó do núcleo com um fluxo de ar direcionado para cima que pode ser quente ou frio. Então, o material de parede (*coating*) em estado liquefeito é dispersado em uma câmara de ar quente e em um fluxo contracorrente para solidificar o material de parede em torno do núcleo (DEWETTINCK; HUYGHEBAERT, 1999; GIBBS *et al.*, 1999; GUIGNON *et al.*, 2002; GOUIN 2004; DESAI; PARK, 2005; BAKRY *et al.*, 2015).

Extrusão e extrusão em centrífuga

A extrusão é uma técnica de microencapsulação não tão usual quanto o *spray drying*, utilizada na indústria alimentícia para encapsulação de óleos (SUN-WATERHOUSE *et al.*, 2011; SOLIMAN *et al.*, 2013). Nessa técnica o núcleo dispersado em um carboidrato é forçado por uma cânula em direção a uma solução desidratante (álcool isopropílico) que enrijece o material de parede formando a cápsula (GIBBS *et al.*, 1999; GUIGNON *et al.*, 2002; GOUIN 2004; DESAI; PARK, 2005; BAKRY *et al.*, 2015) (Figura 3A)

Na extrusão em centrífuga a encapsulação é realizada em cilindro rotativo com alimentação por tubos concêntricos, nos quais o material de parede e o núcleo são injetados separadamente. Assim, enquanto o núcleo flui por uma tubulação central o material de parede flui através de uma tubulação externa, desse modo uma haste composta por núcleo e material de parede é formada. Em seguida, é realizada a rotação do cilindro permitindo com que sejam produzidas gotículas para formação das cápsulas através da quebra da haste formada anteriormente (MADENE *et al.*, 2006; BAKRY *et al.*, 2015) (Figura 3B)

FIGURA 3. Diagrama esquemático da extrusão (A) e extrusão em centrífuga (B)

Fonte: (BAKRY *et al.*, 2015)

A aplicação desta técnica na indústria alimentícia pode ser realizada na encapsulação de microrganismos. Seth *et al.*, (2017), encapsularam a cultura de bactérias *Streptococcus thermophilus* e *Lactobacillus bulgaricus*, utilizando o alginato como material de parede. Eles observaram que a microencapsulação por extrusão teve sucesso e que o material de parede aumentou a eficiência de sobrevivência bacteriana.

Co-cristalização

A co-cristalização é uma técnica que produz cápsulas de morfologia variada e consiste na cristalização simultânea da substância ativa com o material de parede que pode ser um açúcar ou um carboidrato (ARSHADY, 1993). É um processo de fácil execução em que o encapsulante sofre uma concentração em uma temperatura elevada que consegue impedir sua cristalização. Em seguida uma pequena porção do material do núcleo é adicionada e sofre forte agitação até sua total cristalização. Os aglomerados de microcápsulas são secos, peneirados e estocados em umidade controlada (Figuras 4) (ARSHADY, 1993; SHAHIDI; HAN, 1993).

FIGURA 4. Representação esquemática de uma co-cristalização

Fonte: Furushima *et al.*, 2018.

Na indústria de alimentos a co-cristalização é utilizada para encapsulação de ingredientes com a sacarose, como suco de frutas, óleos essenciais, manteiga de amendoim, açúcar mascavo, aromas e mel (ASTOLFI-FILHO *et al.*, 2005; SOLANKI *et al.*, 2013). Sua principal vantagem é econômica já que seu rendimento alcança até 90%. Porém, sua desvantagem está em sua metodologia que exige uma maior taxa de controle de nucleação, cristalização e equilíbrio térmico (SOLANKI *et al.*, 2013).

Foi utilizada para o encapsulamento de culturas *Bifidobacterium longun* RO23. No entanto, a utilização da lactose no lugar da sacarose não obteve efeitos desejáveis no encapsulamento, pois as culturas não atingiram a concentração desejada pelo aprisionamento nos poros da microcápsula, impedindo a precipitação de forma adequada das culturas aprisionadas na microcápsula o causou uma mortalidade elevada durante 19 horas de incubação por co-cristalização (CHAMPAGNE *et al.*, 1995).

Liofilização

A liofilização é uma técnica de eleição para produtos que são termicamente sensíveis e possui fácil execução sendo indicada para encapsulação de aromas (SHAHIDI; HAN, 1993). Na indústria de alimentos vem sendo empregada para culturas *starters* e encapsulamento de probióticos em matrizes distintas, demonstrando efeito positivo na sobrevida em condições mimetizadas das condições gastrointestinais (MALEKI *et al.*, 2020).

O processo consiste na desidratação do núcleo em uma câmara de sublimação a vácuo, que promove a remoção da água sem a necessidade de submeter o material a elevadas temperaturas (SILVA *et al.*, 2014). Em síntese, a substância ativa é adicionada a uma matriz com o material de parede inicialmente, sendo congelada na câmara de vácuo em baixa temperatura. Em seguida, a água presente é sublimada e o núcleo é então envolvido pelo encapsulante (DESAI; PARK, 2005; AUGUSTIN; HEMAR, 2009; BAKRY *et al.*, 2015).

Pelo fato da liofilização ser ideal para produtos com elevada sensibilidade, os pesquisadores Da Costa *et al.* (2019) a utilizaram na encapsulação do extrato da noz Tigre, com os encapsulantes inulina e amido modificado de noz Tigre na elaboração de uma bebida (Leite de noz Tigre). Os resultados revelaram que as microcápsulas aumentaram a estabilidade microbiológica da bebida e preveniram mudanças

estruturais e químicas do extrato aumentando a validade comercial do produto em 60 dias.

Polimerização *in situ*

A polimerização *in situ* é uma metodologia utilizada para microencapsulação de substâncias líquidas imiscíveis e de sólidos. Para realização dessa técnica é necessária uma emulsão sobre forte agitação ou sonicação. A fase dispersa é composta pelo núcleo, pela fase contínua (água) e pelos materiais de parede que serão os iniciadores da reação de polimerização. Como o polímero é insolúvel, a polimerização ocorre na superfície das gotículas da fase dispersa, assim formando a cápsula ao redor do núcleo (BAKRY *et al.*, 2015). Em alimentos tal técnica é apenas utilizada para produção de embalagens (CHUNG *et al.*, 2013), todavia é interessante conhecer seu funcionamento para inovações aplicadas em novas embalagens alimentícias.

Polimerização interfacial

Essa técnica possui uma ampla aplicabilidade com diferentes materiais de parede, sendo necessário duas soluções poliméricas diferentes para sua execução. Essas soluções são solubilizadas em líquidos distintos e quando um líquido é disperso sobre o outro, acarreta a reação das soluções entre si formando as microcápsulas na interface entre os dois líquidos poliméricos. Assim, a recuperação das microcápsulas é realizada por *spray drying*, evaporação, filtração ou outra metodologia de separação de fases (BAKRY *et al.*, 2015). Tal técnica não tem aplicabilidade na indústria de alimentos, porém tem boa eficácia e utilização em indústrias têxteis e farmacológica (HWANG *et al.*, 2006).

O microencapsulamento por polimerização interfacial é realizado também em pesticidas, como no trabalho de Kamble *et al.*, (2017). O trabalho destes pesquisadores teve o objetivo de microencapsular um piretróide (cipermetrina) com diferentes proporções (2,5:1; 3:1; 4:1 e 5:1) de material de parede (poliuretano e poliureia) avaliando qual proporção permitiria uma melhor liberação controlada da cipermetrina. Foi observada a liberação mais rápida do piretróide na proporção de 5:1, assim como um maior rendimento de liberação (94%).

Inclusão molecular

A inclusão molecular é mais aplicada em indústria farmacológica, bem como na incorporação de bioativos como licopeno (NUNES; MERCADANTE, 2007). A metodologia baseia-se a nível molecular pela utilização de moléculas de amido modificado denominadas de ciclodextrinas, que são produzidas através da ação da enzima ciclodextrina glicosiltransferase sobre o amido originando as α -ciclodextrinas. Essa molécula possui interior hidrofílico e uma cavidade hidrofóbica dentro dos anéis de oligossacarídeos que são utilizados para encapsular diferentes compostos (MADENE *et al.*, 2006).

A cavidade central da molécula é lipofílica oferecendo um ambiente hidrofóbico, enquanto sua superfície externa oferece um ambiente hidrofílico. Com isso, moléculas menos polares que água (maioria dos aromatizantes) e com tamanho menor que o

interior da molécula ciclodextrina podem se fixar no interior da molécula formando um complexo de inclusão (MADENE *et al.*, 2006) (Figura 5).

FIGURA 5. Modelo do complexo de inclusão da ciclodextrina

Fonte: El-kader; Hashish 2019).

A utilização da α -Ciclodextrina é justificada, pois quando complexada é mais estável que a não complexada, precipitando mais facilmente em soluções e sendo recuperadas facilmente por filtração (MADENE *et al.*, 2006). Sáenz-Garza *et al.*, (2013) realizaram um experimento, no qual um aldeído-C6 volátil (hexanal) com capacidade inibitória de crescimento de microrganismos foi encapsulado por inclusão molecular. Este experimento foi realizado com o intuito de observar a liberação controlada deste aldeído em maçãs inoculadas com fungos (*Penicillium expansum*) responsáveis pela deterioração acelerada de frutas. Os resultados demonstraram uma inibição no crescimento do *Penicillium expansum* em laboratório, preservando a aparência e as características microbiológicas das maçãs.

Coacervação simples e complexa

A técnica de coacervação tem como princípio a separação de fases. Para isso, é realizada uma diluição do material do núcleo com o material de parede na presença de um solvente como o etanol por meio de ação eletrolítica com a adição de sulfato de sódio ou por variação térmica. Essas condições produzem interações intermoleculares que promovem a aglomeração e solidificação do material de parede ao redor do núcleo. Então, após secagem as microcápsulas são obtidas (MADENE *et al.*, 2006; BAKRY *et al.*, 2015).

A principal diferença entre a coacervação simples (Figura 6) e complexa é que na simples utiliza-se apenas um tipo de material de parede, enquanto que na complexa estão envolvidos mais de um tipo de material com cargas opostas (MADENE *et al.*, 2006; SILVA *et al.*, 2014; BAKRY *et al.*, 2015).

FIGURA 6. Método de Coacervação

Fonte: Jayanudin *et al.*,(2016)

Usado na indústria de alimentos com baixa frequência porque ocorre em faixas reduzidas de pH, concentração de colóides e/ou eletrólitos. Porém, é uma tecnologia promissora devido à elevada eficácia de encapsulação, fácil execução, acessível e apresenta bons resultados quanto a liberação controlada do núcleo por esforço mecânico, temperatura ou alterações de pH, incluindo o microencapsulamento de probióticos (SILVA *et al.*, 2015). Segundo Timilsena *et al.* (2019) a coacervação tem sua utilização em alimentos no processo de encapsulação de ingredientes sensíveis como o ômega-3 e em compostos bioativos.

Lipossomas

Essa técnica envolve o encapsulamento de substâncias por membranas de fosfolipídios em formato de vesícula similar a membrana fosfolipídica das células (DESAI; PARK, 2005). Seu princípio baseia-se no envolvimento da substância de interesse em meio aquoso por uma bicamada lipídica de forma espontânea, originando microcápsulas de tamanhos variados dependendo da sua metodologia de execução (SEGUIN *et al.*, 2013). Os lipossomas são classificados em quatro tipos distintos de acordo com seu tamanho e método de execução (Figura 7). Os lipossomas têm sido utilizados pela indústria alimentícia no encapsulamento de vitaminas A, E, C e D em lácteos (KARIMI *et al.*, 2015).

FIGURA 7. Representação esquemática dos diferentes tipos de lipossomas

Fonte: Santamaría *et al.*,(2016).

Lipoesferas e Evaporação por Solvente

As lipoesferas são micropartículas sólidas compostas por uma matriz gordurosa, sólida e hidrofóbica na qual a substância de interesse está diluída. Pode ser originada por fusão, evaporação de solvente ou dupla emulsão (CORTESI *et al.*, 2002) (Figura 8)

FIGURA 8. Representação esquemática da produção de Lipoesferas

Fonte: Cortesi *et al.*, (2002).

Na fusão, uma mistura lipídica sofre fusão e depois é emulsionada em fase aquosa contendo um material de parede. Em seguida a emulsão é aquecida a mesma temperatura de fusão da fase lipídica e resfriada rapidamente em água fria sem interromper a agitação até a formação das lipoesferas. Por fim, são realizadas uma lavagem e uma filtração para obtenção apenas das lipoesferas (BARBOSA *et al.*, 2002; CORTESI *et al.*, 2002; ESPOSITO *et al.*, 2018).

A evaporação por solvente ocorre pela dissolução do núcleo por um solvente orgânico como o etil acetato, para que, em seguida essa solução seja emulsionada em uma fase aquosa contendo o material de parede. A emulsão é homogeneizada por 6-8h em ambiente controlado para melhor evaporação do solvente. Com o aumento da fase aquosa é realizada uma filtração para obtenção das lipoesferas (CORTESI *et al.*, 2002; IQBAL *et al.*, 2015).

Já a dupla emulsão é realizada uma solubilização da substância de interesse, para sua posterior encapsulação em uma emulsão dupla de fase aquosa (água em óleo em água); ao mesmo tempo um estabilizador é adicionado para evitar a perda da substância de interesse para a fase externa durante a evaporação do solvente. Então, uma solução do componente de interesse é emulsionada em uma fusão lipídica. Esta primeira emulsão é estabilizada através da adição dos materiais de parede solubilizados em fase aquosa. Em seguida a emulsão primária é dispersada em uma fase aquosa a 70 °C contendo 0,25% de Tween 80, ou monoesterato de glicerol (PGMS), ou acetato de polivinila (PVA). A emulsão dupla é agitada a 300 rpm e depois de 3-5h as micropartículas são isoladas por filtração (WANG; SCHWENDEMAN, 1999; CORTESI *et al.*, 2002; ABBASI; AZARI, 2011; SOUTO; SEVERINO; SANTANA, 2012; IQBAL *et al.*, 2015).

A lipoesfera foi utilizada para redução do sabor amargo e hidrofobicidade de hidrolisados de caseína pela ação da papaína. Além disso, as microcápsulas se mantiveram estáveis por 60 dias (BARBOSA *et al.*, 2002). Sua aplicabilidade na

indústria alimentícia está relacionada no microencapsulamento de compostos fenólicos (EMAMI *et al.*, 2016).

Em lácteos esta metodologia de evaporação foi utilizada por Esmaili *et al.* (2011) no microencapsulamento de um antioxidante natural polifenólico chamando Curcumina. Neste experimento, os pesquisadores utilizaram a beta caseína de leite de camela como o material de parede. Desse modo, obtiveram resultados expressivos em relação a liberação controlada da curcumina, aumentando a sua biodisponibilidade e atividade antioxidante. Gupta *et al.* (2014), utilizaram a evaporação por solvente no microencapsulamento de ferro para a fortificação de leite. Para isso, os pesquisadores utilizaram uma mistura de materiais de parede contendo: goma arábica, maltodextrina e amido modificado, obtendo ótimos resultados.

Mecanismos de liberação

Para que se tenha uma efetividade precisa do composto de interesse é necessário que o mesmo resista a variações do meio e consiga ser liberado com precisão, rapidez e equilíbrio no local de efeito desejado. Isso envolve diferentes mecanismos de liberação da microcápsula, que podem ser realizados por biodegradação, variação de pH, mudança de temperatura, ação mecânica e difusão (SILVA *et al.*, 2014; RODRÍGUEZ *et al.*, 2016).

Nesse contexto, a difusão é a técnica de escolha para melhores efeitos de uma liberação controlada do princípio ativo, pois libera o material ativo na matriz desejada e pode ser analisado por meio da cinética de liberação através de modelos cinéticos (PEREIRA *et al.*, 2018).

Microencapsulação em produtos lácteos

O microencapsulamento de uma variedade de ingredientes alimentares vem sendo estudado para formação de compostos mais estáveis e de melhor absorção. Dentre eles destacam-se os aromatizantes (adoçantes, condimentos, especiarias, óleos essenciais), lipídios (óleos vegetais, gordura láctea), aditivos alimentares (conservantes, pigmentos), sais minerais (sais de cálcio e ferro), vitaminas e compostos bioativos como forma de agregar valor aos produtos. Em especial podemos citar os óleos ômega-3, os fitocompostos (oriundos de plantas) e as bactérias probióticas em decorrência dos benefícios à promoção da saúde (AUGUSTIN; HEMAR, 2009).

Dentre os estudos mais recentes publicados em matrizes lácteas, entre os anos de 2018 a abril de 2020, a partir de levantamento bibliográfico, a maioria (775) foi realizada a partir do microencapsulamento de compostos fenólicos para incorporação como ingredientes funcionais, seguidos pelo microencapsulamento de compostos bioativos (690), probióticos (491), prebióticos (283) e incorporação de óleos essenciais (6) (Figura 10).

FIGURA 9. Gráfico revisional das principais substâncias microencapsuladas.

Fonte: Arquivo pessoal baseado em dados da *Science Direct*

Na figura 9 é possível inferir que os estudos de compostos microencapsulados adicionados em indústrias de alimentos é um campo interessante para inovações e difusão em novos nichos e mercados consumidores. Na área de matrizes lácteas os estudos são relativamente recentes. No quadro 2 são descritos os estudos mais recentes utilizando-se a microencapsulação em diferentes produtos lácteos.

QUADRO 2 – Estudos com substâncias microencapsuladas em produtos lácteos.

Produto lácteo	Princípio encapsulado	Resultado	Referência
iogurte	Encapsulamento de quitooligossacarídeo em nanopartículas como potencial prebiótico	Atividade prebiótica de nanocápsulas de até 100 nm mostraram-se mais estáveis e com maior aceitação sensorial comparando com as microcápsulas de 850 µm, na incorporação ao iogurte.	Ismail <i>et al.</i> (2020)
iogurte	Os sistemas lipossômicos de compostos fenólicos de cereja ácida por secagem em <i>spray drying</i>	iogurte de soro de leite com pó lipossômico carregado com SCE. Dispersão lipossômica aquosa e seco por pulverização não observou degradação dos compostos fenólicos, possuindo estabilidade no iogurte durante o armazenamento de 21 dias. Além disso, observou-se um aumento de sólidos totais e redução da sinérese.	Akgün <i>et al.</i> (2020)
iogurte	Emulsão de óleo de colza e pectina com secagem por atomização de extrato	Aceitação sensorial do produto elaborado com o extrato atomizado	De Moura <i>et al.</i> (2019)

	de hibisco, rico em antocianina		
Leite aromatizado fermentado	Microencapsulamento de canthaxantina a partir de emulsão múltipla em alginato e pectina de alta metoxilação (HMP) em liposfera	A emulsão de Alg-HMP mostrou-se um material de proteção do material incorporado, contra condição adversas da matriz estudada, conferindo ação antioxidante, melhorando cor e viscosidade.	Arab <i>et al.</i> (2019)
Kefir	Liofilização de extrato de casca de uva	Extratos com ação antioxidante elaborados com posterior liofilização observou-se significativas perdas de compostos antocianínicos ao longo do armazenamento do produto	Montibeller <i>et al.</i> (2018)
Leite em pó	Encapsulamento por meio de <i>spray drying</i> de cúrcuma	O encapsulamento no leite em pó desnatado melhorou a estabilidade da curcumina durante o armazenamento.	Neves <i>et al.</i> (2019)
Iogurte	Microencapsulamento de extrato de maqui semi-purificado por duas técnicas o <i>spray-drying</i> e liofilização usando maltodextrina e WPC	Não teve diferença significativa entre os dois métodos encapsulantes, ambos se mostraram eficazes na estabilidade das antocianinas de maqui considerando como um novo ingrediente ao iogurte.	Fredes <i>et al.</i> (2018)
Iogurte caprino	Iogurte caprino probiótico (<i>Bifidobacterium animalis</i> subsp. <i>lactis</i> BI-07) acrescido de suco de jamelão microencapsulado por <i>spray drying</i> usando goma arábica.	Observou-se alta eficácia do processo de microencapsulamento e elevação do prazo de validade do produto elaborado.	Bezerra <i>et al.</i> , (2015)
Iogurtes	Microencapsulamento por homogeneização de alta pressão de duas bactérias probióticas <i>Lactobacillus paracasei</i> A13 e <i>Lactobacillus salivarius</i> subsp. <i>salivarius</i> CET 4063, usando alginato de sódio e óleo vegetal.	Os iogurtes microencapsulados com probióticos obtiveram redução do fenômeno de hiperacidez, possibilitando uma maior viabilidade das culturas, maior resistência a processos mimetizados de digestão <i>in vitro</i> e propriedades sensoriais aprimoradas.	Patrignani <i>et al.</i> (2017)
Queijo <i>brined</i>	Microencapsulamento de <i>Lactobacillus rhamnosus</i> usando isomaltooligosacarídeos e concentrado de proteínas do soro de leite (1:4) em água deionizada.	A técnica mostrou-se eficaz na proteção das bactérias no queijo <i>brined</i> tornando viável durante o armazenamento, além disso as propriedades sensoriais dos queijos não foram afetadas pela adição de bactérias probióticas microencapsuladas.	Liu <i>et al.</i> (2017)
Queijo cheddar	Fortificação de sais de ferro microencapsulados	O sulfato ferroso microencapsulado foi retido com sucesso no queijo	Arce e Ustunol,

	com camada de óleo de palma hidrogenado.	Cheddar, não demonstrando alterações físico-químicas, bem como não elevou a oxidação lipídica, porém sensorialmente observou-se tal atributo, sendo um aspecto negativo ao incorporar 30% Fe RDA, 4,5 mg de Fe / 28 g, sugerindo os autores a importância do tamanho da partícula para a interferência sensorial.	(2018)
Queijo Cottage	Microencapsulamento em alginato de extratos aquosos de <i>Foeniculum vulgare</i> Mill. (erva-doce) e <i>Matricaria recutita</i> L. (camomila) foram adicionados para obter uma bioatividade prolongada.	Ao incorporar no queijo cottage as amostras microencapsuladas teve a apresentação de maior atividade antioxidante após o sétimo dia.	Caleja <i>et al.</i> (2016)
Leite Fermentado	Microencapsulamento de ginsenosídeos com polímeros de soro do leite (PWP) pelo método de extrusão.	Os ginsenosídeos apresentaram encapsulamento com rendimento satisfatório. Foi observada uma melhora no sabor amargo dos ginsenosídeos, um aumento no teor proteico e uma estabilidade frente a acidez do leite fermentado e estomacal.	Wang <i>et al.</i> (2017)
Iogurte	Microencapsulamento de probióticos por dupla emulsão com solvente Tween 80 (0,02%)	Foi observado quanto aos aspectos físico químicos do iogurte com culturas microencapsuladas em comparação às que não foram: redução do pH, aumento do teor de lactose, acidez titulável e viscosidade. Em relação a CBT, o iogurte com probióticos sem microencapsulamento apresentou maior contagem.	Afzaal <i>et al.</i> (2018)
Iogurte	Encapsulamento de bifidobactérias em microcápsulas de proteínas do soro (WPI) por <i>spray drying</i>	As microcápsulas com culturas ativadas obtiveram maior rendimento de atividade bacteriana. Além disso, as culturas do tipo BB R070 apresentaram maior viabilidade em 28 dias de estocagem e pH reduzido.	Picot e Lacroix, (2004)
Leite	Encapsulamento de ferro em lipossomas de Tween 80 e PGMS por evaporação de éster	Ambos os métodos de microencapsulamento demonstraram um aproveitamento satisfatório no rendimento, inclusive evitando sabor residual metálico. A esterificação foi considerada como de baixo custo, rápida e prática na	Abbasi e Azari, (2011)

		fortificação de leite pasteurizado.	
Bebida Láctea Fermentada	Microencapsulamento de antocianina do repolho roxo por <i>spray drying</i> com inulina, maltodextrina e goma arábica.	O microencapsulamento com maltodextrina obteve o melhor rendimento e o de inulina o pior. As microcápsulas interferiram de forma irrisória na cor da bebida láctea, não sendo percebidas pelo olho humano.	Alvarez <i>et al.</i> (2019)
Aroma de Queijo Suíço	Encapsulamento do aroma da <i>Propionibacterium freudenreichii</i> por <i>spray drying</i>	Foi observada uma maior retenção de ácido acético e propiônico com temperatura de entrada de 175 °C e 50% de amido modificado. Além disso foi observada uma diminuição na umidade nas micropartículas com a concentração de 50% de amido modificado.	Da Costa <i>et al.</i> (2015)
Frozen logurte	Microencapsulamento de <i>Bifidobacterium BB-12</i> por <i>spray drying</i>	A contagem de <i>BB-12</i> permaneceu praticamente inalterada nas amostras microencapsuladas em comparação aos que não foram. logurtes com amostras microencapsuladas apresentaram maior viscosidade e quando encapsulada com inulina a área de histerese foi maior.	Pinto <i>et al.</i> (2012)

Fonte: Arquivo pessoal baseado em dados da *Science Direct*

Os estudos em questão demonstram que o microencapsulamento é uma técnica promissora para a formulação de novos produtos, todavia, como cada ingrediente alimentício apresenta características químicas, físicas e fisiológicas distintas é essencial que mais estudos avaliem as variáveis ao incorporar em matrizes, como parâmetros de tamanhos das partículas formadas, a forma de liberação, interferência das características físico-químicas das matrizes complexas e o modo como essa irá incorporar os compostos adicionados (AUGUSTIN; HEMAR, 2009).

CONSIDERAÇÕES FINAIS

As técnicas de microencapsulamento são diversas e estão em expansão, sua aplicabilidade na indústria de alimentos é grande. Em relação ao setor lácteo, o microencapsulamento tem se mostrado promissor, entretanto, a sua exploração deve ser ampliada, assim como estudos sobre as formas de liberação de cápsulas *in vivo*.

Além disso, estudos sobre a redução dos custos para realização do microencapsulamento na área alimentícia devem ser elaborados, pois em muitas ocasiões uma técnica não é realizada apenas por ter custo elevado, prejudicando a indústria que deixa de elaborar novos produtos, o consumidor que é impedido de consumir um produto de melhor qualidade e pôr fim a pesquisa, já que a mesma fica limitada em utilizar sempre os mesmos recursos.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem ao Programa de Pós-graduação em Higiene Veterinária e Processamento Tecnológico de Produtos de Origem Animal (PGHIGVET) da Universidade Federal Fluminense (UFF), ao Laboratório Universitário Rodolpho Albino, LURA/PROEX- da Universidade Federal Fluminense (UFF) e à Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES).

REFERÊNCIAS

- ABBASI, S.; AZARI, S. Efficiency of novel iron microencapsulation techniques: fortification of milk. **International Journal of Food Science and Technology**, v. 46, p. 1927 – 1933, 2011. DOI: <http://doi.org/10.1111/j.1365-2621.2011.02703.x>
- AFZAAL, M.; ZAHoor, T.; SADIQ, F. A.; AHMAD, F.; KHAN, Q. F.; YASMEEN, A.; IMRAN, M.; SAKANDAR, H. A. Effect of encapsulation on the viability of probiotics in yoghurt. **Progress in Nutrition**, v. 20, n. 2, p. 44 – 52, 2018. DOI: <http://doi.org/10.23751/pn.v20i2-S.5331>
- ALVAREZ, C. E.; CONTRERAS, J. L.; RODRÍGUEZ, D. E.; RONDÓN, D. J.; MUÑOZ, W. B.; MEZQUITA, P. C. Application of microencapsulated anthocyanin extracted from purple cabbage in fermented milk drinks. **Acta Agronómica**, v. 68, n. 2, p. 134 – 141, 2019. DOI: <https://doi.org/10.15446/acag.v68n2.79078>
- ARAB, M.; RAZAVI, S. H.; HOSSEINI, S. M.; NAYEBZADEH, K.; MEYBODI, N. M.; KHANNIRI, E.; MARDI, P.; MORTAZAVIAN, A. M. Production and characterization of functional flavored milk and flavored fermented milk using microencapsulated canthaxanthin. **LWT - Food Science and Technology**, v. 114, p. 1 – 6, 2019. DOI: <http://doi.org/10.1016/j.lwt.2019.108373>
- ARCE, A., USTUNOL, Z. Effect of microencapsulated ferrous sulfate particle size on Cheddar cheese composition and quality. **Journal of Dairy Science**, v.101, n. 8, p. 6814–6822, 2018. DOI: <http://doi.org/10.3168/jds.2017-13952>
- ARSHADY, R. Microcapsules for food. **Journal of Microencapsulation**, v. 10, n. 4, p. 413 – 435, 1993. DOI: <http://doi.org/10.3109/02652049309015320>.
- AKGÜN, D., GÜLTEKIN-ÖZGÜVEN, M., YÜCETEPE, A., ALTIN, G., GIBIS, M., WEISS, J., & ÖZÇELİK, B. Stirred-type yoghurt incorporated with sour cherry extract in chitosan-coated liposomes. **Food Hydrocolloids**, 2020. DOI: <http://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2019.105532>
- ASTOLFI-FILHO, Z.; SOUZA, A. C.; REIPERT, E. C. D.; TELIS, V. R. N. Encapsulação de suco de maracujá por co-cristalização com sacarose: cinética de cristalização e propriedades físicas. **Food Science and Technology**, v. 22, n. 4, p. 795 – 801, 2005. DOI: <http://doi.org/10.1590/S0101-20612005000400027>

AUGUSTIN, M. A.; HEMAR, Y. Nano-and-micro-structured assemblies for encapsulation of food ingredients. **Chemical Society Reviews**, v. 38, n. 4, p. 902 – 912, 2009. DOI: <http://doi.org/10.1039/b801739p>

BAH, M. G.; BILAL, H. M.; WANG, J. Fabrication and application of complex microcapsules: a review. **Soft Matter**, v. 16, n. 3, p. 570 – 590, 2020. DOI: <http://doi.org/10.1039/c9sm01634a>

BAKRY, A. M.; ABBAS, S.; ALI, B.; MAJEED, H.; ABOUELWAF, M. Y.; MOUSA, A.; LIANG, L. Microencapsulation of oils: a comprehensive review of benefits, techniques, and applications. **Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety**, v. 15, n. 1, p. 143 – 182, 2015. DOI: <http://doi.org/10.1111/1541-4337.12179>

BARBOSA, C. M. S.; MORAIS, H. A.; LOPES, D. C. F.; MANSUR, H. S.; OLIVEIRA, M. C.; SILVESTRE, M. P. C. Microencapsulamento de hidrolisados de caseína em lipoesferas para mascarar o sabor amargo: avaliação físico-química e sensorial. **Brazilian Journal of Pharmaceutical Sciences**, v. 38, n. 3, p. 361 – 370, 2002. DOI: <http://doi.org/10.1590/S1516-93322002000300012>

BEZERRA, M., ARAUJO, A., SANTOS, K., CORREIA, R. Caprine frozen yoghurt produced with fresh and spray dried jambolan fruit pulp (*Eugenia jambolana* Lam) and *Bifidobacterium animalis* subsp. *lactis* BI-07. **LWT - Food Science and Technology**, v. 62, n. 2, p. 1099–1104, 2015. DOI: <http://doi.org/10.1016/j.lwt.2015.01.049>

CALEJA, C., RIBEIRO, A., BARROS, L., BARREIRA, J. C. M., ANTONIO, A. L., BEATRIZ P.P. OLIVEIRA, M., BARREIRO, M.F., FERREIRA, I. C. F. R. Cottage cheeses functionalized with fennel and chamomile extracts: Comparative performance between free and microencapsulated forms. **Food Chemistry**, 199, 720–726, 2016. DOI: <http://doi.org/10.1016/j.foodchem.2015.12.085>

CASANOVA, F.; SANTOS, L. Encapsulation of cosmetic active ingredients for topical application – a review. **Journal of Microencapsulation**, v. 33, p. 1 – 17, 2015. DOI: <http://doi.org/10.3109/02652048.2015.1115900>

CAVALCANTE, C. E. B.; RODRIGUES, S.; AFONSO, M. R. A.; COSTA, J. M. C. Avaliação dos parâmetros de secagem da polpa de graviola em pó obtida por secagem em spray dryer. **Brazilian Journal of Food Technology**, v. 20, p. 1 – 8, 2017. DOI: <http://doi.org/10.1590/1981-6723.1516>

CHAMPAGNE, C. P.; RAYMOND, Y.; MONDOU, F.; JULIEN, J-P. Studies on the encapsulation of *Bifidobacterium longum* cultures by spray-coating or cocrystallization. **Bifidobacteria and Microflora**, v. 14, n. 1, p. 7 – 14, 1995. DOI: https://doi.org/10.12938/bifidus1982.14.1_7

CHUNG, S. K.; SEO, J. Y.; LIM J. H.; PARK, H. H.; YEA, M. J.; PARK, H. J. Microencapsulation of essential oil for insect repellent in food packaging system. **Journal of Food Science**, v. 78, n. 5, p. 709 – 714, 2013. DOI: <http://doi.org/10.1111/1750-3841.12111>

CORTESI, R.; ESPOSITO, E.; LUCA, G.; NASTRUZZI, C. Production of lipospheres as carriers for bioactive compounds. **Biomaterials**, v. 23, p. 2283 – 2294, 2002. DOI: [http://doi.org/10.1016/S0142-9612\(01\)00362-3](http://doi.org/10.1016/S0142-9612(01)00362-3)

DA COSTA, J. M. G.; SILVA, E. K.; HIJO, A. A. C. T.; AZEVEDO, V. M.; MALTA, M. R.; ALVES, J. G. L. F.; BORGES, S. V. Microencapsulation of Swiss cheese bioaroma by spray-drying: Process optimization and characterization of particles. **Powder Technology**, v. 274, p. 296 – 304, 2015. DOI: <http://doi.org/10.1016/j.powtec.2015.01.037>

DA COSTA NETO, J. J. G.; GOMES, T. L. M.; JUSTO, T. F.; PEREIRA, K. S.; AMARAL, P. F. F.; LEÃO, M. H. M. R.; SANT'ANA, G. C. F. Microencapsulation of tiger nut milk by lyophilization: Morphological characteristics, shelf life and microbiological stability. **Food Chemistry**, v. 284, p. 133 – 139, 2019. DOI: <http://doi.org/10.1016/j.foodchem.2019.01.110>

DE MOURA, S. C. S. R.; SCHETTINI, G. N.; GARCIA, A. O.; GALLINA, D. A.; ALVIM, I. D.; HUBINGER, M. D. Stability of Hibiscus Extract Encapsulated by Ionic Gelation Incorporated in Yogurt. **Food and Bioprocess Technology**. 2019. DOI: <http://doi.org/10.1007/s11947-019->

DESAI, K. G. H.; PARK, H. J. Recent developments in microencapsulation of food ingredients. **Drying Technology**, v. 93, n. 7, p. 1361-1394, 2005. DOI: <http://doi.org/10.1081/DRT-200063478>

DEWETTINCK, K.; HUYGHEBAERT, A. Fluidized bed coating in food technology, **Trends in Food Science & Technology**, v. 10, n. 4–5, p. 163–168, 1999. DOI: [http://doi.org/10.1016/S0924-2244\(99\)00041-2](http://doi.org/10.1016/S0924-2244(99)00041-2)

DHAKAL, S. P.; HE, J. Microencapsulation of Vitamins in Food Applications to Prevent Losses in Processing and Storage: A Review. **Food Research International**, v. 137, p.109326, 2020. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2020.109326>

EL-KADER, A. A.; HASHISH, H. A. Encapsulation techniques of food bioproduct. **Egyptian Journal of Chemistry**. p. 1 – 29, 2019. DOI: [10.21608/ejchem.2019.16269.1993](https://doi.org/10.21608/ejchem.2019.16269.1993)

EMAMI, S.; AZADMARD-DAMIRCHI, S.; PEIGHAMBARDoust, S. H.; VALIZADEH, H.; HESARI, J. Liposomes as carrier vehicles for functional compounds in food sector.

Journal of Experimental Nanoscience, v. 11, n. 9, p. 737 – 759, 2016. DOI: <http://dx.doi.org/10.1080/17458080.2016.1148273>

ESMAILI, M.; GHAFFARI, S. M.; MOOSAVI-MOVAHEDI, Z.; ATRI, M. S.; SHARIFIZADEH, A.; FARHADI, M.; et al.; Beta casein-micelle as a nano vehicle for solubility enhancement of curcumin; food industry application. **LWT - Food Science and Technology**, v. 44, p. 2166 – 2172, 2011. DOI: <http://doi.org/10.1016/j.lwt.2011.05.023>

ESPOSITO, E.; SGUIZZATO, M.; BORIES, C.; NASTRUZZI, C.; CORTESI, R. Production and characterization of a clotrimazole liposphere gel for candidiasis treatment. **Polymers**, v. 10, p. 1 – 16, 2018. DOI: <http://doi.org/10.3390/polym10020160>

ESTEVINHO, B. N.; ROCHA, F.; SANTOS, L.; ALVES, A. Microencapsulation with chitosan by spray drying for industry applications: a review. **Trends in Food Science & Technology**, v. 31, n. 2, p. 138 – 155, 2013. DOI: <http://doi.org/10.1016/j.tifs.2013.04.001>

FAVARO-TRINDADE, C.S.; PINHO, S. C.; ROCHA, G. A. Revisão: Microencapsulação de ingredientes alimentícios. **Brazilian Journal of Food Technology**, v. 11, n. 2, p. 103 – 112, 2008. Disponível em: <http://www.ital.sp.gov.br/bj/artigos/bjft/2008/v11n24407.pdf> >.

FREDES, C., BECERRA, C., PARADA, J., ROBERT, P. (2018). The Microencapsulation of Maqui (*Aristotelia chilensis* (Mol.) Stuntz) Juice by Spray-Drying and Freeze-Drying Produces Powders with Similar Anthocyanin Stability and Bioaccessibility. **Molecules**, v. 23, n.5, 2018. DOI: <http://doi.org/10.3390/molecules23051227>

FURUSHIMA, Y.; SCHICK, C.; TODA, A. Crystallization, recrystallization, and melting of polymer crystals on heating and cooling examined with fast scanning calorimetry. **Polymer Crystallization**, v. 1 n. 2, p. 1 – 10, 2018. DOI <https://doi.org/10.1002/pcr2.10005>

GIBBS, B. F.; KERMASHA, S.; ALLI, I.; MULLIGAN, C. N. Encapsulation in the food industry: a review, **International Journal of Food Sciences and Nutrition**, v. 50, n. 3, p. 213 – 224, 1999. DOI: <http://doi.org/10.1080/096374899101256>

GOUIN, S. Microencapsulation: industrial appraisal of existing technologies and trends. **Trends in Food Science & Technology**, v. 15, p. 330 – 347, 2004. DOI: <http://doi.org/10.1016/j.tifs.2003.10.005>

GUIGNON, B.; DUQUENOY, A.; DUMOULIN, E. Fluid Bed Encapsulation of Particles: Principles and Practice. **Drying Technology**, v. 20, n. 2, p. 419 – 447, 2002. DOI: <http://doi.org/10.1081/DRT-120002550>

GUPTA, C.; CHAWLA, P.; ARORA, S.; TOMAR, S. K.; SINGH, A. K. Iron microencapsulation with blend of gum arabic, maltodextrin and modified starch using

modified solvent evaporation method e Milk fortification. **Food Hydrocolloids**, v. 43, p. 622 – 628, 2015. DOI: <http://dx.doi.org/10.1016/j.foodhyd.2014.07.021>

HWANG, J. S.; KIM, J. N.; WEE, Y. J.; YUN, J. S.; JANG, H. G.; KIM, S. H.; RYU, H. W. 2006. Preparation and characterization of melamine-formaldehyde resin microcapsules containing fragrant oil. **Biotechnology and Bioprocess Engineering**, v. 11, n. 4, p. 332 – 336, 2006. DOI: <http://doi.org/10.1007/BF03026249>

IQBAL, M.; ZAFAR, N.; FESSI, H.; ELAISSARI, A. Double emulsion solvent evaporation techniques used for drug encapsulation. **International Journal of Pharmaceutics**, v. 496, p. 173 – 190, 2015. DOI: <http://doi.org/10.1016/j.ijpharm.2015.10.057>

ISMAIL, S. A., EL-SAYED, H. S., & FAYED, B. Production of prebiotic chitooligosaccharide and its nano/microencapsulation for the production of functional yoghurt. **Carbohydrate Polymers**, 2020. DOI: <http://doi.org/10.1016/j.carbpol.2020.115941>

JAYANUDIN.; ROCHMADI.; FAHRURROZI.; M.; WIRAWAN, S. K. Microencapsulation Technology of Ginger Oleoresin with Chitosan as Wall Material: A review. **Journal of Applied Pharmaceutical Science**, v. 6, n. 12, p. 209 – 223, 2016. DOI: <http://doi.org/10.7324/JAPS.2016.601232>

KAMBLE, V.; SAWANT, M.; MAHANWAR, P. Microencapsulation of Cypermethrin via interfacial polymerization for controlled release application. **Materials Today: Proceedings**, v. 5, p. 22621 – 22629, 2018. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.matpr.2018.06.636>

KARIMI, N.; GHANBARZADEH, B.; HAMISHEHKAR, H.; KEIVANI, F.; PEZESHKI, A.; GHOLIAN, M. M. Phytosome and Liposome: The beneficial encapsulation systems in drug delivery and food application. **Applied Food Biotechnology**, v. 2, n. 3, p. 17 – 27, 2015. DOI: <https://doi.org/10.22037/afb.v2i3.8832>

KHAN, M. I. Stabilization of betalains: a review. **Food Chemistry**, v. 197, p. 1280–1285, 2016. DOI: <http://doi.org/10.1016/j.foodchem.2015.11.043>

LIU, L., CHEN, P., ZHAO, W., LI, X., WANG, H., QU, X. Effect of microencapsulation with the Maillard reaction products of whey proteins and isomaltooligosaccharide on the survival rate of *Lactobacillus rhamnosus* in white brined cheese. **Food Control**, v. 79, p. 44–49, 2017. DOI: <http://doi.org/10.1016/j.foodcont.2017.03.016>

MADENE, A.; JACQUOT, M.; SCHER, J.; DESOBRY, S. Flavour encapsulation and controlled release: a review. **International Journal of Food Science & Technology**, v. 41, n. 1, p. 1-21, 2006. DOI: <http://doi.org/10.1111/j.1365-2621.2005.00980.x>

MALEKI, O., KHALEDABAD, M. A., AMIRI, S., ASL, A. K., MAKOUIE, S. Microencapsulation of *Lactobacillus rhamnosus* ATCC 7469 in whey protein isolate crystalline nanocellulose-inulin composite enhanced gastrointestinal survivability. **LWT - Food Science and Technology**, 2020. DOI: <http://doi.org/10.1016/j.lwt.2020.109224>

MAZZOCATO, M. C.; THOMAZINI, M.; FAVARO-TRINDADE, C. S. Improving stability of vitamin B12 (Cyanocobalamin) using microencapsulation by spray chilling technique. **Food Research International**, v. 126, p. 1 – 11, 2019. DOI: <http://doi.org/10.1016/j.foodres.2019.108663>

MONTIBELLER, M. J., DE LIMA MONTEIRO, P., TUPUNA-YEROVI, D. S., RIOS, A. DE O., MANFROI, V. Stability assessment of anthocyanins obtained from skin grape applied in kefir and carbonated water as a natural colorant. **Journal of Food Processing and Preservation**, v.42, n.8, 2018. DOI: <http://doi.org/10.1111/jfpp.13698>

NEVES, M. I. L., DESOBRY-BANON, S., PERRONE, I. T., DESOBRY, S., PETIT, J. Encapsulation of curcumin in milk powders by spray-drying: Physicochemistry, rehydration properties, and stability during storage. **Powder Technology**. v. 345, p. 601–607, 2019. DOI: <http://doi.org/10.1016/j.powtec.2019.01.049>.

NUNES, I.L., MERCADANTE, A.Z. Encapsulation of lycopene using spray-drying and molecular inclusion processes. **Brazilian Archives of Biology and Technology**, v.50, n5, p. 893-900, 2007. DOI: <https://doi.org/10.1590/S1516-89132007000500018>

PATRIGNANI, F., SIROLI, L., SERRAZANETTI, D. I., BRASCHI, G., BETORET, E., REINHEIMER, J. A., LANCIOTTI, R. Microencapsulation of functional strains by high pressure homogenization for a potential use in fermented milk. **Food Research International**, v. 97, p. 250–257, 2017. DOI: <http://doi.org/10.1016/j.foodres.2017.04.020>

PEREIRA, K. C.; FERREIRA, D. C. M.; ALVARENGA, G. F.; PEREIRA, M. S. S.; BARCELOS, M. C. S.; DA COSTA, J. M. G. Microencapsulação e liberação controlada por difusão de ingredientes alimentícios produzidos através da secagem por atomização: revisão. **Brazilian Journal of Food Technology**, v. 21, p. 1 – 9, 2018. DOI: <http://doi.org/10.1590/1981-6723.08317>

PICOT, A.; LACROIX, C. Encapsulation of bifidobacteria in whey protein-based microcapsules and survival in simulated gastrointestinal conditions and in yoghurt. **International Dairy Journal**, v. 14, p. 505 – 515, 2004. DOI: <http://doi.org/10.1016/j.idairyj.2003.10.008>

PINTO, S. S.; FRITZEN-FREIRE, C. B.; MUÑOZ, I. B.; BARRETO, P. L. M.; PRUDÊNCIO, E. S.; AMBONI, R. D. M. C. Effects of the addition of microencapsulated *Bifidobacterium* BB-12 on the properties of frozen yogurt. **Journal of Food**

Engineering, v. 111, p. 563 – 569, 2012. DOI: <http://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2012.03.016>

RODRÍGUEZ, J.; MARTÍN, M. J.; RUIZ, M. A.; CLARES, B. Current encapsulation strategies for bioactive oils: from alimentary to pharmaceutical perspectives. **Food Research International**, v. 83, p. 41-59, 2016. DOI: <http://doi.org/10.1016/j.foodres.2016.01.032>

ROSOLEN, M. D.; BORDINI, F. W.; DE OLIVEIRA, P. D.; CONCEIÇÃO, F. R.; POHNDORF, R. S.; et al., Symbiotic microencapsulation of *Lactococcus lactis* subsp. *lactis* R7 using whey and inulin by spray drying. **LWT - Food Science and Technology**, v. 115, p. 1 – 7, 2019. DOI <http://doi.org/10.1016/j.lwt.2019.108411>

SÁENZ-GARZA, N. E.; DELAQUIS, P.; DURANCE, T. Microencapsulation of hexanal by radiant energy vacuum microwave-molecular inclusion for controlled release and inhibition of *Penicillium expansum* in a model system and on apple tissue. **Food Research International**, v. 52, p. 496 – 502, 2013. DOI: <http://doi.org/10.1016/j.foodres.2013.01.040>

SAKIRAN, K. CH. S.; PERLI, M.; REDDY, N. S.; VENKATACHALAPATHY, N. Mechanical methods of microencapsulation: a review. **International Journal of Current Microbiology and Applied Sciences**, v. 7, n. 11, p. 1251 – 1260, 2018. DOI: <https://doi.org/10.20546/ijcmas.2018.711.146>

SANTAMARIA, C. M.; WOODRUFF, A.; YANG, R.; KOHANE, D. S. Drug delivery systems for prolonged duration local anesthesia. **Materials Today**, v. 20, n. 1, p. 22 – 31, 2016. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.mattod.2016.11.019>

SCHUCK, P. et al. Spray drying of dairy bacteria: New opportunities to improve the viability of bacteria powders. **International Dairy Journal**, v.31, n.1, p.12-17, 2013. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.idairyj.2012.01.006>

SEGUIN, J.; BRULLÉ, L.; BOYER, R.; LU, Y. M.; RAMOS R. M.; TOUIL, Y. S.; SCHERMAN, D.; BESSODES, M.; MIGNET, N.; CHABOT, G. G. Liposomal encapsulation of the natural flavonoid fisetin improves bioavailability and antitumor efficacy. **International Journal of Pharmaceutics**, v. 444, n. 1 – 2, p. 146 – 154, 2013. DOI: <http://doi.org/10.1016/j.ijpharm.2013.01.050>

SETH, D.; MISHRA, H. N.; DEKA, S. C. Effect of Microencapsulation using Extrusion Technique on Viability of Bacterial Cells during Spray Drying of Sweetened Yoghurt, **International Journal of Biological Macromolecules**, v. 103, p. 802 – 807, 2017. DOI: <http://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2017.05.099>

SHAHIDI, F.; HAN, X. Q. Encapsulation of food ingredients. **Critical Reviews in Food Science and Nutrition**, v. 33, n. 6, p. 501 – 547, 1993. DOI: <http://dx.doi.org/10.1080/10408399309527645>. PMID:8216812.

SILVA, P. T.; FRIES, L. L. M.; MENEZES, C. R.; HOLKEM, A. T.; SCHWAN, C. L.; WIGMANN, E. F.; BASTOS, J. O.; SILVA, C. B. Microencapsulation: concepts, mechanisms, methods and some applications in food technology. **Ciência Rural**, v. 44, n. 7, p. 1304 – 1311, 2014. DOI: <http://doi.org/10.1590/0103-8478cr20130971>

SILVA, T.M.; RODRIGUES, L.Z., CODEVILA, C.F., SILVA, C.B., MENEZES, C.R. Coacervação complexa: uma técnica para a encapsulação de probióticos. **Ciência e Natura**, v.37, p. 49 – 55, 2015. DOI: <http://doi.org/10.5902/2179-460X19714>

SILVA, L. B.; QUEIROZ, M. B.; FADINI, A. L.; FONSECA, R. C. C.; GERMER, S. P. M.; EFRAIM, P. Chewy candy as a model system to study the influence of polyols and fruit pulp (açai) on texture and sensorial properties. **Lebensmittel-Wissenschaft + Technologie**, v. 65, p. 68 – 274, 2016. DOI: <http://dx.doi.org/10.1016/j.lwt.2015.08.006>.

SINKO, P; KOHN, J. Polymeric drug delivery system: an overview. Cap. 2 In. Polymeric Delivery Systems: properties and applications, p 18 – 41. El-Nokaly, M.A., Piatt, D. M.; Charpentier, B. A. **American Chemical Society**, Washington, 1993. DOI: <http://doi.org/10.1021/bk-1993-0520.ch002>

SOLANKI, H. K.; PAWAR, D. D.; SHAH, D. A.; PRAJAPATI, V. D.; JANI, G. K.; MULLA, A. M.; THAKAR, P. M. Development of microencapsulation delivery system for long-term preservation of probiotics as biotherapeutics agent. **BioMed Research International**, v. 2013, p. 1 – 21, 2013. DOI: <http://doi.org/10.1155/2013/620719>

SOLIMAN, E. A.; EL-MOGHAZY, A. Y.; EL-DIN, M. S. M.; MASSOUD, M. A. Microencapsulation of essential oils within alginate: formulation and in vitro evaluation of antifungal activity. **Journal of Encapsulation and Adsorption Sciences**, v. 3, p. 48 – 55, 2013. DOI: <http://doi.org/10.4236/jeas.2013.31006>

SOUTO, E. B.; SEVERINO, P.; SANTANA, M. H. A. Preparação de Nanopartículas Poliméricas a partir de Polímeros Pré-formados – Parte II. **Polímeros**, v. 22, n. 1, p. 101 – 106, 2012. DOI: <http://doi.org/10.1590/S0104-14282012005000005>

SOUZA, T. C. R.; PARIZE, A. L.; BRIGHENTE, I. M. C.; FÁVERE, V. T.; LARANJEIRA, M. C. M. Chitosan microspheres containing the natural urucum pigment. **Journal of Microencapsulation**, v. 22, n. 5, p. 511 – 520, 2005. DOI: <https://doi.org/10.1080/02652040500099737>

SUN-WATERHOUSE, D.; ZHOU, J.; MISKELLY, G. M.; WIBISONO, R.; WADHWA, S. S. Stability of encapsulated olive oil in the presence of caffeic acid. **Food Chemistry** v. 126, p. 1049–1056, 2011. DOI: <http://doi.org/10.1016/j.foodchem.2010.11.124>

TIMILSENA, Y. P.; AKANBI, T. O.; KHALID, N.; ADHIKARI, B.; BARROW, C. J.

Complex coacervation: Principles, mechanisms and applications in microencapsulation. **International Journal of Biological Macromolecules**, v. 121, p. 1276 – 1286, 2019. DOI: <http://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2018.10.144>

WANG, J.; SCHWENDEMAN, S. P. Mechanisms of solvent evaporation encapsulation processes: prediction of solvent evaporation rate. **Journal of Pharmaceutical Sciences**, v. 88, n. 10, p. 1090 – 1099, 1999. DOI: <http://doi.org/10.1021/js980169z>

WANG, M.; GAO, F.; ZHENG, H.; ZHANG, T.; GUO, M. Microencapsulation of ginsenosides using polymerised whey protein (PWP) as wall material and its application in probiotic fermented milk. **International Journal of Food Science and Technology**, v. 52, n. 4, p. 1009 – 1017, 2017. DOI: <http://doi.org/10.1111/ijfs.13365>