

Secagem, Revestimento e Encapsulamento de Partículas por Spray-Dryer: desenvolvimento, desafios e inovações

Drying, Coating and Encapsulation of Particles by Spray-Dryer: development, challenges and innovations

Gleice Vasconcelos Pereira do Lago¹, Glauce Vasconcelos da Silva Pereira², Nian Iury Ferrão Queiroz³, Maria Jaqueline Bailão Silva⁴, Fabrine Silva Alves⁵, Nathiel Sarges Moraes⁶, José de Arimatéia Rodrigues do Rego⁷, Davi do Socorro Barros Brasil⁸

RESUMO

A seleção de uma composição de revestimento apropriada é importante para aumentar a estabilidade dos materiais de núcleo e dos compostos bioativos durante o encapsulamento. Esta revisão adotou uma abordagem sistemática para analisar criticamente os estudos publicados até 2023 que usam carboidratos, celulose e/ou proteínas como matriz polimérica para envoltórios de material de núcleo. Após a pesquisa nas bases de dados eletrônicas ScienceDirect, Web of Science, Scopus, Capes Periódicos e FSTA – Food Science and technology Abstracts, 29 estudos foram incluídos criteriosamente nesta revisão. Mais de Trinta polímeros foram estudados: proteínas de peixe, arroz, do leite, carboidratos como amidos, goma arábica, quitosana, dentre outros. O método mais comum para encapsulamento é a secagem por pulverização, considerada a técnica de spray dryer mais utilizada na indústria alimentícia para produzir emulsões de estado sólido. O material do núcleo é disperso em uma solução polimérica contendo o material da parede. Esta revisão concluiu que a eficiência de encapsulamento, características da suspensão e o perfil de liberação de compostos ativos podem ser influenciados pela razão polímero/núcleo e parâmetros do processo. Os produtos obtidos (núcleo) encapsulados a partir da matriz base apresentam resultados promissores que incentivam o uso desses materiais para a liberação de compostos ativos.

Palavras-chave: Biopolímeros. Carboidratos. Proteínas. Celulose. Pulverização.

ABSTRACT

Selection of an appropriate coating composition is important to increase the stability of core materials and bioactive compounds during encapsulation. This review adopted a systematic approach to critically analyze studies published up to 2023 that use carbohydrates, cellulose, and/or proteins as polymer matrix for core material wraps. After searching the electronic databases ScienceDirect, Web of Science, Scopus, Capes Periódicos and FSTA – Food Science and technology Abstracts, 29 studies were carefully included in this review. More than thirty polymers were studied: proteins from fish, rice, milk, carbohydrates such as starches, gum arabic, chitosan, among others. The most common method for encapsulation is spray drying, considered the spray dryer technique most used in the food industry to produce solid state emulsions. The core material is dispersed in a polymer solution containing the wall material. This review concluded that encapsulation efficiency, suspension characteristics and the release profile of active compounds can be influenced by the polymer/core ratio and process parameters. The products obtained (core) encapsulated from the base matrix present promising results that encourage the use of these materials for the release of active compounds.

Keywords: Biopolymers. Carbohydrates. Proteins. Cellulose. Pulverization.

¹ Programa de Pós-Graduação em Ciência e Tecnologia de Alimentos - Universidade Federal do Pará.
 ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-9702-250X>
 Email: gleicedasilva@ufpa.br

² Programa de Pós-Graduação em Ciência e Tecnologia de Alimentos - Universidade Federal do Pará.
 ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-4900-1664>
 Email: glaucepereira@ufpa.br

³ Nian Iury Ferrão Queiroz
 Universidade Federal do Pará, Brasil
 ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-6894-9250>
 E-mail: nianqueiroz2@gmail.com

⁴ Maria Jaqueline Bailão Silva
 Universidade Federal do Pará, Brasil
 ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-1593-1118>
 E-mail: jaquebio.js@gmail.com

⁵ Fabrine Silva Alves
 Universidade Federal do Pará, Brasil
 ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-6602-1942>
 E-mail: fafa.bine@yahoo.com.br

⁶ Nathiel Sarges Moraes
 Universidade Federal do Pará, Brasil
 ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-4727-0951>
 E-mail: nathiel.sed1@gmail.com

⁷ Programa de Pós-Graduação em Ciência e Meio Ambiente (PPGCMA) - Universidade Federal do Pará, Brasil
 ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-0891-6438>
 Email: jr2reg@gmail.com

⁸ Programa de Pós-Graduação em Ciência e Meio Ambiente (PPGCMA) - Universidade Federal do Pará, Brasil
 ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-0891-6438>
 Email: dsbbrasil@ig.com.br

1. INTRODUÇÃO

Muitos pesquisadores documentaram a aplicação bem-sucedida de revestimentos e filmes comestíveis feitos com muitos biopolímeros para preservar as propriedades nutricionais e organolépticas de diferentes produtos alimentícios. A escolha de um método de revestimento/película comestíveis adequado não só impacta o efeito preservador do revestimento formado nos produtos alimentícios, mas também influencia o custo de produção e a eficiência do processo (SUHAG et al., 2020).

A encapsulação, que é um método de preservação eficaz para cobrir um composto bioativo com uma película protetora, oferece muitas vantagens. O principal objetivo é escolher a técnica de secagem e o material de encapsulamento/revestimento adequado. O encapsulamento por processo de secagem é a melhor opção para solucionar os principais problemas de ingredientes alimentícios enfrentados nas indústrias alimentícias (RAY; RAYCHAUDHURI; CHAKRABORTY, 2016). Substância que encapsula o agente ativo é chamada de revestimento, membrana, invólucro, cápsula, material carreador, fase externa ou matriz (FANG; BHANDARI, 2010).

O processo de pulverização tem sido amplamente utilizado em aplicações de encapsulação/revestimento, onde o líquido de revestimento é atomizado para depositar na superfície alvo. A cobertura de pulverização e a espessura da camada de revestimento são as principais preocupações no processo, em que as análises do padrão, como condições e a orientação da pulverização, são de suma importância no processo de encapsulação por spray, por meio do consumo de material de revestimento, uniformidade e controle do processo (LUANGKULARB et al., 2014).

Para a indústria alimentícia o processo de secagem tem a vantagem de reduzir o volume a ser transportado e permitir a incorporação de formulações mais precisas. Assim, um método de secagem é o processo de atomização, realizado em um equipamento denominado spray dryer. Nesses secadores, o alimento em pó é obtido pela atomização da matéria-prima em uma câmara de secagem quando em contato com o ar quente em temperaturas que variam de 150 a 250 °C (ISLAM et al., 2016). Uma alternativa para a secagem de alimentos funcionais em spray dryers é a redução da pressão dentro da câmara de secagem, o que levaria a uma diminuição da temperatura de evaporação da água. No entanto, essa prática já é utilizada no processo de liofilização, o que a classifica como o processo mais adequado para o processamento de produtos sensíveis (RAMOS et al., 2016).

A nanoencapsulação é uma tecnologia relativamente nova com uma ampla gama de aplicações em diferentes áreas, incluindo a indústria alimentícia e farmacêutica. É utilizada para proteger compostos bioativos de condições ambientais adversas e estender suas funcionalidades úteis. Esta tecnologia tem sido usada para proteger as características antimicrobianas contra parâmetros desfavoráveis, incluindo alta temperatura, umidade relativa e fluxo de ar (MAHMOUDI et al., 2020). O encapsulamento é utilizado em diferentes produtos alimentícios para formar uma barreira adequada em torno de compostos bioativos, retardando as atividades enzimáticas e microbianas dos produtos alimentícios, prolongando a sua vida útil (MAZANDRANI et al., 2016)

Esta revisão tem como objetivo oferecer informações sobre métodos de revestimento comestível em materiais por pulverização por spray drying. Esta revisão pode ajudar pesquisadores e indústrias a selecionarem um método eficiente e econômico para o desenvolvimento de filmes/revestimentos comestíveis para aplicações específicas. Além disso, um método pode ser usado sozinho ou em combinação com outros métodos para obter com maior eficiência, boa adesão e durabilidade de revestimento/encapsulamento para prolongar a vida útil e melhorar a qualidade dos produtos a nível comercial.

2. MATERIAIS E MÉTODOS

2.1 SISTEMA DE BUSCA E LEVANTAMENTO DE DADOS: REVISÃO SISTEMÁTICA

Para o levantamento de dados foi realizado uma pesquisa detalhada e os documentos para a pesquisa foram extraídos dos bancos de dados eletrônicas ScienceDirect, Web of Science, Scopus, Capes Periódicos e FSTA – Food Science and technology Abstracts. A busca foi realizada sistematicamente utilizando expressões que foi abordado na Figura 1, onde termos como revestimento de sementes foi substituído também por recobrimento. A busca referente a construção desta revisão para o levantamento de banco de dados foi realizada entre 25 de junho de 2022 a 10 de agosto de 2023, e foram considerados estudos de 2007 a fevereiro de 2023. Porém, a pesquisa também considerou referências antigas, devido ocorrer desenvolvimento tecnológico de secagem em Spray dryer para tecnologias atuais como encapsulamento (Figura 1).

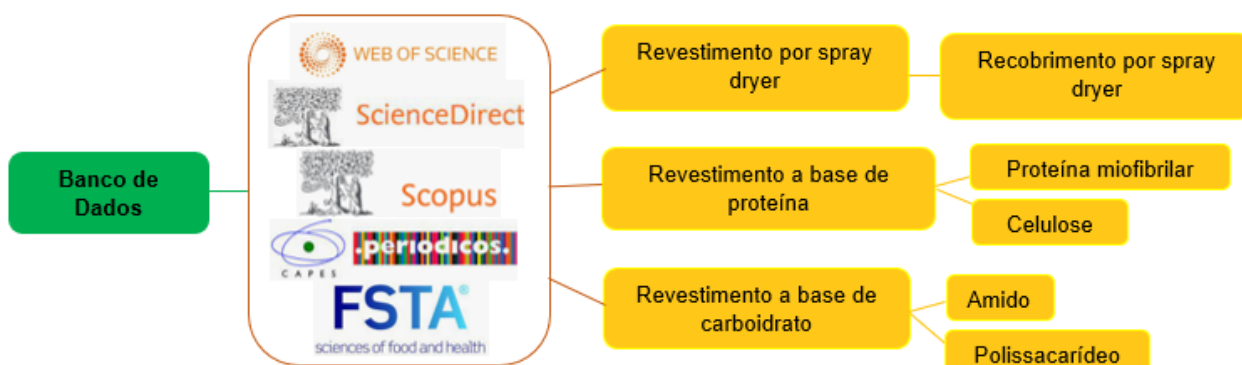


Figura 1 - Expressões utilizadas no banco de dados para fundamentar a pesquisa.

2.2 AVALIAÇÃO SISTEMÁTICA DE INCLUSÃO

Documentos extraídos do banco de dados foram avaliados e de acordo com os títulos e os resumos que não estavam relacionados ao objetivo da pesquisa foram excluídos. Os estudos foram cuidadosamente verificados para o levantamento de coleta de informações que auxiliavam no entendimento do tema spray dryer. Em seguida, os critérios de elegibilidade foram definidos da seguinte forma: 1 - Esta revisão considerou artigos de pesquisa originais publicados em inglês e em português em periódicos; 2 - foi excluído documentos em forma de apresentação, congresso, revisão de documentos, trabalho de conclusão de curso, dissertações e teses; 3 - Esta revisão excluiu artigos com abordagens incompletas ou inconsistentes sobre os temas em estudo, artigos com conteúdo duplicado ou não relacionados ao tema do estudo. Os artigos extraídos do banco de dados foram revisados e selecionados por pares para extrair dados relevantes de estudos para atenderam aos critérios de inclusão e exclusão e finalizar a pesquisa.

3. RESULTADOS E DISCUSSÕES

3.1 SELEÇÃO E RESULTADOS DE BUSCA DE DADOS

Com base na estratégia da busca desenvolvida para o levantamento de dados consistentes e relevantes sobre o uso de polímero, preparação de revestimento e/ou recobrimento de soluções e aplicação tecnológica em Spray Dryer foram encontrados 559 documentos nas bases de dados selecionadas. Após o critério de seleção, a remoção dos trabalhos considerados não relevantes totalizou 201 artigos avaliados por título e resumo. Em seguida, a triagem inicial resultou em 55 documentos para análise completa (Figura 2).

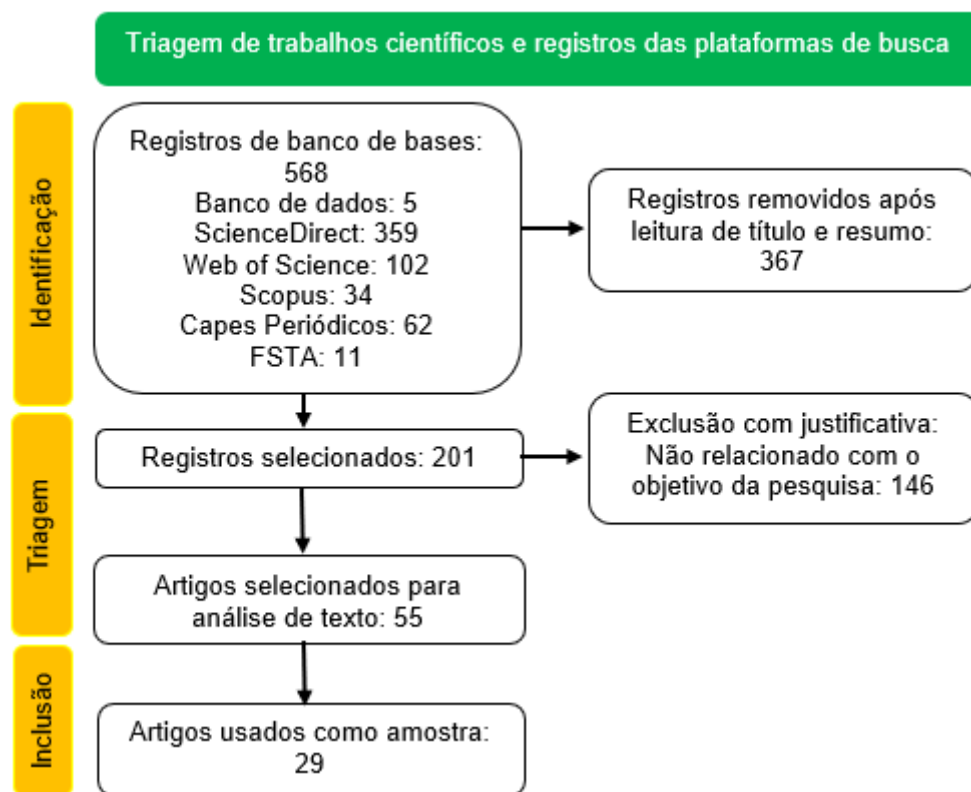


Figura 2 - Fluxograma referente ao levantamento e critério para busca de dados.

3.2 ESTUDO DE DESCRIÇÃO

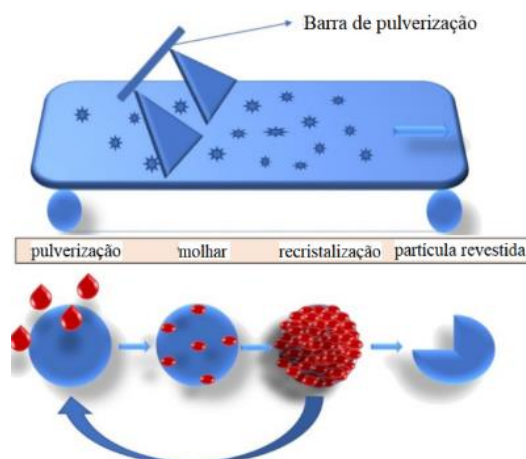
3.2.1 Revestimento por pulverização

A secagem por pulverização (SP) é o processo de microencapsulação mais antigo e mais utilizado na indústria alimentícia (PREMJIT et al., 2022). É simples de configurar em escala industrial e é mais barato do que outros métodos. A SP garante micropartículas de alta qualidade atomizando uma mistura ou emulsão de óleo líquido. O procedimento SP consiste em três etapas: (i) criação de uma dispersão ou emulsão de substância ativa, (ii) homogeneização da dispersão e (iii) atomização da mistura resultante na câmara de secagem (NAHUM; DOMB, 2021).

É um dos métodos utilizado na aplicação de revestimento em produtos alimentícios. Aumenta a superfície do líquido através da formação de gotículas e distribui-as na superfície dos alimentos com um conjunto de bicos (PARREIDT et al., 2018). O consumo de material e a espessura do filme seco são os dois principais indicadores para identificar a eficiência do processo de revestimento por pulverização. Usando uma condição de pulverização adequada, menor consumo de material pode ser obtido de acordo com uma determinada espessura de filme seco (LUANGKULARB et al., 2014).

A Figura 3 apresenta o método de aplicação de revestimento comestível por pulverização. Após a aplicação dos processos iniciais de revestimento e secagem no topo do equipamento, a superfície inferior do produto também pode ser coberta separadamente. O processo de revestimento por pulverização forma uma película fina em superfícies de alimentos e pode ser bem controlado, apesar da necessidade de modificar cuidadosamente a viscosidade das soluções de revestimento para aplicação (ANDRADE et al., 2012).

Pereira et al. (2021a; 2021c) relataram que a viscosidade da solução/suspensão que será utilizada como revestimento em alimentos tem grande influência sobre a formação da película/filme no resultado final do produto revestido. A solução altamente viscosa não pode ser pulverizada com muita facilidade nos produtos alimentícios, de modo que apenas métodos de imersão podem ser adaptados, resultando em maior espessura do material de revestimento na superfície dos produtos alimentícios (SKURTYS et al., 2010).



Fonte: (Adaptada de SUHAG et al., 2020).

Figura 3 - Métodos de aplicação por pulverização de revestimento comestível.

3.2.2 Secagem e encapsulação por spray-drying

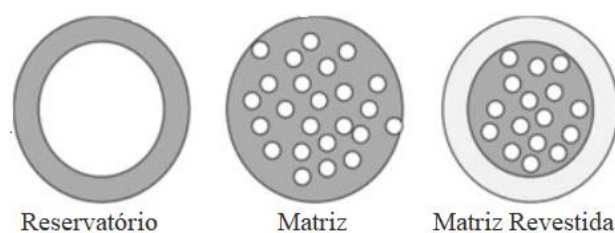
A secagem por pulverização é a técnica de desidratação mais utilizada na indústria alimentícia para produzir emulsões, pastas e líquidos em estado sólido por se tratar de um processo contínuo de uma etapa econômica e facilmente escalável (TABATABAEI et al., 2022). No caso de spray-dryer, o material seca tornando-se pó, sendo o equipamento mais estudado para secagem de líquidos. Um número limitado de estudos otimizou os parâmetros operacionais essenciais do spray-dryer para melhorar a taxa de secagem e as propriedades funcionais. Temperatura do ar de entrada e taxa de fluxo, concentração alimentar e pressão de atomização foram os parâmetros otimizados (PARK et al., 2017; (HAMED I et al., 2021).

Deve-se notar que fatores como tensão de cisalhamento durante a atomização, desnaturação, alterações relacionadas à transição vítrea, aglomeração, bem como alterações de cor são alguns fatores que levam à redução da eficiência da secagem por pulverização e perda das propriedades funcionais e da atividade biológica dos compostos bioativos (SARABANDI; JAFARI, 2020).

A liofilização e a spray-drying são consideradas os métodos mais importantes de encapsulamento à base de solidificação, sendo processos eficazes e eficientes na manutenção e estabilização de compostos sensíveis ao calor, incluindo polifenóis, vitaminas, antocianinas, compostos antibacterianos e probióticos (SARABANDI et al., 2017). Spray-drying é um processo comum, econômico e flexível amplamente utilizado para a conversão de várias formulações líquidas alimentícias e farmacêuticas em pós em escala industrial. É necessário otimizar os parâmetros do processo e utilizar os compostos carreadores e encapsulantes, que atuam como matriz ou revestimento para aprisionamento de compostos bioativos (AKBARBAGLU et al., 2021).

A tecnologia de microencapsulação pode ser realizada por diferentes métodos, sendo a atomização e a liofilização os mais utilizados. A atomização, também conhecida como spraying ou spray dryer, consiste em uma técnica que, além de remover a água, microencapsula substâncias suscetíveis a mudanças rápidas nas condições ambientais, por esse motivo, os produtos obtidos podem reter propriedades benéficas para o corpo humano (TOMCZYK et al., 2020).

Diferentes tipos de encapsulados (reservatório, matriz e matriz revestida) podem ser caracterizados (Figura 4) (ZUIDAM; NEDOVIC, 2010). O tipo reservatório possui uma camada ao redor do material do núcleo (também chamada de cápsula). O tipo matriz tem o agente ativo disperso sobre o material carreador e também pode ser encontrado na superfície. Uma combinação, tipo de reservatório e tipo de matriz, dá um terceiro encapsulado chamado matriz revestida, no qual o agente ativo é uma cápsula coberta por uma camada adicional (LAKKIS, 2007).



Fonte: (Adaptado de ZUIDAM; NEDOVIC, 2010).

Figura 4 - Tipos de encapsulados

A microencapsulação pode proteger o produto contra os efeitos prejudiciais das condições adversas de processamento e facilitar a entrega de compostos bioativos. O processo de microencapsulação envolve a emulsificação do material do núcleo com agente(s) de revestimento e a secagem da emulsão usando a secagem por pulverização por exemplo (KARAASLAN et al., 2021). Diferentes agentes encapsulantes têm sido usados na microencapsulação de alimentos para melhorar a eficiência de encapsulamento, estabilidade e liberação controlada. Assim, polissacarídeos, lipídios e proteínas podem ser utilizados como agentes encapsulantes no processo de microencapsulação (ANTIGO et al., 2020a).

3.2.3 Métodos de aplicações de encapsulação

O encapsulamento é uma das abordagens mais eficientes e amplamente empregadas para aumentar a estabilidade do sabor e reduzir a degradação. Um ingrediente ativo é encapsulado dentro de um material de parede/revestimento/encapsulante que o protege de condições deteriorantes. O encapsulamento também melhora a funcionalidade do produto, permitindo propriedades variáveis (tamanho, estrutura e forma da partícula), manuseio mais fácil, entre outros (OCAMPO-SALINAS et al., 2017; PREMJI et al., 2022)

Os métodos de microencapsulação e a nanoencapsulação oferecem funcionalidade aprimorada do produto mascarando sabores desagradáveis, aumentando a biodisponibilidade, melhorando a eficiência de encapsulamento, capacidade de carregamento, e alcançando um perfil de liberação sustentada. Os produtos secos, como os pós aromatizantes encapsulados têm a vantagem de serem menos propensos à contaminação e ataques microbianos, permitindo assim o armazenamento prolongado (PREMJI et al., 2022). Estudos reportados por DEUS et al. (2023) na avaliação da viabilidade dos compostos microencapsulados (cepa liofilizada de *L. plantarum* e extrato de betalaínas extraídas do caule da beterraba vermelha) no período de 120 dias, concluíram que são adequados para aplicação em alimentos que não necessitam de tratamento térmico antes do envase, sugerindo a aplicação dos encapsulados desenvolvidos em sorvetes comestíveis, bebidas não pasteurizadas como kombuchá e sucos prensados a frio.

3.2.4 Encapsulação a base de carboidrato

Um spray dryer pode ser usado para revestir partículas sólidas. As partículas sólidas ficam suspensas no ar e o material encapsulante é pulverizado sobre as partículas, formando um revestimento. A maioria dos materiais encapsulantes, carboidratos por exemplo, pode ser usado neste processo. Este método pode ser usado para dar um revestimento secundário juntamente com o processo de secagem por pulverização, adicionando mais proteção (MCCLEMENTS, 2020). Além dos polissacarídeos já indicados como a goma arábica, quitosana e pectina por AKBARBAGLU et al. (2021), outros também são usados como carreadores ou materiais de parede para o encapsulamento por spray dryer de compostos bioativos, incluindo inulina, algumas gomas como goma persa, goma de algaroba, alginato de sódio, açúcares simples, sorbitol, manitol e dissacarídeos (FATHI et al., 2014).

CORTEZ-TREJO et al. (2021), quando avaliaram a microencapsulação de óleo de semente de romã (OSR) por spray dryer usando amido de taro succinilado (ATS) e β -ciclodextrina (β -CD) mostraram potencial para um sistema de liberação viável e competitivo de substâncias lipofílicas. Micropartículas carregadas de OSR foram obtidas pelo processo de spray dryer sem afetar criticamente o valor de índice de peróxido.

ANTIGO et al. (2020b), ao estudarem a microencapsulação de betacianina (corante natural da beterraba) em spray drying concluíram que as amostras preparadas com mucilagem de chia e maltodextrina apresentaram maior carga de betacianina após a secagem por pulverização do que as amostras preparadas apenas com maltodextrina ou maltodextrina e goma arábica. Os resultados demonstram a aplicabilidade das microcápsulas de betacianina em diversos processos alimentícios, com variação de temperatura e pH, contribuindo para a preservação do corante.

SHAMAEI et al. (2017) quando estudaram a microencapsulação de óleo de noz em diferentes temperaturas do ar de secagem e pressões de atomização de alimentação do sistema por spray dryer usando vários materiais de parede (leite em pó desnatado (LPD), LPD + Tween 80 e LPD + maltodextrina) e concluíram que a maior eficiência de microencapsulação (91,01%) foi obtida usando LPD + Tween 80 na temperatura do ar de secagem de 180 °C e pressão de atomização de 3 bar.

SANTOS et al. (2019) observaram que a microencapsulação de maltodextrina dos compostos antioxidantes do bagaço de amora foi eficiente na redução da degradação das antocianinas frente ao aumento do pH. Em pHs mais baixos foi observada maior

estabilidade das amostras encapsuladas e menores constantes de degradação, sendo eficientes na redução da degradação de amostras em pHs até 5,0, sendo possível utilizá-las como corante e como compostos antioxidantes em diversos tipos de alimentos, como iogurtes, bebidas lácteas, sucos, compotas, geleias, entre outros.

3.2.5 Encapsulação a base de celulose

A escolha dos agentes ativos adicionados depende das características do produto e do tipo de matriz polimérica no revestimento. Os revestimentos à base de carboximetilcelulose (CMC) geralmente não têm odor, sabor e nenhum efeito tóxico ou alérgico, sendo biodegradáveis, resistentes a óleo, solúveis em água e levemente permeáveis ao oxigênio, CO₂ e umidade (JAFARIZADEH-MALMIRI et al., 2011). A encapsulação é um excelente método para proteger ingredientes alimentares sensíveis e desenvolver novas formulações com propriedades melhoradas.

RASSU et al. (2014) ao analisarem os derivados semissintéticos hidroxipropilmetilcelulose ftalato (HPMCP) e metilcelulose (MC) para encapsular o timol por secagem por pulverização, perceberam que, MC ofereceu valores mais baixos de carga e eficiência de encapsulamento do que HPMCP. Carboxi metil celulose (CMC) e gelatina foram usados para formar um coacervado complexo para incorporar o ibuprofeno pelo método de gelificação iônica, reticulado com cloreto férrico. Um aumento na quantidade de polímero reduziu a eficiência de encapsulamento do insumo farmacêutico ativo (HUEI et al., 2016).

O CMC-Na é um éter carboxi metil celulose amplamente utilizado nas indústrias alimentícia e foi usado para formar uma rede interpenetrante com álcool polivinílico (PVA) através do método de emulsão água/óleo para o preparo de diclofenaco sódico. Uma relação direta foi observada entre tamanho de partícula e quantidade de CMC, e a proporção de polímeros influenciou o perfil de liberação de diclofenaco. A quantidade de PVA influenciou o tamanho dos grânulos e a eficiência de encapsulamento, e ambos aumentaram quando a quantidade de PVA aumentou (BANERJEE et al., 2012)

KONDO et al. (2014) e colaboradores utilizaram hipromelose como agente de suspensão e etilcelulose (EC) como agente de revestimento de liberação sustentada, e prepararam partículas revestidas de liberação sustentada pelo método de microencapsulação usando a técnica de secagem por pulverização (spray drying), e identificaram que as partículas de compósito exibiram uma superfície conjugada e ângulos

de contato semelhantes ao volume de EC, o que sugeriu encapsulamento com este composto. O potencial de uma nova tecnologia de secagem por pulverização de bico de 3 fluidos (spray drying) para formular micropartículas em camadas diferenciadas de diclofenaco de sódio e EC foi analisado por PABARI et al. (2012) e observaram que a secagem por pulverização com bico de 3 fluidos oferece um novo método para projetar micropartículas ou microcápsulas em camadas que podem ter amplas aplicações.

3.2.6 Encapsulação a base de Proteínas

O método mais comum para encapsulamento de óleo de peixe na indústria alimentícia é a secagem por pulverização (ENCINA et al., 2016). No processo de spray dryer, o material do núcleo (óleo) é disperso em uma solução polimérica contendo o material da parede, formando uma emulsão, e então a emulsão de alimentação é atomizada, gotículas finas são criadas, e estas são posteriormente desidratadas em um meio de secagem a quente formando microcápsulas (VOS et al., 2010).

Trabalhos sugerem que misturas de proteínas e carboidratos do leite são materiais de parede bem adequados para proteger o óleo de peixe, devido à formação de produtos da reação de Maillard que são conhecidos por suas propriedades antioxidantes (IFEDUBA; AKOH, 2016). OGRODOWSKA et al. (2020) mostraram efeitos benéficos no uso de proteínas vegetais como material de revestimento (maltodextrina, soro de leite, proteínas de girassol e arroz e goma guar), onde verificaram a estabilidade oxidativa de cápsulas feitas de blendas de óleo de fígado de peixe e óleo de abóbora, isolados e combinados através do processo de encapsulamento pela técnica de spray-drying. Como resultado, proteínas de arroz misturadas com proteínas de soro de leite reduziram a intensidade de odor e sabor e afetaram positivamente a sensação das cápsulas na boca, diminuindo sua oleosidade.

Os pós lácteos são normalmente produzidos pela desidratação de um fluxo de leite líquido por meio de uma combinação de tecnologias de evaporação e secagem por pulverização, a fim de aumentar a vida útil e permitir manuseio, transporte, armazenamento e aplicação mais fáceis e mais econômicos de grandes volumes de sólidos do leite (SCHUC, 2008). MEINERS (2012), analisando microencapsulação em leite fluidizado e outros métodos de revestimento para ingredientes alimentícios, relataram que proteínas de soro de leite, de gelatina, proteína de soja e ervilha possuem cargas elétricas diferentes em níveis variados de pH, o que as torna um material interessante para fins de

microencapsulação. Facilmente solúveis em água, as proteínas são excelentes fontes de material de barreira, em particular contra o oxigênio.

Filmes e/ou revestimentos comestíveis a base de biopolímeros estão sendo amplamente explorados para preservação e desenvolvimento de embalagem biodegradável, conferindo funcionalidade aos produtos revestidos (PEREIRA et al., 2021b). Proteínas de pescada amarela (*Cynoscion acoupa*) foram analisadas através do planejamento Desing Fracional Plackett-Burman, Planejamento Central Rotacional e função Desejabilidade para verificar os parâmetros de interferência na obtenção de filmes de peixe (PEREIRA et al., 2019), e observaram que o desenho experimental utilizado estabeleceu a condição ideal para a produção de filmes 1,13% de proteínas miofibrilares, 35,96% de plastificante e temperatura de secagem de 25,96 °C. Como verificado neste estudo, soluções de revestimento/encapsulação a base de proteína de peixe podem ser utilizado para estudos futuros para aplicação em tecnologia automatizada por método de pulverização (spray dryer), determinando assim a viabilidade de desenvolvimento de um projeto e caracterizá-lo quanto as dimensões dos parâmetros dessas suspensões.

Özyurt e colaboradores (2020) realizaram um estudo do potencial uso de proteína de peixe isolado (*Equulites klnzingeri*) através do processo de mudança de pH usado como material de revestimento para microencapsular óleo de peixe (*Engraulis encrasicolus*) por spray dryer, e obtiveram como resultados um aumento nas relações de ácidos graxos (Cx:n6/n3) totais em todos os grupos de óleo de peixe microencapsulado, observando também que a adição de isolado de proteína de peixe não acelerou a degradação de ácidos graxos poliinsaturados (PUFA).

O estudo por GOMEZ-GUILLÉN et al. (2022) revelou que a proteína do músculo de peixe (*Trisopterus luscus*), κ -carragenina e um hidrolisado de proteína de peixe (*Trigla spp.*) foram usados como material de parede para microencapsulação de óleo da pele de peixe (*Trigla spp.*), comparando dois métodos de secagem (spray-drying e heat-drying). Ambos os métodos de secagem levaram a um aprisionamento eficiente de óleo de peixe, no entanto, as micropartículas induzidas pela secagem a quente (heat-drying) foram 30 vezes maiores, mais heterogêneas e menos resistentes à água do que as micropartículas esféricas secas por pulverização (spray-drying).

4. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Esta revisão mostrou que polímeros naturais biodegradáveis e com modificações têm grande potencial para uso em sistemas de encapsulamento/revestimento, pois são capazes de modificar o perfil de liberação de compostos bioativos, químicos naturais com propriedades anti-inflamatórias, antimicrobianas, dentre outros. Vários métodos de encapsulamento/revestimento foram identificados e parâmetros como a estrutura química do polímero, concentração dos componentes, temperatura da mistura polimérica influenciaram na eficiência de incorporação de compostos na matriz (suspensão). Além disso, os resultados ajudaram a melhorar ou orientar o perfil de liberação por meio de modificações no material, ficando evidente que a variedade de parâmetros influencia a resposta de encapsulamento.

Além dos parâmetros de formulação (características e natureza do polímero, proporção molar: polímero, agente de reticulação, agente emulsificante, solvente), o controle dos parâmetros aplicados em cada método de encapsulamento é muito importante para fins comparativos da qualidade do produto encapsulado e características desejadas, eficiência do processo e custos de produção.

REFERÊNCIAS

- AKBARBAGLU, Z. et al. Spray drying encapsulation of bioactive compounds within protein-based carriers; different options and applications. **Food Chemistry**, v. 359, p. 129965, 2021.
- ANDRADE, R. D.; SKURTYS, O.; OSORIO, F. A. Atomizing Spray Systems for Application of Edible Coatings. **Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety**, v. 11, n. 3, p. 323-337, 2012.
- ANTIGO, J. L. D. et al. Chia seed mucilage as a potential encapsulating agent of a natural food dye. **Journal of Food Engineering**, v. 285, p. 110101, 2020b.
- BANERJEE, S., et al. Interpenetrating polymer network (IPN) hydrogel microspheres for oral controlled release application. **International Journal of Biological Macromolecules**, v. 50, p. 198–206, 2012.
- CORTEZ-TREJO, M. C. et al. Microencapsulation of pomegranate seed oil using a succinylated taro starch: Characterization and bioaccessibility study. **Food Bioscience**, v. 41, p. 100929, 2021.
- DEUS, C., et. al. Co-encapsulation of *Lactobacillus plantarum* and bioactive compounds extracted from red beet stem (*Beta vulgaris* L.) by spray dryer. **Food Research International**, v. 167, p. 112607, 2023.

ENCINA, C., et al. Conventional spray-drying and future trends for the microencapsulation of fish oil. **Trends in Food Science & Technology**, v. 56, p. 46–60, 2016.

FANG, Z.; BHANDARI, B. Encapsulation of polyphenols – a review. **Trends in Food Science and Technology**, v. 21, p. 510-523, 2010.

FATHI, M.; MARTÍN, A.; MCCLEMENTS, D. J. Nanoencapsulation of food ingredients using carbohydrate based delivery systems. **Trends in Food Science and Technology**, v. 39, n. 1, p. 18-39, 2014.

GOMEZ-GUILLÉN, M. G. et al. The role of the drying method on fish oil entrapment in a fish muscle protein- κ -carrageenan-fish protein hydrolysate wall matrix and the properties of colloidal dispersions. **Food Hydrocolloids**, v.131, p. 107799, 2022.

HAMEDI, S. H., et al. Spouted bed drying of skimmed milk: Multivariable optimization of the conditions to improve physicochemical properties of the dried milk. **LWT - Food Science and Technology**, v. 146, p. 111448, 2021.

HUEI, G. O. S., et al. Iron cross-linked carboxymethyl cellulose–gelatin complex coacervate beads for sustained drug delivery. **Chemical Papers**, v. 70, p. 243–252, 2016.

IFEDUBA, E.A./ AKOH, C.C. Microencapsulation of stearidonic acid soybean oil in Maillard reaction-modified complex coacervates. **Food Chem**, v. 199, p. 524–532, 2016.

ISLAM, M. Z., et al. Effect of vacuum spray drying on the physicochemical properties, water sorption and glass transition phenomenon of orange juice powder. **Journal of Food Engineering**, v. 169, p. 131-140, 2016.

JAFARIZADEH-MALMIRI H., et al. Development of an edible coating based on chitosan-glycerol to delay 'Berangan' banana (*Musa sapientum* cv. Berangan) ripening process. **International Food Research Journal**, v. 18, p. 989–997, 2011.

KARAASLAN, M., t al. Gum arabic/maltodextrin microencapsulation confers peroxidation stability and antimicrobial ability to pepper seed oil. **Food Chemistry**, v. 337, p. 127748, 2021.

KONDO, K.; NIWA, T.; DANJO, K. (2014). Preparation of sustained-release coated particles by novel microencapsulation method using three-fluid nozzle spray drying technique. **European Journal of Pharmaceutical Sciences**, v. 51, p. 11-19, 2014.

LAKKIS, J. M. **Encapsulation and controlled release technologies in food systems**. Blackwell Publishing, Oxford, UK. 2007.

LUANGKULARB, S.; PROMBANPONG, S.; TANGWARODOMNUKUN, V. Material consumption and dry film thickness in spray coating process. **Procedia CIRP**, v. 17, p. 789-794, 2014.

MAHMOUDI, L., ET al. Ultrasonication and encapsulation of Butcher broom (*Ruscus Hyrcanus* L.) extract and its bioactive effects on qualitative properties, oxidative stability and shelf life of cake. **Sustainable Chemistry and Pharmacy**, v. 17, p. 100295, 2016.

MAZANDRANI, H.A.; JAVADIAN, S.; BAHRAM, S. The effect of encapsulated fennel extracts on the quality of silver carp fillets during refrigerated storage. **Food Science & Nutrition**, v. 4, p. 298–304, 2016.

MCCLEMENTS, D. J. Advances in nanoparticle and microparticle delivery systems for increasing the dispersibility, stability, and bioactivity of phytochemicals. **Biotechnology Advances**, v. 38, p. 107287, 2020.

MEINERS, J. A. (2012). Fluid bed microencapsulation and other coating methods for food ingredient and nutraceutical bioactive compounds. **Encapsulation Technologies and Delivery Systems for Food Ingredients and Nutraceuticals**, p. 151–176, 2012.

NAHUM, V.; DOMB, A. J. Recent developments in solid lipid microparticles for food ingredients delivery. **Foods**, v. 10, n. 2, p. 400, 2021.

OCAMPO-SALINAS, I. O., et al. High-pressure homogenization and maltodextrins mixtures to microencapsulate vanilla (*Vanilla planifolia*) extract through freeze-drying. **Revista Mexicana de Ingeniería Química**, v. 16, n. 1, p. 131-146, 2017.

OGRODOWSKA, D., et al. Pumpkin oil addition and encapsulation process as methods to improve oxidative stability of fish oil. **LWT - Food Science and Technology**, v. 124, p. 109–142, 2020.

ÖZYURTA, G., et al. The potential use of recovered fish protein as wall material for microencapsulated anchovy oil. **LWT - Food Science and Technology**, v. 129, p. 109554, 2020.

PABARI, R. M.; SUNDERLAND, T.; RAMTOOLA, Z. Investigation of a novel 3-fluid nozzle spray drying technology for the engineering of multifunctional layered microparticles. **Expert Opinion on Drug Delivery**, v. 9, n. 12, p. 1463-74. 2012.

PARK, M.-J., et al. Optimization of spray drying conditions of soft persimmon and milk mixture using response surface methodology. **Korean Journal of Food Preservation**, v. 24, n. 7, p. 957-964, 2017.

PARREIDT, S.T.; MARKUS, S.; KAJETAN, M. Effect of dipping and vacuum impregnation coating techniques with alginate based coating on physical quality parameters of cantaloupe melon. **Journal of Food Science**, v. 83, n. 4, p. 929-936, 2018.

PEREIRA, G. V. S., et al. Optimized process to produce biodegradable films with myofibrillar proteins from fish byproducts. **Food Packaging and Shelf Life**, v. 21, p. 100364, 2019.

PEREIRA, G. V. S., et al. Effect of the Mixture of Polymers on the Rheological and Technological Properties of Composite Films of Acoupa Weakfish (*Cynoscion acoupa*) and Cassava Starch (*Manihot esculenta* C.). **Food and Bioprocess Technology**, v. 14, pp. 1199–1215, 2021a.

PEREIRA, G. V. S., et al. Biodegradable films from fishing industry waste: Technological properties and hygroscopic behavior. **Journal of Composite Materials**, 55(28) 4169–4181, 2021b.

PEREIRA, G. V. S. et al. Rheological characterization and influence of different biodegradable and edible coatings on post-harvest quality of guava. **Journal of Food Processing and Preservation**, v. 45, p. e15335, 2021c.

PREMJIT, Y., et al. Current trends in flavor encapsulation: A comprehensive review of emerging encapsulation techniques, flavour release, and mathematical modelling. **Food Research International**, v. 151, p. 110879, 2022.

RAMOS, F. M., et al. Assessment of differences between products obtained in conventional and vacuum spray dryer. **Food Science and Technology**, v. 36, n. 4, p. 724-729, 2016.

RASSU, G., et al. Encapsulation and modified-release of thymol from oral microparticles as adjuvant or substitute to current medications. **Phytomedicine**, v. 21, p. 1627–1632, 2014.

RAY, S.; RAYCHAUDHURI, U.; CHAKRABORTY, R. An overview of encapsulation of active compounds used in food products by drying technology. **Food Bioscience**, v. 13, n. 1, p. 76-83, 2016.

SANTOS, S. S., et al. Antioxidant compounds from black berry (*Rubus fruticosus*) pomace: Microencapsulation by spray-dryer and pH stability evaluation. **Food Packaging and Shelf Life**, 20, 100177, 2019.

SARABANDI, K.; JAFARI, S. M. Improving the antioxidant stability of flaxseed peptide fractions during spray drying encapsulation by surfactants: Physicochemical and morphological features. **Journal of Food Engineering**, v. 286, p. 110131, 2020.

SARABANDI, K., et al. Effect of carrier types and compositions on the production yield, microstructure and physical characteristics of spray dried sour cherry juice concentrate. **Journal of Food Measurement and Characterization**, v. 11, n. 4, p. 1602-1612, 2017.

SHAMAEI, S., et al. Microencapsulation of walnut oil by spray drying: Effects of wall material and drying conditions on physicochemical properties of microcapsules. **Innovative Food Science & Emerging Technologies**, v. 39, p.101-112, 2017.

SKURTYS, O. et al. Food hydrocolloid edible films and coatings. **Food Hydrocolloids: Characteristics, Properties and Structures**, p. 41-80, 2010.

SUHAG, R., et al. Film formation and deposition methods of edible coating on food products: A review. **Food Research International**, v. 136, p. 109582, 2020.

TABATABAEI, M., et al. Producing submicron chitosan-stabilized oil Pickering emulsion powder by an electrostatic collector-equipped spray dryer. **Carbohydrate Polymers**, v. 294, p. 119791, 2022.

TOMCZYK, M.; ZAGULA, G.; DZUGAN, M. A simple method of enrichment of honey powder with phytochemicals and its potential application in isotonic drink industry. **LWT - Food Science and Technology**, v. 125, p. 109204, 2020.

VOS, P., et a. Encapsulation for preservation of functionality and targeted delivery of bioactive food components. **International Dairy Journal**, v. 20, p. 292-302, 2010.

ZUIDAM, N.J.; NEDOVIC, V.A. **Encapsulation technologies for active food ingredients and food processing**. Springer, New York, NY. 2010.