



# MICROENCAPSULAÇÃO POR *SPRAY DRYING*, NOVOS BIOPOLÍMEROS E APLICAÇÕES NA TECNOLOGIA DE ALIMENTOS

E. L. CARMO<sup>1</sup>, R. V. B. FERNANDES<sup>1</sup>, S. V. BORGES<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Universidade Federal de Lavras, Departamento de Ciência dos Alimentos  
E-mail: regi\_ufv@yahoo.com.br

**RESUMO:** A secagem por *spray drying* consiste na formação de inúmeras gotículas através da aspersão de uma solução no interior da câmara de secagem, onde as mesmas entram em contato com o ar quente para a subsequente desidratação. Considerada como um dos processos mais utilizados para a secagem de alimentos, tem se destacado quando se trata de procedimentos que envolvem a microencapsulação de compostos bioativos devido à sua facilidade de operação e boa relação custo-benefício. Este trabalho teve como objetivo elaborar uma revisão bibliográfica sobre o processo, novos biopolímeros para uso como agentes encapsulantes e aplicações do *spray drying* em alimentos. Verificou-se o crescente interesse desta tecnologia por parte de diversos setores devido às mais variadas aplicações destes compostos microencapsulados. Estudos envolvendo microencapsulação de compostos bioativos por *spray drying* pode representar avanços na obtenção de ingredientes diferenciados, com aplicação em produtos alimentícios.

**PALAVRAS-CHAVE:** Secagem; Compostos Bioativos; Produtos Alimentícios.

---

## 1. INTRODUÇÃO

A secagem por *spray drying* é conhecida há muitos anos, e é utilizada em diversos produtos tais como: pigmentos naturais, probióticos, vitaminas, fármacos em geral, pesticidas e inseticidas, aditivos naturais, aromas e produtos alimentícios, como leite, café, sopas e chás (Chen *et al.*, 2015; Fávaro-Trindade *et al.*, 2010; Joye e McClements, 2014; Oliveira e Petrovick, 2010; Singh e Dixit, 2014). O *spray drying* tem sido muito utilizado em processos que envolvem microencapsulação devido à sua facilidade de operação e boa relação custo-benefício (Murugesan e Orsat, 2012). Em geral, a microencapsulação é aplicada para transformar um líquido em sólido, além de separar materiais com

possibilidade de reagirem entre si, reduzir a toxicidade de um determinado composto, mascarar gostos amargos, reduzir a volatilidade de substâncias e proporcionar liberação controlada das mesmas. Tendo em vista a importância dos compostos bioativos microencapsulados em diferentes áreas, principalmente na indústria de alimentos, e o *spray drying* ser umas das técnicas mais empregadas neste sentido, este trabalho teve como objetivo elaborar uma revisão bibliográfica sobre o processo e aplicações em produtos alimentícios.

## 1. *SPRAY DRYING* E MICROENCAPSULAÇÃO

A remoção de água de produtos é uma prática bastante comum na indústria de alimentos, como forma de assegurar a estabilidade microbiológica dos mesmos, prevenir reações de degradação, reduzir o custo de armazenamento e transporte, além de obter um produto com propriedades específicas como, por exemplo, solubilidade instantânea (Caliskan e Dirim, 2013; Couto *et al.*, 2012; Gharsallaoui *et al.*, 2007; Mishra *et al.*, 2014; Singh e Dixit, 2014). A secagem por *spray drying* pode ser citada como um processo comum para tais finalidades. A secagem por nebulização ou *spray drying* consiste em uma operação unitária através da qual um produto (solução, emulsão ou suspensão) é transformado do estado fluido para o estado sólido em forma de pó dentro de uma câmara, onde é feita a dispersão de gotículas do material, que entram em contato com um gás aquecido, em geral, o ar (Gharsallaoui *et al.*, 2007; Masters, 1979). O *spray drying* é bastante utilizado para microencapsulação de ingredientes (Araruna *et al.*, 2013; Botrel *et al.*, 2014a; Hijo *et al.*, 2015). A encapsulação pode ser definida como a inclusão de pequenas partículas sólidas, gotículas líquidas ou gases em um material de revestimento (Drusch *et al.*, 2012), e permite a formação de uma barreira física entre o meio externo e os materiais sensíveis do núcleo, protegendo esses compostos da umidade, pH e oxidação (Nesterenko *et al.*, 2013a). A microcápsula consiste em uma camada de um agente encapsulante, geralmente um composto polimérico que atua como um filme protetor, isolando a substância ativa (gotículas líquidas, partículas sólidas ou material gasoso) e evitando o efeito de sua exposição inadequada. Essa membrana se desfaz sob estímulo específico, liberando a substância no local ou momento ideal (Ré, 2000).

A secagem por *spray drying* é a mais utilizada nas indústrias alimentícias (Araruna *et al.*, 2013; Chang *et al.*, 2014; Desai e Park, 2005; Fazaeli *et al.*, 2012; Reineccius, 2004) em relação à outras técnicas como *spray cooling*, *spray chilling*, leite fluidizado, coacervação, dentre outras, por ser mais econômica e eficiente, possui fácil disponibilidade de equipamentos, baixos custos de processo, podendo ser utilizada para vários tipos de produtos (Fávaro-Trindade *et al.*, 2010; Botrel *et*

*al.*, 2012). Oliveira e Petrovick (2010) citam outras vantagens, como o fato de não ser necessário interromper o processo de secagem caso alguma condição de operação seja alterada; a formação de inúmeras gotículas facilita a troca térmica e transferência de massa, aumentando o rendimento e rapidez do processo; a técnica pode ser aplicada para produtos termossensíveis, uma vez que o tempo de contato entre estes e a fonte de calor é muito pequeno, não causando danos consideráveis no produto. Uma limitação desta técnica é que o agente encapsulante deve ser solúvel em água (Desai e Park, 2005), e Gharsallaoui *et al.* (2007) aponta como desvantagem o fato de ser impossível o aproveitamento de todo o calor que passa através da câmara de secagem.

## 2.1. Variáveis do processo

A aplicação da técnica do *spray drying* para a microencapsulação envolve quatro etapas: preparo, homogeneização e aspersão de uma solução, seguida da desidratação da solução atomizada (secagem) (Desai e Park, 2005). A Figura 1 representa o esquema geral de funcionamento do *spray dryer*.

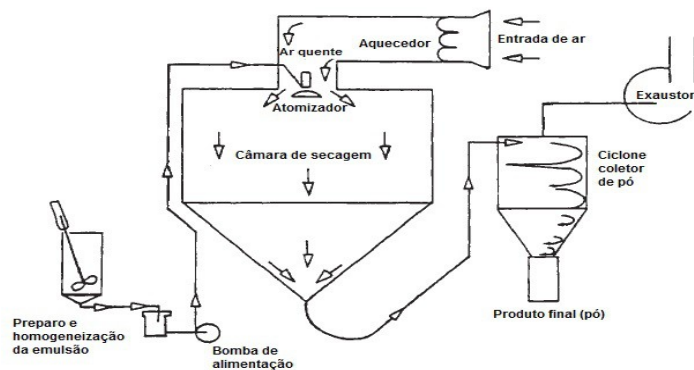


Figura 1 - Esquema representativo do processo de secagem concorrente por *spray drying*. Fonte: Adaptado Reineccius (2004).

No preparo da emulsão (ou solução), seleciona-se um material de parede e em seguida, o mesmo é hidratado em água. Posteriormente, adiciona-se o ingrediente a ser encapsulado (núcleo) no material de parede hidratado, o qual será bombeada para a câmara de secagem do *spray dryer*, onde passará pelo processo de atomização e secagem (Jafari *et al.*, 2008). A atomização de um líquido consiste na formação de inúmeras gotículas do mesmo, com o objetivo de otimizar a transferência de calor e massa entre o líquido e o ar aquecido a partir do aumento da superfície de contato entre os dois componentes. Essa etapa pode ser feita por

pressão ou energia centrífuga através de atomizadores de pressão, bico duplo-fluido, sônico, pneumático ou de disco giratório, sendo os dois últimos os mais aplicados. Os atomizadores ultrassônicos tem sido utilizados, permitindo a obtenção de gotículas com tamanho reduzidas, que apresentam diâmetros abaixo de 50  $\mu\text{m}$ , e empregam energia vibratória como um meio para atomizar líquidos (Klaypradit e Huang 2008). Uma característica importante de bicos de ultra-sons é que geram uma atomização suave, que reduz drasticamente o excesso de atomização e minimizam o entupimento do bico. Esses bicos são recomendados quando são necessárias taxas de fluxo extremamente baixos (Legako e Dunford, 2010). Posterior à atomização, ocorre o contato entre as gotículas e o ar quente, caracterizando o início da secagem, onde se observa a evaporação da água das gotículas. Ao final dessa etapa, forma-se uma crosta seca (filme) na superfície da gotícula, dando origem às microcápsulas. A separação do produto seco e do ar é feita através de um ciclone localizado na parte inferior do *spray dryer*.

A qualidade de produtos obtidos através da secagem por *spray drying* é dependente das condições de operação do *spray dryer* (Fazaeli *et al.*, 2012), que são consideradas adequadas quando se obtém, após a secagem, partículas que não tenham sofrido expansão e rachaduras em sua estrutura. Existe uma concentração ótima de material a ser encapsulado como forma de garantir maior rendimento. A taxa de alimentação do líquido a ser atomizado é ajustada como forma de garantir que cada gotícula aspergida atinja o nível desejado de secagem antes de entrar em contato com a superfície da câmara do *spray dryer*. A temperatura do ar de entrada (160-220°C) leva a uma rápida formação de uma membrana semipermeável na superfície das gotas, sendo que se essa temperatura for baixa, a taxa de evaporação lenta leva à formação de microcápsulas com membranas de alta densidade, alto teor de umidade, diminuição da fluidez do pó e facilidade de aglomeração. Por outro lado, altas temperaturas podem causar danos pelo calor ao produto seco e imperfeições na superfície (Jafari *et al.*, 2008), como rachaduras, que consequentemente fazem com que ocorra liberação prematura do conteúdo das microcápsulas e degradação do mesmo, ou ainda perda de compostos voláteis. Outro fator que a temperatura interfere é na quantidade de água no produto final e na viscosidade da solução, que por sua vez, influencia na sua capacidade de ser atomizada de maneira homogênea. Quando se eleva o valor dessa temperatura, a viscosidade e o tamanho das gotículas podem ser reduzidas. No entanto, altas temperaturas podem causar volatilização ou degradação de componentes termossensíveis. A temperatura de saída do ar no *spray dryer*, obtida sob determinadas condições, pode ser considerada como um índice de controle do secador (Gharsallaoui *et al.*, 2007).

O material da parede é proveniente de compostos que criam uma rede cuja principal finalidade é a proteção do material do núcleo. Esses compostos geralmente são protetores hidrofílicos e/ou grupos hidrofóbicos (Turchiuli *et al.*, 2005), cuja seleção depende do material do núcleo e as características desejadas das microcápsulas, tais como, a natureza e a estabilidade do material a ser encapsulado; as características do polímero encapsulante (que deve ser capaz de formar um filme coesivo com o material a ser encapsulado, ser quimicamente compatível, não reagir com o núcleo e oferecer propriedades desejáveis de revestimento, tais como: resistência, flexibilidade, impermeabilidade e estabilidade) (Gharsallaoui *et al.*, 2007). Dependendo do material do núcleo e as características desejadas para o produto final, materiais de parede podem ser selecionados a partir de uma grande variedade de polímeros naturais e sintéticos (Botrel *et al.*, 2012). Cada substância possui características únicas de poder emulsificante e propriedades formadoras de filme que define a sua capacidade para funcionar como um bom agente encapsulante. Em relação ao material do núcleo, geralmente quanto maior o tamanho das moléculas, mais lenta é a taxa de difusão, fazendo com que as mesmas levem um tempo maior para alcançarem a superfície da gotícula durante a secagem (particularmente nos estágios iniciais), aumentando assim a retenção de compostos dentro das partículas. Além disso, a superfície da gotícula se torna impermeável às moléculas mais rápido durante a secagem, quando a difusão efetivamente encerra em um baixo conteúdo de umidade, o que também favorece a retenção de compostos dentro das microcápsulas (Jafari *et al.*, 2008). A solução preparada para posteriormente passar pelo *spray dryer* também desempenha um papel importante na qualidade do pó obtido ao final do processo. Pode-se citar como parâmetros a considerar nessa etapa a concentração de sólidos totais, viscosidade, estabilidade e tamanho da gotícula. Alta concentração de sólidos na solução aumenta a retenção principalmente por reduzir o tempo requerido para formar uma membrana semipermeável na superfície da partícula (Jafari *et al.*, 2008).

## 2.2 Novos biopolímeros como agentes encapsulantes

Uma das principais áreas da pesquisa atual na área de microencapsulação é a identificação de elementos estruturais apropriados e métodos de produção para a elaboração de partículas biopoliméricas de grau alimentício. As partículas biopoliméricas podem ser preparadas utilizando-se diversos tipos de proteínas e polissacarídeos geralmente reconhecidos como seguros (GRAS), permitindo que sistemas com diferentes atributos funcionais possam ser criados (Joye e McClements, 2014). Os carboidratos, as proteínas do leite e os novos biopolímeros emergentes constituem as três principais classes de materiais de parede disponíveis

e adequados para a microencapsulação por *spray drying*, sendo a goma arábica a mais utilizada (Jafari *et al.*, 2008). Além da goma arábica, outros materiais podem ser utilizados como agar, alginato e carragena; os carboidratos (amido, dextrinas e sacarose); as celuloses (carboximetilcelulose, acetilcelulose, nitrocelulose); os lipídeos (parafina, mono e diglicerídeos, óleos e gorduras); os materiais inorgânicos (sulfato de cálcio e silicatos); as proteínas glúten, caseína, gelatina e albumina (Jackson e Lee, 1991). A seleção de um biopolímero ou combinação de biopolímeros depende de vários fatores: as características físico-químicas desejadas e as propriedades funcionais das partículas (por exemplo, tamanho, polaridade, permeabilidade, a degradabilidade e o perfil de liberação), as propriedades dos biopolímeros (como polaridade e solubilidade), e a natureza de qualquer ingrediente ativo adicionado (por exemplo, polaridade, solubilidade e estabilidade) (Joye e McClements, 2014). Os polímeros naturais tem sido objetivo de investigação devido ao seu grande campo de aplicações, particularmente como substitutos de polímeros sintéticos, pois apresentam diversas vantagens, tais como baixo custo, baixa toxicidade, disponibilidade e biodegradabilidade (Peppas, 2004). Alternativas como o uso de gomas naturais de plantas está crescendo rápido na medida que elas apresentam possibilidades diversas e rentáveis e um grande mercado internacional (Ribeiro *et al.*, 2003). Estes biopolímeros podem ser obtidos de várias fontes tais como: sementes, algas, exudados de plantas e microrganismos.

As proteínas podem ser utilizados no seu estado natural, ou podem ser modificadas quimicamente, fisicamente ou enzimaticamente para adequar aos seus atributos funcionais. Consequentemente, muitas vezes é possível ajustar o desempenho funcional das proteínas para aplicações específicas. A maioria das proteínas são facilmente digeridas dentro do corpo humano, o que se torna um fator importante já que assegura a eventual liberação dos componentes bioativos após a ingestão (Joye e McClements, 2014). Além disso, as proteínas geralmente exibem propriedades antioxidantes, que podem ser úteis para proteger os ingredientes ativos quimicamente lábeis (Matalanis *et al.*, 2012). A utilização de proteínas vegetais como materiais de parede no processo microencapsulação reflete a atual tendência ambientalmente correta na indústria farmacêutica, cosmética e de alimentos (Nesterenko *et al.*, 2013b). Entre as possíveis proteínas extraídas de plantas, as proteínas de soja, ervilhas e cereais são as mais estudadas (Nesterenko *et al.*, 2013a). Caseínas são proteínas isoladas do leite, que podem ser utilizadas para formar estruturas semelhantes a géis por adição de ácidos, cálcio ou enzimas, ou podem ser usadas para construir estruturas com outros biopolímeros com base em suas características hidrofóbicas (Joye e McClements, 2014) para a produção de micropartículas. A caseína é utilizada como matriz para a encapsulação devido às suas excelentes propriedades emulsificantes, sabor suave, baixa viscosidade em

solução e de alto valor nutricional (Jarunglumlert *et al.*, 2015). A gelatina é uma proteína solúvel em água relativamente barata e exhibe interessantes propriedades funcionais úteis para a construção de partículas de biopolímeros (Joye e McClements, 2014).

Os polissacarídeos são geralmente baratos, prontamente disponíveis, biocompatíveis e possuem baixa toxicidade (Diab *et al.*, 2012). Como as proteínas, as propriedades funcionais dos polissacarídeos naturais pode ser alteradas através de modificações enzimáticas, físicas ou químicas. O alginato, um polissacarídeo extraído de várias espécies de algas, apresenta sua funcionalidade como material de parede determinada pela proporção de ácidos D-manurônico e L-gulurônico na sua distribuição molecular (Dong *et al.*, 2013). A goma de cajueiro pode ser utilizada como aditivo em formulações de alimentos, particularmente em processamentos térmicos, similar ao que acontece com a goma arábica e xantana (Paula *et al.*, 2012). O interesse tecnológico da goma de cajueiro é devido às suas características reológicas, sua biodegradabilidade e suas propriedades mecânicas (Cunha *et al.*, 2009). A inulina é um carboidrato de reserva, naturalmente presente em diversos vegetais, fazendo parte do grupo de polissacarídeos chamados frutanos (Kawai *et al.*, 2011). Este polissacarídeo tem atraído muita atenção pelas indústrias de alimentos e farmacêuticas para os seus vários benefícios, tais como fibras dietéticas (Kim, 2002) não digeridas no trato gastrointestinal (Izzo e Franck, 1998) e pela natureza prebiótica (Buriti *et al.*, 2007). Um polissacarídeo de interesse na encapsulação de substâncias hidrofílicas é a quitosana, a qual associa-se à essas macromoléculas através de interações eletrostáticas e pontes de hidrogênio. É obtida comercialmente pela deacetilação alcalina da quitina (segundo polímero natural mais abundante na natureza depois da celulose, encontrada na estrutura de diversos invertebrados, como crustáceos, exoesqueleto de insetos, cutículas dentre outros). A quitosana apresenta propriedades mucoadesivas, prolongando o contato entre compostos bioativos e sítios de absorção, e conseqüentemente, faz com que ocorra um aumento na eficiência de encapsulação (Estevinho *et al.*, 2013).

Nos últimos anos, a tecnologia de microencapsulação e a escolha de novos biopolímeros tem-se mostrado de grande importância na indústria de alimentos, em particular no desenvolvimento de alimentos funcionais e saudáveis. Existe ainda uma tendência atual relacionada à obtenção de nanopartículas de biopolímeros como agentes encapsulantes através de diferentes técnicas (por exemplo trituração, homogeneização, extrusão, precipitação anti-solvente, coacervação, secagem dentre outros), conforme revisão feita por Joye e McClements (2014).

### **2.3. Aplicações na tecnologia de alimentos**

As micropartículas podem estar presentes nos ingredientes utilizados para fabricação de produtos alimentícios ou serem formadas durante o processamento. Mais recentemente, no entanto, há um crescente foco em partículas biopoliméricas produzidas com propriedades específicas, como encapsulação, proteção ou a liberação controlada (Joye e McClements, 2014). Os principais interesses industriais são atribuídos a microencapsulação de aromas, lipídios, corantes, agentes antioxidantes, microrganismos, ingredientes ativos de frutos e cereais entre outros compostos bioativos. O *spray drying* tem sido empregado para encapsular sucos de frutos (Borges *et al.* 2003; Oliveira *et al.*, 2007; Silva *et al.*, 2013), óleos e oleoresinas (Botrel *et al.*, 2014a; Hijo *et al.*, 2015), dentre outros. Uma vez que um único agente de encapsulação pode não possuir todas as propriedades ideais do material de parede, pesquisas recentes tem-se concentrado em misturas de carboidratos, gomas, proteínas, além de novos biopolímeros emergentes somado aos estudos dos parâmetros operacionais do processo de secagem. Esta seção concentra-se nos mais importantes ingredientes alimentícios que foram recentemente microencapsulados por *spray drying* e alguns estudos de aplicações em matrizes alimentícias.

Os pós de óleos essenciais encapsulados produzidos pelo processo de secagem por *spray* podem ser ingredientes interessantes para diversas formulações na indústria alimentícia. Para o óleo essencial de orégano, uma alta temperatura de entrada do ar (185°C) e uma vazão de alimentação moderada (0,63L/min) foram as melhores condições de *spray drying*, quando combinações de amido modificado, goma arábica e maltodextrina foram utilizados como materiais de parede (Botrel *et al.*, 2012). A importância da utilização de carboidratos com uma alta capacidade para emulsificação (ou seja, goma arábica e amido modificado) como materiais de parede foi reafirmada no estudo de Fernandes *et al.* (2014), que mostrou que tais materiais são mais eficientes na retenção de compostos voláteis do óleo essencial de alecrim microencapsulado. A presença de inulina neste trabalho melhorou a molhabilidade das partículas obtidas por *spray drying*, diminuiu a higroscopicidade sob alta umidade relativa. Teodoro *et al.* (2014) aplicaram em massa fresca de farinha de trigo em uma formulação ótima de óleo essencial de alecrim microencapsulado. O óleo essencial puro e microencapsulado mostrou atividade antimicrobiana quando adicionado em 1,5% na massa fresca. Verificou-se uma inibição mais prolongada quando se utilizou óleo microencapsulado em comparação com óleo puro, e isso pode ser devido à liberação gradual dos seus componentes ativos, a partir das microcápsulas para o produto alimentício.

No trabalho de Botrel *et al.* (2014b), os materiais de parede utilizados foram avaliados para apresentar melhores propriedades de interesse para a produção de



micropartículas de óleo de peixe secas por *spray*. A higroscopicidade e solubilidade das partículas não foram afetadas pela substituição parcial do isolado protéico de soro (IPS) por inulina ou maltodextrina. Além disso, a presença de inulina e a maltodextrina melhorou a molhabilidade das partículas e reduziu a ocorrência de óleo na superfície das partículas quando comparado com o IPS aplicado puro. Com o objetivo de caracterizar as micropartículas secas por *spray* contendo bioaroma de queijo suíço (produzido por *Propionibacterium freudenreichii*), estudos foram realizados para verificar os efeitos de sistemas de parede (amido modificado e maltodextrina) e diferentes temperaturas do ar de entrada sobre a retenção de ácidos orgânicos (acético e propiônico) durante a microencapsulação. A maior retenção de ácido acético e ácido propiônico foi obtida quando se empregou os seguintes parâmetros no *spray drying*: temperatura de entrada do ar de 175°C e concentração de amido modificado de 50% (Costa *et al.*, 2015). Khem *et al.* (2016) examinaram o efeito protetor do isolado proteico de soro (IPS), como material de parede, para duas estirpes de *Lactobacillus plantarum*, A17 e B21, durante o *spray drying*. A estirpe B21 verificou-se ser mais hidrofóbica do que A17 e uma quantidade de 50% de IPS foi necessária para fornecer alta taxa de sobrevivência (90%). Os autores propuseram que o IPS protege as bactérias hidrofóbicas pela ligação inicial com a proteína do soro de leite desdobrada devido às interações hidrofóbicas seguidas por adesão às proteínas, resultando em células incorporadas dentro das paredes das microcápsulas. As estirpes encapsuladas tiveram um teor de umidade de 5,5% e, durante o armazenamento a 20°C, mantiveram viabilidade por pelo menos oito semanas.

O estudo de Marques *et al.* (2014) teve como objetivo avaliar os efeitos de concentrações de maltodextrina e da temperatura do ar de entrada sobre as propriedades físicas do extrato milho verde seco por *spray drying*. Os resultados indicaram que a combinação de uma temperatura do ar de secagem de 163°C e uma concentração de maltodextrina de 2,67% (m/m) produziu o melhor desempenho da secagem em relação aos parâmetros avaliados: rendimento (36,36%), umidade (1,39%), atividade da água (0,063), solubilidade (92,11 g/100 g), molhabilidade (139,58g/s), densidade (0,66g/mL) e cor (L: 92,50, C\*: 15,47 e h°: 97,46).

Venil *et al.* (2015) realizaram um estudo para investigar a produção por *spray drying* de pigmento violeta em pó a partir da bactéria *Chromobacterium violaceum* UTM 5 e sua potencial aplicação em alimentos. O pigmento violeta concentrado foi produzido como um pó estável com pequeno tamanho de partícula, solúveis em água e com baixo teor de umidade. As melhores condições de secagem foram 180°C e 85°C para as temperaturas entrada e de saída, respectivamente e taxa de alimentação de 2ml/min. Iogurte e geléia coloridos com este corante em pó

produziram alimentos de cor violeta brilhante e a coloração se manteve inalterada durante um mês de armazenamento a 4°C. Os autores concluíram que estes resultados são certamente encorajadores para a elaboração de um corante natural, com potencial para o desenvolvimento de novos produtos.

### 3. CONCLUSÃO

A técnica de *spray drying* representa uma grande utilização na ciência no que diz respeito à obtenção de ingredientes naturais em formas mais estáveis, sendo considerado um processo econômico e versátil. Com a intensificação de pesquisas, a modernização de equipamentos tem proporcionado melhorias nos produtos obtidos através da técnica, como por exemplo o uso de atomizadores ultrassônicos como forma de redução do tamanho de partículas e melhoria na retenção de compostos voláteis. Além disso, a obtenção de nanopartículas de biopolímeros como agentes encapsulantes representa um potencial aumento na eficiência para aplicação de ingredientes encapsulados em matrizes alimentícias, agregando maior valor sensorial e nutricional aos alimentos aos quais forem adicionados.

### 4. AGRADECIMENTOS

Ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico - CNPq e Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de Minas Gerais - FAPEMIG pelo financiamento parcial desse estudo.

### 6. REFERÊNCIAS

- ARARUNA, S. M.; SILVA, A. H.; CANUTO, K. M.; SILVEIRA, E. R.; LEAL, L. K. A. M. Influence of process conditions on the physicochemical characteristics of cumaru (*Amburana cearensis*) powder produced by spray drying. **Brazilian Journal of Pharmacognosy**, Curitiba, PR, v. 23, n. 1, p. 132-137, jan./feb. 2013.
- BORGES, S.V.; JORGE, E.C. ; OLIVEIRA, V.M. Empleo de un secador por atomización a escala piloto em laproducción de maracuya em polvo e suaceptabilidad como jugo reconstituído. **Alimentaria**, Madrid, ES, v. 342, p. 83-87, 2003.
- BOTREL, D. A.; BORGES, S. V.; FERNANDES, R. V. B.; CARMO, E. L. Optimization of fish oil spray drying using a protein: inulin system. **Drying Technology**, Abingdon, UK, v. 32, n. 3, p. 279-290, jan. 2014a.
- BOTREL, D. A.; FERNANDES, R. V. B.; BORGES, S. V.; YOSHIDA, M. I. Influence of wall matrix systems on the properties of spray-dried

- microparticles containing fish oil. **Food Research International**, Barking, v. 62, p. 344–352, aug. 2014b.
- BOTREL, D. A.; BORGES, S. V.; FERNANDES, R. V. B.; VIANA, A. D.; COSTA, J. M. G.; MARQUES, G. R. Evaluation of spray drying conditions on properties of microencapsulated oregano essential oil. **International Journal of Food Science and Technology**, Oxford, v.47, n. 11, p. 2289–2296, nov. 2012.
- BURITI, F. C. A.; CARDARELLI, H. R.; FILISETTI, T. M. C. C.; SAAD, S. M. I. Symbiotic potential of fresh cream cheese supplemented with inulin and *Lactobacillus paracasei* in co-culture with *Streptococcus thermophilus*. **Food Chemistry**, London, v. 104, n. 4, p. 1605–1610, 2007.
- CALISKAN, G.; DIRIM, S. N. The effects of the different drying conditions and the amounts of maltodextrin addition during spray drying of sumac extract. **Food and Bioproducts Processing**, Rugby, v. 91, n. 4, p. 539-548, oct. 2013.
- CHANG, Y. X.; YANG, J. J.; PAN, R. L.; CHANG, Q.; LIAO, Y. H. Anti-hygroscopic effect of leucine on spray-dried herbal extract powders. **Powder Technology**, Lausanne, v. 266, p. 388-395, nov. 2014.
- CHEN, H.; ZHANG, Y.; ZHONG, Q. Physical and antimicrobial properties of spray-dried zein–casein nanocapsules with co-encapsulated eugenol and thymol. **Journal of Food Engineering**, Essex, v. 144, p. 93–102, jan. 2015.
- 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**, Lausanne, v. 274, p. 296–304, apr. 2015.
- COUTO, R. O.; CONCEIÇÃO, E. C.; CHAUL, L. T.; OLIVEIRA, E. M. S.; MARTINS, F. S.; BARA, M. T. F.; REZENDE, K. R.; ALVES, S. F.; PAULA, J. R. Spray dried Rosemary extracts: physicochemical and antioxidant properties. **Food Chemistry**, London, v. 131, n. 1, p. 99-105, mar. 2012.
- CUNHA, P. L .R.; de PAULA, R. C. M.; FEITOSA. J. P. A. Polissacarídeos da biodiversidade brasileira: uma oportunidade de transformar conhecimento em valor econômico. **Química Nova**, São Paulo, SP, v. 32, n. 3, p. 649–660, mar. 2009.
- DESAI, K. G. H.; PARK, H. J. Recent Developments in Microencapsulation of Food Ingredients. **Drying Technology**, Abingdon, UK, v. 23, n. 7, p. 1361-1394, 2005.
- DIAB, R.; JAAFAR-MAALEJ, C.; FESSI, H.; MAINCENT, P. Engineered nanoparticulate drug delivery systems: the next frontier for oral administration? **American Association of Pharmaceutical Scientists**

- Journal**, Arlington, VA, v. 14, n. 4, p. 688–702, dec. 2012.
- DONG, Q.-Y.; CHEN, M.-Y.; XIN, Y.; QIN, X.-Y.; CHENG, Z.; SHI, L.-E.; TANG, Z.-X. Alginate-based and protein-based materials for probiotics encapsulation: a review. **International Journal of Food Science and Technology**, Oxford, v. 48, n. 7, p. 1339–1351, jul. 2013
- DRUSCH, S.; REGIER, M.; BRUHN, M. **Recent advances in the microencapsulation of oils high in polyunsaturated fatty acids**. In: Novel Technologies in Food Science, Nova Iorque, Springer, v. 7, pp. 159-181, 2012.
- ESTEVINHO, B.N.; ROCHA, F.; SANTOS, L.; ALVES, A. Microencapsulation with chitosan by spray drying for industry applications – a review. **Trends in Food Science and Technology**, Cambridge, v. 31, n. 2, p. 138-155, jun. 2013.
- FÁVARO-TRINDADE, C. S.; SANTANA, A. S.; MONTERREY-QUINTERO, E. S.; TRINDADE, M. A.; NETTO, F. M. The use of spray drying technology to reduce bitter taste of casein hydrolysate. **Food Hydrocolloids**, Oxford, v. 24, n. 4, p. 336-340, jun. 2010.
- FAZAELI, M.; EMAM-DJOMEH, Z.; ASHTARI, A. K.; OMID, M. Effect of spray drying conditions and feed composition on the physical properties of black mulberry juice powder. **Food and Bioproducts Processing**, Rugby, v. 90, n. 4, p. 667-675, oct. 2012.
- FERNANDES, R. V. B.; BORGES, S. V.; BOTREL, D. A. Gum arabic/starch/maltodextrin/inulin as wall materials on the microencapsulation of rosemary essential oil. **Carbohydrate Polymers**, Barking, v. 101, p. 524–532, jan. 2014.
- GHARSALLAOUI, A.; ROUDOUT, G.; CHAMBIN, O.; VOILLEY, A.; SAUREL, R. Applications of *spray-drying* in microencapsulation of food ingredients: An overview. **Food Research International**, Barking, v. 40, n. 9, p. 1107-1121, nov. 2007.
- HIJO, A. A. C. T., COSTA, J. M. G., SILVA, E. K., AZEVEDO, V. M., YOSHIDA, M. I., BORGES, S. V. Physical and thermal properties of oregano (*Origanum vulgare* L.) essential oil microparticles. **Journal of Food Process Engineering**, Westport, v. 38, n. 1, p. 1-10, feb. 2015.
- IZZO, M.; FRANCK, A. Nutritional and health benefits of inulin and oligofructose conference. **Trends in Food Science and Technology**, Cambridge, v. 9, n. 4, p. 255-257, apr. 1998.
- JACKSON, L. S.; LEE, K. Microencapsulation and the food industry. **LWT - Food Science and Technology**, London, v. 24, n. 4, p. 289-297, 1991.
- JAFARI, S. M.; ASSADPOOR, E.; HE, Y.; BHANDARI, B. Encapsulation efficiency of food flavours and oils during spray drying. **Drying**

- Technology**, Abingdon, UK, v. 26, n.7, p. 816-835, jun. 2008.
- JARUNGLUMLERT, T.; NAKAGAWA, K.; ADACHI, S. Influence of aggregate structure of casein on the encapsulation efficiency of  $\beta$ -carotene entrapped via hydrophobic interaction. **Food Structure**, Chicago, v. 5, p. 42–50, jul. 2015.
- JOYE, I. J.; McCLEMENTS, D. J. Biopolymer-based nanoparticles and microparticles: Fabrication, characterization, and application. **Current Opinion in Colloid and Interface Science**, Amsterdam, v. 19, n. 5, p. 417-427, oct. 2014.
- KAWAI, K.; FUKAMI, K.; THANATUKSORN, P.; VIRIYARATTANASAK C.; KAJIWARA, K. Effects of moisture content, molecular weight, and crystallinity on the glass transition temperature of inulin. **Carbohydrate Polymers**, Barking, v. 83, n. 2, p. 934–939, jan. 2011.
- KHEM, S.; SMALL, D. M.; MAY, B. K. The behaviour of whey protein isolate in protecting *Lactobacillus plantarum*. **Food Chemistry**, London, v. 190, p. 717–723, 2016.
- KIM, M. The water-soluble extract of chicory affects rat intestinal morphology similarly to other non-starch polysaccharides. **Nutrition Research**, Tarrytown, v. 22, n. 11, p. 1299–1307, nov. 2002.
- KLAYPRADIT, W.; HUANG, Y-W. Fish oil encapsulation with chitosan using ultrasonic atomizer. **LWT - Food Science and Technology**, London, v. 41, n. 6, p. 1133–1139, jul. 2008.
- LEGAKO, J.; DUNFORD, N. T. Effect of spray nozzle design on fish oil-whey protein microcapsule properties. **Journal of Food Science**, Chicago, v.75, n. 6, p. E394-E400, aug. 2010.
- MARQUES, G. R.; BORGES, S. V.; MENDONÇA, K. S.; FERNANDES, R. V. B.; MENEZES, E. G. T. Application of maltodextrin in green corn extract powder production. **Powder Technology**, Lausanne, v. 263, p. 89–95, sep. 2014.
- MASTERS, K. **Spray Drying Handbook**. 3. ed. New York: John Wiley & Sons Inc. 1979.
- MATALANIS, A.; DECKER, E. A.; MCCLEMENTS, D. J. Inhibition of lipid oxidation by encapsulation of emulsion droplets within hydrogel microspheres. **Food Chemistry**, London, v. 132, n. 2, p. 766–772, may. 2012.
- MISHRA, P.; MISHRA, S.; MAHANTA, C. L. Effect of maltodextrin concentration and inlet temperature during spray drying on physicochemical and antioxidant properties of amla (*Embllica officinalis*) juice powder. **Food and Bioproducts Processing**, Rugby, v. 92, n. 3, p. 252-258, jul. 2014.
- MURUGESAN, R.; ORSAT, V. *Spray Drying* for the Production of Nutraceutical

- Ingredients - A Review. **Food and Bioprocess Technology**, New York, v. 5, n. 1, p. 3-14, jan. 2012.
- NESTERENKO, A.; ALRIC, I.; SILVESTRE, F.; DURRIEU, V. Vegetable proteins in microencapsulation: A review of recent interventions and their effectiveness. **Industrial Crops and Products**, Amsterdam, v. 42, p. 469-479, mar. 2013a.
- NESTERENKO, A.; ALRIC, I.; VIOLLEAU, F.; SILVESTRE, F.; DURRIEU, V. A new way of valorizing biomaterials: The use of sunflower protein for  $\alpha$ -tocopherol microencapsulation. **Food Research International**, Barking, v. 53, n. 1, p. 115-124, aug. 2013b.
- OLIVEIRA, A. R. G.; BORGES, S. V.; FARIA, R. K.; ENDO, E.; GREGÓRIO, S. R. Influência das condições de secagem por atomização sobre as características sensoriais de sucos maracujá (*Passiflora edullis*) e abacaxi (*Ananas comosus*) desidratados. **Revista Ciência Agronômica**, Fortaleza, CE, v. 38, n. 3, p. 251-256, jul./set. 2007.
- OLIVEIRA, O. W.; PETROVICK, P. R. Secagem por aspersão (*spray drying*) de extratos vegetais: bases e aplicações. **Revista Brasileira de Farmacognosia**, Curitiba, PR, v. 20, n. 4, p. 641-650, ago./set. 2010.
- PAULA, H. C. B.; OLIVEIRA, E. F.; ABREU, F. O. M. S.; de PAULA, R. C. M. Alginate/cashew gum floating bead as a matrix for larvicide release. **Materials Science and Engineering, C, Materials for Biological Applications**, Amsterdam, v. 32, n. 6, p. 1421-1427, aug. 2012.
- PEPPAS, N. A. Devices based on intelligent biopolymers for oral protein delivery. **International Journal of Pharmaceutics**, Amsterdam, v. 277, n. 1-2, p. 11-17, jun. 2004.
- RÉ, M. I. Microencapsulação: Em busca de produtos inteligentes. **Ciência Hoje**, Rio de Janeiro, RJ, v. 27, n. 162, p. 24-29, jul. 2000.
- REINECCIUS, G. A. The spray drying of food flavors. **Drying Technology**, Abingdon, UK, v. 22, n. 6, p. 1289-1324, 2004.
- RIBEIRO, R. C. C.; CORREIA, J. C. G.; MONTE, M. B. M.; SEIDL, P. R.; MOTHÉ, C. G.; LIMA, C. A. Cashew gum: a new depressor for limestone in the phosphate minerals flotation. **Minerals Engineering**, Oxford, v. 16, n. 9, p. 873-875, sep. 2003.
- SILVA, P. I.; STRINGHETA, P. C.; TEÓFILO, R. F.; OLIVEIRA, I. R. N. Parameter optimization for spray-drying microencapsulation of jaboticaba (*Myrciaria jaboticaba*) peel extracts using simultaneous analysis of responses. **Journal of Food Engineering**, Essex, v. 117, n. 4, p. 538-544, aug. 2013.
- SINGH, S.; DIXIT, D. A review on spray drying: emerging technology in food industry. **International Journal of Applied Engineering and Technology**,

- Jaipur, v. 4, n. 1, p. 1-8, jan./mar. 2014.
- TEODORO, R. A. R.; FERNANDES, R. V. B.; BOTREL, D. A.; BORGES, S. V.; SOUZA, A. U. Characterization of microencapsulated rosemary essential oil and its antimicrobial effect on fresh dough. **Food and Bioprocess Technology**, New York, v. 7, n. 9, p. 2560–2569, sep. 2014.
- TURCHIULI, C.; FUCHS, M.; BOHIN, M.; CUVELIER, M.E.; ORDONNAUD, C.; PEYRAT-MAILLARD, M.N.; DUMOULIN, E. Oil encapsulation by spray drying and fluidised bed agglomeration. **Innovative Food Science and Emerging Technologies**, London, v. 6, n.1, p. 29-35, mar. 2005.
- VENIL, C. K.; ARULDASS, C. A.; HALIM, M. H. A.; KHASIM, A. R.; ZAKARIA, Z. A.; Ahmad, W. A. Spray drying of violet pigment from *Chromobacterium violaceum* UTM 5 and its application in food model systems. **International Biodeterioration and Biodegradation**, Barking, v. 102, p. 324-329, aug. 2015.

## **MICROENCAPSULATION BY SPRAY DRYING, NEW BIOPOLYMERS AND APPLICATIONS IN FOOD TECHNOLOGY**

**ABSTRACT:** Spray drying consists in the formation of numerous droplets by spraying a solution inside the drying chamber, where they come into contact with hot air for subsequent dehydration. It is considered as one of the processes most commonly used for drying food, and it has become very known in microencapsulation of bioactive compounds due to its easy operation and cost-effectiveness. This study aimed to develop a literature review on the process, new biopolymers for use as encapsulating agents and applications of spray drying in food. There has been growing interest in this technology by various sectors due to the different applications of these microencapsulated compounds. Studies involving microencapsulation of bioactive compounds by spray drying may represent advances to obtain several interesting ingredients, with application in food products.

**KEYWORDS:** Drying; Bioactive Compounds; Food Products.