
Encapsulação de antocianinas a partir da secagem por atomização: a revisão

Mariane Igansi Alves, Elizangela Gonçalves de Oliveira

<https://doi.org/10.4322/mp.978-65-84548-17-6.c2>

Resumo

O objetivo deste trabalho foi realizar uma revisão bibliográfica apresentando uma das formas de viabilizar através da microencapsulação, as antocianinas pela secagem por atomização (*spray dryer*) para aumentar sua estabilidade e viabilidade diante da possível aplicação em diferentes matrizes alimentícias. As variáveis mais estudadas para se obter partículas vão desde a concentração do material de parede, o tipo de material, assim como a temperatura de entrada e saída da secagem, além disso, a obtenção e caracterização das antocianinas se torna importante, pois as mesmas são consideradas valiosas fontes de antioxidante, em que seu consumo resulta em benefícios à saúde. Os resultados indicaram que as melhores temperaturas de entrada no equipamento encontram-se acima dos 100°C, já para a saída, é necessário que haja uma redução para em torno de 70°C, além disso, pode-se atingir uma eficiência das antocianinas encapsuladas de até 95%, podendo serem armazenadas em temperaturas de até 35 °C. A revisão mostrou que é possível realizar a secagem por atomização para encapsular antocianinas de diversas fontes tendo uma resposta eficiente na estabilização e liberação destes compostos no organismo. A utilização da encapsulação de compostos bioativos em diversas matrizes alimentares constituiu um ganho para a indústria de alimentos pois oferece um alimento rico em nutrientes e para o consumidor que têm a sua disposição produtos com qualidade.

Palavras-chave: alimentos; biodisponibilidade; compostos bioativos; compostos fenólicos; material de parede; processo.

1. Introdução

Buscando uma alternativa para a obtenção de produtos alimentícios com uma maior segurança e redução de efeitos colaterais (Aranha, 2013), vem se estudando há alguns anos os compostos bioativos que possuem como características as propriedades nutracêuticas e funcionais com o objetivo de enriquecer o produto e torná-lo mais saudável para o consumidor (Santos, 2010). Porém, um dos grandes desafios encontrados é a sua instabilidade frente à alguns processos.

Para reduzir tal problema, o método de encapsulação foi sendo utilizado devido ao fato que reduz a reatividade dos compostos com o ambiente (água, luz e oxigênio) e diminui a taxa de transferência para o ambiente exterior, proporcionando uma proteção contra a sua oxidação, fotólise ou interação com outros componentes de formulação do meio, além disso, é possível com esse processo a incorporação de agentes antimicrobianos e antioxidantes auxiliando na proteção de produtos alimentares contra o crescimento de microrganismos patogênicos e deteriorantes (El Asbahani, 2015).

As antocianinas fazem parte do grupo dos flavonoides, compostos fenólicos que são caracterizados pela presença do cátion *flavilium*. Estruturalmente, podem ser encontradas sob duas formas: na forma ligada ou glicona (ligada a uma ou mais moléculas de açúcar) denominada antocianina, e na forma livre ou aglicona (sem açúcar) chama-se antocianidina (Sautter et al., 2005).

Além de conferir cor, que ajuda na polinização e dispersão de sementes, as antocianinas ainda desempenham outras funções, como proteção à ação da luz, mecanismos de defesa, função biológica, e ainda apresentam propriedades farmacológicas (Lopes et al., 2013).

A secagem por atomização é uma das técnicas mais utilizadas para a encapsulação, devido ao baixo custo de processo, possibilidade de emprego de uma ampla gama de agentes encapsulantes e pequeno tamanho de partículas formadas, o que torna o material produzido altamente solúvel (Pagani, 2010).

A revisão descreve o processo, bem como o seu uso na encapsulação de antocianinas através do processo de *spray-dryer*.

2. Metodologia da pesquisa bibliográfica

O trabalho foi desenvolvido através de pesquisas nos portais dos periódicos CAPES, assim como, nos sites do *ScienceDirect* e Scielo utilizando como palavras-chave: antocianinas, encapsulação, compostos bioativos e secagem por atomização (*anthocyanins, encapsulation, bioactive compounds and spray drying*). Encontrou-se 2600 resultados (artigos, teses, dissertações e tccs), priorizou-se 30 relacionados ao assunto os quais foram utilizados na revisão.

3. Antocianinas

Um dos compostos que podem ser encapsulados, são as antocianinas. Caracterizadas por pertencerem a família dos Flavonoides, são pigmentos responsáveis pela grande maioria das cores azul, violeta e quase todas as tonalidades existentes do vermelho, podendo ser encontradas em frutos como amora-preta, mirtilo, algumas folhas, caules e raízes de plantas e possuem solubilidade em água e instabilidade em temperaturas elevadas (Malacrida & Motta, 2006).

Apresenta um esqueleto estrutural de carbonos C6-C3-C6, totalizando 15 carbonos em sua estrutura básica, atualmente, mais de 700 estruturas foram encontradas em fontes naturais e mais de 200 identificadas (Santos- Buelga & González- Paramás, 2019). Em sua estrutura básica pode ser encontrado uma derivação do cátion flavilium (cátion 2-fenilbenzopropílico), que é formado por dois anéis aromáticos unidos por uma unidade de três carbonos, esses condensados por um oxigênio (Delgado-Vargas et al., 2010).

As antocianinas possuem muitas ligações duplas que são facilmente excitadas, expressando assim suas cores através das moléculas em luz visível e como sua sensibilidade ao pH é alta, em solução ácida, apresentam coloração vermelha e em solução alcalina a cor passa a ser azul (Sinopoli et al., 2019).

Em alimentos, as antocianinas sofrem transformações estruturais reversíveis com o pH, manifestadas na mudança de cor e, por isso, podem se apresentar em 4 formas estruturais diferentes em equilíbrio químico, dependendo do pH em meio aquoso. Em pH abaixo de 2, o cátion flavilium (AH⁺) (vermelho) predomina. Em pH mais elevado, ocorre uma rápida hidratação do

cátion flavilium em C2 para formar a pseudobase carbinol (B) (incolor), que pode sofrer abertura do anel a uma chalcona (C) (incolor – pouco amarela). Em condições de pH 4 a 6, a desprotonação do cátion flavilium gera a base quinoidal (A) (azul) (Rodriguez-Amaya, 2018).

Além do pH, a estabilidade das antocianinas referentes à sua cor depende de fatores como a coexistência de compostos incolores (flavonas e flavonoides), da temperatura de armazenamento, da estrutura química, da concentração de oxigênio, presença de luz, solventes, enzimas, proteínas, íons metálicos, vitamina C e dióxido de enxofre. Outro fator a ser considerado, é quando se encontram isolados, já que se tornam altamente instáveis e muito suscetíveis a degradação (Rodriguez-Amaya, 2018).

Além de conferirem cor, a principal característica para o uso das antocianinas é a atividade antioxidante, devido à sua capacidade de doar prótons a radicais livres altamente reativos. A atividade antioxidante das antocianinas é dada pela sua estrutura química: o número e a organização dos grupos fenila, a disponibilidade de grupos de doação de elétrons e de retirada de elétrons na estrutura do anel, o grau de conjugação estrutural e a sua carga positiva (Castañeda-Ovando et al., 2009). As antocianinas ocorrem para impedir a geração de mais radicais e proteger as células contra danos oxidativos, que é frequentemente associada ao envelhecimento e várias doenças causadas pelo estresse oxidativo (Sui et al., 2019).

Robert et al. (2010) avaliaram a estabilidade das antocianinas do suco de romã (*Punica granatum* L.) “in natura” e do suco microencapsulado durante 56 dias de armazenamento na temperatura de 60 °C. Os autores verificaram que a degradação de antocianinas no suco “in natura” foi mais rápida do que a degradação no suco microencapsulado, o que demonstra a importância da microencapsulação na proteção de compostos bioativos.

Favaro e colaboradores (2020) realizaram a extração e avaliação sensorial de barra de cereal com extrato de antocianinas da fruta da palmeira jussara (*Euterpe edulis*) onde foram desenvolvidas três formulações e a partir da mais adequada, adicionou-se o extrato, tendo o melhor resultado o de 2% (m/m). Como resultado, a incorporação tornou a barra de cereal um produto com alto valor de fibras e poder antioxidante.

4. Processo de Encapsulação

O processo é baseado no empacotamento de partículas como pigmentos, acidulantes, nutriente, enzimas, conservantes e bioativos e consiste no carregamento desses compostos por matrizes poliméricas, mantendo a sua estabilidade química com o resultado de promover a liberação no momento e na concentração de cada sistema. O material a ser encapsulado é denominado de recheio ou núcleo e o material responsável pela forma é denominado de encapsulante, cobertura ou parede. (Azeredo, 2005; Nedovic et al., 2011).

O objetivo da utilização dessa técnica se dá pela estabilização dos materiais a serem encapsulados, do controle de suas reações oxidativas e sua liberação, da possibilidade de mascarar qualquer tipo de sabor, cor e/ou odor, prolongar sua vida útil, reduzir sua volatilidade e reatividade, além da proteção dos componentes contra a perda nutricional, o aumento da estabilidade em ambientes diversos tais como a luz, oxigênio e valores de pH (Silva & Meireles, 2014).

Na área de alimentos, a tecnologia tem sido amplamente utilizada para proteger os ingredientes alimentares contra a deterioração, perdas voláteis ou interação com os demais, além de permitirem a produção de alimentos na forma de pó (Kaderides, et al., 2015).

A escolha adequada da técnica a ser empregada, decorre principalmente do tipo de material a ser encapsulado, compreensão de suas propriedades físico-químicas, e das características do produto onde a encapsulação será aplicada (Augustin & Hemar, 2009; Dias et al., 2017). No entanto, Labuschagne (2018) ressalta que a secagem por atomização e a liofilização são os métodos de encapsulação mais utilizados, estando presentes em cerca de 84 % das publicações, enquanto outras tecnologias de encapsulação têm ganhado destaque apenas nos últimos anos.

Desse modo, é de grande importância selecionar apropriadamente a técnica de encapsulação, assim como os materiais de parede ativos, maximizando desta forma a incorporação e a retenção dos compostos funcionais dentro da matriz (Ballesteros et al., 2017).

Idham e colaboradores (2012) avaliaram a estabilidade das antocianinas de hibisco (*Hibiscus sabdariffa* L.) microencapsuladas pela técnica de *spray-dryer* com amido solúvel, maltodextrina, goma arábica e mistura de maltodextrina com goma arábica durante 105 dias nas temperaturas de 4, 25 e 37 °C. Após o período de armazenamento, os autores verificaram que a mistura de maltodextrina e goma arábica apresentou menor taxa de degradação das antocianinas, quando comparado ao uso de somente um tipo de material de parede. Esse resultado indica a vantagem do uso de misturas de biopolímeros na microencapsulação.

Foi avaliada a estabilidade das antocianinas de pétalas de açafrão (*Crocus sativus* L.) microencapsuladas por liofilização com maltodextrina e goma arábica durante 10 semanas na temperatura de 35 °C, os autores observaram que não houve perdas significativas de antocianinas após o período de armazenamento, o que demonstra o efeito protetor do material de parede (Mahdavee Khazaei et al., 2014).

4.1. Secagem por atomização (*spray-dryer*)

Em relação as demais técnicas de encapsulação, a de atomização caracteriza-se por ser um método econômico e que resulta na formação de pós estáveis, operando em temperaturas acima das demais técnicas e por um período de tempo menor (Flores et al., 2014).

A Tabela 1 mostra as variáveis utilizadas na encapsulação de antocianinas pela secagem de atomização.

Tabela 1. Encapsulação de antocianinas por secagem por atomização

Fonte	Material de parede	Variáveis estudadas	Aplicação	Autores
<i>Beberis vulgaris</i>	Goma arábica+ Maltodextrina Maltodextrina + gelatina Maltodextrina	150 °C de entrada e 100 °C saída	Extrato de bérberis (<i>Berberis vulgaris</i>)	Mahdawi et al., 2016
<i>Black coat</i> de soja	Maltodextrina Goma arábica Leite em pó	140 °C de entrada e 70 °C de saída	<i>Black coat</i> de soja	Kalušević et al., 2017
Uva bordo	Polidextrose Goma guar	75-90% de umidade; 35,45 e 55 dias/35 °C	Extrato aquoso da casca da uva Bordo	Kuck et al., 2017
Polpa de juçara	Goma arábica Amido modificado Soro de leite ou isolado proteico de soja	150 °C de entrada e 90-98 °C de saída	Polpa de juçara	Santana et al., 2016
Casca da jabuticaba	Quitosana	140 °C	Extrato fenólico da casca de jabuticaba	Cabral et al., 2018
Suco de maqui	Inulina ou Alginato de sódio	60 °C-160 dias	Suco de maqui	Fredes et al., 2018
Juçara	Maltodextrina e Goma arábica	126 °C de entrada e 89 °C de saída	Polpa da juçara	Mazuco et al., 2018
Farelo de arroz roxo	Amido de arroz glutinoso	140-180 °C e pressão de 2,76 a 5,52 MPa	Farelo de arroz roxo	Das & Goud, 2019
<i>Salanum melongena</i> L.	Goma arábica	130-180 °C	logurte	Barretto et al., 2020
Barragem iraniana	Maltodextrina+ Amido de milho modificado	1:0; 1:1,0,25; 1:0,5; 1:1	Extrato de borragem iraniana	Mehran et al., 2020
Extrato de batata roxa	Maltodextrina	92-188 °C	Extrato de batata	Vergara et al., 2020
<i>Hibiscus sabdariffa</i> L.	Goma arábica e Maltodextrina	150-190 °C	Extrato de cálices de <i>Hibiscus sabdariffa</i> L.	Campos- Fernandez et al., 2021

Seu funcionamento tem o princípio da remoção da fase líquida pela aplicação de calor ao produto e o controle da umidade do meio de secagem do material a ser encapsulado (Gharsallaoui et al., 2007). O solvente adicionado será evaporado através da pulverização do produto a ser encapsulado numa atmosfera aquecida sendo dividida em quatro fases: atomização da solução a ser encapsulada; contato da dispersão com o gás quente; evaporação do solvente; e separação e recolhimento das partículas. Esses estágios são responsáveis pelas transformações que a dispersão que entra no secador de pulverização passa antes de se tornar pó através da retirada do solvente (Anandharamakrishnan & Ishwarya, 2015) (Figura 1).

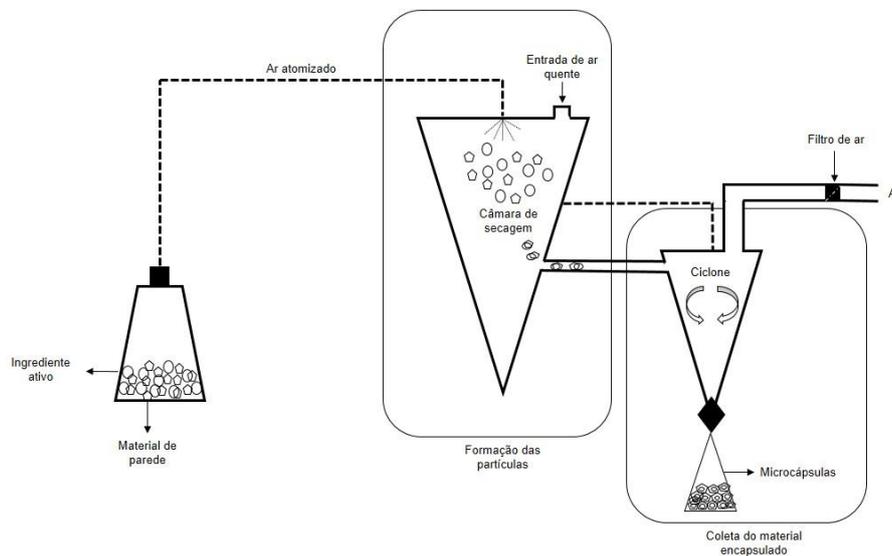


Figura 1. Processo de secagem por atomização. Fonte: Anandharamakrishnan & Ishwarya, 2015

As partículas são separadas em um ciclone, e o ar sai do sistema com uma temperatura mais baixa e uma umidade mais elevada (Dias et al., 2017). Essa técnica deve ser realizada adequadamente, escolhendo cuidadosamente a temperatura de secagem, tipo de atomização, material encapsulante e condições de armazenamento (Alexe & Dima, 2014).

Uma etapa de homogeneização da dispersão a ser encapsulada deve ser realizada previamente antes da secagem, pois desempenha um papel

fundamental na eficiência da encapsulação, garantindo que o material do núcleo fique completamente encapsulado na matriz (Cano-Higueta et al., 2015).

Diferentes materiais podem ser utilizados para a encapsulação, tais como, proteínas lácteas e isolados proteicos vegetais; e polissacarídeos, como goma arábica, maltodextrina, amido modificado, inulina, goma de caju, polidextrose, goma guar parcialmente hidrolisada, e pectina (Dias et al., 2017).

Este método pode ser aplicado em escala industrial, devido aos altos rendimentos, e por ser um sistema relativamente barato, rápido e eficiente para a encapsulação de componentes bioativos, tais como, óleos essenciais, corantes naturais, vitaminas e probióticos (Alexe & Dima, 2014; Dias et al., 2017).

Para o uso desta técnica deve-se considerar os fatores como a solubilidade e a sensibilidade ao calor dos compostos bioativos a serem encapsulados, assim como a estrutura química e natureza do material da parede, presença de outros componentes como açúcares e proteínas, bem como aspectos econômicos (Ozkan et al., 2019).

Ao avaliarem três materiais de parede diferentes, maltodextrina e goma arábica (MD + GA), maltodextrina e gelatina (MD + GE), e maltodextrina (MD) para a encapsulação do extrato de bérberis (*Berberis vulgaris*), com temperatura de entrada de 150 °C e saída de 100 °C, Mahdavi et al., (2016) verificaram que os melhores resultados foram obtidos nas amostras produzidas com MD + GA alcançando a maior eficiência de processo e melhor qualidade de pó. As condições ótimas do processo de microencapsulação para as antocianinas de bérberis foram 24,54% de conteúdo de material de parede e 13,82% de carga de antocianina. Nessas condições, a eficiência de microencapsulação das antocianinas chegou a 92,83%.

Kalušević et al., (2017) avaliaram as propriedades físico-químicas do extrato seco por *spray* de *Black coat* de soja em relação aos materiais de parede maltodextrina, goma arábica e leite em pó desnatado. O *Black coat* de soja é um resíduo insuficientemente valorizado da produção de alimentos, rico em antocianinas. As micropartículas obtidas de maltodextrina e goma-arábica obtiveram formato esférico e não poroso, enquanto as de leite em pó desnatado, formato irregular. A temperatura utilizada no processo de secagem por

atomização de entrada e saída foram de 140°C à 70 °C, respectivamente. Todas as micropartículas exibiram capacidade antioxidante significativa (243-386 µmolTE / g), boa estabilidade de cor após três meses de armazenamento e atividade antimicrobiana. A liberação *in vitro* de antocianinas de micropartículas foi mantida, particularmente de goma de base arábica.

Kuck et al. (2017) produziram microcápsulas de extrato aquoso da casca da uva Bordo por *spray-dryer* com povidona (5%) e goma guar parcialmente hidrolisada (5%). A estabilidade foi avaliada em condições aceleradas (75 e 90% de umidade relativa, a 35, 45 e 55 °C por 35 dias) e digestão gastrointestinal simulada. A temperatura teve efeito significativo na redução do teor de fenólicos, com retenções variando de 82,5 a 93,5%. A retenção de antocianinas monoméricas totais estava na faixa de 3,9-42,3%. A atividade antioxidante teve uma retenção final de 38,5-59,5%. Na digestão gastrointestinal simulada, foi observada uma liberação máxima dos compostos fenólicos na fase intestinal (90,6%), bem como a atividade antioxidante de 69,4%.

Santana et al., (2016) estudaram a secagem por atomização da polpa de juçara utilizando misturas de goma arábica (GA) e amido modificado (MS) juntamente com concentrado proteico de soro de leite (WPC) ou isolado de proteína de soja (SPI), como agentes carreadores com temperatura de entrada 150 °C e as de saída entre 90-98 °C. Foi demonstrado que as formulações ternárias apresentaram maiores rendimento de processo (76%), solubilidade (78-93%) e retenção de antocianinas (55-95%) do que as formulações puras e binárias, bem como bons resultados para eficiência de encapsulação (80-99%) e baixo teor de umidade (>3%), mostrando que o uso de GA e MS em conjunto com WPC ou SPI proporcionam melhor microencapsulação da polpa de juçara.

O estudo relacionado a microencapsulação do extrato fenólico da casca de jabuticaba e avaliação da estabilização dos compostos antioxidantes proporcionados pelas micropartículas resultantes, Cabral et al., (2018) obtiveram as micropartículas pelo método de *spray-dryer* e utilizaram quitosana em diferentes quantidades de polímero e extrato e em diferentes condições de secagem onde a temperatura de entrada no equipamento foi de 140 °C e de saída 100°C. O melhor sistema apresentou encapsulação altamente eficiente de polifenóis totais (~79%), atividade antioxidante significativa (387,08 ± 4,02 e

830,36 ± 27,39mM TEAC para DPPH e ABTS, respectivamente). As micropartículas podem ser armazenadas em temperatura refrigerada e temperatura ambiente para preservar o teor de polifenol total por 60 dias (97 ± 9% e 83 ± 4%, respectivamente) e em temperatura de estresse por 30 dias (74 ± 19%), promovendo a estabilidade desses compostos durante o armazenamento, o que viabiliza sua aplicação em alimentos ou produtos cosméticos.

Fredes et al., (2018) avaliaram a microencapsulação do suco de maqui por *spray-dryer* como estratégia de proteger as antocianinas em novas formulações de valor agregado. O objetivo desta pesquisa foi estudar a influência de cada maqui-antocianina e agente encapsulante (inulina ou alginato de sódio) na eficiência de encapsulação da antocianina, na estabilidade durante o armazenamento (160 dias a 60 °C) e na bioacessibilidade no modelo de digestão *in vitro*. A maior eficiência de encapsulação de antocianinas (65,6-78,6%) foi obtida com inulina, os autores relataram que a estrutura química das antocianinas influenciou na eficiência de encapsulação. Para as micropartículas de suco de maqui-inulina e suco de maqui-alginato, os valores de meia-vida de delphinidina-3-sambubiosídeo (198 dias), delphinidina-3-glicosídeo (173-182 dias) e cianidina-3-glicosídeo (154-133 dias) mostrou a estabilidade mais baixa de antocianinas 3-O-glicosiladas. A bioacessibilidade de antocianinas das micropartículas de suco de maqui foi 10% maior do que o suco de maqui.

Ao preservarem as antocianinas da polpa da fruta juçara através da microencapsulação por *spray-dryer* com maltodextrina (dextrose equivalente 16,5 a 19,5) e goma arábica em diferentes proporções, Mazuco et al., (2018) à 126 °C a temperatura de entrada e 89 °C a de saída, formaram micropartículas com a mistura 2:3 e apresentaram maior teor de antocianinas (150,76 ± 5,79 (mg / 100 g)). As micropartículas obtidas apresentaram formato esférico sendo uma possível alternativa para melhorar a estabilidade das antocianinas desta fruta.

Das & Goud (2019) microencapsularam o extrato de farelo de arroz roxo com amido de arroz glutinoso modificado para fornecer antocianina em pó por *spray-dryer*, sendo o amido de arroz glutinoso modificado utilizado como material de parede tendo a variação de temperatura entre 140-180 °C e a pressão no

atomizador de 2,76 a 5,52MPa. A estabilidade de armazenamento da antocianina microencapsulada mostrou-se maior a 4 °C por um período de 90 dias.

Barretto et al (2020), avaliaram a estabilidade das antocianinas em iogurte elaborado com corante natural obtido da casca da *Solanum melongena* L. encapsulado através da secagem por atomização e não encapsulado. A extração foi realizada utilizando álcool de cereais a 70%, acidificado com ácido cítrico a pH 2, a secagem teve a variação de temperatura de 130 a 180 °C e a concentração de goma arábica de 10 e 20% nas concentrações de 1,0; 1,5 e 2,0 g de extrato/100mL de iogurte. O melhor resultado foi encontrado na encapsulação das antocianinas em 64% na temperatura de 150 °C com a concentração de goma de 15%.

Mehran et al., (2020) avaliaram combinações de maltodextrina (MD) /amido de milho modificado (MMS) em quatro proporções (1:0, 1:0,25, 1:0,5, 1:1 m/m%) para proteger as antocianinas do extrato de borragem iraniana (IBE) por encapsulação. Os pós microencapsulados com diferentes proporções de material de parede apresentaram eficácia de encapsulação entre 93,1 e 97,4% onde a combinação MD/MMS 1:1 melhorou a estabilidade das antocianinas 43,8% em relação ao extrato bruto. Além disso, a microcápsula criada neste tratamento proporcionou grande estabilidade antioxidante. A liberação no trato gastrointestinal simulado revelou que as antocianinas ficavam principalmente retidas dentro das micropartículas no estômago para depois serem liberadas. Os resultados demonstraram que a microencapsulação com MD e MMS pelo método de *spray-dryer* pode melhorar a estabilidade, as características antioxidantes e funcionais do extrato de borragem, o que pode ser útil na indústria alimentícia e farmacêutica.

O efeito da maltodextrina (MD) e das condições de secagem por atomização na eficiência de encapsulação (EE) e bioacessibilidade das antocianinas do extrato de batata cultivado com polpa roxa foram estudadas por Vergara et al., (2020). O extrato rico em antocianina foi microencapsulado por *spray-dryer*, utilizando maltodextrina como agente encapsulante variando as temperaturas de entrada entre 92 a 188 °C. As micropartículas obtidas em condições ótimas apresentaram 86% de EE. Observou-se que o efeito protetor

da microencapsulação das antocianinas é estável durante o armazenamento e a digestão *in vitro*.

Ao realizarem o estudo sobre a encapsulação de secagem por atomização a partir de um extrato de cálices de *Hibiscus sabdariffa* L. Campo-Fernandez et al. (2021), utilizaram como variáveis para o processo: temperatura de entrada (150 °C; 190 °C) e mistura dos encapsulantes goma arábica e maltodextrina. Verificaram ao final que a temperatura de 150 °C em uma concentração de goma 40% e maltodextrina 60%, atingiu o maior teor de fenóis e antocianinas totais, concluindo que as microcápsulas obtidas podem ser usadas como matéria-prima além da possível estabilidade e seu valor antioxidante.

5. Considerações finais

O processo de secagem por atomização (*spray-dryer*), é um processo vantajoso ao ser utilizado como proteção para inúmeros compostos bioativos. A revisão traz uma visão ampla dos estudos relacionados à preservação de antocianinas por esse processo, bem como a possibilidade de aplicação deste composto bioativo em diversas matrizes alimentares, apresentando como características a estabilidade, baixa umidade, maior vida de prateleira e a liberação do composto no organismo, podendo trazer inúmeros benefícios quando consumidos. Além disso, pode-se observar que temperaturas mais elevadas na entrada do equipamento (em torno de 150-190 °C) e de saída com a temperatura de em média 70°C utilizando-se os polissacarídeos como a maltodextrina e a goma arábica, resulta em um pó com uma boa concentração de compostos.

6. Referências Bibliográficas

ALEXE, P.; & DIMA, C. (2014). Microencapsulation in food products. **AgroLife Scientific Journal**, 3 (1), 9-14. <http://agrolifejournal.usamv.ro/pdf/Vol3/art1.pdf>

ANANDHARAMAKRISHNAN, C.; & ISHWARYA, S. P. (2015). *Spray drying techniques for food ingredient encapsulation*. **Wiley-Blackwell**.

AUGUSTIN, M. A.; & HEMAR, Y. (2009) Nano- and micro-structured assemblies for encapsulation of food ingredients. *Chemical Society Reviews*, 38, 902-912, 2009. <https://doi.org/10.1039/B801739P>

ARANHA, E. M. Encapsulação da α - bixina em PHBV empregando tecnologia supercrítica e o controle de sua liberação in vitro. (**Dissertação de Mestrado**) Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2013.

AZEREDO, H. M. C. (2005) Encapsulação: aplicação à tecnologia de alimentos. *Alimentos e Nutrição*, 16 (1), 89-97. <http://serv-bib.fcfar.unesp.br/seer/index.php/alimentos/article/viewFile/106/119>

BALLESTEROS, L. F.; RAMIREZ, M. J.; ORREGO, C. E.; TEIXEIRA, J. A.; & MUSSATTO, S. I. (2017) Encapsulation of antioxidant phenolic compounds extracted from spent coffee grounds by freeze-drying and spray-drying using different coating materials. *Food Chemistry*, 237 (15), 623-631. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2017.05.142> .

BARETTO, F. J. DE. F. P.; CLEMENTE, H. A.; SANTANA, A. L. B. D.; & VASCONCELO, M. A. DA S. (2020). Stability of encapsulated and non-encapsulated anthocyanin in yogurt produced with natural dye obtained from *Solanum melongena* L. Bark. *Revista Brasileira de Fruticultura*, 42 (3), 1-13. <https://doi.org/10.1590/0100-29452020137> .

CABRAL, B. R. P., DE OLIVEIRA, P. M., GELFUSO, G. M., QUINTÃO, T. D. E. S. C., CHAKER, J. A., KARNIKOWSKI, M. G. D. E. O., & GRIS, E. F. (2018). Improving stability of antioxidant compounds from *Plinia cauliflora* (jabuticaba) fruit peel extract by encapsulation in chitosan microparticles. *Journal of Food Engineering*, 238, 195–201. <https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2018.06.004>.

CAMPO-FERNÁNDEZ, M.C.; GRANJA-RIZZO, D.F.; MATUTE-CASTRO, N.L.; CUESTA-RUBIO, O.; & MÁRQUEZ-HERNÁNDEZ, I. (2021) Microencapsulación mediante secado por atomización a partir de um extracto de los cálices de *Hibiscus sabdariffa* L. *Revista Colombiana de Química*, 50 (1), 40-50. <https://doi.org/10.15446/rev.colomb.quim.v50n1.88424>.

CASTAÑEDA-OVANDO, A.; PACHECO-HERNÁNDEZ M. L.; PÁEZ-HERNÁNDEZ M. E.; & RODRÍGUEZ, J. A. (2009). Chemical studies of anthocyanins: A review. *Food Chemistry*, 113 (4), 859-871. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2008.09.001>.

DAS A.B.; GOUD V. V.; & DAS C. (2019). Microencapsulation of anthocyanin extract from purple rice bran using modified rice starch and its effect on rice dough rheology. *International Journal of Biological Macromolecules*, 124 (1), 573-581. <https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2018.11.247>.

DELGADO-VARGAS, F.; JIMÉNEZ, A. R.; & PAREDES-LÓPEZ, O. (2010). Natural Pigments: Carotenoids, Anthocyanins, and Betalains — Characteristics, Biosynthesis, Processing, and Stability (2010). *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, 40 (3), 173–289. <https://doi.org/10.1080/10408690091189257>.

DIAS, D. R.; BOTREL, D. A.; FERNANDES, R. V. B.; & BORGES, S. V. Encapsulation as a tool for bioprocessing of functional foods (2017). **Current Opinion in Food Science**, 13, 31-37. <https://doi.org/10.1016/j.cofs.2017.02.001>.

EL ASBAHANI, A.; MILADI, K.; BADRI, W.; SALA, M.; AÏT ADDI, E. H.; CASABIANCA, H.; EL MOUSADIK, A.; HARTMANN, D.; JILALE, A.; RENAUD, F. N.R.; & ELAISSARI, A. Essential oils: from extraction to encapsulation (2015). **International Journal of Pharmaceutics**, 483 (1-2), 220–243. <https://doi.org/10.1016/j.ijpharm.2014.12.069>

FAVARO, L.I.L.; SOUZA, M.S.M.; ROCHA, L.K.H.; JARDIM, T.O.; CINTO, E.C.; PEREIRA, J.C.; BALCÃO, V.M.; & VILA, M.M.D.C. Caracterização e avaliação sensorial de barra de cereal com extrato de antocianinas da fruta da palmeira jussara (*euterpe edulis*). **Brazilian Journal of Development**, 6 (10), 75546-75560, 2020. <https://www.brazilianjournals.com/index.php/BRJD/article/view/17851/14462>

FLORES, F. P.; SINGH, R. K.; KERR, W. L.; PEGG, R. B.; & KONG, F. (2014). Total phenolics content and antioxidant capacities of microencapsulated blueberry anthocyanins during in vitro digestion. **Food Chemistry**, 153 (15), 272-278. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2013.12.063>.

FREDES, C., OSORIO, M. J., PARADA, J., & ROBERT, P. (2018). Stability and bioaccessibility of anthocyanins from maqui (*Aristotelia chilensis* [Mol.] Stuntz) juice microparticles. **LWT - Food Science and Technology**, 91(June 2017), 549–556. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2018.01.090>.

GHARSALLAOUI, A.; ROUDAUT, G.; CHAMBIN, O.; VOILLEY, A.; & SAUREL, R. Applications of spray-drying in microencapsulation of food ingredients: An overview. (2007) **Food Research International**, 40 (9), 1107-1121. <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2007.07.004>.

IDHAM, Z.; MUHAMAD, I. I.; & SARMIDI, M. R. Degradation kinetics and color stability of spray-dried encapsulated anthocyanins from *Hibiscus Sabdariffa* L. (2012) **Journal of Food Process Engineering**, 35 (4), 522-542. <https://doi.org/10.1111/j.1745-4530.2010.00605.x>

KADERIDES, K.; GOULA, A. M.; & ADAMOPOULOS, K. G. (2015). A process for turning pomegranate peels into a valuable food ingredient using ultrasound-assisted extraction and encapsulation. **Innovative Food Science and Emerging Technologies**, 31, 204-215. <https://doi.org/10.1016/j.ifset.2015.08.006>.

KALUŠEVIĆ, A.; LEVIĆ, S.; ČALIJA, B.; PANTIĆ, M.; BELOVIĆ, M.; PAVLOVIĆ, V.; BUGARSKI, B.; MILIĆ, J.; ŽILIĆ, S.; NEDOVIĆ, V. (2017). Microencapsulation of anthocyanin-rich black soybean coat extract by spray drying using maltodextrin, gum Arabic and skimmed milk powder. **Journal of Microencapsulation**, 475-487. <https://doi.org/10.1080/02652048.2017.1354939>.

- KUCK, L. S.; WESOLOWSKI, J. L.; & NOREÑA, C. P. Z. (2017). Effect of temperature and relative humidity on stability following simulated gastrointestinal digestion of microcapsules of Bordo grape skin phenolic extract produced with different carrier agents. *Food Chemistry*, 230, 257–264. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2017.03.038>
- LABUSCHAGNE, P. (2018). Impact of wall material physicochemical characteristics on the stability of encapsulated phytochemicals: A review. *Food Research International*, 107, 227-247. <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2018.02.026>.
- LOPES, L. D. (2013). Desenvolvimento e avaliação de subprodutos de uva e sua utilização como ingrediente alimentício. 71 f. **Dissertação (Mestrado em Tecnologia de Alimentos)**. Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Londrina.
- MAHDAVI, SA, JAFARI SM, ASSADPOOR E, DEHNAD D. (2016). Microencapsulation optimization of natural anthocyanins with maltodextrin, gum Arabic and gelatin. *Internation Journal of Biological Macromolecules*, 85, 379-385. <https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2016.01.011>.
- MAHDAVEE KHAZAEI, K.; JAFARI, S. M.; GHORBANI, M.; & HEMMATI KAKHKI, A. (2014) Application of maltodextrin and gum Arabic in microencapsulation of saffron petal's anthocyanins and evaluating their storage stability and color. *Carbohydrate Polymers*, 105 (25), 57-62. <https://doi.org/10.1016/j.carbpol.2014.01.042>.
- MALACRIDA, C. R.; & MOTTA, S. D. A. (2006). Antocianinas em suco de uva: composição e estabilidade. *Boletim do Centro de Pesquisa de Processamento de Alimentos*, 24(1), 59–82. <https://doi.org/10.5380/cep.v24i1.5294>
- MAZUCO, R.A.; CARDOSO, P. M. M.; BINDACO, É.S.; SCHERER, R.; CASTILHO, R.O.; FARACO, A. A. G.; RUAS, F. G.; OLIVEIRA, J.P.; GUIMARÃES, M. C. C.; DE ANDRADE, T. U.; LENZ, D.; BRAGA, F.C.; & ENDRINGER, D.C. (2018). Maltodextrin and Gum Arabic-Based Microencapsulation Methods for Anthocyanin Preservation in Juçara Palm (*Euterpe edulis* Martius) Fruit Pulp. *Plant Foods for Human Nutrition*, 73(3) 209-215. <https://doi.org/10.1007/s11130-018-0676-z>.
- MEHRAN, M.; MASOUM, S.; & MEMARZADEH, M. (2020). Improvement of thermal stability and antioxidant activity of anthocyanins of *Echium amoenum* petal using maltodextrin/modified starch combination as wall material. *Internation Journal of Biological Macromolecules*, 1, 148-768. <https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2020.01.197>.
- OZKAN, G.; FRANCO, P.; DE MARCOB I., XIAO, J.; & CAPANOGLU, E. (2019). A review of microencapsulation methods for food antioxidants: Principles, advantages, drawbacks and applications. *Food Chemistry*, 272, 494-506. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2018.07.205>.

- PAGANI, M. M. (2010). Obtenção de suco de acerola (*Malpighia emarginata* d.c.) concentrado e pós estáveis através da integração dos processos de separação por membranas e microencapsulação por atomização. 183 f. **Tese (Doutorado)** - Programa de Pós-graduação em Ciência de Alimentos, Universidade Federal do Rio de Janeiro. Rio de Janeiro, 2010.
- RODRIGUEZ-AMAYA, D. B. (2018). Update on natural food pigments - A mini-review on carotenoids, anthocyanins, and betalains. **Food Research International**, 124, 200-205. <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2018.05.028>.
- SANTANA, A.A.; CANO-HIGUITA, D.M.; DE OLIVEIRA, R.A.; & TELIS, V.R.(2016). Influence of different combinations of wall materials on the microencapsulation of jussara pulp (*Euterpe edulis*) by spray drying. **Food Chemistry**, 2012 91), 1-9 <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2016.05.148> .
- SANTOS-BUELGA, C.; & GONZÁLEZ-PARAMÁS A. M. Anthocyanins. **Encyclopedia of Food Chemistry**, 10-21, 2019.
- SANTOS, D. T.; VEGGI, P. C.; & , M. A. A. (2010). Extraction of antioxidant compounds from Jaboticaba (*Myrciaria cauliflora*) skins: Yield, composition and economical evaluation. **Journal of Food Engineering**, 101 (1), 23–31. <https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2010.06.005>.
- SAUTTER, C. K.; DENARDIN, S.; ALVES, A. O.; MALLMANN, C. A.; PENNA, N. G.; HECKTHEUER, L. H. (2005). Determinação de resveratrol em sucos de uva no Brasil. **Ciência e Tecnologia de Alimentos**. Campinas, 25 (3), 437-442. <https://doi.org/10.1590/S0101-20612005000300008>.
- SILVA, E. K.; & MEIRELES, M. A. A. (2014). Encapsulation of food compounds using supercritical technologies: applications of supercritical carbon dioxide as an antisolvent. **Food and Public Health**, 4 (5), 247–258. <https://doi.org/10.5923/j.fph.20140405.06>.
- SINOPOLI, A.; CALOGER, G.; & BARTOLOTTA, A. (2019). Computational aspects of Anthocyanidins and Anthocyanins: a review. **Food Chemistry**, 297 (1), 124898. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2019.05.172>.
- SUI X.; ZHANG Y.; JIANG L. ET AL. Anthocyanins in Food. **Encyclopedia of Food Chemistry**, p. 10-17, 2019.
- VERGARA, C.; PINO, M.T.; ZAMORA, O.; PARADA, J.; PÉREZ, R.; URIBE, M.; & KALAZICH, J. (2020). Microencapsulation of Anthocyanins. Extracted from Purple Flesh Cultivated Potatoes by Spray Drying and Its Effects on In Vitro Gastrointestinal Digestion. **Molecules**, 25 (3), 722. <https://doi.org/10.3390/molecules25030722>.

Autores

Mariane Igansi Alves, Elizangela Gonçalves de Oliveira*

Pós-Graduação em Ciência dos Alimentos, Universidade Federal de Pelotas-
Campus Capão do Leão, 96010-900, Pelotas – RS, Brasil.

* Autor para correspondência: elizangelagoliveira1@gmail.com