COMPARAÇÃO ENTRE MALTODEXTRINA E PROTEÍNA DE SORO DE LEITE COMO AGENTES CARREADORES NA PRODUÇÃO DE SUCO DE ARATICUM EM PÓ

Jhenifer Cristina Carvalho Santos[1], Matheus de Souza Cruz[1], Gabriela Fonsêca Leal[1], Amanda Aparecida de Lima Santos[1], Letícia Fernandes de Oliveira[2], Jefferson Luiz Gomes Corrêa[1]

[1]*Universidade Federal de Lavras, Lavras, Brasil (jhenifercristinacs@gmail.com)*
[2]*Universidade Federal de São João del Rei, Divinópolis, Brasil*

Resumo: Este trabalho avaliou maltodextrina e proteína concentrada do soro de leite (WPC) como materiais de parede na secagem por *spray dryer* de suco de araticum. Os pós foram caracterizados quanto à solubilidade, higroscopicidade, compostos bioativos, potencial antioxidante e cor. A maltodextrina favoreceu a solubilidade, carotenoides, ácido ascórbico e ABTS, enquanto o WPC aumentou DPPH e a intensidade de cor, indicando aplicações distintas para cada material.

Palavras-chave: *Annona crassiflora;* Compostos bioativos; Parâmetros de Cor; Potencial antioxidante.

INTRODUÇÃO

O araticum (*Annona crassiflora*), fruto nativo do Cerrado brasileiro, apresenta elevado potencial de aproveitamento tecnológico devido ao seu valor nutricional, perfil sensorial característico e presença de compostos bioativos, como compostos fenólicos, carotenoides e vitamina C, os quais estão associados à atividade antioxidante e a possíveis benefícios funcionais (Arruda e Pastore, 2019; Menezes et al., 2019; Santos et al., 2024). No entanto, sua elevada perecibilidade, associada ao alto teor de umidade e à intensa atividade metabólica pós-colheita, limita sua conservação, comercialização e aplicação industrial em maior escala (Arruda e Pastore, 2019; Santos et al., 2024).

Nesse contexto, a secagem por *spray dryer* representa uma alternativa promissora para a obtenção de pós de frutas, pois permite reduzir a atividade de água, aumentar a estabilidade físico-química e microbiológica e favorecer a aplicação do produto em diferentes matrizes alimentícias (Qadri et al., 2023; Jafari et al., 2023). Entretanto, sucos de frutas são geralmente ricos em açúcares de baixa massa molecular e ácidos orgânicos, componentes que podem favorecer a pegajosidade, a adesão às paredes do secador e a redução do rendimento do processo. Por isso, o uso de materiais de parede é essencial para melhorar a eficiência da secagem, a estabilidade dos pós e a retenção de compostos sensíveis ao calor, oxigênio e luz (Preciado Ocampo et al., 2025; Akbarbaglu et al., 2021).

Entre os materiais de parede mais utilizados, a maltodextrina se destaca por sua elevada solubilidade, baixo custo e capacidade de aumentar a temperatura de transição vítrea da matriz, contribuindo para a formação de partículas mais estáveis e menos higroscópicas (Akbarbaglu et al., 2021; Halahlah et al., 2023). A proteína concentrada do soro de leite (WPC), por sua vez, apresenta propriedades emulsificantes e filmogênicas, podendo favorecer a formação de uma matriz protetora ao redor dos compostos bioativos durante a atomização e a secagem (Lekshmi et al., 2021; Sirichokworrakit et al., 2025). Assim, a escolha do material de parede pode influenciar diretamente as propriedades tecnológicas, físico-químicas, bioativas e colorimétricas dos pós obtidos.

Dessa forma, o objetivo deste trabalho foi comparar o efeito da maltodextrina e do WPC como materiais de parede na obtenção de pó de suco de araticum por *spray dryer*, considerando as propriedades de solubilidade, higroscopicidade, compostos fenólicos totais, potencial antioxidante, carotenoides totais, ácido ascórbico e parâmetros de cor.

MATERIAL E MÉTODOS

Frutos de araticum (*Annona crassiflora*) foram obtidos em Belo Horizonte, Minas Gerais, Brasil. Os frutos foram lavados, sanitizados em solução de hipoclorito de sódio a 200 mg/L por 15 min, despolpados manualmente e armazenados a −18 °C até o processamento. Para o preparo do suco, a polpa foi diluída em água destilada na proporção 1:1 (m/m), homogeneizada por 2 min em liquidificador

doméstico e filtrada em malha de náilon. O extrato obtido apresentou teor de sólidos totais de 21,00 ± 1,24% (m/m).

Para a secagem, o suco de araticum foi utilizado os materiais de parede maltodextrina ou WPC, conforme os tratamentos apresentados na Tabela 1. As formulações foram submetidas à ultrassonicação em sonicador digital de 500 W (Desruptor, Unique, Brasil), equipado com sonda de 4 mm. O processamento foi realizado a 19 kHz, com 20% da potência máxima, em dois ciclos de 5 min, intercalados por 1 min de repouso para evitar superaquecimento. Em seguida, as amostras foram secas em mini *spray dryer* (MSDi 1.0, Labmaq, Brasil), utilizando bico atomizador de 1,0 mm, pressão do ar comprimido de 3,5 kgf/cm², vazão de ar de atomização de 40,5 L/min, vazão de alimentação de 0,4 L/h e temperatura de entrada de 125 °C.

Tabela 1. Condições experimentais.

Tratamentos	Maltodextrin (%)	WPC (%)
Maltodextrina	45	0
WPC	0	10

WPC: proteína concentrada do soro de leite.

O índice de solubilidade em água foi determinado com base no método descrito por de Melo et al. (2024), com ligeiras modificações. Uma porção de 0,15 g do pó foi dispersa em 15 mL de água deionizada e agitada em um agitador orbital por 5 min. A suspensão resultante foi transferida para tubos Falcon de 15 mL e centrifugada a 1000 g por 5 min. Após a centrifugação, 3,75 mL do sobrenadante foram coletados, transferidos para um béquer e imediatamente colocados em uma estufa a 70 °C por 12 h. A porcentagem de solubilidade foi calculada utilizando a Equação 1.

$$Solubilidade\ (\%) = \frac{P_a - P_b}{0{,}0375} \times 100 \quad (1)$$

onde Pa é o peso do béquer contendo a amostra seca; Pb é o peso inicial do béquer vazio; e 0,0375 corresponde ao fator de diluição usado no cálculo da solubilidade.

A higroscopicidade foi avaliada seguindo a metodologia descrita por Costa et al. (2025). Aproximadamente 1 g da amostra em pó foi colocada em uma câmara hermeticamente fechada contendo uma solução saturada de cloreto de sódio (NaCl), que mantém uma umidade relativa de 75%. O sistema foi mantido a 25 °C por 7 dias, após os quais as amostras foram pesadas para determinar a massa constante correspondente ao equilíbrio higroscópico. A higroscopicidade foi então calculada utilizando a equação 2.

$$\text{Higroscopicidade}\ (\%) = \left(\frac{\frac{\Delta m}{(M+M_i)}}{1+\frac{\Delta m}{M}}\right) \times 100 \quad (2)$$

onde Δm (g) representa o ganho de massa do pó ao atingir o equilíbrio; M (g) é a massa inicial do pó; e Mi corresponde ao teor de água livre no pó antes da exposição ao ambiente úmido.

Para a determinação dos compostos fenólicos totais e do potencial antioxidante, os extratos foram obtidos a partir dos pós de suco de araticum produzidos por *spray dryer*. Para cada tratamento, 1,0 g de amostra foi disperso em 100 mL de etanol de grau analítico e submetido à agitação até completa homogeneização. O teor de compostos fenólicos totais foi determinado pelo método de Folin-Ciocalteu, conforme Santos et al. (2024), com modificações. Uma alíquota de 0,5 mL do extrato foi misturada a 2,5 mL de reagente Folin-Ciocalteu a 10% (v/v) e 2,0 mL de carbonato de sódio a 4% (m/v). A mistura foi mantida no escuro por 2 h, e a absorbância foi medida a 750 nm. Os resultados foram expressos em miligramas de equivalentes de ácido gálico por grama de pó (mg EAG/g).

A capacidade de eliminação de radicais livres dos extratos contra o 2,2-difenil-1-picrilhidrazil (DPPH•) foi avaliada de acordo com o método descrito por Cruz et al. (2025), com ligeiras modificações. Para este ensaio, 3,9 mL de uma solução de DPPH 60 µM foram adicionados a 0,1 mL da solução do extrato. As misturas foram agitadas e mantidas no escuro à temperatura ambiente por 30 min. A absorbância foi medida a 515 nm, utilizando metanol como branco. O potencial antioxidante foi expresso como a porcentagem de inibição de radicais, calculada utilizando a seguinte equação 3.

$$\%\ de\ inibição\ = \frac{Abs_{controle} - Abs_{amostra}}{Abs_{controle}} \times 100 \quad (3)$$

onde Abs controle é a absorbância do controle (solução de DPPH contendo o solvente de extração) e Abs amostra é a absorbância da amostra após a reação com a solução de DPPH.

A capacidade de estabilização do radical ABTS (sal de diamônio do ácido 2,2'-azino-bis (3-etilbenzotiazolina-6-sulfônico) foi avaliada de acordo com o método descrito por Cruz et al. (2025). A solução do radical $ABTS^{\bullet+}$ foi preparada misturando-se 5 mL de uma solução aquosa de ABTS 7 mM com 88 µL de persulfato de potássio ($K_2S_2O_8$) 140 mM. Essa mistura foi mantida no escuro, à temperatura ambiente, por 16 h para permitir a formação do radical $ABTS^{\bullet+}$. A solução resultante foi então diluída com etanol absoluto até atingir uma absorbância de 0,70 ± 0,05 a 734 nm. Para determinar o potencial antioxidante por espectrofotometria, 3 mL da solução de trabalho de $ABTS^{\bullet+}$ foram misturados com 30 µL da amostra. A mistura foi agitada em vórtex por 6 minutos e a absorbância foi medida a 734 nm,

utilizando etanol como branco. O potencial antioxidante foi expresso como a porcentagem de inibição de radicais, calculada de acordo com a seguinte equação 4.

$$\%\ de\ inibição\ = \frac{Abs_{controle} - Abs_{amostra}}{Abs_{controle}} \times 100 \quad (4)$$

onde Abs controle representa a absorbância da solução de ABTS contendo apenas o solvente de extração, enquanto Abs amostra indica a absorbância registrada após a interação da amostra com o ABTS.

Os carotenoides totais foram extraídos e quantificados conforme Santos et al. (2024), com adaptações. Uma porção de 10 g de amostra foi homogeneizada com 40 mL de álcool isopropílico:hexano na proporção 3:1. O homogeneizado foi transferido para funil de separação protegido da luz, acrescido de 50 mL de água destilada e mantido em repouso por 30 min para separação de fases. A fase orgânica foi coletada, filtrada com algodão contendo sulfato de sódio anidro e transferida para balão volumétrico âmbar de 50 mL. Após adição de 5 mL de acetona, o volume foi completado com hexano, e a absorbância foi medida a 450 nm. O teor de carotenoides totais foi calculado pela Equação 5 e expresso em mg/100 g.

$$Carotenoides\ totais = \frac{A \times 100}{250 \times L \times W} \quad (5)$$

onde A é a leitura de absorbância, L denota a largura da cubeta e W se refere à proporção da amostra original em relação ao volume final diluído.

O ácido ascórbico foi extraído conforme Cruz et al. (2025), com modificações. Inicialmente, 1,0 g de amostra foi misturado a 10 mL de solução de ácido metafosfórico a 4,5% e mantido em repouso por 1 h em recipiente âmbar. Posteriormente, a amostra foi submetida a banho ultrassônico por 30 min, centrifugada a 7.000 rpm por 10 min, e o sobrenadante foi coletado para análise. A quantificação foi realizada por cromatografia líquida de alta eficiência (HPLC, Shimadzu, LC-20AT), utilizando coluna C18, fase móvel composta por ácido acético aquoso a 0,15% (v/v), vazão de 1,0 mL·min^{-1} e detecção a 254 nm. A identificação foi realizada por comparação com padrão externo de ácido ascórbico, e a quantificação foi obtida por curva de calibração.

A análise de cor foi realizada utilizando um colorímetro espectrofotométrico (Modelo CM5, Konica Minolta), operando no espaço de cores CIE LCH. O instrumento, baseado em medições de refletância, forneceu os seguintes parâmetros de cor: L^* (luminosidade), a^* (eixo vermelho-verde), b^* (eixo amarelo-azul).

Os dados experimentais foram submetidos à análise de variância (ANOVA), e as médias foram comparadas pelo teste de Tukey, adotando-se nível de significância de 5%. As análises estatísticas foram realizadas no software Statistica, versão 14.0.1.8 (StatSoft Inc., Tulsa, OK, EUA).

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os resultados de solubilidade e higroscopicidade dos pós de suco de araticum obtidos por *spray dryer* utilizando maltodextrina e WPC como materiais de parede estão apresentados na Tabela 2. A solubilidade foi significativamente maior no pó produzido com maltodextrina, que apresentou valor de 88,53%, enquanto o tratamento com WPC apresentou 68,27%. Esse comportamento pode ser atribuído à natureza hidrofílica da maltodextrina, que favorece a dispersão das partículas em meio aquoso e melhora a reconstituição do pó. Além disso, a maltodextrina é amplamente utilizada na secagem por atomização por contribuir para o aumento da temperatura de transição vítrea da matriz, reduzir a pegajosidade e melhorar a estabilidade física de pós de frutas ricos em açúcares e ácidos orgânicos (Akbarbaglu et al., 2021; Sobulska e Zbicinski, 2021; Halahlah et al., 2023). Por outro lado, a menor solubilidade observada no tratamento com WPC pode estar relacionada à desnaturação parcial das proteínas durante a secagem, bem como à possível formação de agregados proteicos, os quais podem dificultar a penetração da água e reduzir a dispersibilidade do pó (Both et al., 2020; Arya e Kumar, 2023).

Tabela 2. Resultados de solubilidade e higroscopicidade.

Tratamentos	Solubilidade (%)	Higroscopicidade (%)
Maltodextrina	88,53 ± 3,02 a	20,54 ± 0,40 a
WPC	68,27 ± 0,00 b	19,70 ± 1,05 a

WPC: proteína concentrada do soro de leite.

Em relação à higroscopicidade, não houve diferença significativa entre os tratamentos, com valores de 20,54% para a maltodextrina e 19,70% para o WPC. Esse resultado indica que ambos os materiais de parede foram capazes de formar matrizes com comportamento semelhante quanto à absorção de umidade em ambiente com umidade relativa controlada. A higroscopicidade de pós de frutas está diretamente relacionada à composição da matriz, ao teor de açúcares de baixa massa molecular, à presença de sólidos amorfos e à capacidade dos carreadores de limitar a mobilidade da água (Sobulska e Zbicinski, 2021; Halahlah et al., 2023). Embora a maltodextrina seja frequentemente associada à redução da higroscopicidade, o WPC também pode contribuir para a formação de uma estrutura mais coesa, devido às suas propriedades filmogênicas, o que pode explicar a ausência de diferença estatística entre os tratamentos.

A Tabela 3 apresenta os resultados de compostos fenólicos totais e potencial antioxidante determinada pelos métodos DPPH e ABTS. Os teores de compostos fenólicos totais não diferiram significativamente entre os tratamentos, com valores de 13,12 mg EAG/g para a maltodextrina e 13,54 mg EAG/g para o WPC. Esse resultado sugere que, nas condições avaliadas, ambos os materiais de parede foram eficientes na preservação dos compostos fenólicos presentes no suco de araticum. A proteção desses compostos durante a secagem pode estar associada à formação de uma matriz encapsulante capaz de reduzir sua exposição ao oxigênio, à luz e ao calor (Coimbra et al., 2021; Jafari et al., 2023). No caso do WPC, essa proteção pode ser intensificada pelas interações entre proteínas e compostos fenólicos, que envolvem ligações de hidrogênio, interações hidrofóbicas e forças de van der Waals, contribuindo para maior estabilidade desses compostos durante o processamento (Baba et al., 2021; Jauregi et al., 2021; Wang et al., 2024).

Tabela 3. Resultados de compostos fenólicos totais (CFT) e potencial antioxidante por DPPH e ABTS.

Tratamentos	CFT (mg de GAE/g)	DPPH (%)	ABTS (%)
Maltodextrina	13,12 ± 0,59 a	70,52 ± 5,75 b	89,36 ± 0,37 a
WPC	13,54 ± 1,05 a	89,75 ± 1,81 a	83,48 ± 0,86 b

WPC: proteína concentrada do soro de leite.

Apesar da semelhança no teor de compostos fenólicos totais, os tratamentos apresentaram comportamento distinto quanto ao potencial antioxidante. O pó produzido com WPC apresentou maior atividade pelo método DPPH, com 89,75% de inibição, enquanto o tratamento com maltodextrina apresentou 70,52%. Esse resultado indica que os compostos antioxidantes presentes no pó com WPC estavam mais disponíveis para reagir com o radical DPPH. Além disso, proteínas do soro podem apresentar grupos funcionais capazes de interagir com compostos fenólicos e contribuir para o potencial antioxidante do sistema (Baba et al., 2021; de Morais et al., 2020). Por outro lado, a atividade pelo método ABTS foi maior no tratamento com maltodextrina, que apresentou 89,36%, enquanto o WPC apresentou 83,48%. Essa diferença entre os ensaios pode estar relacionada às particularidades químicas de cada método, uma vez que o DPPH é mais sensível à fração antioxidante prontamente acessível, enquanto o ABTS pode responder a uma fração mais ampla de compostos hidrofílicos e lipofílicos presentes na matriz (Feng et al., 2023). Assim, os resultados demonstram que a avaliação do potencial antioxidante depende não apenas do teor total de compostos bioativos, mas também da acessibilidade e do tipo de interação desses compostos com o material de parede.

Os teores de carotenoides totais e ácido ascórbico estão apresentados na Tabela 4. O tratamento com maltodextrina apresentou maiores teores de carotenoides totais, com 30,88 mg/100 g, em comparação ao tratamento com WPC, que apresentou 12,72 mg/100 g. Esse comportamento sugere que a maltodextrina foi mais eficiente na preservação desses pigmentos nas condições avaliadas. A proteção dos carotenoides durante a secagem é um desafio, pois esses compostos são altamente sensíveis à oxidação, ao calor, à luz e à presença de oxigênio (Santos et al., 2024; Quintero-Gamero et al., 2025). A matriz formada pela maltodextrina pode ter favorecido o aprisionamento dos carotenoides e reduzido sua exposição às condições adversas do processo. Além disso, seu efeito sobre a formação de partículas mais estáveis e menos pegajosas pode ter contribuído para minimizar perdas durante a secagem (Akbarbaglu et al., 2021; Halahlah et al., 2023).

Tabela 4. Resultados de carotenoides totais (CT) e ácido ascórbico (AA).

Tratamentos	CT (mg/100g)	AA (g/100g)
Maltodextrina	30,88 ± 2,66 a	4,15 ± 0,48 a
WPC	12,72 ± 0,96 b	2,65 ± 0,69 b

WPC: proteína concentrada do soro de leite.

O teor de ácido ascórbico também foi maior no pó produzido com maltodextrina, apresentando 4,15 g/100 g, enquanto o tratamento com WPC apresentou 2,65 g/100 g. A vitamina C é reconhecidamente termossensível e suscetível à degradação oxidativa durante o processamento de alimentos, especialmente em condições de elevada temperatura e contato com oxigênio. Estudos sobre microencapsulação por *spray drying* indicam que, embora materiais de parede possam melhorar a retenção inicial de ácido ascórbico, sua estabilidade depende fortemente da estrutura da matriz formada, da relação entre material de parede e composto ativo e da barreira ao transporte de oxigênio (Delaporte et al., 2024; Ferreira et al., 2025). Assim, os maiores valores observados no tratamento com maltodextrina indicam que esse carreador proporcionou maior proteção ao ácido ascórbico no pó de araticum.

Os parâmetros de cor dos pós estão apresentados na Tabela 5. O tratamento com maltodextrina apresentou maior valor de L^*, indicando maior luminosidade do pó. Esse resultado pode ser explicado pela coloração clara da maltodextrina e por seu efeito de diluição dos pigmentos naturais do araticum, o que resulta em partículas visualmente mais claras. Esse comportamento é comum em pós de frutas obtidos por *spray drying*, nos quais o aumento da concentração de

carreadores tende a elevar a luminosidade e reduzir a intensidade da cor natural da matriz alimentícia (Comunian et al., 2020; Sia et al., 2025). Por outro lado, o tratamento com WPC apresentou maiores valores de a^* e b^*, indicando maior intensidade das tonalidades vermelha e amarela. Esse comportamento pode estar associado à menor diluição visual dos pigmentos naturais e à maior concentração aparente dos compostos responsáveis pela coloração do araticum no pó obtido com WPC.

Tabela 5. Parâmetros de cor dos pós de suco de araticum obtidos por *spray dryer*.

Tratamentos	L^*	a^*	b^*
Maltodextrina	92,81 ± 1,31 a	6,41 ± 0,66 b	14,03 ± 0,16 b
WPC	81,80 ± 2,54 b	10,33 ± 0,69 a	19,37 ± 0,81 a

WPC: proteína concentrada do soro de leite.

De forma geral, os resultados demonstram que a escolha do material de parede influenciou de maneira distinta as propriedades tecnológicas, bioativas e colorimétricas dos pós de suco de araticum. A maltodextrina favoreceu a solubilidade, a retenção de carotenoides totais, ácido ascórbico, potencial antioxidante por ABTS e maior luminosidade do pó. O WPC, por sua vez, favoreceu o potencial antioxidante determinado por DPPH e resultou em pós com coloração mais intensa, evidenciada pelos maiores valores de a^* e b^*. Esses resultados indicam que a seleção do material de parede deve considerar a finalidade de aplicação do pó. Para produtos que exigem maior reconstituição, maior retenção de pigmentos e vitamina C, a maltodextrina apresentou desempenho mais favorável. Já o WPC pode ser interessante quando se busca maior potencial antioxidante por DPPH e maior intensidade de cor no produto final.

CONCLUSÃO

Conclui-se que o material de parede influenciou significativamente as propriedades dos pós de suco de araticum obtidos por *spray dryer*. A maltodextrina proporcionou maior solubilidade, maior retenção de carotenoides totais e ácido ascórbico, maior potencial antioxidante pelo método ABTS e pós mais claros. Por outro lado, o WPC favoreceu a potencial antioxidante pelo método DPPH e resultou em pós com maior preservação da cor. A higroscopicidade e o teor de compostos fenólicos totais não diferiram entre os tratamentos, demonstrando que ambos os materiais apresentaram desempenho semelhante para essas respostas. Dessa forma, a maltodextrina mostrou-se mais adequada quando o objetivo é obter pós com maior reconstituição em água e melhor preservação de compostos bioativos sensíveis, enquanto o WPC pode ser interessante para aplicações que priorizem maior potencial antioxidante por DPPH e maior intensidade de cor. Assim, os resultados evidenciam o potencial da secagem por *spray dryer* como estratégia para agregar valor ao araticum e ampliar sua aplicação como ingrediente alimentício em pó.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem à Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES), ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq) e à Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de Minas Gerais (FAPEMIG) pelo apoio institucional e financeiro concedido para o desenvolvimento deste trabalho.

REFERÊNCIAS

AKBARBAGLU, Z.; PEIGHAMBARDOUST, S. H.; SARABANDI, K.; JAFARI, S. M. Spray drying encapsulation of bioactive compounds within protein-based carriers: Different options and applications. Food Chemistry, 359, 129965, 2021.

ARRUDA, H. S.; PASTORE, G. M. Araticum (Annona crassiflora Mart.) as a source of nutrients and bioactive compounds for food and non-food purposes: A comprehensive review. Food Research International, 123, 450–480, 2019.

ARYA, P.; KUMAR, P. Effect of carrier agents on quality parameters of spray-dried encapsulated diosgenin powder and optimization of process parameters. Foods, 12, 2330, 2023.

BABA, W. N.; MCCLEMENTS, D. J.; MAQSOOD, S. Whey protein–polyphenol conjugates and complexes: Production, characterization, and applications. Food Chemistry, 365, 130455, 2021.

BOTH, E. M.; BOOM, R. M.; SCHUTYSER, M. A. I. Particle morphology and powder properties during spray drying of maltodextrin and whey protein mixtures. Powder Technology, 363, 519–524, 2020.

COIMBRA, P. P. S.; CARDOSO, F. D. S. N.; GONÇALVES, E. C. B. A. Spray-drying wall materials: Relationship with bioactive compounds. Critical Reviews in Food Science and Nutrition, 61, 2809–2826, 2021.

COMUNIAN, T. A.; ROSCHEL, G. G.; SILVA ANTHERO, A. G.; CASTRO, I. A.; HUBINGER, M. D. Influence of heated and unheated whey protein isolate and its combination with modified starch on the oxidative stability of encapsulated pomegranate seed oil. Food Chemistry, 326, 126995, 2020.

COSTA, F. S.; SANTOS, J. C. C.; COSTA E SILVA, M. D.; CRUZ, M. S.; SANTOS, A. A. L.; OLIVEIRA, C. R.; CORRÊA, J. L. G. Optimization of spray-drying conditions for green acerola concentrate juice: Effect of temperature and maltodextrin. Journal of the Science of Food and Agriculture, 2025.

CRUZ, M. S.; CORRÊA, J. L. G.; MACEDO, L. L.; NASCIMENTO, B. S.; SANTOS, A. A. L.; MACHADO, G. G. L. et al. Use of ethanol in convective drying of coated and osmotically dehydrated papaya with isomaltulose. Food and Bioprocess Technology, 18, 4048–4066, 2025.

DE MELO, E. M.; DE FRANCISCO, A.; AMANTE, E. R.; RODRIGUES, A. M. C.; SILVA, L. H. M. Production and properties of powder and pigments from bacuri (Platonia insignis Mart.) rinds. Food Chemistry Advances, 5, 100854, 2024.

DE MORAIS, F. P.; PESSATO, T. B.; RODRIGUES, E.; MALLMANN, L. P.; MARIUTTI, L. R.; NETTO, F. M. Whey protein and phenolic compound complexation: Effects on antioxidant capacity before and after in vitro digestion. Food Research International, 133, 109104, 2020.

DELAPORTE, A.; DUCHEMIN, B.; GRISEL, M.; GORÉ, E. Impact of wall material-to-active ratio on the stability of spray-dried ascorbic acid using maltodextrin and gum arabic. Molecules, 29, 3587, 2024.

FENG, Y.; JIN, C.; LV, S.; ZHANG, H.; REN, F.; WANG, J. Molecular mechanisms and applications of polyphenol–protein complexes with antioxidant properties: A review. Antioxidants, 12, 1577, 2023.

FERREIRA, M. A.; NASCIMENTO, R. F.; CONTI, A. C.; KUROZAWA, L. E. Improvement of barrier properties of spray-dried microparticles of iron and ascorbic acid by fluidized bed coating. Innovative Food Science & Emerging Technologies, 104, 104256, 2025.

HALAHLAH, A.; PIIRONEN, V.; MIKKONEN, K. S.; HO, T. M. Polysaccharides as wall materials in spray-dried microencapsulation of bioactive compounds: Physicochemical properties and characterization. Critical Reviews in Food Science and Nutrition, 63, 6983–7015, 2023.

JAFARI, S.; JAFARI, S. M.; EBRAHIMI, M.; KIJPATANASILP, I.; ASSATARAKUL, K. A decade overview and prospect of spray drying encapsulation of bioactives from fruit products: Characterization, food application and in vitro gastrointestinal digestion. Food Hydrocolloids, 134, 108068, 2023.

JAUREGI, P.; GUO, Y.; ADELOYE, J. B. Whey protein–polyphenol interactions can be exploited to reduce astringency or increase solubility and stability of bioactives in foods. Food Research International, 141, 110019, 2021.

LEKSHMI, R. K.; TEJPAL, C. S.; ANAS, K. K.; CHATTERJEE, N. S.; MATHEW, S.; RAVISHANKAR, C. N. Binary blend of maltodextrin and whey protein outperforms gum Arabic as superior wall material for squalene encapsulation. Food Hydrocolloids, 121, 106976, 2021.

MENEZES, E. G. T.; OLIVEIRA, É. R.; CARVALHO, G. R.; GUIMARÃES, I. C.; QUEIROZ, F. Assessment of chemical, nutritional and bioactive properties of Annona crassiflora and Annona muricata wastes. Food Science and Technology, 39, 662–672, 2019.

PRECIADO OCAMPO, V.; YEPES HERNANDEZ, A. L.; MARRATTE, R.; BAENA, Y.; GUTIÉRREZ-LÓPEZ, G. F.; AMBROSE, K.; CARVAJAL, M. T. Effect of drying methods on the physical and surface properties of blueberry and strawberry fruit powders: A review. Applied Sciences, 15, 13094, 2025.

QADRI, T.; NAIK, H. R.; HUSSAIN, S. Z.; BHAT, T. A.; NASEER, B.; ZARGAR, I.; BEIGH, M. A. Impact of spray drying conditions on the reconstitution, efficiency and flow properties of spray dried apple powder: Optimization, sensorial and rheological assessment. Heliyon, 9, e18527, 2023.

QUINTERO-GAMERO, G.; SÁNCHEZ-GARZÓN, F. S.; RODRÍGUEZ-CORTINA, A.; HERNÁNDEZ-CARRIÓN, M.; NERIO, L. S. Optimization of the encapsulation of arazá pulp by spray drying: Physicochemical, morphological and in vitro digestion studies. Applied Food Research, 5, 100831, 2025.

SANTOS, J. C. C.; CORRÊA, J. L. G.; FURTADO, M. L. B.; MORAIS, L. C.; BORGES, S. V.; OLIVEIRA, C. R.; RESENDE, J. V.; OLIVEIRA, L. F. Influence of ultrasound intensity on rheological properties and bioactive compounds of araticum (Annona crassiflora) juice. Ultrasonics Sonochemistry, 105, 106868, 2024.

SIA, Y. J.; CHUA, L. S.; NOR, N. F. A.; SOO, J.; SARI, E. Spray drying and characterisation of anthocyanin-rich microcapsules from jaboticaba juice with maltodextrin. Food Bioscience, 68, 106446, 2025.

SIRICHOKWORRAKIT, S.; AUKKANIT, N.; SANGSUWON, C. Optimizing encapsulation strategies for enhanced antioxidant stability of Wolffia globosa extracts: A comparative study of maltodextrin, gum Arabic, and whey protein concentrate. Applied Food Research, 101030, 2025.

SOBULSKA, M.; ZBICINSKI, I. Advances in spray drying of sugar-rich products. Drying Technology, 39, 1774–1799, 2021.

WANG, B.; PHAM, L. B.; ADHIKARI, B. Complexation and conjugation between phenolic compounds and proteins: Mechanisms, characterisation and applications as novel encapsulants. Sustainable Food Technology, 2, 1206–1227, 2024.