

Encapsulamento de compostos bioativos para a geração de nutracêuticos



<https://doi.org/10.56238/sevened2023.006-050>

Mariana da Silva Alves

Instituto de Macromoléculas Professora Eloisa Mano/IMA, Universidade Federal do Rio de Janeiro/UFRJ

E-mail: marianasalves@ima.ufrj.br

Maria Inês Bruno Tavares

Instituto de Macromoléculas Professora Eloisa Mano/IMA, Universidade Federal do Rio de Janeiro/UFRJ

E-mail: mibt@ima.ufrj.br

RESUMO

Inúmeros estudos vêm sendo desenvolvidos para melhorar a qualidade de vida da sociedade no que tange a melhoria e a qualidade de alimentos que promovem a manutenção e a conservação da saúde frente às doenças crônicas não transmissíveis (DCNT), como, por exemplo, doenças cardiovasculares, diabetes e o câncer. Dessa forma,

a atenção tem sido voltada para a introdução dos alimentos funcionais e a suplementação com nutracêuticos que possam oferecer benefícios à saúde além de suas propriedades nutricionais nas dietas alimentares. Os alimentos funcionais possuem características próprias pela presença dos compostos bioativos, que promovem benefícios para o organismo além do seu valor nutricional. Dessa forma, estudos sobre compostos bioativos e sobre nutracêuticos têm sido crescentes, visto seus benefícios. Os compostos bioativos são muito instáveis, assim os estudos mostram que a melhor maneira para manipulação e eficácia no organismo é seu uso com um encapsulamento protetor, formando assim um nutracêutico. Para o encapsulamento se utiliza sistemas poliméricos, os quais promovem uma melhor entrega destes compostos bioativos.

Palavras-chave: Compostos bioativos, Nutracêuticos, Encapsulamento polimérico, Alimentos funcionais.

1 INTRODUÇÃO

A busca por melhoria na qualidade de vida tem tido um crescente espaço na sociedade, cada vez mais a população vem buscando se alimentar de forma mais saudável, realizar exercícios físicos e, com isto gerar mudanças para hábitos mais saudáveis. Face a importância de uma alimentação mais saudável, se busca alimentos nos quais contém compostos que trazem benefícios à saúde, que são denominados de alimentos funcionais. Esses alimentos possuem propriedades benéficas à saúde devido a presença de compostos bioativos, além do seu valor nutricional já avaliado. Dessa forma, o campo de estudos sobre os alimentos funcionais vem crescendo amplamente nas últimas décadas, no qual vem sendo estudados os principais bioativos dos alimentos e seus benefícios à saúde no que tange ao controle/prevenção das doenças crônicas não transmissíveis (DCNT) (REZA E KRISTEN, 2015).

A indústria alimentar vem investindo em formulações para melhorar as características dos produtos comercializados com a adição de vitaminas aos alimentos, assim como a formulação de compostos nutracêuticos (ASSUNÇÃO *et al.*, 2014). Dessa forma, os compostos bioativos têm se



destacado por suas características como, por exemplo, propriedades antioxidantes, anti-inflamatória e anticancerígena, dentre outras.

O encapsulamento dos bioativos se faz necessário para a proteção do composto, já que estes apresentam grande instabilidade, degradando-se facilmente com a variação da temperatura, umidade e pH (CARMO *et al.*, 2015).

As técnicas de encapsulamento são muito utilizadas nas indústrias de alimentos sendo economicamente viáveis, entretanto precisam do aprimoramento de novas tecnologias para obtenção de melhores resultados (ASSUNÇÃO *et al.*, 2014).

A partir do exposto, o objetivo desse artigo é realizar o levantamento recente, sobre o encapsulamento de bioativos para manutenção e preservação da saúde e o desenvolvimento de nutracêuticos visando a suplementação alimentar.

2 COMPOSTOS BIOATIVOS

Os extratos vegetais em sua maioria possuem boas propriedades que ajudam a manter e melhorar a saúde humana, entretanto não são amplamente utilizados pois apresentam alta volatilidade e instabilidade a luz UV (BAKRY *et al.*, 2016; BASER, BUCHBAUER, 2015; MARTINS *et al.*, 2017), necessitando assim de um encapsulamento para se manter estável, melhorando potencialmente sua atividade (BAKRY *et al.*, 2016; VEIGA *et al.*, 2019).

A utilização dos compostos bioativos na indústria de alimentos é atualmente limitada devido à sua baixa solubilidade em água, baixa biodisponibilidade, sensibilidade ao pH e fácil degradação em meios agressivos, como o ambiente gástrico (MONTES *et al.*, 2019).

Visto a grande instabilidade dos compostos bioativos, sua utilização pela indústria alimentícia atualmente é muito limitada. Como solução para esse problema, surgiram várias abordagens tecnológicas e também nanotecnológicas, com diferentes sistemas de encapsulamento para aumentar a eficácia terapêutica dos compostos bioativos (MONTES *et al.*, 2019).

Exemplos de compostos bioativos encapsulados comumente encontrados são os óleos essenciais, como óleo de atum, ácidos graxos, óleo de girassol, licopeno, fibras, dentre outros. O tipo de encapsulamento selecionado é definido de acordo com o uso final do composto, visto que há vários tipos e sistemas de encapsulamento.

Há vários métodos para encapsulamento, devido às diferenças encontradas em cada molécula dos compostos bioativos, que se diferenciam pela massa molar, estrutura química, solubilidade, entre outras características que afetam os requisitos químicos e físicos quando ocorre o encapsulamento (SILVA *et al.*, 2015).

A escolha do método mais adequado depende do tipo do material, da aplicação e do mecanismo de liberação desejado para a sua ação. Uma das classificações do encapsulamento é



quanto ao tamanho da partícula encapsulada, podendo ser nanopartículas, micropartículas ou macropartículas.

Segundo Carneiro (2011), o tipo de material de parede utilizado irá influenciar tanto na estabilidade, quanto na capacidade de proteção do produto em pó. O material de parede ideal deve ter propriedades de ser um bom formador de filme na interface; ter baixa viscosidade em altas concentrações de sólidos; exibir baixa higroscopicidade; liberar o material encapsulado quando desejável no produto final; ter baixo custo; apresentar alta disponibilidade e oferecer boa proteção ao encapsulado.

Um exemplo é a grande dificuldade encontrada para o encapsulamento de substâncias altamente lipofílicas que com tempo de processamento, armazenamento e utilização comercial acabam sofrendo oxidação (desenvolvendo rancidez e alterando as características sensoriais) e tendo perdas consideráveis em sua composição química (GANGURDE *et al.*, 2016).

3 ENCAPSULAMENTO

Os sistemas poliméricos são as bases de encapsulamentos mais promissoras e versáteis, destacando-se no mercado; sua eficácia depende restritamente das propriedades do polímero utilizado para tal fim (GANGURDE *et al.*, 2016; PUTTASIDDAIAH *et al.*, 2022).

O encapsulamento forma uma barreira física, na qual o composto isolado é preservado e envolto a uma membrana, geralmente polimérica, que em condições específicas, ocorre à ruptura dessa membrana em locais específicos, liberando assim o composto em questão (CARMO *et al.*, 2015). Além do fator de barreira física, o encapsulamento promove e controla a efetividade dos compostos a serem liberados, podendo ampliar sua faixa de aplicação e garantir a dosagem ótima diária de entrega.

Essa é uma prática bastante utilizada na indústria alimentícia devido à proteção fornecida ao bioativo no que se refere à degradação térmica, estabilidade microbiológica, além de proporcionar uma concentração adequada (SHISHIR *et al.*, 2018).

Segundo Carmo e colaboradores (2015), o encapsulamento é definido como a junção de partículas em um material de revestimento, o qual permite a formação de uma barreira física entre o encapsulado e o meio, protegendo assim o composto encapsulado das adversidades do meio como, por exemplo, da variação de temperatura, pH, umidade e oxidação. O encapsulamento consiste em uma camada encapsulante, geralmente de origem polimérica atuando como um filme protetor com características ativas para tal propriedade, isolando a substância em questão do meio externo. Esse filme pode sofrer estímulos específicos em locais direcionados para a liberação da substância (CARMO *et al.*, 2015).



O encapsulamento também pode ter múltiplos benefícios, como por exemplo, melhorar a biodisponibilidade do bioativo encapsulado; uso de polímeros sensíveis ao pH, que modifica as características do material da parede da cápsula, promovendo uma melhor biodisponibilidade, e também permite a entrega de bioativos para um local específico, o que poderia potencializar sua atividade farmacológica.

Com o desenvolvimento da nanotecnologia, é possível também desenvolver o nanoencapsulamento para os compostos bioativos, com melhores propriedades e eficiência. Podendo contribuir de forma mais eficiente nas áreas econômicas e nutricionais, garantindo uma melhor estabilidade, solubilidade, eficácia, proteção e biodisponibilidade (SINGH *et al.*, 2023).

Na literatura, encontram-se alguns estudos sobre o encapsulamento e nanoencapsulamento de compostos bioativos utilizando polímeros para formulação de produtos nutracêuticos.

Nguyen e Jeong (2018) propuseram o encapsulamento da quercetina através do método de *electrospray* para preparação de microesferas de poli (ácido láctico-co-glicólico) (PLGA). A quercetina é encontrada em várias plantas e possui muitos efeitos biológicos (DAVIS *et al.*, 2009), como efeitos anticarcinogênicos, anti-inflamatórios, antivirais e antioxidantes (AGUIRRE *et al.*, 2018).

Para a fabricação das microesferas, os autores utilizaram diferentes razões de quercetina e PLGA em diferentes proporções da mistura de acetona (ACE) com dimetilformamida (DMF); os experimentos foram realizados em temperatura ambiente e parâmetros de *electrospray*, incluindo taxa de fluxo, a voltagem aplicada e a distância ponta-coletor, foram avaliadas (NGUYEN; JEONG, 2018).

O PLGA e a quercetina são altamente solúveis em acetona e dimetilformamida, o que possibilita o uso desses solventes para produção das microesferas carregadas de quercetina (BOHR *et al.*, 2012).

O uso da acetona como único solvente resultou em microesferas com morfologias diversas que exibiram um padrão achatado. Os resultados obtidos pelos autores a partir da formulação de microesferas de PLGA sugeriram que as partículas carregadas com quercetina oferecem uma melhor entrega a longo prazo para acessar facilmente alvos terapêuticos *in vivo*.

Figueiredo e colaboradores (2020) desenvolveram um estudo sobre o encapsulamento do extrato do camu-camu (*Myrciaria dubia*), fruta de origem amazônica, destacando-se pelo seu alto valor nutricional e pelo teor de compostos bioativos, sendo chamado de "rei da vitamina C" ou "superfruta" (AGUIAR; SOUZA, 2016). Além disso, o pó de extrato de camu-camu também pode ser aplicado em fins farmacológicos e cosméticos uma vez que seu alto potencial antioxidante tem sido associado com os teores de ácido ascórbico e compostos fenólicos (FUJITA *et al.*, 2017).



Figueiredo e colaboradores tiveram por objetivo sintetizar micropartículas contendo extrato de camu-camu encapsulando com diferentes biopolímeros. Após a extração do camu-camu, os autores utilizaram maltodextrina (MD), inulina (IN) e oligofrutose (OL) para o encapsulamento no processo de secagem por spray-drying. A molhabilidade dos pós foi avaliada, que é a capacidade das partículas de pó de se reidratar em água. Assim uma molhabilidade rápida é considerada uma característica desejável de produtos alimentícios em pó (SARABANDI *et al.*, 2017). O encapsulamento feito com OL e IN apresentaram menor tempo de umedecimento, diferindo significativamente do tratamento com MD. O tamanho das partículas dos produtos em pó está associado a características importantes como suscetibilidade à deterioração, fluidez, aparência e dispersibilidade das partículas (BOTREL *et al.*, 2014). Diferenças significativas foram observadas para o tamanho das partículas com os diferentes biopolímeros, sendo que as partículas com IN apresentaram maior diâmetro médio. Silva e Meireles (2015) investigaram o efeito do grau de polimerização (DP) da inulina neste processo, e relataram que esse efeito ocorre provavelmente devido à aglomeração causada pelo aumento dos sítios de ligações existentes nas partículas da superfícies, levando as interações partícula-partícula, resultando na formação de partículas maiores no sistemas.

A menor estabilidade encontrada foi com o uso dos biopolímeros prebióticos (IN e OL), com início da degradação em 225°C e já com a MD, o processo de degradação deu início em torno de 275°C. A análise também foi realizada com o extrato puro de camu-camu liofilizado (CEL), onde foi possível observar uma menor estabilidade térmica, com a temperatura de degradação em torno de 100°C, o que demonstra a importância e necessidade de processo de encapsulamento. Figueiredo e colaboradores (2020) concluíram que o processo de encapsulamento é vantajoso, pois protege os compostos bioativos, os quais podem ser aplicados em diversas matrizes alimentares como laticínios, bebidas, emulsões, balas, entre outros, incorporando capacidade antioxidante, além de fornecer nutrientes de enriquecimento.

Salah e colaboradores (2020) propuseram o nanoencapsulamento de antocianinas extraídas do bagaço da framboesa vermelha em β -lactoglobulina (β -Lg) visando a geração de nutracêuticos e aplicação em matrizes alimentares e farmacológicas.

As antocianinas (AC) são pigmentos naturais responsáveis pela coloração em muitas frutas e vegetais, possuindo propriedades bio-funcionais (ZHANG *et al.*, 2020). Framboesas vermelhas são ricas em antocianinas (CHEN *et al.*, 2020; ZHANG *et al.*, 2021), e possuem funções antioxidantes, anticancerígenas, antidiabéticas, entre outras (LI *et al.*, 2020; WANG *et al.*, 2020). O uso de AC na indústria de alimentos é restrito devido à sua rápida deterioração como resultado da exposição ao pH, temperatura, oxigênio, luz, íons metálicos, entre outros (LIU *et al.*, 2020). A biodisponibilidade das antocianinas também é muito baixa, principalmente devido à sua degradação durante os processos de digestão gastrointestinal (CHI *et al.*, 2019; MANSOUR *et al.*, 2020).



Polímeros naturais têm sido usados como material encapsulante para melhorar as propriedades dos polifenóis, incluindo AC. As técnicas de encapsulamento aumentam a eficiência dos bioativos, aumentando sua solubilidade, biodisponibilidade, estabilidade e pode controlar sua liberação (LI *et al.*, 2015). Os sistemas de entrega de nanopartículas à base de biopolímeros estão sendo desenvolvidos não apenas para encapsular os compostos bioativos, mas também para proteger e transportá-los para o sistema de destino (HU *et al.*, 2017). Salah e colaboradores propuseram o encapsulamento pelo método de coacervação, que é um processo simples e direto sendo combinado com o processo ultrassônico para fabricação de nanopartículas de proteína. O método de coacervação é apropriado para compostos bioativos termosensíveis, pois, não há necessidade de remover óleos ou surfactantes (ROHIWAL *et al.*, 2015). Outros estudos demonstram que esse método também foi utilizado para encapsulamento de muitos componentes, tais como curcumina, quercetina, caroço de tamareira, doxorrubicina e escutelarina, para melhorar sua biodisponibilidade (CHAVOSHPOUR-NATANZI; SAHIHI, 2019; WEI *et al.*, 2014).

O encapsulamento com β -Lg foi feito em amostras variando a concentração de AC e também com a partícula vazia. Foi realizado o encapsulamento por coacervação e processamento ultrassônico gerando partículas nanoencapsuladas. Todas as amostras produzidas apresentaram um tamanho em nanoescala, demonstrando que o método de coacervação combinado com o processo ultrassônico é uma forma bem-sucedida de geração de nanopartículas de proteínas (JUN *et al.*, 2011). Foi adicionado no sistema uma solução aquosa de etanol, podendo também ser adicionado somente H₂O, para inibir a agregação das partículas devido suas forças repulsivas, resultando na presença de cargas negativas nas moléculas de proteína (BAGHERI *et al.*, 2013).

Os autores concluíram que as nanopartículas de β -Lg carregadas com antocianina (AC) foram bem-sucedidas no processo de fabricação por coacervação e ultrassonicação, gerando partículas monodispersas e com tamanhos dentro do esperado, apresentando um bom rendimento e um alta eficiência de encapsulamento. Ao analisar a estabilidade térmica, observou-se que esta foi aumentada devido à proteção oferecida pelo encapsulamento com o biopolímero utilizado, sendo dessa forma uma técnica promissora para aplicação em matrizes alimentares (SALAH *et al.*, 2020).

Meng e colaboradores (2021) propuseram o encapsulamento de curcumina (Cur) em nanopartículas de zeína/carboximetil dextrina (CMD) em diferentes proporções para sua aplicação na indústria alimentícia, visto os grandes benefícios da curcumina. Por ser um composto polifenólico, a curcumina possui benefícios fisiológicos com ação antioxidante, anti-inflamatória, antienvhecimento e anticancerígena, atuando na prevenção de DCNT (PAN *et al.*, 2019). Entretanto como os demais compostos bioativos, a Cur é altamente instável, possui alta hidrofobicidade e biodisponibilidade oral reduzida, necessitando assim de um encapsulamento eficiente (PAN *et al.*, 2020).



O complexo formado por carboximetil e dextrina associado com a zeína tem a capacidade de aumentar a proteção dos componentes biologicamente ativos (SONG, *et al.*, 2017). Essa associação promove o melhoramento de algumas características da dextrina, como por exemplo o aumento da solubilidade em água e a estabilidade térmica (TAN *et al.*, 2013).

Ao final das análises, os autores demonstraram que o encapsulamento de Cur em nanopartículas de zeína/CMD é a forma mais eficiente de encapsulamento com uma ótima estabilidade térmica.

Gagliardi e colaboradores (2021) propuseram uma comparação de sistemas de nanoencapsulamento polimérico do poli(ácido lático-co-ácido glicólico) (PLGA) e da zeína, para o encapsulamento da rutina, que é um bioflavonóide presente em diversos alimentos, caracterizado por sua atividade antioxidante, anti-inflamatória e anticancerígena. As nanopartículas foram produzidas pela técnica de nanoprecipitação, sendo preparadas com PLGA (75:25) usando poloxamer-188 (PLX188) ou polissorbato 80 como estabilizadores para modular as propriedades (COSCO *et al.*, 2019).

As partículas encapsuladas com SD-zeína apresentaram uma grande estabilidade em diferentes temperaturas confirmando a notável capacidade da matriz natural de reter com eficácia o composto bioativo, e nenhuma desestabilização física foi observada.

Assim os autores concluíram que a rutina pode ser integrada em nanopartículas poliméricas constituídas por biomateriais e caracterizados por diferentes propriedades físico-químicas destinadas para diferentes aplicações.

Ao final deste levantamento, pode-se concluir que os estudos sobre o encapsulamento e geração de nutracêuticos a partir de compostos bioativos de alimentos funcionais vêm crescendo, devido ao avanço das novas tecnologias que vem sendo desenvolvidas e do grande interesse das indústrias alimentícias, visto a importância dos bioativos na alimentação para a prevenção e manutenção da saúde.

Há vários tipos de encapsulamentos, e aqueles empregando polímeros são os mais promissores do mercado, devido à suas boas propriedades entre elas, em ser biodegradáveis e biocompatíveis.

Observa-se ainda as mais diversas formas de encapsulamento, com materiais específicos para cada sistema em questão, principalmente no que tange o nanoencapsulamento, sendo este mais promissor e eficiente. Todas as análises feitas com os sistemas encapsulados demonstram os melhores resultados para aprisionamento do bioativo, em tamanho micro e principalmente em tamanho nano, com propriedades específicas de cada sistema para uma liberação em local específico. Diversos fatores foram estudados e tendo sua eficiência comprovada para os sistemas de encapsulamento.

Dessa forma foi comprovado por diversos estudos a eficiência do encapsulamento para proteção do bioativo e sendo possivelmente eficiente para formação de nutracêuticos, demonstrando



que são bastante promissoras para o campo científico, o qual pode gerar grandes benefícios à sociedade.



REFERÊNCIAS

- AGUIAR, J. P. L.; SOUZA, F. C. A; Camu-Camu super fruit (*Myrciaria dúbia* (H.B.K) *Mc Vaugh*) at different maturity stages. African Journal of Agricultural Research, [S.l.] v. 11 n. 28, p. 2519–2523, 2016.
- AGUIRRE L., ARIAS N., MACARULLA M. T., GRACIA A. PORTILLO M. P. Beneficial effects of quercetin on obesity and diabetes, The Open Nutraceuticals Journal, [S.l.], n. 4, p. 189-198, 2011.
- ASSUNÇÃO L. S.; FERREIRA C. D.; CONCEIÇÃO E. J. L.; NUNES I. L. Estudo Prospectivo sobre Encapsulamento de Compostos Bioativos. Revista GEINTEC, São Cristóvão/SE, v. 4, n. 4, p.1382-1391, 2014.
- BAGHERI, L.; MADADLOU, A.; YARMAND, M.; MOUSAVI, M. E. Nanoencapsulation of date palm pit extract in whey protein particles generated via desolvation method. Food Research International, [S.l.], v. 51, n. 2, p. 866-871, 2013.
- BAKRY, A. M.; ABBAS, S.; ALI, B.; MAJEED, H.;ABOUELWAFWA, M. Y.;MOUSA, A.; Microencapsulation of oils: A comprehensive review of benefits, techniques, and applications. Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety, v. 15, n. 1, p. 143–182, 2016.
- BASER, K. H. C.; BUCHBAUER, G. Handbook of essential oils: Science, technology, and applications. CRC press, 2015.
- BOHR A.; YANG M.; BALDURSDÓTTIR S.; KRISTENSEN J.; DYAS M.; STRIDE E.; EDIRISSINGHE M. Particle formation and characteristics of Celecoxib-loaded poly (lactic-co-glycolic acid) microparticles prepared in different solvents using electrospraying. Polymer, [S.l.], v. 53, n. 15, p. 3220–3229, 2012.
- BOTREL, D. A.; BORGES, S. V.; BARROS, R. V.; CARMO, E. L. Optimization of Fish Oil Spray Drying Using a Protein: Inulin System. Journal Drying Technology, [S.l.], v. 32, n. 3, p. 279–290, 2014.
- CARMO E. L.; FERNANDES R. V. B.; BORGES S. V. Microencapsulação por Spray Drying, Novos Biopolímeros e Aplicações na Tecnologia de Alimentos. Journal of Chemical Engineering and Chemistry, [S.l.], v. 01, n. 02, p. 30-44, 2015.
- CARNEIRO, H. C. F. Microencapsulação de óleo de linhaça por spray drying: influência da utilização de diferentes combinações de materiais de parede. (Dissertação de Mestrado). Campinas – SP. Faculdade de Engenharia de Alimentos. Universidade Estadual de Campinas, 2011.
- CHAVOSHPOUR-NATANZI, Z.; SAHIHI, M. Encapsulation of quercetin-loaded β -lactoglobulin for drug delivery using modified anti-solvent method. Food Hydrocolloids, [S.l.], v. 96, p. 493-502, 2019.
- CHEN J.; DU J.; LI M.; LI C. Degradation kinetics and pathways of red raspberry anthocyanins in model and juice systems and their correlation with color and antioxidant changes during storage. LWT, [S.l.], v. 128, 109448, 2020.
- CHI, J.; GE, J.; YUE, X.; LIANG, J.; SUN, Y.; GAO, X.; YUE, P. Preparation of nanoliposomal carriers to improve the stability of anthocyanins. LWT, [S.l.], v. 109, p. 101-107, 2019.



COSCO, D.; MARE, R.; PAOLINO, D.; SALVATICI, M.C.; CILURZO, F.; FRESTA, M. Sclareol-loaded hyaluronan-coated PLGA nanoparticles: physico-chemical properties and in vitro anticancer features. *International Journal of Biological Macromolecules*, [S.l.], v. 132, p. 550–557, 2019.

COSCO, D.; PAOLINO, D.; ANGELIS, F.; CILURZO, F.; CELIA, C.; MARZIO, L.; RUSSO, D.; TSAPIS, N.; FATTAL, E.; FRESTA, M. Aqueous-core PEG-coated PLA nanocapsules for an efficient entrapment of water soluble anticancer drugs and a smart therapeutic response, *European Journal of Pharmaceutics and Biopharmaceutics*, [S.l.], v. 89, p. 30–39, 2015.

DAVIS, J. M.; MURPHY, E. A.; CARMICHAEL, M.D. Effects of the dietary flavonoid quercetin upon performance and health. *Current Sports Medicine Reports*, v. 8, n. 4, p. 206-213, 2009.

FIGUEIREDO, J. A., TEIXEIRA, M. A., CAMPELO, P. H., LAGO, A. M. T., SOUZA, T. P., YOSHIDA, M. I., OLIVEIRA, C. R., PEREIRA, A. P. A., PASTORE, G. M., SANCHES, E. A., BOTREL, D. A., BORGES, S. V. Encapsulation of camu-camu extracts using prebiotic biopolymers: controlled release of bioactive compounds and effect on their physicochemical and thermal properties. *Food Research International*, [S.l.], v. 137, n. 109563, 2020.

FUJITA, A.; SOUZA, V. B.; DAZA, L. D.; FÁVARO-TRINDADE, C. S.; GRANATO, D.; GENOVESE, M. I. Effects of Spray-Drying Parameters on *In Vitro* Functional Properties of CamuCamu (*Myrciaria dubia* Mc. Vaugh): A Typical Amazonian Fruit. *Journal of Food Science*, [S.l.], v. 82 n. 5, p. 1083–1091, 2017.

GAGLIARDI, A.; PAOLINO, D.; COSTA, N.; FRESTA, M.; COSCO, D. Zein- vs PLGAbased nanoparticles containing rutin: A comparative investigation. *Materials Science and Engineering C*, [s. l.], v. 118, n. August 2020, p. 111538, 2021.

GANGURDE, A. B.; ALI, M. T.; PAWAR, J. N.; AMIN, P. D. Encapsulation of vitamin E acetate to convert oil to powder microcapsule using different starch derivatives. *Journal of Pharmaceutical Investigation*, [S.l.], v. 47, n. 6, p. 559–574, 2016.

HU, B.; LIU X.; ZHANG, C.; ZENG, X. Food macromolecule based nanodelivery systems for enhancing the bioavailability of polyphenols. *Journal of Food and Drug Analysis*, [S.l.], v. 25, n. 1, p. 3-15, 2017.

JUN, J. Y.; NGUYEN, H. H.; PAIK, S.; CHUN, H. S.; KANG, B.; KO, S. Preparation of size-controlled bovine serum albumin (BSA) nanoparticles by a modified desolvation method. *Food Chemistry*, [S.l.], v.127, n. 4, p. 1892-1898, 2011.

LI, X.; ZHANGA, L.; PENG, Z.; ZHAO, Y.; WU, K.; ZHOU, N.; YAN, Y.; HOSAHALLI, S.; RAMASWAMY, H. S.; SUN, J.; BAI, W. The impact of ultrasonic treatment on blueberry wine anthocyanin color and its In-vitro anti-oxidant capacity. *Food Chemistry*, [S.l.], v. 333, n. 15, 127455, 2020.

LIU, J.; ZHUANG, Y.; HU, Y.; XUE, S.; LI, H.; CHEN, L.; FEI P. Improving the color stability and antioxidation activity of blueberry anthocyanins by enzymatic acylation with p-coumaric acid and caffeic acid. *LWT*, [S.l.], v. 130, 109673, 2020.

MANSOUR, M.; SALAH, M.; XU, X. Effect of microencapsulation using soy protein isolate and gum arabic as wall material on red raspberry anthocyanin stability, characterization, and simulated gastrointestinal conditions. *Ultrasonics Sonochemistry*, [S.l.], v. 63, 104927, 2020.



MARTINS, E.; PONCELET, D.; RODRIGUES, R. C.; RENARD, D. Oil encapsulation techniques using alginate as encapsulating agent: Applications and drawbacks. *Journal of Microencapsulation*, v. 34, n. 8, p. 754–771, 2017.

MENG, R.; WU, Z.; XIE, Q.; CHENG, J.; ZHANG, B. Preparation and characterization of zein/carboxymethyl dextrin nanoparticles to encapsulate curcumin: Physicochemical stability, antioxidant activity and controlled release properties. *Food Chemistry*, [S.l.], v. 340, 127893, 2021.

MONTES C.; VILLASENOR M. J.; RÍOS A. Analytical control of anodelivery lipid-based systems for encapsulation of nutraceuticals: Achievements and challenges. *Trends in Food Science & Technology*, [S.l.] n. 90, p. 47-62, 2019.

NGUYEN, T. T.; JEONG, J. Development of a single-jet electrospray method for producing quercetin-loaded poly (lactic-co-glycolic acid) microspheres with prolonged-release patterns. *Journal of Drug Delivery Science and Technology*, [S.l.], v. 47, p. 268–274, 2018.

PAN, Y.; LI, X.; MENG R.; ZHANG, B. Exploration of the Stabilization Mechanism and Curcumin Bioaccessibility of Emulsions Stabilized by Whey Protein Hydrolysates after Succinylation and Glycation in Different Orders. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, [S.l.], v. 68, n. 2, p. 623-632, 2020.

PAN, Y.; WU, Z.; ZHANG, B.; LI, X.; MENG, R.; CHEN, H.; JIN, Z. Preparation and characterization of emulsion stabilized by octenyl succinic anhydride-modified dextrin for improving storage stability and curcumin encapsulation. *Food Chemistry*, [S.l.], v. 294, p. 326-332, 2019.

PUTTASIDDAIAH, R.; LAKSHMINARAYANA, R.; SOMASHEKAR, N. L.; GUPTA, V. K.; INBARAJ, B. S.; USMANI, Z. Avanços na tecnologia de nanofabricação de nutracêuticos: novos insights e tendências futuras. *Bioengenharia*, v.9, n. 9, p. 478, 2022.

REZA T.; KRISTEN E. M.; JACEK J. Fish protein isolate: Development of functional foods with nutraceutical ingredients. *Journal of functional foods*, [S.l.], p.11, 2015.

ROHIWAL, S. S.; SATVEKAR, R.K.; TIWARI, A.P.; RAUT, A.V.; KUMBHAR, S.G.; PAWAR, S.H. Investigating the influence of effective parameters on molecular characteristics of bovine serum albumin nanoparticles. *Applied Surface Science*, [S.l.], v. 334, p. 157-164, 2015.

SALAH, M.; MANSOUR, M.; ZOGONA, D.; XU, X. Nanoencapsulation of anthocyanins-loaded β -lactoglobulin nanoparticles: Characterization, stability, and bioavailability in vitro. *Food Research International*, [S.l.], v. 137, 109635, 2020.

SILVA T. M.; RODRIGUES L. Z.; NUNES G. L.; CODEVILLA C. F.; SILVA C. B.; MENEZES C. R. Encapsulação de Compostos Bioativos por Coacervação Complexa. *Ciência e Natura*, v. 37, Ed. Especial-Nano e Microencapsulação de Compostos Bioativos e Probióticos em Alimentos, p. 56– 64, 2015.

SILVA, E. K.; MEIRELES, M. A. Influence of the degree of inulin polymerization on the ultrasound-assisted encapsulation of annatto seed oil. *Carbohydrate Polymers*, [S.l.], n. 133, p. 578–586, 2015.

SINGH, A. K.; PAL, P.; PANDEY, B.; GOKSEN, G.; SAHOO, U. K.; LORENZO, J. M.; SARANGI, P. K. Development of “Smart Foods” for health by nanoencapsulation: Novel technologies and challenges, *Food Chemistry: X*, v. 20, 2023



SONG, M.; LI, L.; ZHANG, Y.; CHEN, K.; WANG, H.; GONG, R. Carboxymethyl- β -cyclodextrin grafted chitosan nanoparticles as oral delivery carrier of protein drugs. *Reactive and Functional Polymers*, [S.l.], v. 117, p. 10-15, 2017.

TAN, H.; QIN, F.; CHEN, D.; HAN S.; LU, W.; YAO, X. Study of glycol chitosan-carboxymethyl β -cyclodextrins as anticancer drugs carrier. *Carbohydrate Polymers*, [S.l.], v. 93, n. 2, p. 679-685, 2013.

VEIGA, R. D. S. D.; SILVA-BUZANELLO, R. A.; CORSO, M. P.; CANAN, C. Essential oils microencapsulated obtained by spray drying: A review. *Journal of Essential Oil Research*, v. 31, n. 6, p. 457-473, 2019.

WANG H.; SUN S.; ZHOU Z.; QIU Z.; CUI X. Rapid analysis of anthocyanin and its structural modifications in fresh tomato fruit. *Food Chemistry*, [S.l.], v. 333, n. 15, 127439, 2020.

WEI, Y.; LI, L.; XI, Y.; QIAN, S.; GAO, Y.; ZHANG, J.; Sustained release and enhanced bioavailability of injectable scutellarin-loaded bovine serum albumin nanoparticles. *International Journal of Pharmaceutics*, [S.l.], v. 476, n. 1-2, p. 142-148, 2014.

ZHANG H.; ZHAO X.; ZHANG J.; YANG B.; YU Y.; LIU T.; NIE B.; SONG B. Functional analysis of an anthocyanin synthase gene *StANS* in potato. *Scientia Horticulturae*, [S.l.], v. 272, n. 15, 109569, 2020.

ZHANG W.; LAO F.; BI S.; PAN X.; PANG X.; HU X.; LIAO X.; WU J. Insights into the major aroma-active compounds in clear red raspberry juice (*Rubus idaeus* L. cv. Heritage) by molecular sensory science approaches. *Food Chemistry*, [S.l.], v. 336, n. 30, 127721, 2021.