

RESSALVA

Atendendo solicitação do autor, o texto completo desta dissertação será disponibilizado somente a partir de 11/09/2025.

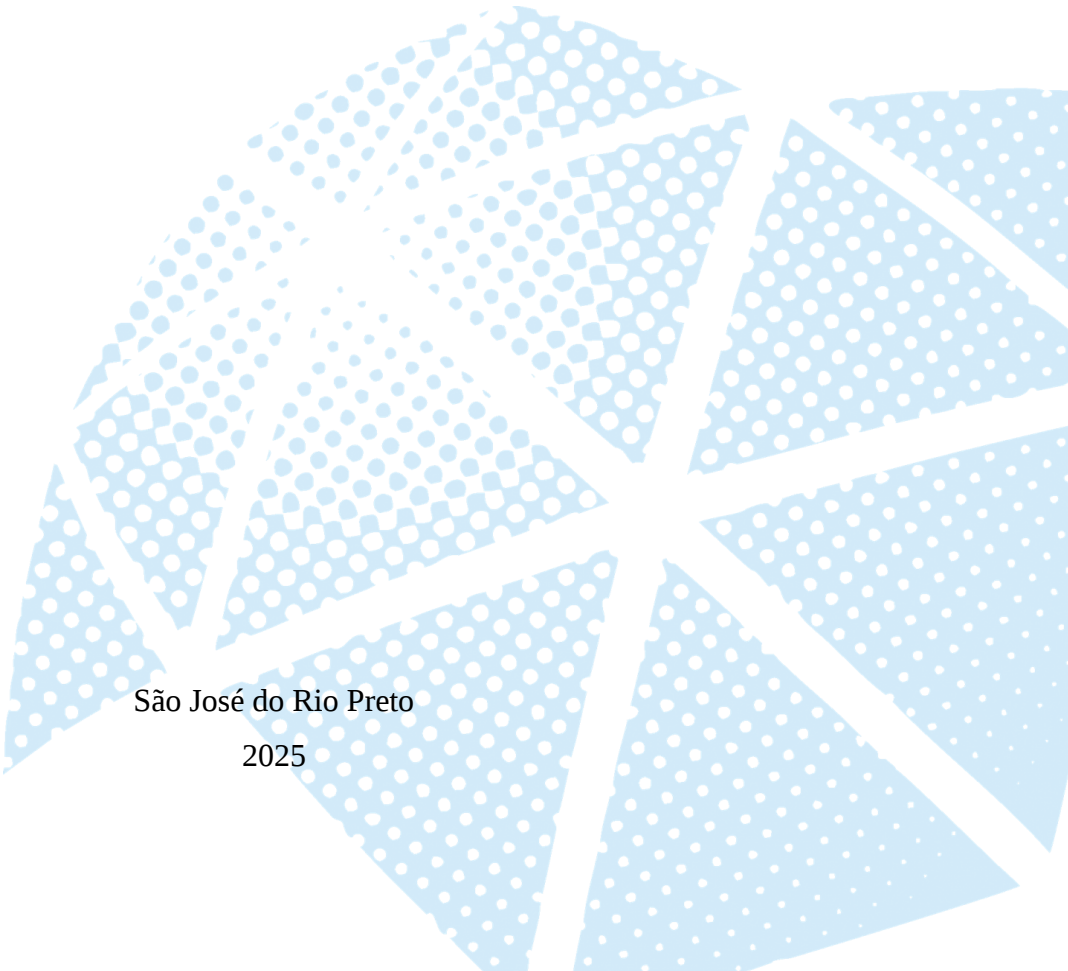
UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA – UNESP
Instituto de Biociências, Letras e Ciências Exatas - Campus de São José do Rio
Preto

VINÍCIUS RUBENS DE BIAGI

COENCAPSULAÇÃO DE FERRO, VITAMINA A E VITAMINA D VISANDO A
FORTIFICAÇÃO DE ALIMENTOS

São José do Rio Preto

2025



VINÍCIUS RUBENS DE BIAGI

**COENCAPSULAÇÃO DE FERRO, VITAMINA A E VITAMINA D VISANDO A
FORTIFICAÇÃO DE ALIMENTOS**

Dissertação apresentada à Universidade Estadual Paulista (UNESP), Instituto de Biociências, Letras e Ciências Exatas, São José do Rio Preto, para obtenção do título de Mestre em Alimentos, Nutrição e Engenharia de Alimentos.

Área de Concentração: Alimentos e Nutrição

Orientadora: Profa. Dra. Ana Carolina Conti

Coorientadora: Profa. Dra. Louise Emy Kurozawa

São José do Rio Preto

2025

D286c

De Biagi, Vinícius Rubens

Coencapsulação de ferro, vitamina A e vitamina D visando a fortificação de alimentos / Vinícius Rubens De Biagi. -- São José do Rio Preto, 2025

94 p. : il., tabs., fotos

Dissertação (mestrado) - Universidade Estadual Paulista (UNESP), Instituto de Biociências Letras e Ciências Exatas, São José do Rio Preto

Orientadora: Ana Carolina Conti

Coorientadora: Louise Emy Kurozawa

1. Alimentos fortificados. 2. Microencapsulação. 3. Ferro. 4. Vitamina A. 5. Vitamina D. I. Título.

IMPACTO POTENCIAL DESTA PESQUISA

O impacto esperado desta pesquisa reside na importância de oferecer nutrientes de forma satisfatória às populações, especialmente àquelas que, por razões econômicas, sociais e/ou culturais, não os ingerem em quantidades adequadas. Entre esses nutrientes, destacam-se o ferro e as vitaminas A e D, focos deste trabalho. Ao utilizar a microencapsulação como forma de proteção desses compostos, viabilizando uma fortificação de alimentos oportuna, este estudo estabelece um importante precedente para o atendimento de necessidades nutricionais relevantes, tanto em âmbito regional quanto global.

POTENTIAL IMPACT OF THIS RESEARCH

The expected impact of this research lies in the importance of providing adequate nutrients to populations, especially those who, for economic, social, and/or cultural reasons, do not consume them in sufficient quantities. Among these nutrients, iron and vitamins A and D stand out and are the focus of this work. By using microencapsulation as a means of protecting these compounds, enabling timely food fortification, this study sets an important precedent for meeting relevant nutritional needs, both regionally and globally.

VINÍCIUS RUBENS DE BIAGI

**COENCAPSULAÇÃO DE FERRO, VITAMINA A E VITAMINA D VISANDO A
FORTIFICAÇÃO DE ALIMENTOS**

Dissertação apresentada à Universidade Estadual Paulista (UNESP), Instituto de Biociências, Letras e Ciências Exatas, São José do Rio Preto, para obtenção do título de Mestre em Alimentos, Nutrição e Engenharia de Alimentos.

Área de Concentração: Alimentos e Nutrição

Banca Examinadora:

Profa. Dra. Ana Carolina Conti

Unesp – Câmpus de São José do Rio Preto/SP

Profa. Dra. Daniela Remonatto

Instituto Federal de São Paulo – Campus Matão/SP

Profa. Dra. Juliana Cristina Bassan

Faculdade de Tecnologia de Barretos "Profa Édi Salvi Lima" – Barretos/SP

*Aos meus pais, Roseli e João,
por quem me dedico e dedicarei o resto de minha vida (e, quem sabe, além).*

AGRADECIMENTOS

Primeiramente, agradeço a Deus e a Nossa Senhora Aparecida, meus companheiros de jornada.

Agradeço aos meus pais e ao meu irmão Victor pelo apoio incondicional e atemporal.

Agradeço à Profa. Dra. Ana Carolina por todo o apoio e paciência durante o meu período de Mestrado, especialmente por ter mantido as portas abertas quando precisei adiar, por dois anos seguidos, meu ingresso. Professora, você é um exemplo de excelência e profissionalismo no Ensino Superior público, e tudo isso sem perder o mais importante: o senso de humanidade.

Agradeço à Profa. Dra. Louise Emy Kurozawa pela coorientação e apoio ao longo da execução do meu projeto.

Agradeço aos membros da banca examinadora, por aceitarem prontamente meu convite.

Agradeço à Dra. Caroline Gregoli Fuzetti e Dr. Adilson Localli Pereira, por terem me ensinado a utilizar os equipamentos do Laboratório de Medidas Físicas do Ibilce/Unesp, sem esquecer da Profa. Dra. Vânia Nicoletti por todas as orientações técnicas.

Agradeço aos colegas do Laboratório de Análise Sensorial do Ibilce/Unesp, em especial à futura Dra. Juliana de Carvalho Marchesin, por ter me dado essencial suporte durante meu período de análises; à Profa. Ma. Caline Nogueira Inácio, pelos convites para atuar como avaliador nas atividades do Curso de Nutrição da Unifunec.

Agradeço à Ma. Leda Atílio Pita por todo o apoio material e moral.

Agradeço aos colegas de trabalho do Fórum da Comarca de Cardoso/SP, em especial à Supervisora Ana Paula Menezes de Oliveira e à Juíza de Direito Dra. Helen Komatsu, pela flexibilidade quando necessitei.

Agradeço, por fim, e de modo não menos importante, aos meus queridos amigos Marcella, Eduardo, Rafael, André e Éverton por terem, mesmo de longe, mandado boas energias. E também aos que estiveram perto de mim, dando-me igual apoio: Francis e Fernando.

“Mas Rieux endireitou-se e disse, com uma voz firme, que aquilo era tolice e que não era vergonha preferir a felicidade.

– Sim – disse Rambert – mas pode haver vergonha em ser feliz sozinho.”

(CAMUS, 2013, p. 269)

RESUMO

As deficiências de micronutrientes causam vários problemas graves de saúde, sendo as de ferro, vitamina A e vitamina D algumas das mais importantes em termos de saúde pública nacional e mundial. A fortificação de alimentos é uma das estratégias utilizadas para a prevenção e combate às deficiências nutricionais. Por sua vez, a coencapsulação de micronutrientes pela secagem de emulsões utilizando *spray dryer* tem se mostrado eficiente em termos de formação de micropartículas estáveis e com boa retenção do material encapsulado. Assim, o objetivo deste trabalho foi obter micropartículas carreadoras de ferro, vitamina A e vitamina D, visando uma futura fortificação de alimentos. Para tal, duas emulsões foram produzidas: uma contendo ferro quelado como fonte do elemento ferro, além de retinol e colecalciferol (formas mais ativas das vitaminas A e D, respectivamente) e outra contendo sulfato ferroso como fonte de ferro, além de retinol, colecalciferol e ácido ascórbico. As duas formulações foram preparadas utilizando como material de parede o isolado proteico de soja e a maltodextrina DE 10. As emulsões foram secas em *spray dryer* de bancada. Depois de secas, as micropartículas foram analisadas quanto à umidade, atividade de água, distribuição do tamanho de partícula, características morfológicas, retenção dos nutrientes empregados, bem como à estabilidade ao longo de quatro meses. O pó produzido apresentou rendimento de secagem de 72 e 64% para a formulação com ferro quelado e sulfato ferroso, respectivamente. Para ambas as formulações, os resultados foram positivos em termos de estabilidade físico-química e microbiológica. A distribuição do tamanho de partícula apresentou parâmetros indicativos de homogeneidade no processo de produção das micropartículas por *spray drying*. Para as duas formulações, as partículas apresentaram formato esférico irregular, de superfície majoritariamente lisa, com grau de rugosidade leve, além de terem se aglomerado. A retenção do ferro foi de 45% para a formulação com ferro quelado e 22% para a formulação com sulfato ferroso. Para a formulação com ferro quelado, houve retenção em torno de 26% de retinol e 14% de colecalciferol. Para a formulação com sulfato ferroso, 36% do retinol foram retidos e a retenção de colecalciferol foi de 3%. A retenção de ácido ascórbico (na formulação com sulfato ferroso) foi de 15%. Concluindo, a coencapsulação de nutrientes é tarefa complexa, pois exige o contorno das limitações e fragilidades de cada componente, evitando a interação dos mesmos com o ambiente e entre eles próprios, com o objetivo de conservar sua estrutura e os benefícios da encapsulação. Embora não seja factível contemplar a

totalidade dessas exigências, é possível otimizar a preservação dos compostos encapsulados, chegando-se a um balanço que viabilize a utilização das micropartículas de modo benéfico e vantajoso.

Palavras-chave: fortificação, sulfato ferroso, ferro quelado, retinol, colecalciferol, emulsão, *spray dryer*, microencapsulação.

ABSTRACT

Micronutrients deficiency causes several important health problems, being iron, vitamin A and vitamin D deficiencies some of the most important ones in terms of national and global public health. Food fortification is one of the strategies used to prevent and combat nutritional deficiencies. In turn, co-encapsulation of micronutrients by the drying of emulsions using a spray dryer has proved to be efficient in terms of stable microparticles formation with good retention of the encapsulated material. This research aimed to obtain iron, vitamin A and vitamin D-carrying particles, evaluating them regarding retention, water activity, particle size, morphological characteristics, and stability, aiming for a future fortification of foods. In order to achieve this, soy protein isolate and maltodextrin DE 10 were utilized as wall materials, added in the two proposed formulations: the first, containing iron chelate as iron source and sunflower oil enriched with retinol and cholecalciferol, the most active forms of vitamin A and D, respectively; the second, containing iron sulfate as iron source and sunflower oil enriched with retinol and cholecalciferol, with ascorbic acid, which aids the bioavailability of ferrous sulfate (lower than the iron chelate). The emulsions were dried in a benchtop spray dryer. After drying, the particles were analyzed regarding moisture, water activity, particle size distribution, morphological characteristics, retention of nutrients and stability throughout four months. The produced powder presented yield of 72 and 64% for the formulation with iron chelate and ferrous sulfate, respectively. For both formulations, the results were good in terms of physical-chemical and microbiological stability. The particle size distribution presented parameters that indicated homogeneity in the microparticles production using spray drying. For both formulations, the particles showed irregular round shape, with surface predominantly smooth and light rugosity, showing also agglomeration for both cases. There was an iron retention of 45% for the formulation with iron chelate and 22% for the formulation with ferrous sulfate. For the formulation with iron chelate, there was a retention of around 26% for retinol and 14% for cholecalciferol. For the formulation with ferrous sulfate, 36% of the retinol were retained and the cholecalciferol retention was 3%. The ascorbic acid retention for the formulation with ferrous sulfate was 15%. In conclusion, nutrient co-encapsulation is a complex task, because it requires bypassing the fragilities and limitations of each component, avoiding its interaction with the environment and between themselves, in order to preserve their structure and the benefits of the encapsulation. Although it is not feasible to achieve the totality of these

requirements, it is possible to optimize the conservation of the encapsulated compounds, reaching a balance that enables the utilization of the microparticles in a benefic and advantageous way.

Keywords: fortification, ferrous sulfate, iron chelate, retinol, cholecalciferol, emulsion, spray dryer, microencapsulation.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1: Moléculas da família da vitamina A que possuem importância no organismo humano.	16
Figura 2: Estruturas moleculares do ergocalciferol (Vitamina D ₂) e colecalciferol (Vitamina D ₃).	17
Figura 3: Estrutura do ácido ascórbico.	19
Figura 4: Esquema de microesfera (a) e esquema de microcápsula (b).	22
Figura 5: Um <i>spray dryer</i> (a) Esquema de funcionamento do processo de secagem por <i>spray drying</i> (b).	25
Figura 6: Esquema do preparo das emulsões a serem secas em <i>spray dryer</i>	31
Figura 7: Distribuição do tamanho de partícula para as formulações com ferro quelado e com sulfato ferroso nos tempos zero (t ₀) e quatro meses (t ₄).	40
Figura 8: Imagens obtidas por MEV (aumento de 2.000 e 5.000×) para a formulação com ferro quelado (F1).	43
Figura 9: Imagens obtidas por MEV (aumento de 2000 e 5000×) para a formulação com sulfato ferroso (F2).	44
Figura 10: Algumas micropartículas rompidas após quatro meses. Formulação com ferro quelado (F1) e sulfato ferroso (F2), aumentos de 2.000 e 5.000× em MEV.	45

LISTA DE TABELAS

Tabela 1: Componentes das formulações com ferro quelado e com sulfato ferroso para o preparo das emulsões.....	31
Tabela 2: Umidade e atividade de água das micropartículas com ferro quelado e com sulfato ferroso nos tempos zero (t_0), dois meses (t_2) e quatro meses (t_4).	38
Tabela 3: Valores do diâmetro de Brouckere ($D[4,3]$), span e moda para a formulação com ferro quelado e formulação com sulfato ferroso nos tempos zero e quatro meses. 40	
Tabela 4: Quantidade de ferro na formulação com ferro quelado e com sulfato ferroso	46
Tabela 5: Concentração das vitaminas A e D e retenção na formulação com ferro quelado e com sulfato ferroso.	49
Tabela 6: Quantidade de ácido ascórbico/g de pó e retenção na formulação com sulfato ferroso	51
Tabela A1: Componentes de F1 (a – com ajuste de pH e b – sem ajuste de pH) e F2 (c – com ajuste de pH e d – sem ajuste de pH).....	72

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO.....	10
2 OBJETIVOS.....	12
2.1 Objetivo geral	12
2.2 Objetivos específicos.....	12
3 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	13
3.1 Ferro	13
3.2 Vitamina A	14
3.3 Vitamina D	16
3.4 Ácido ascórbico	18
3.5 Deficiências de micronutrientes	19
3.6 A microencapsulação.....	21
3.6.1 Microencapsulação por <i>spray drying</i>	24
3.6.2 Materiais de parede utilizados	25
3.6.2.1 Isolado proteico de soja	26
3.6.2.2 Maltodextrina	28
4 MATERIAL E MÉTODOS.....	29
4.1 Material.....	29
4.2 Métodos	29
4.2.1 Preparo das emulsões para coencapsulação dos nutrientes e secagem por <i>spray dryer</i>	29
4.2.2 Rendimento da secagem	32
4.2.3 Caracterização das micropartículas	33
4.2.3.1 Umidade e atividade de água (aW).....	33
4.2.3.2 Distribuição do tamanho de partícula.....	33
4.2.3.3 Características morfológicas.....	33
4.2.3.4 Retenção de nutrientes.....	34

4.2.4 Análise da estabilidade das micropartículas	35
4.2.5 Análise dos dados	36
5 RESULTADOS E DISCUSSÃO	37
5.1 Rendimento da secagem	37
5.2 Caracterização das micropartículas	37
5.2.1 Umidade e atividade de água.....	37
5.2.2 Distribuição do tamanho de partícula.....	39
5.2.3 Características morfológicas por microscopia eletrônica de varredura (MEV).....	41
5.3 Retenção de nutrientes.....	46
5.3.1. Ferro	46
5.3.2. Retinol e colecalciferol.....	47
5.3.3. Ácido ascórbico	50
5.3.4. Quantidade de pó a ser adicionada em alimentos e limitações do estudo	51
6 CONCLUSÕES	54
REFERÊNCIAS	55
APÊNDICE A – TESTES PRELIMINARES	71
A.1 MATERIAL E MÉTODOS	71
A.1.1 Correção de pH	71
A.1.2 Microscopia óptica das emulsões	72
A.2. RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	73
A.2.1 Correção de pH	73
A.2.2 Microscopia óptica das emulsões	75
ANEXO 1 – LAUDOS TÉCNICOS	78

1 INTRODUÇÃO

As vitaminas e minerais são classificados como micronutrientes, moléculas e elementos dos quais o organismo necessita em pequenas quantidades para desempenhar suas funções adequadamente. A deficiência de micronutrientes pode causar problemas sérios de saúde, com redução do nível de energia do indivíduo, falta de clareza mental e diminuição de sua capacidade geral. Em casos mais severos, pode até mesmo representar uma ameaça à vida de uma pessoa ou grupo de pessoas sobre as quais o problema incida. As principais causas da deficiência de micronutrientes estão relacionadas à sua ingestão inadequada, má utilização pelo organismo ou aumento de sua perda. Tal privação pode ser evitada com a educação voltada à manutenção de uma alimentação saudável e práticas como a suplementação e fortificação de alimentos (OMS, 2022).

Os quadros de deficiência de ferro, vitamina A e vitamina D são alguns dos mais importantes do ponto de vista da nutrição global. A deficiência de ferro é a mais difundida no mundo, apresentando-se como um desafio tanto nos países industrializados, quanto naqueles não-industrializados. A falta de ferro no organismo pode levar, por exemplo, ao desenvolvimento físico e cognitivo insatisfatório, perda de produtividade e diagnósticos de anemia, sendo esta última responsável, em formas mais severas, por quadros de mortalidade materna e infantil. Em relação à vitamina A, sua carência apresenta-se como a principal causa de cegueira evitável em crianças. Além disso, pode aumentar o risco de morte por infecções severas como doenças diarreicas e sarampo. Já a deficiência de vitamina D está associada a casos de raquitismo em crianças, problemas ósseos em adultos, e, em estudos mais recentes, a diagnósticos de câncer, doenças cardiovasculares, diabetes e depressão (OMS, 2021; Sizar et al., 2023).

Para suprir a demanda por micronutrientes e encontrar soluções que permitam seu consumo em quantidades adequadas, diversas técnicas têm sido estudadas a fim de aumentar a disponibilidade de vitaminas e minerais. O mercado de suplementos de vitaminas e minerais é expressivo. Segundo a consultoria de mercado *Future Market Insights* (2025), o negócio apresenta valor aproximado de 61,8 bilhões em 2025 e deve crescer 5,4% nos próximos dez anos. Dados de importação de suplementos alimentares pelo Brasil, por exemplo, mostram a movimentação de 234 bilhões de dólares somente em importação de vitaminas (ABIAD, 2024). Ainda, a fortificação está entre as estratégias adotadas para aumentar o conteúdo de micronutrientes na dieta e diminuir suas deficiências ao aproveitar os produtos industrializados como veículos carreadores (Dary;

Guamuch-Castañeda; Mora, 2023). A fortificação, aliada a técnicas como a microencapsulação, pode exercer papel importante na entrega de micronutrientes a populações em estado de vulnerabilidade nutricional.

A microencapsulação, técnica de aprisionamento de pequenas porções sólidas, líquidas ou gasosas (chamadas de núcleo) por um material polimérico (denominado material de parede), apresenta-se como uma alternativa que pode fornecer uma proteção satisfatória do material do núcleo (composto de interesse) em relação ao meio externo, melhorando suas características de solubilidade, liberação controlada, maior facilidade do manuseio do material presente no núcleo e aumento de biodisponibilidade (Abbasi et al., 2014; Assadpour; Jafari, 2019).

Dessa forma, este projeto buscou aliar as estratégias de microencapsulação por secagem de emulsões em *spray dryer*, mais especificamente a coencapsulação dos nutrientes ferro, vitamina A e vitamina D, a uma futura fortificação de alimentos carreadores do pó produzido. Ao entregar, dentro de uma mesma micropartícula, os três micronutrientes mencionados, abre-se um importante precedente no atendimento a necessidades nutricionais importantes como as supramencionadas.

6 CONCLUSÕES

O rendimento da secagem mostrou resultados dentro do esperado. Os resultados das análises de atividade de água e umidade encontram-se dentro dos parâmetros de prevenção às reações físico-químicas e do crescimento microbiológico, o que indica estabilidade de ambas as formulações quando se trata destes atributos. O tamanho de partícula avaliado indicou homogeneidade no processo de secagem para ambas as formulações. Para a formulação com ferro quelado, houve aumento do diâmetro das partículas ao longo dos quatro meses de armazenamento, fato que pode ser explicado pela formação de aglomerados. A microscopia eletrônica de varredura corrobora essa possibilidade. Notou-se, porém, a formação de aglomerados também para a formulação com sulfato ferroso. Além disso, sob o microscópio eletrônico de varredura, as micropartículas apresentaram, de modo geral, aparência lisa, com pouca rugosidade. Adicionalmente, não apresentaram, em sua maioria, ruptura mesmo após quatro meses de armazenamento. Em relação à retenção, houve perda expressiva de colecalciferol e a retenção máxima dos nutrientes foi de 45% para o ferro presente no ferro quelado. Durante a produção da emulsão, fatores como exposição à luz e oxigênio ambientes podem ter contribuído para a degradação deste componente. Além disso, pode ter havido perda mecânica, já que a quantidade utilizada torna difícil a pesagem deste nutriente. Ao longo do tempo, as micropartículas apresentaram, de modo geral, pouca ou nenhuma perda significativa dos nutrientes. Esta preservação, porém, pode não ser capaz de compensar a perda de vitaminas quando comparamos a quantidade adicionada na emulsão ao teor quantificado no pó. Concluindo, a coencapsulação de nutrientes é tarefa complexa, pois exige que as fragilidades de cada componente adicionado sejam identificadas e contornadas. Ao se trabalhar com elementos de naturezas tão diversas (no caso deste estudo, o ferro, um elemento hidrofílico e passível de oxidação, junto das vitaminas A e D, componentes hidrofóbicos e sensíveis a elementos como luz, oxigênio e temperatura elevada), o desafio torna-se ainda maior, visto que a estrutura da micropartícula produzida deve ser capaz de protegê-los da interação com ambiente e da interação entre eles, sem perder de vista a liberação controlada, uma das características mais valiosas dos métodos de encapsulação de nutrientes. Por óbvio, não é possível contemplar todas as exigências de manutenção dos ingredientes utilizados. Ainda assim, é importante ter em vista que ajustes podem ser feitos para otimizar sua preservação, chegando-se a um balanço que viabilize a utilização das micropartículas de modo benéfico e vantajoso.

REFERÊNCIAS

ABBAS, S. et al. Ascorbic Acid: Microencapsulation Techniques and Trends—A Review. **Food Reviews International**, v. 28, n. 4, p. 343–374, out. 2012.

ABBASI, A. et al. Stability of vitamin D3 encapsulated in nanoparticles of whey protein isolate. **Food Chemistry**, v. 143, p. 379–383, jan. 2014.

ABIAD, Associação Brasileira da Indústria de Alimentos para Fins Especiais e Congêneres, **Importações | Em milhões de dólares e variação percentual | Acumulado de janeiro a dezembro de 2023**, 2023. Disponível em: <https://abiad.org.br/infografico/importacoes-em-milhoes-de-dolares-e-variacao-percentual-janeiro-a-dezembro-2021/>. Acesso em: 21 mar. 2025.

ADITYA, N. P.; ESPINOSA, Y. G.; NORTON, I. T. Encapsulation systems for the delivery of hydrophilic nutraceuticals: Food application. **Biotechnology Advances**, v. 35, n. 4, p. 450–457, jul. 2017.

AKHAVAN MAHDAVI, S. et al. Microencapsulation optimization of natural anthocyanins with maltodextrin, gum Arabic and gelatin. **International Journal of Biological Macromolecules**, v. 85, p. 379–385, abr. 2016.

AOAC (2005). *Official methods of analysis*. (18th ed.). Washington: AOAC International.

ARNAUD, J., Fortis, I., Blachier, S., Kia, D., & Favier, A. (1991). Simultaneous determination of retinol, alfa-tocopherol, and beta-carotene in serum by isocratic high-performance liquid chromatography. *Journal of Chromatography B: Biomedical Sciences and Applications*, 572, 103-116.

CAMUS, A. A Peste. 22ª Edição. Rio de Janeiro: Record, 2013.

ANOSIKE, E. O. **An introduction to the Principles of Biochemistry**. 1. ed. Port Harcourt, Nigéria: Sunray Publication Ltd., 1994.

ASSADPOUR, E.; JAFARI, S. M. Advances in Spray-Drying Encapsulation of Food Bioactive Ingredients: From Microcapsules to Nanocapsules. **Annual Review of Food Science and Technology**, v. 10, n. 1, p. 103–131, 25 mar. 2019.

BAJAC, J. et al. Microencapsulation of juniper berry essential oil (*Juniperus communis* L.) by spray drying: microcapsule characterization and release kinetics of the oil. **Food Hydrocolloids**, v. 125, p. 107430, 1 abr. 2022.

BAJAJ, S. R.; MARATHE, S. J.; SINGHAL, R. S. Co-encapsulation of vitamins B12 and D3 using spray drying: Wall material optimization, product characterization, and release kinetics. **Food Chemistry**, v. 335, p. 127642, jan. 2021.

BALDELLI, A. et al. Effect of the formulation on mucoadhesive spray-dried microparticles containing iron for food fortification. **Food Hydrocolloids**, v. 134, p. 107906, 1 jan. 2023.

BATES, C. J. Vitamin A. **The Lancet**, v. 345, n. 8941, p. 31–35, jan. 1995.

BENDICH, A. Antioxidant Micronutrients and Immune Responses. **Annals of the New York Academy of Sciences**, v. 587, n. 1, p. 168–180, jun. 1990.

BERRY OTTAWAY, P. Stability of vitamins during food processing and storage. Em: **Chemical Deterioration and Physical Instability of Food and Beverages**. [s.l.] Elsevier, 2010. p. 539–560.

BHANDARI, B. R.; DATTA, NIVEDITA; AND HOWES, T. Problems Associated With Spray Drying Of Sugar-Rich Foods. **Drying Technology**, v. 15, n. 2, p. 671–684, 1997.

BRASIL. RESOLUÇÃO RDC Nº 268, DE 22 DE SETEMBRO DE 2005.

BRASIL. Ministério da Saúde, Pesquisa Nacional de Demografia e Saúde da Criança e da Mulher, 2009. Disponível em https://bvsms.saude.gov.br/bvs/pnds/img/relatorio_final_pnds2006.pdf. Acesso em 20 mar. 2023.

BRASIL. Agência Nacional de Vigilância Sanitária (ANVISA), Relatório do Monitoramento da Fortificação de Farinhas de Trigo e Milho com Ferro e Ácido Fólico. Brasília, Brazil, jun. 2022a.

BRASIL. RESOLUÇÃO RDC Nº 604, DE 10 DE FEVEREIRO DE 2022b.

BRITO, A.; MUJICA, M. F. Technical Report –Vitamin D deficiency in Latin America and the Caribbean: a systematic review. DSM Nutritional Products Ltd., 2011.

BUFFO, R. Effects of Type of Atomization and Processing Temperatures on the Physical Properties and Stability of Spray-Dried Flavors. **Journal of Food Science**, 1 jan. 2002.

BURCH, R. The stability and shelf life of vitamin-fortified foods. Em: **Food and Beverage Stability and Shelf Life**. [s.l.] Elsevier, 2011. p. 743–754.

CHÁVEZ-SERVÍN, J. L.; CASTELLOTE, A. I.; LÓPEZ-SABATER, M. C. Vitamins A and E content in infant milk-based powdered formulae after opening the packet. **Food Chemistry**, v. 106, n. 1, p. 299–309, jan. 2008.

CHAWDA, P. J. et al. Co-encapsulation of bioactives for food applications. **Food Quality and Safety**, v. 1, n. 4, p. 302–309, 21 dez. 2017.

CETESB, Companhia Ambiental do Estado de São Paulo, Ficha de Informação de Produto Químico, Disponível em https://sistemasinter.cetesb.sp.gov.br/produtos/ficha_completa1.asp?consulta=SULFATO%20FERROSO. Acesso em: 15 jan. 2025.

COMBS, G. F.; MCLUNG, J. P. **The Vitamins**. [s.l.] Elsevier, 2022.

COMUNIAN, T. et al. Protection and controlled release of vitamin C by different micro/nanocarriers. **Critical Reviews in Food Science and Nutrition**, v. 62, n. 12, p. 3301–3322, 21 abr. 2022.

COSTA, S. S. et al. Drying by spray drying in the food industry: Micro-encapsulation, process parameters and main carriers used. **African Journal of Food Science**, v. 9, n. 9, p. 462–470, 30 set. 2015.

- DAMODARAN, S.; PARAF, A. **Food Proteins and their Applications**. 1. ed. [s.l.] CRC Press, 2017.
- DARY, O.; GUAMUCH-CASTAÑEDA, M.; MORA, J. O. Food fortification: Technological aspects. Em: **Encyclopedia of Human Nutrition**. [s.l.] Elsevier, 2023. p. 339–350.
- DAVEY, M. W. et al. PlantL-ascorbic acid: chemistry, function, metabolism, bioavailability and effects of processing. **Journal of the Science of Food and Agriculture**, v. 80, n. 7, p. 825–860, 15 maio 2000.
- DAWSON, M. The Importance of Vitamin A in Nutrition. **Current Pharmaceutical Design**, v. 6, n. 3, p. 311–325, 1 fev. 2000.
- DEVLIN, T. M. (ED.). **Textbook of biochemistry: with clinical correlations**. 7th ed ed. Hoboken, NJ: John Wiley & Sons, 2011.
- DI BATTISTA, C. A. et al. Process analysis and global optimization for the microencapsulation of phytosterols by spray drying. **Powder Technology**, v. 321, p. 55–65, nov. 2017.
- DU, J. et al. Comparison of the Efficiency of Five Different Drying Carriers on the Spray Drying of Persimmon Pulp Powders. **Drying Technology**, v. 32, n. 10, p. 1157–1166, 27 jul. 2014.
- DURÁN, E. et al. Preparation and characterization of novel edible matrices based on alginate and whey for oral delivery of iron. **Food Hydrocolloids**, v. 98, p. 105277, 1 jan. 2020.
- EDELMANN, M. et al. Stability of added and in situ-produced vitamin B12 in breadmaking. **Food Chemistry**, v. 204, p. 21–28, ago. 2016.
- EDEM, D. O. Vitamin A: A Review. **Asian Journal of Clinical Nutrition**, v. 1, n. 1, p. 65–82, 15 dez. 2008.
- EITENMILLER, R. R.; YE, L.; LANDEN, W. O. **Vitamin analysis for the health and food sciences**. 2nd ed ed. Boca Raton: CRC Press, 2008.

EMBRAPA. Princípios de Secagem de Alimentos. **Princípios de Secagem de Alimentos**, n. 1, p. 14–20, 2010.

EPA, Environmental Protection Agency, USA Government, Iron Chelate 20% Fe, Federal Register. V. 77, No. 58, 2012. Disponível em: <https://sds.simplot.com/datasheets/77632.pdf>. Acesso em: 15 jan. 2025.

FANALI, C. et al. Advanced analytical techniques for fat-soluble vitamin analysis. **TrAC Trends in Analytical Chemistry**, v. 87, p. 82–97, fev. 2017.

FANG, S. et al. Fabricating multilayer emulsions by using OSA starch and chitosan suitable for spray drying: Application in the encapsulation of β -carotene. **Food Hydrocolloids**, v. 93, p. 102–110, ago. 2019.

FAYAD, S. J. et al. Morphology of Soy Protein Isolate at Oil/Water and Oil/Air Interfaces. **Journal of the Brazilian Chemical Society**, 2013.

FENG, J. et al. Functional properties of soybean isolate protein as influenced by its critical overlap concentration. **Food Hydrocolloids**, p. 108478, 10 jan. 2023.

FERNANDES, R. V. DE B.; BORGES, S. V.; BOTREL, D. A. Gum arabic/starch/maltodextrin/inulin as wall materials on the microencapsulation of rosemary essential oil. **Carbohydrate Polymers**, v. 101, p. 524–532, jan. 2014.

FIDLER, M. C. et al. Iron absorption from ferrous fumarate in adult women is influenced by ascorbic acid but not by Na_2EDTA . **British Journal of Nutrition**, v. 90, n. 6, p. 1081–1085, dez. 2003.

FIOCRUZ. **Carências Nutricionais: Anemia Ferropriva**. , 2019. Disponível em: <https://portaldeboaspraticas.iff.fiocruz.br/atencao-crianca/carencias-nutricionais-anemia-ferropriva/>. Acesso em: 20 fev. 2023

FMI, Future Market Insights, **Vitamin and Mineral Supplement Market Insights - Trends & Forecast 2025 to 2035**, 2025. Disponível em: <https://www.futuremarketinsights.com/reports/vitamin-and-mineral-supplement-market>. Acesso em: 21 mar. 2025.

- FREITAS, M. L. F.; ALBANO, K. M.; TELIS, V. R. N. Characterization of biopolymers and soy protein isolate-high-methoxyl pectin complex. **Polímeros**, v. 27, n. 1, p. 62–67, mar. 2017.
- FU, S. et al. Interactions of buttermilk with curcuminoids. **Food Chemistry**, v. 149, p. 47–53, abr. 2014.
- GAUDEL, N. et al. Effect of stirring speed and particle size on couscous powder reconstitution. **Powder Technology**, v. 430, p. 119026, 1 dez. 2023.
- GONZALEZ, M. H., Silva, C. S., Amaral, C. D. B., Bianchi, S. R., Oliveira, L. H. B., Coelho, J. S., et al. (2017). Determination of elemental impurities in acyclovir ointment and raw materials using microwave acid digestion (MW-AD) and ICP-MS. *Journal of the Brazilian Chemical Society*, 28, 98-105.
- GOMES, M. H. G., & Kurozawa, L. E. (2020). Improvement of the functional and antioxidant properties of rice protein by enzymatic hydrolysis for the microencapsulation of linseed oil. *Journal of Food Engineering*, 267, 109761.
- GIUDICI, K.; PETERS, B.; MARTINI, L. Funções Plenamente Reconhecidas de Nutrientes: Vitamina D. São Paulo, v. 2, p. 1 – 43, 2018. Disponível em: <https://portaldeboaspraticas.iff.fiocruz.br/biblioteca/vitamina-d-funcoes-plena-mente-reconhecidas-de-nutrientes/>. Acesso em 22 jun. 2023.
- GIUSTINA, Andrea et al. Vitamin D in the older population: a consensus statement. **Endocrine**, v. 79, n. 1, p. 31–44, 26 out. 2022.
- GONÇALVES, A.; ESTEVINHO, B. N.; ROCHA, F. Microencapsulation of vitamin A: A review. **Trends in Food Science & Technology**, v. 51, p. 76–87, maio 2016.
- GOTO, Y.; FINK, A. L. Conformational states in .beta.-lactamase: molten-globule states at acidic and alkaline pH with high salt. **Biochemistry**, v. 28, n. 3, p. 945–952, 7 fev. 1989.
- HAN, O. Molecular mechanism of intestinal iron absorption. **Metallomics**, v. 3, n. 2, p. 103, 2011.

HAQ, A.; HASNAIN, S. E.; RAZZAQUE, M. S. Diverse functions of vitamin D in health and disease. **The Journal of Steroid Biochemistry and Molecular Biology**, v. 200, p. 105668, jun. 2020.

HENRIQUES, G. S. Ferro. In: COMINETTI, C.; COZZOLINO, S. M. F. Bases bioquímicas e fisiológicas da nutrição: nas diferentes fases da vida, na saúde e na doença. – 2. ed., rev. e atual. – Barueri (SP): Manole, 2020.

HOLICK, M. F. Ultraviolet B Radiation: The Vitamin D Connection. Em: AHMAD, S. I. (Ed.). **Ultraviolet Light in Human Health, Diseases and Environment**. Advances in Experimental Medicine and Biology. Cham: Springer International Publishing, 2017. v. 996p. 137–154.

HUANG, Z. et al. Role of Vitamin A in the Immune System. **Journal of Clinical Medicine**, v. 7, n. 9, p. 258, 6 set. 2018.

HUANG, G. et al. An insight into the changes in conformation and emulsifying properties of soy β -conglycinin and glycinin as affected by EGCG: Multi-spectral analysis. **Food Chemistry**, v. 394, p. 133484, nov. 2022.

JAFARI, S. M. et al. Encapsulation Efficiency of Food Flavours and Oils during Spray Drying. **Drying Technology**, v. 26, n. 7, p. 816–835, jul. 2008.

JAFARI, S. M. An overview of nanoencapsulation techniques and their classification. Em: **Nanoencapsulation Technologies for the Food and Nutraceutical Industries**. [s.l.] Elsevier, 2017. p. 1–34.

Jl, R. et al. Co-encapsulation of L-ascorbic acid and quercetin by gelatin/sodium carboxymethyl cellulose coacervates using different interlayer oils. **Food Research International**, v. 145, p. 110411, jul. 2021.

JIANG, J.; WANG, Q.; XIONG, Y. L. A pH shift approach to the improvement of interfacial properties of plant seed proteins. **Current Opinion in Food Science**, v. 19, p. 50–56, fev. 2018.

JIANG, J.; XIONG, Y. L. Extreme pH treatments enhance the structure-reinforcement role of soy protein isolate and its emulsions in pork myofibrillar protein gels in the

presence of microbial transglutaminase. **Meat Science**, v. 93, n. 3, p. 469–476, mar. 2013.

JIANG, J.; XIONG, Y. L.; CHEN, J. Role of β -Conglycinin and Glycinin Subunits in the pH-Shifting-Induced Structural and Physicochemical Changes of Soy Protein Isolate. **Journal of Food Science**, v. 76, n. 2, p. C293–C302, mar. 2011.

KHAREL, S. et al. Valorizing okara waste into nutritionally rich polysaccharide/protein-extracts for co-encapsulation of β -carotene and ferrous sulphate as a potential approach to tackle micronutrient malnutrition. **Journal of Functional Foods**, v. 87, p. 104749, dez. 2021.

KONG, H. et al. Fine structure impacts highly concentrated starch liquefaction process and product performance. **Industrial Crops and Products**, v. 164, p. 113347, jun. 2021.

LIPS, P. et al. Current vitamin D status in European and Middle East countries and strategies to prevent vitamin D deficiency: a position statement of the European Calcified Tissue Society. **European Journal of Endocrinology**, v. 180, n. 4, p. P23–P54, abr. 2019.

LIU, X. et al. Co-encapsulation of Vitamin C and β -Carotene in liposomes: Storage stability, antioxidant activity, and in vitro gastrointestinal digestion. **Food Research International**, v. 136, p. 109587, out. 2020.

LOCALI PEREIRA, A. R.; GONÇALVES CATTELAN, M.; NICOLETTI, V. R. Microencapsulation of pink pepper essential oil: Properties of spray-dried pectin/SPI double-layer versus SPI single-layer stabilized emulsions. **Colloids and Surfaces A: Physicochemical and Engineering Aspects**, v. 581, p. 123806, 20 nov. 2019.

LOCALI-PEIRA, A. **Microencapsulação por spray drying do óleo essencial de pimenta rosa (Schinus terebinthifolius Raddi): emulsões de camada dupla estabilizadas com SPI/pectina vs. emulsões de camada única estabilizadas com SPI**, 2020.

LÓPEZ, M. A. A.; MARTOS, F. C. Iron availability: An updated review. **International Journal of Food Sciences and Nutrition**, v. 55, n. 8, p. 597–606, jan. 2004.

MALACOVA, E. et al. Prevalence and predictors of vitamin D deficiency in a nationally representative sample of adults participating in the 2011–2013 Australian Health Survey. **British Journal of Nutrition**, v. 121, n. 8, p. 894–904, 28 abr. 2019.

MARREIRO, D. N. et al. Ferro [livro eletrônico], 3. ed. -- São Paulo : International Life Sciences Institute do Brasil - ILSI Brasil, 2024.

MAURYA, V. K.; BASHIR, K.; AGGARWAL, M. Vitamin D microencapsulation and fortification: Trends and technologies. **The Journal of Steroid Biochemistry and Molecular Biology**, v. 196, p. 105489, fev. 2020.

MORAIS, H. et al. Effect of ascorbic acid on the stability of β -carotene and capsanthin in paprika (*Capsicum annuum*) powder. **Nahrung/Food**, v. 46, n. 5, p. 308–310, 1 set. 2002.

MOSER, P.; SOUZA, R. T. D.; NICOLETTI TELIS, V. R. Spray Drying of Grape Juice From Hybrid CV. BRS Violeta: Microencapsulation of Anthocyanins Using Protein/Maltodextrin Blends as Drying Aids: SPRAY DRYING OF GRAPE JUICE FROM HYBRID. **Journal of Food Processing and Preservation**, v. 41, n. 1, p. e12852, fev. 2017.

MOULAS, A. N.; VAIYOU, M. Vitamin D fortification of foods and prospective health outcomes. **Journal of Biotechnology**, v. 285, p. 91–101, nov. 2018.

MURUGANANDAM, L. et al. Studies on Droplet Size Distribution of Oil-in-Water Emulsion in SMX Static Mixer. **Journal of Applied Fluid Mechanics**, v. 11, n. 1, p. 107–114, 1 jan. 2018.

MUSLIMATUN, S. **Nutrition of Indonesian women during pregnancy and lactation: a focus on vitamin A and iron**. [s.l.] Wageningen Univ., 2001. Disponível em:

https://scholar.google.com/scholar_lookup?title=Nutrition+of+Indonesian+women+during+pregnancy+and+lactation%3A+a+focus+on+vitamin+A+and+iron&author=Muslimatun%2C+S.&publication_year=2001. Acesso em: 22 maio. 2023.

MUZAFFAR, K.; KUMAR, P. Effect of Soya Protein Isolate as a Complementary Drying Aid of Maltodextrin on Spray Drying of Tamarind Pulp. **Drying Technology**, v. 34, n. 1, p. 142–148, 2 jan. 2016.

NEYESTANI, T. R., GHARAVI, A., & KALAYI, A. (2007). Determination of serum 25-hydroxy cholecalciferol using high-performance liquid chromatography: a reliable tool for assessment of vitamin D status. *International Journal for Vitamin and Nutrition Research*, 77, 341-346.

NIMBKAR, S. et al. Development of iron-vitamin multilayer encapsulates using 3 fluid nozzle spray drying. **Food Chemistry**, v. 406, p. 135035, abr. 2023.

NISHINARI, K. et al. Soy proteins: A review on composition, aggregation and emulsification. **Food Hydrocolloids**, v. 39, p. 301–318, ago. 2014.

NUNES, G. L. et al. Microencapsulação de culturas probióticas: princípios do método de spray drying. **Ciência e Natura**, v. 37, p. 132, 15 dez. 2015.

O'FLYNN, T. D. et al. Rheological and Solubility Properties of Soy Protein Isolate. **Molecules**, v. 26, n. 10, p. 3015, 19 maio 2021.

OGIRI, Y. et al. Very Low Vitamin C Activity of Orally Administered L - Dehydroascorbic Acid. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, v. 50, n. 1, p. 227–229, 1 jan. 2002.

ONAYEMI, O.; LORENZ, K. Concentrates and isolates in bread making. v. 52, p. 18–24, 1978.

OTI, H. C.; OFFIA-OLUA, B. I.; UKOM, A. N. Flavour profiles, antioxidant activity, particle size distribution and functional properties of some ethnic spice seed powder used as food additive. **Food Chemistry Advances**, v. 5, p. 100744, 1 dez. 2024.

PAULO, F.; SANTOS, L. Design of experiments for microencapsulation applications: A review. **Materials Science and Engineering: C**, v. 77, p. 1327–1340, ago. 2017.

PELEGRINE, D. H. G.; GASPARETTO, C. A. Whey proteins solubility as function of temperature and pH. **LWT - Food Science and Technology**, v. 38, n. 1, p. 77–80, fev. 2005.

PENG, Y. et al. Functional properties of mildly fractionated soy protein as influenced by the processing pH. **Journal of Food Engineering**, v. 275, p. 109875, jun. 2020.

PEREIRA, K. C. et al. Microencapsulação e liberação controlada por difusão de ingredientes alimentícios produzidos através da secagem por atomização: revisão.

Brazilian Journal of Food Technology, v. 21, n. 0, 14 jun. 2018.

PEREIRA-SANTOS, M. et al. Epidemiology of vitamin D insufficiency and deficiency in a population in a sunny country: Geospatial meta-analysis in Brazil. **Critical Reviews in Food Science and Nutrition**, v. 59, n. 13, p. 2102–2109, 20 jul. 2019.

PRATAP-SINGH, A.; LEIVA, A. Double fortified (iron and zinc) spray-dried microencapsulated premix for food fortification. **LWT**, v. 151, p. 112189, nov. 2021.

QI, B. et al. Deciphering the characteristics of soybean oleosome-associated protein in maintaining the stability of oleosomes as affected by pH. **Food Research International**, v. 100, p. 551–557, out. 2017.

RAMALHO, A. Vitamina A [livro eletrônico], 3. ed. -- São Paulo: International Life Sciences Institute do Brasil - ILSI Brasil, 2024.

RAVICHANDRAN, K. et al. Effects of different encapsulation agents and drying process on stability of betalains extract. **Journal of Food Science and Technology**, v. 51, n. 9, p. 2216–2221, set. 2014.

RAVICHANDRAN, K. S. et al. Spray drying to produce novel phytochemical-rich ingredients from juice and pomace of American elderberry. **Food Bioscience**, v. 55, p. 102981, out. 2023.

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

ROBITAILLE, L., & HOFFER, L. J. (2016). A simple method for plasma total vitamin C analysis suitable for routine clinical laboratory use. *Nutrition Journal*, 15, 40.

ROSS, S. A. et al. Retinoids in Embryonal Development. **Physiological Reviews**, v. 80, n. 3, p. 1021–1054, 1 jul. 2000.

SALVIA-TRUJILLO, L. et al. Influence of particle size on lipid digestion and β -carotene bioaccessibility in emulsions and nanoemulsions. **Food Chemistry**, v. 141, n. 2, p. 1472–1480, nov. 2013.

SAMBORSKA, K.; GAJEK, P.; KAMINSKA-DWORZNICKA, A. Spray Drying of Honey: The Effect of Drying Aids on Powder Properties. **Polish Journal of Food and Nutrition Sciences**, v. 65, n. 2, p. 109–118, 30 jun. 2015.

SÁNCHEZ-MORENO, C. et al. Vitamin C, Provitamin A Carotenoids, and Other Carotenoids in High-Pressurized Orange Juice during Refrigerated Storage. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, v. 51, n. 3, p. 647–653, 1 jan. 2003.

SARABANDI, K. et al. Microencapsulation of casein hydrolysates: Physicochemical, antioxidant and microstructure properties. **Journal of Food Engineering**, v. 237, p. 86–95, nov. 2018.

SBP, Sociedade Brasileira de Pediatria, Consenso sobre anemia ferropriva: mais que uma doença, uma urgência médica!, 2018. Disponível em https://www.sbp.com.br/fileadmin/user_upload/21019f-diretrizes_Consenso_sobre_anemia_ferropriva-ok.pdf. Acesso em 20 mar. 2023.

SCHMIDT, M. K. **The role of maternal nutrition in growth and health of Indonesian infants: a focus on vitamin A and iron — Research@WUR**. Disponível em: <https://research.wur.nl/en/publications/the-role-of-maternal-nutrition-in-growth-and-health-of-indonesian>. Acesso em: 22 maio. 2023.

SHAHIDI, F.; JANITHA, P. K.; WANASUNDARA, P. D. Phenolic antioxidants. **Critical Reviews in Food Science and Nutrition**, v. 32, n. 1, p. 67–103, jan. 1992.

SHAO, Y.-Y.; LIN, K.-H.; KAO, Y.-J. Modification of Foaming Properties of Commercial Soy Protein Isolates and Concentrates by Heat Treatments: FOAMING

PROPERTIES OF HEATED SOY PROTEINS. **Journal of Food Quality**, v. 39, n. 6, p. 695–706, dez. 2016.

SHARP, P. Molecular mechanisms involved in intestinal iron absorption. **World Journal of Gastroenterology**, v. 13, n. 35, p. 4716, 2007.

SHENOY, P. et al. Effect of powder densities, particle size and shape on mixture quality of binary food powder mixtures. **Powder Technology**, v. 272, p. 165–172, 1 mar. 2015.

SHI, Q.; FANG, Z.; BHANDARI, B. Effect of Addition of Whey Protein Isolate on Spray-Drying Behavior of Honey with Maltodextrin as a Carrier Material. **Drying Technology**, v. 31, n. 13–14, p. 1681–1692, 26 out. 2013.

SHISHIR, M. R. I.; CHEN, W. Trends of spray drying: A critical review on drying of fruit and vegetable juices. **Trends in Food Science & Technology**, v. 65, p. 49–67, 1 jul. 2017.

SIEGENBERG, D. et al. Ascorbic acid prevents the dose-dependent inhibitory effects of polyphenols and phytates on nonheme-iron absorption. **The American Journal of Clinical Nutrition**, v. 53, n. 2, p. 537–541, fev. 1991.

SINGH, P. et al. Functional and Edible Uses of Soy Protein Products. **Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety**, v. 7, n. 1, p. 14–28, jan. 2008.

SIZAR, O. et al. Vitamin D Deficiency. Em: **StatPearls**. Treasure Island (FL): StatPearls Publishing, 2023.

SÖDERBERG, J. Functional Properties of Legume Proteins Compared to Egg Proteins and Their Potential as Egg Replacers in Vegan Food; Swedish University of Agricultural Sciences, Department of Food Science, Faculty of Natural Resource and Agricultural Sciences: Uppsala, Sweden, 2013; p. 378

SPERBER, W. H. Influence of Water Activity on Foodborne Bacteria — A Review. **Journal of Food Protection**, v. 46, n. 2, p. 142–150, fev. 1983.

SUI, X.; ZHANG, T.; JIANG, L. Soy Protein: Molecular Structure Revisited and Recent Advances in Processing Technologies. **Annual Review of Food Science and Technology**, v. 12, p. 119–147, 25 mar. 2021.

TEMOVA RAKUŠA, Ž. et al. Comprehensive Stability Study of Vitamin D3 in Aqueous Solutions and Liquid Commercial Products. **Pharmaceutics**, v. 13, n. 5, p. 617, 25 abr. 2021.

TELES, L. F. S., PAIVA, A. A., LUZIA, L. A., LIMA-FERREIRA, F. E. L., CARVALHO, C. M. R. G., & Rondó, P. H. C. (2018). The relationship between serum retinol concentrations and subclinical infection in rural Brazilian children. *Revista de Nutrição*, 31, 299-310.

TEUCHER; OLIVARES; CORI. Enhancers of Iron Absorption: Ascorbic Acid and other Organic Acids. **International Journal for Vitamin and Nutrition Research**, v. 74, n. 6, p. 403–419, 1 nov. 2004.

TIEFENBACHER, K. F. Technology of Main Ingredients—Water and Flours. Em: **Wafer and Waffle**. [s.l.] Elsevier, 2017. p. 15–121.

VARGAS-MUÑOZ, D. P.; KUROZAWA, L. E. Influence of combined hydrolyzed collagen and maltodextrin as carrier agents in spray drying of cocona pulp. **Brazilian Journal of Food Technology**, v. 23, p. e2019254, 2020.

OMS. **WHO guidance helps detect iron deficiency and protect brain development**. Disponível em: <https://www.OMS.int/news/item/20-04-2020-OMS-guidance-helps-detect-iron-deficiency-and-protect-brain-development>. Acesso em: 8 fev. 2023.

OMS. **WHO guideline on use of ferritin concentrations to assess iron status in individuals and populations**. Disponível em: <https://www.OMS.int/publications/i/item/9789240000124>. Acesso em: 8 fev. 2023.

OMS. **Micronutrients**. Disponível em https://www.who.int/health-topics/micronutrients#tab=tab_1 , 2021. Acesso em: 20 maio. 2023

OMS. **Guideline Fortification of wheat flour with vitamins and minerals as a public health strategy**. Geneva: World Health Organization, 2022.

- WILSON, N.; SHAH, N. Microencapsulation of Vitamins. **ASEAN Food Journal**, v. 14, 1 jan. 2007.
- WIRTH, J. et al. Vitamin A Supplementation Programs and Country-Level Evidence of Vitamin A Deficiency. **Nutrients**, v. 9, n. 3, p. 190, 24 fev. 2017.
- XU, X. et al. Bio-adhesives from unfolded soy protein reinforced by nano-chitosan for sustainable textile industry. **Textile Research Journal**, v. 90, n. 9–10, p. 1094–1101, maio 2020.
- YANG, H. et al. Stability of vitamin A, E, C and thiamine during storage of different powdered enteral formulas. **Heliyon**, v. 8, n. 11, p. e11460, nov. 2022.
- ZHAI, M. et al. Study on the matching relationship between dispersed droplet size in O/W emulsion and reservoir permeability. **International Journal of Multiphase Flow**, v. 150, p. 104025, maio 2022.
- ZHANG, C. et al. Utilization of Microcapsule Technology in Foods. **Journal of Nanoscience and Nanotechnology**, v. 15, n. 12, p. 9330–9340, 1 dez. 2015.
- ZHANG, J. et al. Effect of spray drying on phenolic compounds of cranberry juice and their stability during storage. **Journal of Food Engineering**, v. 269, p. 109744, mar. 2020.
- ZHANG, X. et al. Emulsion stability and dilatational rheological properties of soy/whey protein isolate complexes at the oil-water interface: Influence of pH. **Food Hydrocolloids**, v. 113, p. 106391, abr. 2021.
- ZHANG, X. et al. Microencapsulation of Zanthoxylum schinifolium essential oil through emulsification followed by spray drying: microcapsule characterization and functional evaluation. **Colloids and Surfaces A: Physicochemical and Engineering Aspects**, v. 687, p. 133484, abr. 2024.
- ZHAO, Y. et al. Recent advances in soy protein extraction technology. **Journal of the American Oil Chemists' Society**, p. aocs.12676, 30 dez. 2022.

ZHU, H. et al. Insight into the structural, chemical and surface properties of proteins for the efficient ultrasound assisted co-encapsulation and delivery of micronutrients. **Food Chemistry**, v. 362, p. 130236, nov. 2021.