

DESENVOLVIMENTO DE MICROPARTÍCULAS DE ÓLEO ESSENCIAL DE ORÉGANO POR *SPRAY DRYING*

Development of microparticles of oregano essential oil by spray drying

Nicole Guimarães Lima¹; Paulo Henrique Silva Lopes²; Hugo José Martins Carvalho¹;
Emille Loren Silva Almeida¹; Joyce Maria Gomes da Costa¹

¹ Programa de Pós-Graduação em Ciência e Tecnologia de Alimentos, Universidade Federal dos Vales do Jequitinhonha e Mucuri, Diamantina, Brasil (nicole.guimaraes@ufvjm.edu.br)

² Programa de Pós-Graduação em Biocombustíveis, Universidade Federal dos Vales do Jequitinhonha e Mucuri, Diamantina, Brasil

Data do recebimento: 30/06/2023 - Data do aceite: 27/07/2023

RESUMO: A encapsulação de óleos essenciais é um processo de fundamental importância, pois pode prevenir problemas de oxidação, contaminação por micro-organismos e aumentar a vida útil do produto. Com isto, o presente trabalho objetivou microencapsular o óleo essencial de orégano, utilizando a maltodextrina e o amido modificado como materiais de parede, com finalidade de proteção e liberação controlada. A microencapsulação foi realizada pela secagem por pulverização. O rendimento do processo de secagem foi obtido através do balanço de massa. As micropartículas produzidas foram caracterizadas quanto à atividade de água, umidade, tamanho, polidispersividade, morfologia, cor e espectroscopia no infravermelho. As partículas apresentaram rendimento de 54%, atividade de água igual a 0,12, umidade abaixo de 5,0%, tamanho de 311 nm, polidispersividade inferior a 0,4. As micropartículas apresentaram morfologia esférica e coloração L^* (96,187±0,005), a (-0,623±0,005) e b (4,680±0,022), resultado de um pó com elevada luminosidade e coloração branca. Os espectros apresentaram interação dos grupos químicos presentes nos materiais de parede com o óleo essencial promovido pelo processo de secagem por pulverização. O pó constituído de micropartículas de óleo essencial de orégano pode ser aplicado como ingrediente de produtos alimentares devido às características inerentes aos produtos secos e com boa preservação de aroma.

Palavras-chave: Microencapsulação. Carvacrol. Caracterização.

ABSTRACT: Encapsulation of essential oils is a process of fundamental importance, as it can prevent oxidation problems and contamination by microorganisms and increase the shelf life of the product. Therefore, the present work aimed to microencapsulate oregano essential oil, using maltodextrina and modified starch as wall materials, with the purpose of protection and controlled release. Microencapsulation was performed by spray drying. The yield of the drying process was obtained through mass balance. The produced microparticles were characterized regarding water activity, moisture content, size, polydispersity, morphology, color, and infrared spectroscopy. The particles showed a yield of 54%, water activity equal to 0.12, humidity below 5.0%, size 311nm, and polydispersity below 0.4. The microparticles showed spherical morphology and coloration L^* (96.187 ± 0.005), a (-0.623 ± 0.005) and b (4.680 ± 0.022), resulting in a powder with high luminosity and white color. The spectra showed the interaction of the chemical groups present in the wall materials with the essential oil promoted by the spray drying process. The powder, consisting of microparticles of oregano essential oil, can be applied as an ingredient in food products due to the inherent characteristics of dried products and good aroma preservation.

Keywords: Microencapsulation. Carvacrol. Description.

Introdução

A microencapsulação é um processo de encapsulamento de compostos alimentares sensíveis ao calor, objetivando a proteção dos mesmos, ampliando a sua estabilidade ao restringir sua interação com o ambiente e os outros constituintes alimentares. Existem diversas técnicas disponíveis para a execução dessa etapa, no entanto, algumas têm adquirido notoriedade significativa, recentemente, como o spray dryer, a liofilização e o spray chilling (JAFARI, 2017; CHOUDHURY; MEGHWAL; DAS, 2021).

A técnica de secagem por pulverização, também conhecida como spray dryer, tem sido amplamente empregada nos últimos anos para a encapsulação de diversos ingredientes alimentares, incluindo aqueles que possuem moléculas sensíveis ao calor, tais como polifenóis, compostos fenólicos, antocianinas, vitaminas e óleos essenciais.

É considerada a técnica de encapsulação mais popular e amplamente utilizada para a conversão de líquidos com alta concentração de sólidos em forma de pó. Além disso, esse processo é conhecido por sua simplicidade, eficiência econômica e produção de pós de alta qualidade. Essa técnica envolve um único estágio, no qual uma emulsão ou suspensão é alimentada e convertida diretamente em pó (SHISHIR; CHEN, 2017; BARROSO et al., 2021).

O óleo essencial de orégano (*Origanum vulgare* L.) é rico nos compostos bioativos como o carvacrol, apresentando diversos benefícios como atividade antimicrobiana e antioxidante. No entanto, sua aplicação industrial é limitada devido às características de alta volatilidade e baixa solubilidade em água. A utilização de polímeros naturais como encapsulantes associados à técnica de encapsulação se apresenta como uma alternativa a esses problemas (CHAR et al., 2015; PEREIRA et al., 2022; HIJO et al., 2017).

A associação de polímeros naturais para encapsular compostos sensíveis ao calor tornou-se uma forma alternativa de produção de micropartículas, sendo altamente demandada em diversas aplicações alimentícias. Para ampliar sua aplicabilidade nesses campos, é necessário o estudo de sua estabilidade físico-química.

Portanto, o objetivo deste trabalho foi microencapsular o óleo essencial de orégano, utilizando a maltodextrina e o amido modificado como materiais de parede, com finalidade de proteção e liberação controlada, além de avaliar características físicas e químicas das partículas produzidas por *spray drying*.

Material e Métodos

O óleo essencial de orégano (*Origanum vulgare*) (OEO), agente bioativo, foi adquirido da Laszlo Aromatherapy Ltda. (Belo Horizonte, Brasil). A matriz de micropartículas foi composta por maltodextrina 20DE e amido modificado (Capsul®), cedidos pela Ingredion Brasil (Mogi Guaçu, Brasil).

Preparação da emulsão

A proporção do material de parede e ativo utilizado foi de 1:9, pois foram realizados alguns testes prévios sobre a concentração mais apropriada, os quais não estão presentes neste trabalho. A preparação de emulsão foi realizada com base nos conhecimentos de Liu e colaboradores (2022). Primeiramente, a maltodextrina 20DE e amido modificado (Capsul) foram hidratados e dissolvidos em 100 mL de água destilada em torno de 40-50°C em um homogeneizador Turratec (Tecnal, TE 102) a 20.000 rpm por 10 minutos. Após a dissolução completa, foram adicionados 10 mL de OEO à solução e homogeneizados a 20.000 rpm por 5 minutos para formação de uma emulsão uniforme.

Microencapsulação por *spray drying*

A microencapsulação da emulsão de OEO foi realizada em um secador por *spray* LAB-MAQ Brasil, modelo MSD 0.5 (Ribeirão Preto, Brasil) equipado com um bocal de fluido duplo com abertura de 1,0 mm. As condições de operação do secador por aspersão foram temperatura do ar de entrada de 120±3°C, vazão de ar de secagem regulada para 2,0 m³.min⁻¹, rotâmetro de 30 L.min⁻¹ e vazão de alimentação ajustada para 60 RPM. A pressão de ar comprimido para o fluxo de pulverização foi ajustada entre 2 e 4 bar. Testes prévios de secagem foram realizados para determinar quais as melhores condições para a formação de pó com a emulsão supracitada. Entretanto, os testes não foram abordados neste trabalho, pois não se realizou um planejamento experimental com as variáveis operacionais.

Caracterização das micropartículas carregadas com OEO

Atividade de água

A atividade de água das micropartículas secas foi medida diretamente usando um AQUALAB digital (modelo 4TE, EUA), a 25°C, realizado em triplicata. Neste equipamento, foi possível observar a temperatura real da amostra em análise.

Umidade

A umidade das micropartículas secas foi determinada por um determinador infravermelho, Moisture Analyser, Bel Engineering®. Os resultados foram expressos diretamente em porcentagem de umidade.

Tamanho de partícula

A determinação do tamanho das micropartículas foi realizada em Zetasizer Nano ZS (Malvern Instruments, Reino Unido). Para isto, 1 g das micropartículas secas foi reconstituído com 50 mL de água destilada antes das medições, que foram realizadas em triplicata. Os parâmetros para análise do tamanho de partícula foram: água destilada como dispersante, RI (Índice de Refração) do dispersante de 1,330, RI do material de 1,59, e a viscosidade do dispersante de 0,8872 cP.

Morfologia das micropartículas

A morfologia das micropartículas foi examinada por microscopia óptica (Modelo E200 da Nikon Instruments, Shanghai, Co. China). As micropartículas secas foram colocadas sobre uma lâmina e observadas com aumento de 100 e 400x.

Determinação de cor das micropartículas

A determinação de cor das micropartículas de OEO foi aferida em Colorímetro de bancada CR-5 (Modelo Chroma Meter CR-5 da Konica Minolta Inc., Lisboa, Portugal), em que se determinou os principais parâmetros de cor luminosidade (L^*), coordenadas a e b .

Rendimento do processo de secagem

O rendimento da secagem foi determinado em porcentagem pela divisão da quantidade (em gramas) de pó formado e coletado no fundo do ciclone, pela quantidade total (em gramas) do material de parede utilizado.

Espectroscopia no Infravermelho com Transformada de Fourier

A Espectroscopia no Infravermelho com Transformada de Fourier (FTIR) foi realizada

na região do infravermelho para os grupos químicos presentes nas micropartículas de óleo essencial de orégano, maltodextrina e Capsul, bem como a cristalinidade observada nos compostos, usando o modo de Reflexão Total Atenuada – ATR, no Espectrômetro de Infravermelho (Modelo Cary 630 da Agilent Technologies, Santa Clara, Califórnia). Os espectros foram obtidos na faixa de 4000 a 500 cm^{-1} , com resolução de 4 cm^{-1} , no modo de transmissão com 40 varreduras.

Resultados e Discussão

A emulsão do material de parede resultou em uma mistura de coloração branca, indicando a correta preparação do encapsulante. Além disso, durante a preparação das partículas de OEO encapsulado, foi observado o movimento em espiral destas no ciclone acoplado ao pulverizador.

O teor de umidade e a atividade de água de micropartículas são parâmetros importantes para sua respectiva caracterização, pois estão diretamente relacionados com sua vida de prateleira. Por meio desses parâmetros, é possível estimar a estabilidade microbiológica e suas condições de armazenamento (BOTREL et al., 2014). Com relação aos dados obtidos referentes às partículas de OEO, a atividade de água ($0,125 \pm 0,018$) e a umidade ($3,780\% \pm 0,001$) apresentaram valores significativamente baixos, relacionando-os com a temperatura da amostra $24,662 \text{ }^\circ\text{C}$ ($\pm 0,201$), e de acordo com a especificação mínima para a maioria dos pós secos (3-4%). Valores semelhantes também foram encontrados por Hijo e colaboradores (2017), que obtiveram atividade de água e teor de umidade entre 0,1-0,18 e 1,1-3%, respectivamente. Aqueles autores também empregaram a encapsulação de óleo essencial de orégano por spray dryer.

O tamanho das partículas, bem como a sua polidispersão (PDI), foi de $311,080 \pm 17,407$

nm e $0,374 \pm 0,013$, respectivamente. Segundo a literatura, partículas que possuem tamanhos de 1 a 1000 μm são classificadas como micropartículas (CHOUDHURY et al., 2021). Além disso, o índice de polidispersividade deve variar o mínimo possível para se considerar uma baixa variabilidade no tamanho das partículas. A variabilidade no tamanho das partículas pode ser observada na Figura 1. Foi possível observar diferentes diâmetros das partículas, em que a maior fração apresentou diâmetros compreendidos entre 100 e 1000 nm. O resultado médio apresentado anteriormente representa o tamanho detectado pelo maior número de partículas. Essa variabilidade é afetada por vários fatores, tais como viscosidade da emulsão antes da encapsulação, concentração do material encapsulante e pelas condições de secagem (KOUAMÉ et al., 2021). Segundo Jafari e colaboradores (2008) altas temperaturas de entrada no processo de secagem produzem partículas maiores do que aquelas secas em condições que resultam em secagem lenta. Além disso, partículas maiores têm maior eficiência de encapsulamento.

A morfologia das partículas pode ser visualizada na Figura 2, em que se observa um aglomerado de micropartículas de OEO (Figura 2A) e a presença do OEO liberado com a raspagem manual das microesferas (Figura 2B).

Figura 2. Morfologia das microesferas de OEO (A); Liberação de OEO por raspagem manual das microesferas (B)

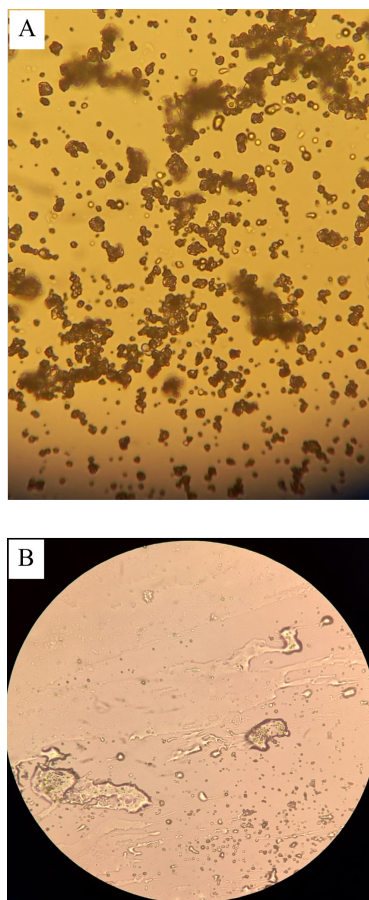
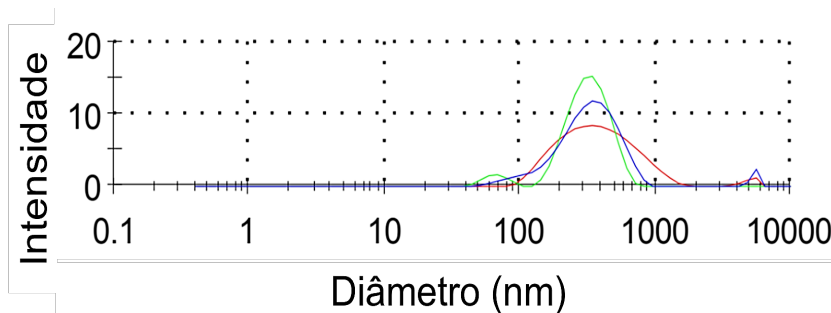


Figura 1. Distribuição do tamanho das micropartículas de OEO.



A morfologia das partículas mostrou pequenas esferas com um núcleo claro (contendo o OEO), circundado pelo material de parede (de coloração mais escura), indicando a efetividade do método de microencapsulação. Além disso, a presença de aglomerados de partículas que, devido à elevada higroscopicidade, possuem a tendência de formar grumos, o que dificulta a visualização conforme absorvem a umidade do ar (Figura 2A) (PEREIRA et al., 2022). A liberação do OEO pode ser visualizada pela presença de óleo na lâmina, como se observa a marca e que não foi observada com as micropartículas intactas (Figura 2B).

Os parâmetros de cor determinados L^* , a e b , foram $96,187\pm 0,005$, $-0,623\pm 0,005$ e $4,680\pm 0,022$, respectivamente. Ao projetar as coordenadas e a luminosidade, obteve-se micropartículas com elevada luminosidade e coloração branca. A determinação de cor é de fundamental importância para a aplicação em produtos alimentícios, pois pode interferir na aceitação do produto (ZANONI et al., 2020).

O rendimento do processo foi calculado com base na massa seca utilizada no preparo da emulsão (26 g) e na quantidade coletada no final do processo de pulverização (14,01 g), sem considerar a quantidade retida na parede do equipamento, sendo o rendimento de 54%. O rendimento foi relativamente baixo, pois como se pode observar pela Figura 3, uma quantidade considerável de micropartículas ficou retida no equipamento (ponto A na Figura 3), além de haver perdas de partículas finas pelo topo do ciclone (ponto B na Figura 3), possivelmente, pela vazão de alimentação elevada. No entanto, a quantidade retida no equipamento não foi considerada devido ao tempo de residência possivelmente elevado, o que pode ocasionar perda do OEO. O rendimento pode ser aumentado com o emprego de um planejamento experimental que investigue as melhores condições do processo de

secagem, como por exemplo, a alimentação e vazão do ar de entrada.

A Espectroscopia de Infravermelho por Transformada de Fourier foi realizada com o intuito de averiguar os grupos químicos constituintes dos compostos presentes nas micropartículas de OEO (MOEO) formadas por spray drying. O óleo essencial de orégano é rico em variados tipos de componentes químicos, como o beta-bisaboleno, beta-cariofileno, cimeno, linalol, timol e carvacrol. O carvacrol é o composto de maior percentual no MOEO, sendo, portanto, o objetivo de encapsulamento neste trabalho. A molécula do carvacrol é composta por um anel benzênico com um grupo metil, ligado a uma hidroxila na posição orto, e um grupo propil na posição para (TÜRKOĞLU et al., 2023; XU et al., 2023). A Figura 4 representa o espectro de infravermelho do MOEO, do Capsul e da maltodextrina. Em todos os três espectros se observa uma região 3500-3000 cm^{-1} que representa a ligação química do grupo hidroxila, referente a um estiramento das ligações, ou as interações intermoleculares e intramoleculares. Entre os comprimentos de onda 2904 e 2938 cm^{-1} há picos referentes a bandas de grupos alquila. Esses picos na curva MOEO são característicos da presença de carvacrol, pois estes possuem grupos metílicos (GUTIÉRREZ-PACHECO et al., 2020; ERTAN et al., 2023).

Os espectros característicos de carvacrol podem ser descritos por comprimentos de onda entre 500 e 1750 cm^{-1} (BAO et al., 2023). A presença do carvacrol nas micropartículas foi confirmado pelos picos próximos a 995 e 1179 cm^{-1} . Os picos em torno de 1421 e 1460 cm^{-1} se referem as flexões das ligações simples entre carbono e hidrogênio. Os picos em 1521 e 1620 cm^{-1} são atribuídos ao alongamento das ligações duplas entre carbonos, o que está presente na molécula de carvacrol (TÜRKOĞLU et al., 2022).

Além disso, existem alguns picos na curva de MOEO que representam a presença do carvacrol encapsulado, os quais estão entre 813 e 1255 cm^{-1} (TÜRKOĞLU et al., 2022; FRINÉ et al., 2019).

Entretanto, alguns desses picos estão sobrepostos pelos picos característicos do material de parede (maltodextrina 20 e amido modificado – CAPSUL). O espectro com picos de 800 a 1500 cm^{-1} é ideal para descrever os carboidratos utilizados, principalmente, pela presença de grupos éter (1149 cm^{-1}). O espectro da maltodextrina é caracterizado por picos intensos em 1015 cm^{-1} (referente ao estiramento de ligações carbono-carbono), bandas fracas em 1696 cm^{-1} (banda fraca referente a flexão dos grupos hidroxila presentes em carboidratos) e banda em torno 2928 cm^{-1} (referente ao estiramento de ligações carbono e hidrogênio). A interação da maltodextrina com outros polímeros constituintes de material de parede de micropartículas, faz com que os picos se desloquem, como é o caso da banda fraca da flexão de grupos hidroxila em torno de 1602 cm^{-1} e o pico 2952 cm^{-1} (estiramento carbono-hidrogênio) (BAO et al., 2023).

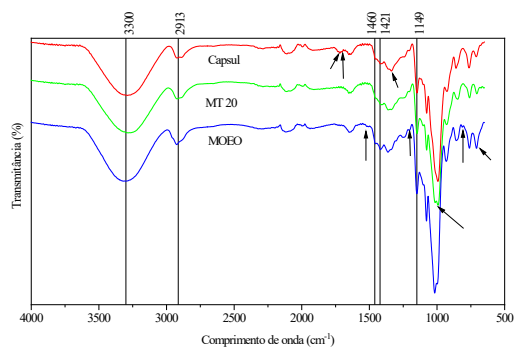
Algo característico do Capsul (amido octenilsuccinato) e que não aparece na maltodextrina é a presença de carbonila (1730 cm^{-1}), o que é característico de amidos modificados comerciais; além de uma cadeia hidrofóbica com uma ligação dupla (1680-1600 cm^{-1}) (NEVES et al., 2015; SILVA et al., 2006; GAUTAM; TALUKDAR; MAHANTA, 2023). Sendo assim, pelo espectro IR pôde-se observar que houve a encapsulação do OEO e a respectiva interação entre os materiais de parede.

O ponto A mostra a opacidade do vidro do spray, indicando retenção das micropartículas de OEO. O ponto B mostra o local por onde houve perda de partículas finas formadas com as condições de operação do spray dryer.

Figura 3. Spray dryer utilizado na encapsulação do OEO



Figura 4. FTIR dos compostos constituintes das micropartículas de OEO



Os dados do espectro foram tratados com a técnica de Smooth do Origin, utilizando o método Savitzky-Golay e polinômio de 4ª ordem. A transmitância é uma unidade arbitrária, por isso não foi expressa em termos numéricos. Onde se lê: Capsul – Amido modificado comercial; MT 20 – Maltodextrina 20; MOEO – Micropartículas de óleo essencial de orégano. As setas indicam alguns pontos que podem ser atribuídos as características específicas de cada espectro separadamente,

como presença de carbonila e presença de ligações duplas de acenos.

Considerações Finais

Diante dos resultados obtidos no presente trabalho observou-se que as micropartículas de óleo essencial de orégano apresentaram baixas atividade de água (0,12) e umidade (>5,0%) apresentando-se como pós seguros para armazenagem ao qual garante uma maior vida de prateleira para fins alimentícios. A dimensão das partículas obtidas foram de 311

nm, e polidispersividade menor que 0,4, caracterizando-se como micropartículas e com boa uniformidade. A morfologia apresentada foi microesférica e oval, e a cor obtida para L* (96,187±0,005), a (-0,623±0,005) e b (4,680±0,022) infere que o pó obtido apresentou elevada luminosidade e coloração branca. O rendimento do processo foi igual a 54%, considerado satisfatório pelo processo. A encapsulação por spray dryer se apresenta como um método eficaz de preservação de compostos sensíveis ao calor e possibilita sua aplicação em diversas matrizes alimentícias.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem o suporte técnico da Universidade Federal dos Vales do Jequitinhonha e Mucuri (UFVJM), bem como à Coordenação de Aperfeiçoamento de Pesquisa de Nível Superior – Brasil (CAPES) – Código de Financiamento 001 e a Fundação de Amparo à Pesquisa de Minas Gerais (FAPEMIG) pelo apoio no desenvolvimento deste trabalho. À Josiane Kele Ribeiro Lopes pelo apoio na revisão deste trabalho.

REFERÊNCIAS

- BAO, H.; DING, H. H.; CHARLES, A. P. R.; HUI, D.; RAKSHIT, S.; NAHASHON, S.; WU, Y. Application of yellow mustard mucilage in encapsulation of essential oils and polyphenols using spray drying. **Food Hydrocolloids**, v.143, p. 108815, 2023.
- BARROSO, L.; VIEGAS, C.; VIEIRA, J.; FERREIRA-PÊGO, C.; COSTA, J.; FONTE, P. Lipid-based carriers for food ingredients delivery. **Journal Of Food Engineering**, v. 295, p. 110451, 2021.
- BOTREL, D.A.; FERNANDES, R. V. F.; BORGES, S.V.; YOSHIDA, M. I. Influence of wall matrix systems on the properties of spray-dried microparticles containing fish oil. **Food Research International**, v. 62, p. 344-352, 2014.
- CHAR, C.; CISTERNAS, L.; PÉREZ, F.; GUERRERO, S. Effect of emulsification on the antimicrobial activity of carvacrol. **Journal of Food**, v.14, p. 186-192, 2015.
- CHOUDHURY, N.; MEGHWAL, M.; DAS, K. Microencapsulation: An overview on concepts, methods, properties and applications in foods. **Food Frontiers**, v. 2, p. 1-17, 2021.
- ERTAN, K.; CELEBIOGLU, A.; CHOWDHURY, R.; SUMNU, G.; SAHIN, S.; ALTIER, C.; UYAR, T. Carvacrol/cyclodextrin inclusion complex loaded gelatin/pullulan nanofibers for active food packaging applications. **Food Hydrocolloids**, p. 108864, 2023.
- FRINÉ, V. C.; HECTOR, A. P.; MANUEL, N. D. S.; ESTRELLA, N. D.; ANTONIO, G. J. Development and characterization of a biodegradable PLA food packaging hold Monoterpene–

- Cyclodextrin Complexes against *Alternaria alternata*. **Polymers**, v.11, n.10, p. 1720, 2019.
- GAUTAM, G.; TALUKDAR, D.; MAHANTA, C. L. Sonochemical effect on the degree of substitution of octenyl-succinic anhydride into waxy rice starch nanoparticles and study of gastrointestinal hydrolysis using INFOGEST in vitro digestion method. **Food Research International**, v.165, p. 112348, 2023.
- GUTIÉRREZ-PACHECO, M. M.; ORTEGA-RAMÍREZ, L. A.; SILVA-ESPINOZA, B. A.; CRUZ-VALENZUELA, M. R.; GONZÁLEZ-AGUILAR, G. A.; LIZARDI-MENDOZA, J.; MIRANDA, R.; AYALA-ZAVALA, J. F. Individual and combined coatings of chitosan and carnauba wax with oregano essential oil to avoid water loss and microbial decay of fresh cucumber. **Coatings**, v.10, n.7, p. 614, 2020.
- HIJO, A.A.C.T.; COSTA, J.M.G.; SILVA, E. K.; AZEVEDO, V.M.; YOSHIDA, M.I.; BORGES, S.V. Understanding the Influence of Encapsulating Matrix on the Physical and Thermal Properties of Oregano Essential Oil Powder. **International Journal of Horticulture & Agriculture**, v. 2, p. 1-8, 2017.
- JAFARI, S.M. Nanoencapsulation of food bioactive ingredients: Principles and applications. **Academic Press**, 2017.
- JAFARI, S.M.; ASSADPOOR, E.; H.E, Y.; BHANDARI, B. Eficiência de encapsulamento de sabores e óleos alimentares durante a secagem por pulverização. **Tecnologia de Secagem**, v. 26, p.816-835, 2008.
- KOUAMÉ, K.J.E.; BORA, A.F.M.; LI, X.; SUN, Y.; LIU, L. Novel trends and opportunities for microencapsulation of flaxseed oil in foods: A review. **Journal of Functional Foods**, v. 87, p. 104812, 2021.
- LIU, M.; MILLARD, P. E.; URCH, H.; ZEYONS, O.; FINDLEY, D.; KONRADI, R.; MARELLI, B. Microencapsulation of high-content actives using biodegradable silk materials. **Small**, v. 18, n. 31, p. 2201487, 2022.
- NEVES, M. A.; DEJMEK, P.; KOBAYASHI, I.; NAKAJIMA, M. Size Reduction of Hydrophobically Modified Starch on Beads Mill: Effect of Dispersing Medium and Milling Time. **Journal of Food Science and Engineering**, v.5, p. 103-111, 2015.
- PEREIRA, K.C.; BARCELOS, M.C.S.; ALVARENGA, G.F.; PEREIRA, M.S.S.; FERREIRA, D.C.M.; CARVALHO JR, A.D.; SANTOS, J. H. P. M. S.; CARNEIRO, G.; J.M.G.C. Stability of oregano essential oil emulsion for production of microparticles by the method of drying by atomization. **Journal of Excipients and Food Chemicals**, v. 13, p. 99-105, 2022.
- 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**, 65, p. 49-67, 2017.
- SILVA, G. D. O. D.; TAKIZAWA, F. F.; PEDROSO, R. A.; FRANCO, C. M. L.; LEONEL, M.; SARMENTO, S. B. S.; DEMIATE, I. M. Características físico-químicas de amidos modificados de grau alimentício comercializados no Brasil. **Food Science and Technology**, v.26, p. 188-197, 2006.
- TÜRKOĞLU, G. C.; ERKAN, G.; KARAVANA, S. Y.; SARIİŞİK, A. M.; ÇETMELİ BAKADUR, A.; ÜTEBAY, B.; POPESCU, A. Spray-Dried Oregano Oil and Lavender Oil Microcapsules for Antibacterial Sports and Leisurewear. **AATCC Journal of Research**, v.1, n.1, p. 24723444231175211, 2023.
- TÜRKOĞLU, G. C.; SARIİŞİK, A. M.; ERKAN, G.; ERDEN, E.; PAZARLIOĞLU, N. Development of antibacterial textiles by cyclodextrin inclusion complexes of volatile thyme active agents. **Flavour and Fragrance Journal**, v.37, n.5, p. 265-273, 2022.
- XU, Y.; CHEN, L.; ZHANG, Y.; HUANG, Y.; CAO, J.; JIANG, W. Antimicrobial and controlled

release properties of nanocomposite film containing thymol and carvacrol loaded UiO-66-NH₂ for active food packaging. **Food Chemistry**, p.134427, 2023.

ZANONI, F.; PRIMITERRA, M.; ANGELI, N.; ZOCCATELLI, G. Microencapsulation by spray-drying of polyphenols extracted from red chicory and red cabbage: Effects on stability and color Properties. **Food Chemistry**, 307, p. 125535, 2020.