

UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA CATARINA
CENTRO DE CIÊNCIAS DA SAÚDE
DEPARTAMENTO DE CIÊNCIAS FARMACÊUTICAS
CURSO DE GRADUAÇÃO EM FARMÁCIA

Eduardo Henrique Santangelo Silva

**Avaliação de parâmetros da formulação sobre a eficiência de encapsulação do óleo
essencial de capim limão através da técnica de secagem em *spray***

Florianópolis

2024

Eduardo Henrique Santangelo Silva

**Avaliação de parâmetros da formulação sobre a eficiência de encapsulação do óleo
essencial de capim limão através da técnica de secagem em *spray***

Trabalho de Conclusão de Curso submetido ao curso de
Farmácia do Centro de Ciências da Saúde da Universidade
Federal de Santa Catarina como requisito parcial para a
obtenção do título de Farmacêutico.

Orientadora: Prof^a. Dra. Giovana Carolina Bazzo

Florianópolis

2024

Ficha de identificação de obra elaborado pelo autor, através do Programa de Geração Automática da Biblioteca Universitária da UFSC

Santangelo, Eduardo

Avaliação de parâmetros da formulação sobre a eficiência de encapsulação do óleo essencial de capim limão através da técnica de secagem em spray / Eduardo Santangelo ; orientadora, Giovana Bazzo, 2024.

44 p.

Trabalho de Conclusão de Curso (graduação) - Universidade Federal de Santa Catarina, Centro de Ciências da Saúde, Graduação em Farmácia, Florianópolis, 2024.

Inclui referências.

1. Farmácia. 2. Cymbopogon flexuosus. 3. Parâmetro de Formulação. 4. Microencapsulação. 5. Goma arábica. I. Bazzo, Giovana. II. Universidade Federal de Santa Catarina. Graduação em Farmácia. III. Título.

Eduardo Henrique Santangelo Silva

**Avaliação de parâmetros da formulação sobre a eficiência de encapsulação do óleo
essencial de capim limão através da técnica de secagem em *spray***

Este trabalho de Conclusão de curso foi julgado adequado para obtenção do título de
Farmacêutico e aprovado em sua forma final pelo Curso de Graduação em Farmácia

Florianópolis, 11 de dezembro de 2024.

Coordenação do Curso

Banca examinadora

Prof.(a) Giovana Carolina Bazzo Dr.(a)
Orientador(a)

Prof.(a) Débora Argenta Dr.(a)
Universidade Federal de Santa Catarina

Prof.(a) Hellen K. Stulzer Koerich Dr.(a)
Universidade Federal de Santa Catarina

Florianópolis, 2024

AGRADECIMENTOS

Primeiramente agradeço minha mãe Eliane, que sempre foi meu ponto referencial, meu alicerce e o motivo pelo qual aqui estou. Obrigado por confiar em mim, no meu potencial e sempre ter sido minha fortaleza, serei eternamente grato por tudo que fez e faz por mim.

A minha segunda mãe Liliane que me acolheu com tanto carinho e zelo, me fez sentir pertencente e foi a razão pelo qual consegui trilhar esses cinco anos de graduação, sem ela e seu apoio eu jamais teria conseguido chegar até a reta final.

A minha querida orientadora Giovana Carolina Bazzo, que foi tão presente em todos os momentos da elaboração deste trabalho, me mostrou o caminho e conseguiu tornar tudo leve sempre ajudando em todos os desafios enfrentados.

Aos meus amigos da vida, em especial, Cícero, Jonny, Ramiro e Rodrigo que se tornaram minha família e nunca me deixaram sentir só mesmo mais de 1000 km longe de casa.

Aos meus colegas da faculdade em que compartilhamos diversos momentos juntos, desde os mais descontraídos e até mesmo algumas lágrimas, em especial a minha amiga Luara que sempre esteve ao meu lado durante toda a graduação, a sua amizade foi e é essencial para o meu eu.

A minha amiga Maria Luiza que desde o momento em que nos aproximamos tem sido minha rede de apoio em todas as áreas da minha vida, meus sinceros agradecimentos e toda a minha gratidão. Sua amizade, dedicação e apoio constante fizeram toda a diferença ao longo desse caminho.

E a Universidade Federal de Santa Catarina, por toda a trajetória que tive até aqui. Especialmente a grande maioria do corpo docente que foram responsáveis por me tornar um profissional da saúde.

RESUMO

Os óleos essenciais (OEs) são compostos voláteis obtidos de fontes vegetais, amplamente reconhecidos por suas propriedades bioativas, incluindo atividades antioxidante, antimicrobiana e potencial terapêutico. Essas características tornam os OEs altamente atrativos para as indústrias farmacêutica, cosmética e alimentícia. Contudo, sua elevada instabilidade, resultante da exposição à luz, temperatura, oxigênio e umidade, apresenta um obstáculo significativo para aplicações comerciais. Nesse contexto, a microencapsulação surge como uma estratégia eficaz para preservar as propriedades funcionais e biológicas dos OEs, promovendo maior estabilidade e viabilizando sua incorporação em diversas formulações. Entre os OEs de destaque, o óleo essencial de *Cymbopogon flexuosus* (capim-limão) possui amplo potencial de aplicação nas indústrias farmacêutica e cosmética. Entretanto, sua alta volatilidade e a dificuldade de integração em formulações reforçam a importância da microencapsulação como uma solução promissora. Este estudo aborda a técnica de microencapsulação empregada para o óleo essencial de capim-limão, enfatizando a influência de parâmetros como o tipo de material de parede - hidroxipropilmetilcelulose (HPMC) ou goma arábica e a proporção de OE utilizada no preparo da emulsão, através da avaliação da morfologia (por microscopia eletrônica de varredura), eficiência de encapsulação e interação entre o OE e o material de parede (por espectrofotometria no infravermelho). Foram preparadas micropartículas por *spray drying* a partir de emulsões com diferentes proporções de OE e material de parede. Os resultados obtidos demonstraram que a goma arábica apresentou melhor desempenho em relação ao HPMC, com valores de eficiência de encapsulação consideravelmente mais altos. Além disso, foi observado que as formulações com maior proporção de OE também obtiveram um desempenho maior na EE. Diferenças com relação à morfologia também foram observadas conforme o tipo de polímero empregado. Não foram observadas interações entre o OE e os polímeros. Este trabalho contribuiu para o entendimento dos fatores que influenciam a microencapsulação do OE de capim-limão e possibilitará o direcionamento da continuidade dos estudos, fornecendo subsídios para o desenvolvimento de formulações cosméticas baseadas em óleos microencapsulados.

Palavras-chave: Óleo essencial de capim-limão; Microencapsulação; Parâmetros de formulação; Micropartículas, Goma arábica, HPMC.

ABSTRACT

Essential oils (EOs) are volatile compounds obtained from plant sources, widely recognized for their bioactive properties, including antioxidant, antimicrobial, and therapeutic potential. These characteristics make EOs highly attractive to the pharmaceutical, cosmetic, and food industries. However, their high instability, resulting from exposure to light, temperature, oxygen, and humidity, presents a significant obstacle for commercial applications. In this context, microencapsulation emerges as an effective strategy to preserve the functional and biological properties of EOs, promoting greater stability and enabling their incorporation into various formulations. Among the prominent EOs, the essential oil of *Cymbopogon flexuosus* (lemongrass) holds significant potential for application in the pharmaceutical and cosmetic industries. However, its high volatility and the difficulty of integrating it into formulations underscore the importance of microencapsulation as a promising solution. This study addresses the microencapsulation technique applied to lemongrass essential oil, emphasizing the influence of parameters such as the type of wall material—hydroxypropyl methylcellulose (HPMC) or gum arabic—and the proportion of EO used in emulsion preparation. The evaluation included morphology analysis (via scanning electron microscopy), encapsulation efficiency, and the interaction between EO and the wall material (via infrared spectroscopy). In the methodology of this study, microparticles were prepared by spray drying from emulsions with different proportions of EO and wall material, and subsequently evaluated to determine how these parameters influenced encapsulation efficiency performance. The results showed that gum arabic exhibited better performance compared to HPMC, with considerably higher encapsulation efficiency values. Additionally, formulations with higher proportions of EO also achieved better EE performance. This work contributes to understanding the factors that influence the microencapsulation of essential oils and provides insights for future studies, offering a foundation for the development of cosmetic and industrial formulations based on microencapsulated essential oils.

Keywords: Lemongrass essential oil; Microencapsulation; Formulation parameters; Microparticles; Gum arabic; HPMC.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Esquema mostrando a formação da película em torno das partículas após a microencapsulação por <i>spray drying</i>	14
Figura 2 - Representação esquemática de microesferas e microcápsulas poliméricas	15
Figura 3 - Resultados do rendimento do processo de microencapsulação por <i>spray drying</i>	26
Figura 4 -Micrografias de MEV das micropartículas compostas de Óleo+Goma arábica (G2) em diferentes escalas	28
Figura 5 -Micrografias de MEV das micropartículas compostas de Óleo+Goma arábica (G1) em diferentes escalas.....	29
Figura 6 - Micrografias de MEV das micropartículas compostas de Óleo+HPMC arábica (H2) em diferentes escalas.....	30
Figura 7 - Micrografias de MEV das micropartículas compostas de Óleo+HPMC (H1) em diferentes escalas.....	30
Figura 8 - Espectro FTIR do OE <i>Cymbopogon flexuosus</i> , goma arábica e HPMC.....	33
Figura 9 - Espectro FTIR G1, G2 e MF Goma arábica+OE.....	36
Figura 10 -Espectro FTIR H1, H2 e MF HPMC+OE.....	38

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Formulações preparadas com goma arábica e HPMC.....	22
Tabela 2 – Componentes utilizados no preparo das emulsões.....	23
Tabela 3 – Resultados de eficiência de encapsulação das formulações.....	31

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

OE - Óleo Essencial

OEs – Óleos Essenciais

GRAS – Geralmente reconhecido como seguro

FDA – Food and Drug Administration

EE – Eficiência de Encapsulação

MF - Mistura Física

HPMC - Hidroxipropilmetilcelulose

MEV - Microscopia Eletrônica de Varredura

FTIR - Espectroscopia no infravermelho por transformada de Fourier

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	11
2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	14
2.1 MICROENCAPSULAÇÃO	14
2.2 CYMBOPOGON FLEXUOSUS	16
3 JUSTIFICATIVA	19
4 OBJETIVOS	21
4.1 OBJETIVO GERAL	21
4.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS	21
5 MATERIAIS E MÉTODOS	22
5.1 MATERIAIS	
5.2 PREPARO DAS MICROPARTÍCULAS	22
5.3 RENDIMENTO DO PROCESSO	24
5.4 AVALIAÇÃO DA MORFOLOGIA DAS MICROPARTÍCULAS	24
5.5 EFICIÊNCIA DE ENCAPSULAÇÃO (EE)	24
5.6 INTERAÇÕES ENTRE O ÓLEO ESSENCIAL E OS POLÍMEROS	25
6 RESULTADOS E DISCUSSÕES	26
6.1 RENDIMENTO DO PROCESSO	26
6.2 AVALIAÇÃO DA MORFOLOGIA DAS MICROPARTÍCULAS	27
6.3 EFICIÊNCIA DE ENCAPSULAÇÃO (EE)	31
6.4 INTERAÇÕES ENTRE O ÓLEO ESSENCIAL E OS POLÍMEROS	33
7 CONSIDERAÇÕES FINAIS	39
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	

1 INTRODUÇÃO

Os óleos essenciais (OEs) representam uma categoria de compostos voláteis naturais extraídos de plantas, sintetizados por diversos órgãos como botões, flores, folhas, caules, galhos, sementes, frutos, raízes, madeira ou casca, e são amplamente reconhecidos por suas propriedades aromáticas e terapêuticas (Mukarram *et al.*, 2022). Armazenados em células secretoras, cavidades, canais, células epidérmicas ou tricomas glandulares, esses compostos desempenham um papel crucial na proteção das plantas contra uma vasta gama de patógenos e herbívoros, graças às suas atividades antibacterianas, antivirais, antifúngicas, e até mesmo sua capacidade de servir como inseticidas naturais (Djilani & Dicko, 2012; Bakkali *et al.*, 2008).

Além do seu valor ecológico, os OEs são comercialmente significativos, encontrando aplicações extensivas nas indústrias farmacêutica, alimentícia, sanitária e cosmética (Bakkali *et al.*, 2008). Utilizados como aromatizantes, antioxidantes e conservantes, eles oferecem um espectro de propriedades interessantes, não apenas para a conservação de alimentos e preparações farmacêuticas, mas também exibindo atividades fisiológicas significativas, que os caracterizam como componentes valiosos em tratamentos para distúrbios do sono, doença de Alzheimer, doenças cardiovasculares, câncer e até para aliviar dores de parto, com a maioria sendo geralmente reconhecidos como seguros (GRAS) pela *Food and Drug Administration* (FDA) (Lammari *et al.*, 2021; Lubbe & Verpoorte, 2011).

Dentre as diversas espécies produtoras de OEs, o *Cymbopogon flexuosus*, comumente conhecido como capim-limão ou lemongrass, destaca-se pela sua composição química e ampla gama de atividades bioativas (Melo *et al.* 2022). Este OE é particularmente rico em citral, geraniol e neral, compostos que conferem ao óleo suas propriedades antimicrobianas, antioxidantes e o seu potencial terapêutico. O *Cymbopogon flexuosus* tem sido valorizado não apenas por suas aplicações típicas nas práticas culinárias e medicinais, mas também pelo seu crescente uso em formulações cosméticas e farmacêuticas (Melo *et al.* 2022; Mukarram *et al.*, 2022; Ganjewala, 2009).

Entretanto, a aplicabilidade prática dos OEs, incluindo o óleo de *Cymbopogon flexuosus* enfrenta alguns desafios significativos, dado à sua volatilidade, sensibilidade à luz, temperatura, oxigênio e umidade (Sousa *et al.*, 2022). Essas características intrínsecas não apenas limitam a eficácia dos OEs em produtos finais, mas também apresentam barreiras à sua incorporação em formulações aquosas, devido à baixa solubilidade em água e alta taxa de

volatilização. Essas limitações enaltecem a importância de desenvolver estratégias que possam melhorar a estabilidade, solubilidade e eficácia dos OEs em formulações (Sousa *et al.*, 2022; Lima *et al.*, 2021).

Nesse contexto, a microencapsulação surge como uma solução viável para atenuar essas barreiras, protegendo os OEs contra fatores ambientais adversos e permitindo a liberação controlada de seus componentes bioativos (Martins *et al.*, 2021). Esse processo envolve o revestimento de partículas ou gotículas de OE com um material de parede, formando micropartículas que podem efetivamente isolar o OE do ambiente externo, melhorando assim sua estabilidade e permitindo sua incorporação em diversas matrizes (Sousa *et al.*, 2022; Sutaphanit & Chitprasert, 2014).

Entre as técnicas de microencapsulação disponíveis, a técnica por secagem em *spray* se destaca devido à sua eficiência, adaptabilidade a diferentes materiais de parede e capacidade de produção em larga escala (Sousa *et al.*, 2022). Este método converte uma emulsão contendo o OE e o material de parede em micropartículas secas através da atomização em um fluxo de ar quente, oferecendo uma maneira eficaz de produzir micropartículas estáveis que retêm as propriedades desejadas do OE (Aguiar *et al.*, 2020; Bajac *et al.*, 2022).

A técnica de microencapsulação pode ser interessante para proteger e melhorar a aplicabilidade do óleo essencial de *Cymbopogon flexuosus*, envolvendo a encapsulação de partículas ou gotículas deste óleo dentro de filmes poliméricos. Esses filmes formam micropartículas que podem ser classificadas em microcápsulas, com uma parede polimérica envolvendo um núcleo livre do material de parede, ou microesferas, onde o óleo essencial é distribuído uniformemente através da matriz polimérica (Carvalho *et al.*, 2019). Essa distinção é crucial para a liberação controlada e a proteção dos componentes voláteis do óleo essencial (Melo *et al.*, 2022).

A seleção do material de parede é um aspecto crítico para otimizar a eficiência de encapsulação e as propriedades de liberação do OE encapsulado. Diversos estudos têm explorado uma variedade de materiais, como por exemplo a goma arábica, maltodextrina, e polímeros sintéticos, evidenciando a importância da escolha do material de parede na preservação das propriedades bioativas do OE e na eficácia da microencapsulação (Carvalho *et al.*, 2019; Melo *et al.*, 2022).

Este trabalho visa explorar a microencapsulação do óleo essencial de *Cymbopogon flexuosus* utilizando a técnica de secagem por spray, focando na influência de parâmetros da

formulação (emulsão) que podem afetar a eficiência de encapsulação do óleo. Através da otimização desses parâmetros, busca-se desenvolver micropartículas que não apenas preservem as propriedades bioativas do OE, mas também ampliem suas aplicações em formulações farmacêuticas e cosméticas, contribuindo para a reprodutibilidade de um modelo industrial de larga escala.

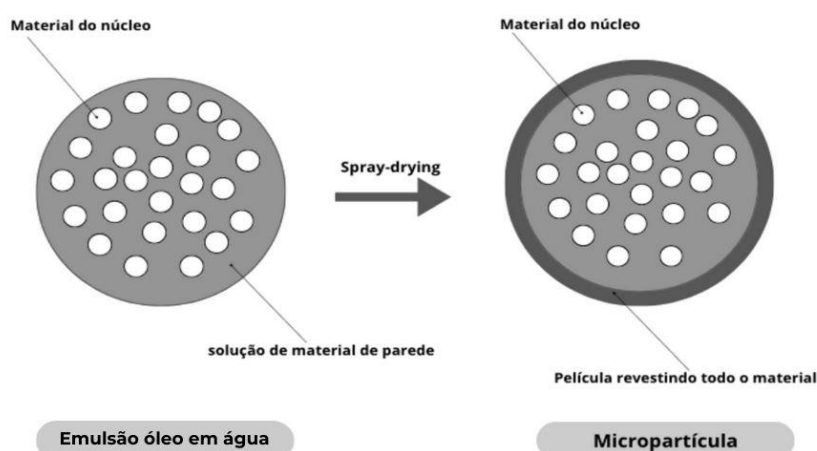
2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 MICROENCAPSULAÇÃO

A microencapsulação é uma tecnologia versátil que pode ser aplicada a múltiplas finalidades, que podem variar desde a proteção dos componentes bioativos, liberação controlada e até o mascaramento de sabores indesejados. Essas vantagens são particularmente atrativas para diversas indústrias, incluindo as de alimentos, farmacêuticas e cosméticas (Timilsena; Haque; Adhikari, 2020). Na indústria farmacêutica, por exemplo, essa técnica é comumente utilizada para proteger fármacos sensíveis e melhorar a biodisponibilidade de substâncias ativas (Rattes & Oliveira, 2007).

A técnica consiste no processo de revestir pequenas partículas ou gotículas de um material ativo com uma camada ou matriz polimérica, formando micropartículas, conforme ilustrado na Figura 1 (Cal; Sollohub, 2010). Esse revestimento pode ser uniforme ou variar em espessura, dependendo do método e dos materiais utilizados (Bazzo, 2008). O objetivo principal é proteger o material encapsulado de fatores externos (Ferreira *et al.*, 2022). É amplamente utilizada para proteger compostos bioativos e voláteis, como óleos essenciais, garantindo a preservação de suas propriedades e proporcionando uma liberação controlada e gradual do composto encapsulado (Cal; Sollohub, 2010).

Figura 1 - Esquema mostrando a formação do revestimento em torno das partículas após a microencapsulação por *spray drying*.

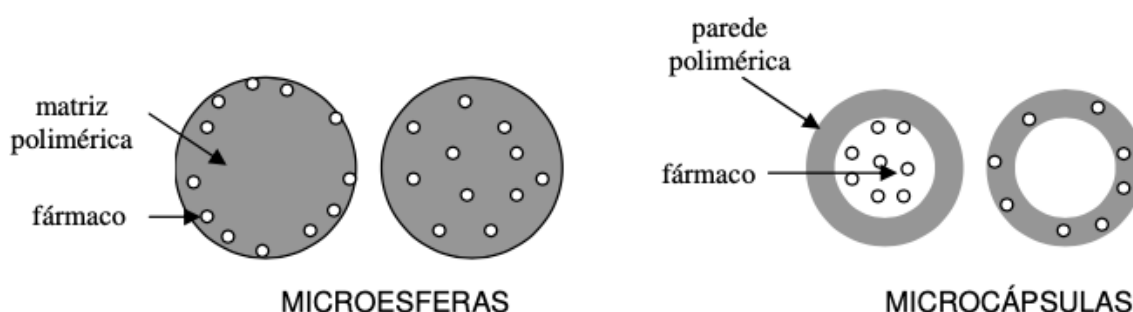


Fonte: Adaptado de Pudziuelyte *et al.* (2019).

Diversos materiais podem ser utilizados para o revestimento, como por exemplo a goma arábica, hidroxipropilmetilcelulose, maltodextrina e polímeros sintéticos. A escolha do material de parede é crucial, pois influencia diretamente as propriedades das micropartículas e a eficiência de encapsulação (Carvalho *et al.*, 2019). Na microencapsulação, o material encapsulado é conhecido como núcleo ou material ativo, enquanto o material de revestimento pode ser denominado parede, cápsula, membrana, invólucro, matriz ou material transportador (Timilsena; Haque; Adhikari, 2020).

Na microencapsulação, há uma distinção entre os tipos de materiais produzidos, que podem ser classificados como microesferas ou microcápsulas, conforme demonstrado na Figura 2. As microcápsulas possuem uma parede polimérica com espessura variável, e o material encapsulado pode estar tanto na parte interna quanto no revestimento. Por outro lado, nas microesferas, o material encapsulado encontra-se distribuído uniformemente na matriz polimérica, apresentando características morfológicas semelhantes ao longo de toda a extensão (Bazzo, 2008).

Figura 2 - Representação esquemática de microesferas e microcápsulas poliméricas.



Fonte: Adaptado de Bazzo, 2008.

Existem diversas técnicas de microencapsulação, que variam das mais simples e tradicionais, como a emulsificação-evaporação do solvente e a coacervação, até as mais sofisticadas, como a polimerização interfacial e a liofilização. Entre todas, a técnica de *spray drying* é a mais utilizada (Ribeiro; Veloso, 2021). A técnica de *spray drying*, ou secagem por pulverização, transforma o produto de um estado fluido em partículas secas ao pulverizá-lo em um meio de secagem aquecido (Cal; Sollohub, 2010).

O processo de *spray drying* consiste na atomização de uma solução ou suspensão do bioativo e do polímero no interior de uma câmara aquecida. Durante a atomização, são produzidas pequenas partículas líquidas e, em seguida, o processo de aquecimento provoca a evaporação do solvente e a formação das micropartículas (Bazzo, 2008). Essa técnica é especialmente vantajosa para a secagem de alimentos sensíveis ao calor, produtos farmacêuticos e outras substâncias, principalmente devido à rápida evaporação do solvente (Rattes; Oliveira, 2007).

Entre as técnicas de microencapsulação, a técnica de *spray drying* destaca-se por suas vantagens, como a possibilidade de produção em larga escala, alta eficiência de encapsulamento e rendimento do processo, além da flexibilidade de utilização de diversos tipos de materiais de diferentes origens (Ribeiro; Veloso, 2021).

2.2 CYMBOPOGON FLEXUOSUS

O gênero *Cymbopogon*, pertencente à família *Poaceae*, é amplamente reconhecido por suas espécies que produzem OEs de grande impacto comercial. Entre essas espécies, destaca-se o *Cymbopogon flexuosus*, comumente conhecido como capim-limão, devido a sua rica composição química e uma vasta gama de atividades bioativas (Ganjewala, 2009). O óleo essencial de *Cymbopogon flexuosus* é especialmente valorizado devido à presença de compostos como citral, geraniol e neral, que conferem ao óleo propriedades antimicrobianas, antioxidantes e terapêuticas (Melo *et al.*, 2022).

Estudos indicam que o óleo essencial de *Cymbopogon flexuosus* possui atividade antimicrobiana significativa contra biofilmes de espécies de *Staphylococcus aureus* e *Candida*, sendo que o citral, seu principal componente, reduz significativamente a biomassa e a viabilidade celular dos biofilmes (Gao *et al.*, 2020). Além disso, o impacto do óleo essencial de *Cymbopogon flexuosus* em um modelo de ratos com diabetes tipo 1 mostrou efeitos antioxidantes e hipoglicemiantes significativos, além de melhorias no perfil lipídico e nos marcadores hepáticos (Borges *et al.*, 2024).

A atividade antioxidante do óleo essencial de *Cymbopogon flexuosus* é atribuída à presença de compostos bioativos como citral, geraniol e citronelal (Kurjak e Shahid, 2022). Essas propriedades tornam o óleo um componente valioso em formulações cosméticas e farmacêuticas para prevenir o envelhecimento celular e proteger a pele contra danos ambientais, além da possibilidade de serem empregados como antioxidantes na formulação,

prevenindo a oxidação de componentes lipídicos (Kurjak e Shahid, 2022; Mukarram *et al.*, 2022).

Em termos de potencial terapêutico, o óleo essencial de *Cymbopogon flexuosus* pode reduzir significativamente biomarcadores inflamatórios em células da pele humana e suprimir inflamações induzidas por agentes químicos tanto topicamente quanto oralmente em modelos de camundongos (Han e Parker, 2017). Esses achados indicam o potencial do óleo em tratar inflamações tópicas e condições relacionadas (Avoseh *et al.*, 2015).

Adicionalmente, Wannissorn *et al.* (1996) demonstraram que o óleo essencial de *Cymbopogon flexuosus* possui atividade antifúngica eficaz contra dermatófitos como *Trichophyton mentagrophytes*, *T. rubrum* e *Epidermophyton floccosum*, sendo uma opção promissora no tratamento de infecções fúngicas cutâneas. Kpoviessi *et al.* (2014) complementaram que o óleo também apresenta resistência significativa a fungos patogênicos que causam problemas com micotoxinas durante o armazenamento de grãos, inibindo o desenvolvimento de fungos filamentosos.

Apesar de suas propriedades benéficas, o óleo essencial de *Cymbopogon flexuosus*, assim como os demais OEs, enfrenta desafios em termos de estabilidade e volatilidade (Melo *et al.*, 2022). A exposição à luz, temperatura, oxigênio e umidade pode degradar os compostos bioativos presentes no óleo, limitando sua eficácia em produtos finais (Sousa *et al.*, 2022). Nesse contexto, a microencapsulação surge como uma solução promissora para superar esses desafios, proporcionando proteção contra fatores ambientais e permitindo uma liberação controlada dos compostos ativos (Ferreira *et al.*, 2022; Sutaphanit e Chitprasert, 2014).

A técnica de secagem por *spray* na microencapsulação do óleo essencial de *Cymbopogon flexuosus* melhora significativamente a estabilidade e promove a liberação controlada do óleo encapsulado. A microencapsulação com goma arábica e outros materiais de parede, como amidos modificados, demonstrou esses benefícios, permitindo a produção de micropartículas com alta eficiência de encapsulação e estabilidade aprimorada (Carvalho *et al.*, 2019).

Estudos adicionais apoiam esses achados. Por exemplo, Hee *et al.* (2019) demonstraram que a microencapsulação de óleos essenciais utilizando maltodextrina e goma arábica como materiais de parede aumenta significativamente a estabilidade do óleo e a eficiência de encapsulação. Já Saedi *et al.* (2016) apontaram que a otimização dos parâmetros

de secagem por *spray* pode melhorar a retenção de compostos voláteis, destacando a importância de ajustar variáveis como temperatura e taxa de alimentação.

A escolha adequada do material de parede e a otimização dos parâmetros de formulação são essenciais para maximizar a eficiência de encapsulação e a estabilidade das micropartículas ampliando as possibilidades de uso do óleo essencial de *Cymbopogon flexuosus* em diversas indústrias, como as farmacêuticas e cosméticas, contribuindo para a viabilidade industrial em larga escala (Melo *et al.*, 2022; Carvalho *et al.*, 2019; Gundel *et al* 2018).

3 JUSTIFICATIVA

Recentemente, o mercado farmacêutico e cosmético está se encaminhando para uma crescente tendência ao uso de insumos de origem natural, buscando alternativas eficazes aos conservantes e antioxidantes sintéticos em formulações (Borges *et al.*, 2024). Neste contexto, o óleo essencial de *Cymbopogon flexuosus* emerge como um candidato promissor, dado as suas propriedades bioativas, aroma agradável e propriedades antioxidante e antimicrobiana (Mukarram *et al.*, 2022). Contudo, a volatilidade dos óleos essenciais e desafios relacionados à sua incorporação em formulações destacam-se como barreiras significativas, as quais podem ser mitigadas por meio do processo de microencapsulação (Garcia *et al.*, 2021; Lima *et al.*, 2021).

Estudos prévios, incluindo experimentos conduzidos pelo grupo de pesquisa vinculado a este projeto, evidenciam que diversos fatores influenciam diretamente a eficiência de encapsulação (EE), impactando não só a estabilidade do óleo essencial, mas também as propriedades físico-químicas das micropartículas, consolidando a necessidade de explorar diferentes condições, como a concentração do óleo essencial, o tipo e a concentração de polímeros utilizados como material de parede (Carvalho *et al.*, 2019; Melo *et al.*, 2022).

Dada a relevância prática e a possibilidade de colaboração com o setor industrial, optou-se pela técnica de secagem por *spray* para o preparo das micropartículas. Esta escolha não só favorece a transposição de escala, dada a prevalência deste equipamento em muitas indústrias, mas também permite a utilização de solventes aquosos, minimizando o impacto ambiental (Garcia *et al.*, 2021; Lima *et al.*, 2021).

A justificativa para este trabalho é reforçada pela constatação de baixos valores de EE nos experimentos iniciais realizados pelo grupo de pesquisa, indicando que a quantidade de micropartículas necessárias para alcançar a concentração desejada de óleo essencial em produtos finais seria impraticável. Portanto, este projeto visa determinar as condições de microencapsulação mais eficazes para o óleo essencial de *Cymbopogon flexuosus*, com foco especial na influência dos parâmetros da formulação (emulsão) sobre a EE e a morfologia das partículas.

Por fim, para mitigar a volatilidade dos óleos essenciais e os desafios relacionados à sua incorporação em formulações, foi utilizado polímeros de origem natural como material de parede no processo de microencapsulação, tais como a goma arábica e a

hidroxipropilmetilcelulose (HPMC), cuja utilização está em consonância com a tendência crescente de uso de insumos naturais na área cosmética.

4 OBJETIVOS

4.1 OBJETIVO GERAL

Avaliar a influência de condições empregadas no preparo de micropartículas contendo OE de *Cymbopogon flexuosus* sobre a eficiência de encapsulação, morfologia e interações entre os componentes.

4.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Avaliar a influência de parâmetros da formulação (emulsão), como concentração de óleo essencial e tipo de polímero, sobre a eficiência de encapsulação do OE de *C. flexuosus*.
- Avaliar a morfologia das micropartículas através de Microscopia Eletrônica de Varredura (MEV).
- Identificar possíveis interações entre o óleo essencial e os polímeros por espectrofotometria de absorção no infravermelho.
- Determinar o rendimento do processo de microencapsulação.

5 MATERIAIS E MÉTODOS

5.1 MATERIAIS

O OE utilizado foi o Óleo Essencial de Lemongrass (*Cymbopogon flexuosus*) adquirido da Harmonie Aromaterapia, tendo como principais componentes o Geranial (42,75%) e o Neral (32,76%) (conforme ficha técnica disponibilizada pelo fabricante). Para a obtenção do material de parede foi utilizado goma arábica grau farmacêutico, adquirida da diLuca Comércio e hidroxipropilmetilcelulose HPMC E6 Premium LV, gentilmente cedida pela Colorcon do Brasil Ltda. O emulsificante natural PolyAqual LW foi doado pela Innovacos Corp.

5.2 PREPARO DAS MICROPARTÍCULAS

As micropartículas de óleo essencial de *Cymbopogon flexuosus* foram preparadas utilizando a técnica de secagem por *spray*, empregando um mini *spray dryer* (Buchi, modelo B290). Como material encapsulante foi utilizada a goma arábica e a HPMC, dado as suas propriedades filmogênicas, solubilidade em meio aquoso, origem natural e compatibilidade com o OE (Carvalho *et al.*, 2019; Melo *et al.*, 2022). Testaram-se, também, duas concentrações de OE, conforme apresentado na Tabela 1.

Tabela 1 – Formulações preparadas com goma arábica e HPMC.

Formulação	Concentração de OE em relação ao teor de sólidos (%)	Polímero
G1	12,5	Goma Arábica
G2	25	Goma Arábica
H1	12,5	HPMC
H2	25	HPMC

Fonte: Do autor (2024)

Antes da secagem foram preparadas emulsões óleo em água (O/A), através da adição do óleo essencial a uma fase aquosa contendo o polímero e um surfactante de origem natural (Polyaquol LW), conforme demonstrado na Tabela 2.

Tabela 2 – Componentes utilizados no preparo das emulsões.

Componentes	G1	G2	H1	H2
Goma arábica	14g	14g	-	-
HPMC	-	-	7g	7g
Polyaquol LW	0,7g	0,7g	0,35g	0,35g
OE	1,75g	3,5g	1g	1,75g
Água	qsp 100 mL	qsp 100 mL	qsp 100 mL	qsp 100 mL

Fonte: Do autor (2024)

As emulsões foram homogeneizadas utilizando um homogeneizador Ultra-Turrax (IKA, modelo T18) a 15.000 rpm, durante 10 minutos, para garantir a dispersão adequada do óleo essencial na fase aquosa e formar uma emulsão estável (Bajac *et al.*, 2022).

Após o preparo das emulsões, o processo de secagem foi realizado no mini *spray dryer* Büchi, onde as condições de secagem foram ajustadas de acordo com o tipo de polímero empregado nas formulações. Para as emulsões contendo goma arábica (G1 e G2), a temperatura de entrada no equipamento foi mantida a 140°C, já para as formulações com HPMC, correspondentes às formulações H1 e H2, a temperatura de entrada foi de 130°C. Em todas as formulações, a taxa de alimentação da amostra foi controlada para 3 mL por minuto, garantindo uma alimentação constante e uniforme ao longo do processo. A vazão de ar utilizada durante a secagem foi estabelecida em 500 litros por hora, para manter o fluxo necessário para a atomização eficiente da emulsão. E por último, a aspiração foi mantida em 100%, maximizando a remoção do solvente e otimizando a formação das micropartículas, critério estes já definidos em experimentos anteriores realizados pelo grupo de pesquisa vinculado a este projeto.

5.3 RENDIMENTO DO PROCESSO

O rendimento do processo de microencapsulação foi determinado em porcentagem a partir da utilização da equação abaixo:

$$Rendimento (\%) = \left(\frac{\text{massa final das micropartículas (g)}}{\text{massa inicial dos componentes da formulação (g)}} \right) \times 100$$

Este cálculo considera a massa total dos componentes utilizados na formulação antes do início do processo de microencapsulação e a massa total das micropartículas coletadas após a conclusão do processo, no qual a diferença entre essas massas refletirá diretamente na eficiência do processo de secagem por *spray* em obter as micropartículas.

5.4 AVALIAÇÃO DA MORFOLOGIA DAS MICROPARTÍCULAS

A morfologia superficial das micropartículas foi avaliada por meio de Microscopia Eletrônica de Varredura (MEV), após o recobrimento com uma camada de ouro, observadas e fotografadas utilizando o microscópio específico para esse propósito Zeiss DSM 940 A.

5.5 EFICIÊNCIA DE ENCAPSULAÇÃO (EE)

A determinação da eficiência de encapsulação do óleo essencial de *Cymbopogon flexuosus* foi avaliada através de espectrofotometria de absorção na região do UV, empregando a metodologia validada previamente por Silva (2022).

A técnica envolve a utilização de um solvente específico que é eficaz na solubilização tanto do óleo essencial quanto do material de parede das micropartículas (polímero), permitindo a liberação do óleo para o meio. Após a extração, a quantidade de óleo essencial é determinada comparativamente com os dados da curva de calibração, proporcionando uma avaliação quantitativa da eficiência de encapsulação.

Para a construção da curva de calibração, foram preparadas soluções do óleo puro de *Cymbopogon flexuosus*. Foram preparadas cinco soluções com concentrações conhecidas de óleo essencial e dissolvidas em uma mistura de etanol-água (1:1) para obter as concentrações desejadas: 5, 7.5, 10, 12.5 e 15 µg/mL, abrangendo um intervalo adequado para a análise.

As soluções foram analisadas em espectrofotômetro UV-Vis para determinar a absorbância no comprimento de onda de 240 nm. Os dados obtidos foram plotados em um gráfico de absorbância *versus* concentração, gerando a curva de calibração.

A equação da reta ($y = ax + b$) foi determinada a partir da curva de calibração. O coeficiente de correlação (R) foi calculado para avaliar a linearidade.

Cada formulação de micropartículas contendo óleo essencial encapsulado foi preparada com uma concentração teórica de 10 µg/mL, correspondente ao ponto médio da curva de calibração, a sua absorbância foi determinada em 240 nm e a eficiência de encapsulação foi calculada.

5.6 INTERAÇÕES ENTRE O ÓLEO ESSENCIAL E OS POLÍMEROS

Para investigar potenciais interações entre o óleo essencial e os materiais de parede utilizados nas micropartículas, foram analisadas amostras dos componentes isolados, de misturas 1:1 (OE:material de parede) e das micropartículas formuladas.

Para esta análise utilizou-se a técnica de espectroscopia no infravermelho por transformada de Fourier (FTIR), empregando um espectrofotômetro Perkin Elmer modelo Frontier FT-NIR/MIR (Massachusetts, EUA), permitindo identificar quaisquer mudanças ou interações químicas entre o óleo essencial e os polímeros na matriz das micropartículas.

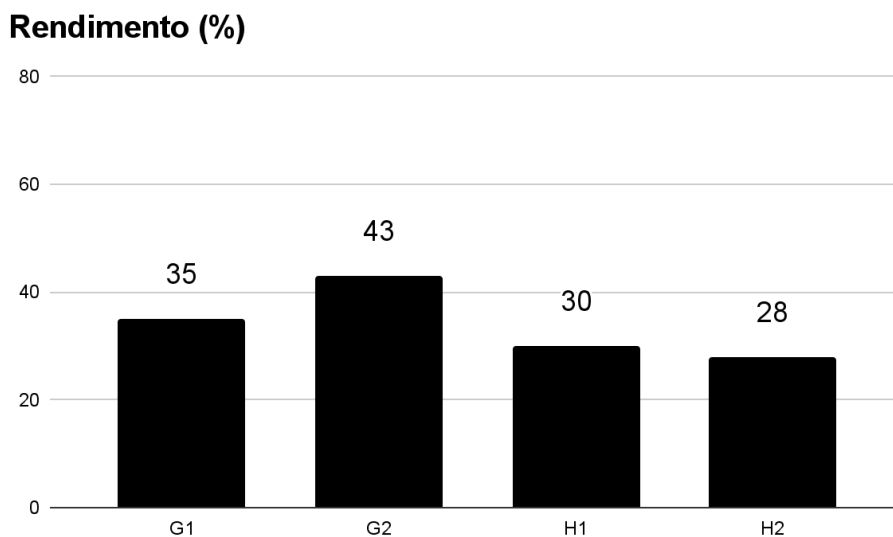
6 RESULTADOS E DISCUSSÕES

6.1 RENDIMENTO DO PROCESSO

Valores relativamente baixos do rendimento foram obtidos neste estudo, variando entre 28 a 43%, conforme Figura 3, sendo o menor valor para as micropartículas formadas a partir da emulsão H2 e o maior valor para as formadas a partir da emulsão G2, respectivamente.

Para as formulações contendo goma arábica, maiores valores de rendimento foram obtidos, reforçando que o tipo de material encapsulante influencia diretamente o rendimento. Além disso, para as formulações contendo HPMC, a temperatura de secagem foi um pouco menor, conforme preconizado pela literatura, o que também pode ter influenciado o rendimento.

Figura 3 - Resultados do rendimento do processo de microencapsulação por *spray drying*.



Fonte: Do autor (2024)

Martins e colaboradores (2021) ao secar o OE de *Cymbopogon citratus* em *spray dryer* com maltodextrina observaram valores de rendimentos maiores, com resultados com uma faixa de variação entre 74 a 82%. Essa diferença nos valores de rendimento obtidos neste

estudo pode ser atribuída a diversos fatores, incluindo a natureza dos componentes utilizados, as condições específicas do processo e o tipo de equipamento.

Conforme destacado por Carvalho e colaboradores (2019) o rendimento do processo de encapsulação por *spray drying* é influenciado por variáveis como a concentração do agente encapsulante, a temperatura de entrada e saída do ar de secagem, além das características intrínsecas do material de parede e do composto a ser encapsulado. Esses fatores combinados determinam a eficiência e o rendimento final do processo. Além disso, o tipo e modelo de equipamento utilizado também deve ser considerado.

6.2 AVALIAÇÃO DA MORFOLOGIA DAS MICROPARTÍCULAS

A eficiência de um processo de microencapsulação pode ser avaliada indiretamente pela análise da morfologia das micropartículas, uma vez que estruturas com trincas ou danos podem comprometer o transporte e a proteção do composto microencapsulado de interesse (Melo *et al.*, 2022).

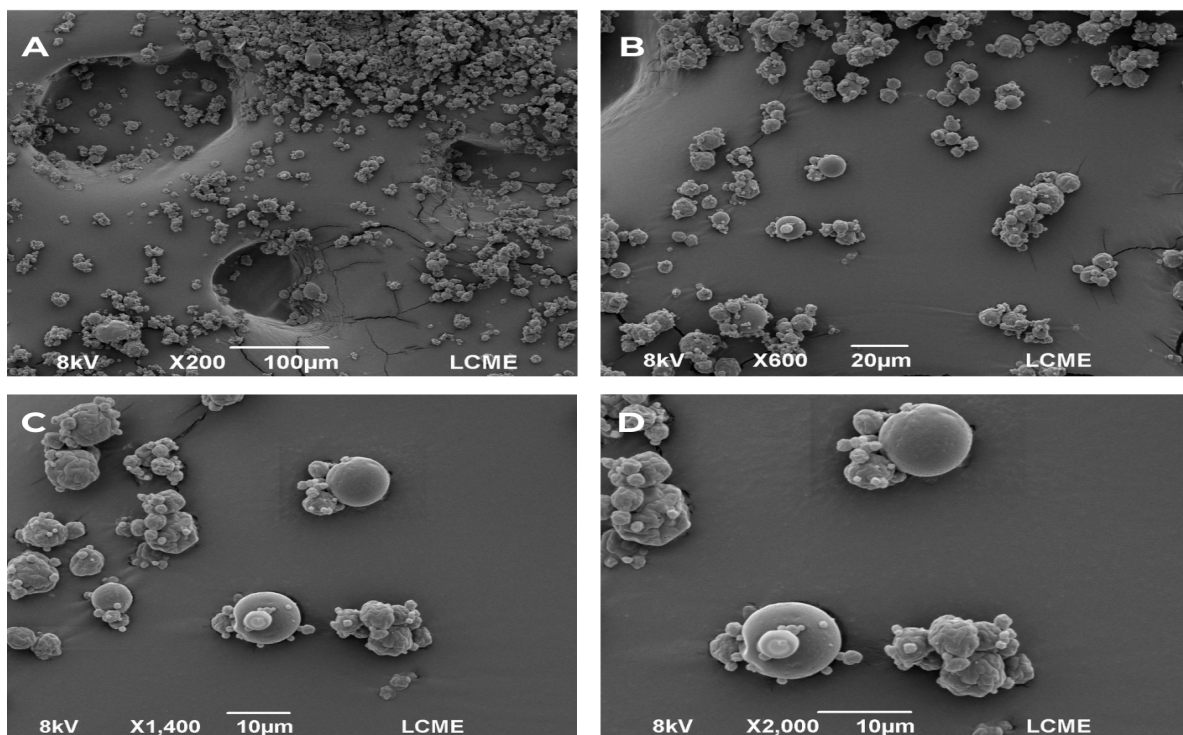
Micropartículas bem formadas garantem uma barreira física eficiente contra a volatilização e a oxidação de compostos ativos, aumentando sua estabilidade e protegendo-os de fatores ambientais (Melo *et al.*, 2022). Sendo assim, micropartículas com estruturas intactas e homogêneas são preferenciais, pois podem assegurar uma melhor retenção dos compostos ativos ao longo do tempo (Rajabi *et al.*, 2015).

Nosso estudo investigou a microencapsulação de óleo essencial de capim-limão utilizando dois materiais de parede: goma arábica e HPMC, em diferentes proporções de OE. As imagens de MEV (Figuras 3 a 8) mostram as características morfológicas das partículas formadas em cada formulação.

Para a formulação G2, encapsulada com a goma arábica e 25% de óleo essencial, observa-se partículas com superfícies levemente rugosas e sem fissuras significativas, como ilustrado na Figura 4. Essa estrutura é característica de microencapsulação com goma arábica, especialmente em formulações com alta concentração de óleo essencial (Rajabi *et al.*, 2015).

A presença dessa superfície levemente rugosa e sem fissuras indica que a goma arábica provavelmente foi capaz de formar uma barreira eficaz para proteger o OE contra a volatilização e degradação (Melo *et al.*, 2022).

Figura 4 - Micrografias de MEV das micropartículas compostas de Óleo+Goma arábica (G2) em diferentes escalas.

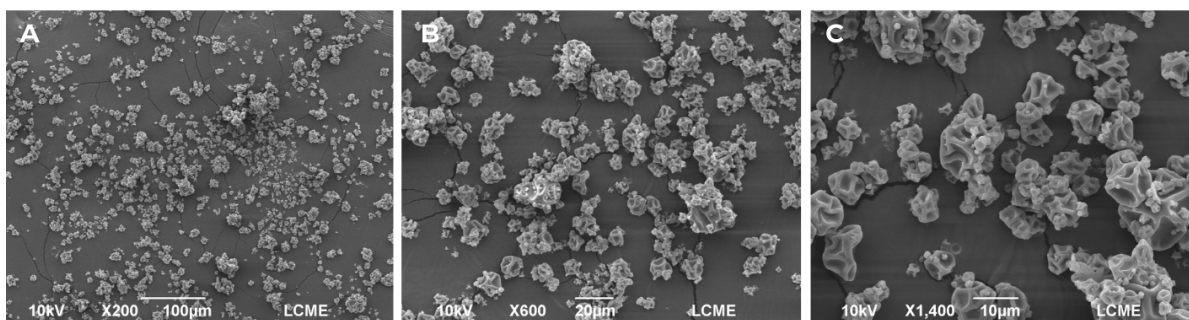


Fonte: Do autor (2024)

Ao observar a formulação G1, preparada com goma arábica e 12,5% de óleo essencial (Figura 5), as partículas apresentam maior rugosidade e uniformidade no tamanho, devido à formação de uma camada mais densa de goma arábica ao redor das partículas. Essa configuração favorece uma estrutura coesa e estável, como observado em estudos que apontam a tendência de superfícies mais estruturadas e texturizadas em formulações com menor proporção de óleo (Linke e Kohlus, 2013; Rajabi *et al.*, 2015).

Melo e colaboradores (2022) também obtiveram partículas com aspecto murcho ao utilizar a goma arábica para encapsular OE de capim limão por *spray drying* e mencionam que é uma característica comum de formulações preparadas com goma arábica.

Figura 5 - Micrografias de MEV das micropartículas compostas de Óleo+Goma arábica (G1) em diferentes escalas.



Fonte: Do autor (2024)

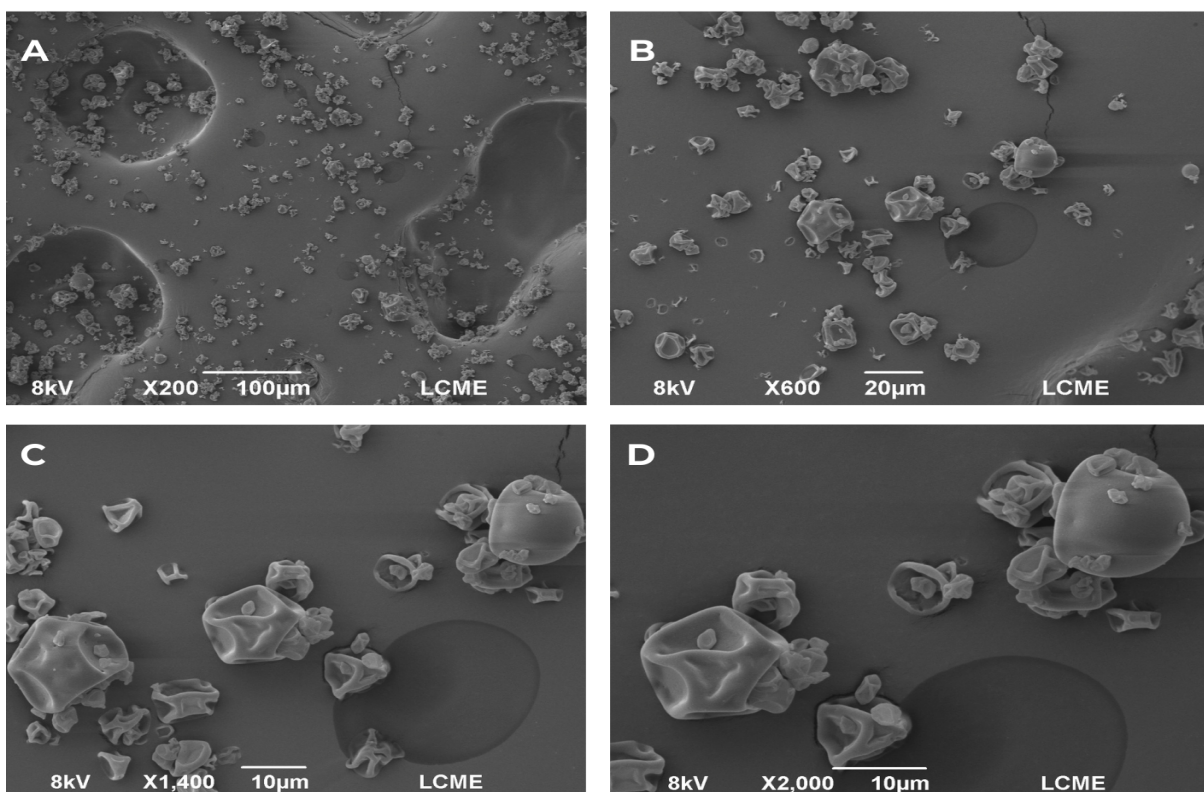
Para a formulação com HPMC e 25% de óleo essencial (H2), devido à natureza do HPMC como encapsulante, observamos uma morfologia diferenciada nas imagens de MEV, como ilustrado na Figura 6. As partículas formadas apresentam uma estrutura menos uniforme, com maior distribuição de tamanho de partículas e uma superfície com características mais rugosas e irregulares.

As partículas de HPMC com maior concentração de óleo apresentam uma estrutura com superfície irregular, sendo tipo de morfologia associado a uma menor coesão na matriz do encapsulante, o que gera partículas menos compactas e, possivelmente, mais permeáveis (Pirolt *et al.* 2020).

Já para a formulação com HPMC e 12,5% de óleo essencial, as imagens de MEV revelam partículas com uma diversidade morfológica maior e estrutura irregular, com superfícies rugosas e aspectos murchos, conforme a Figura 7.

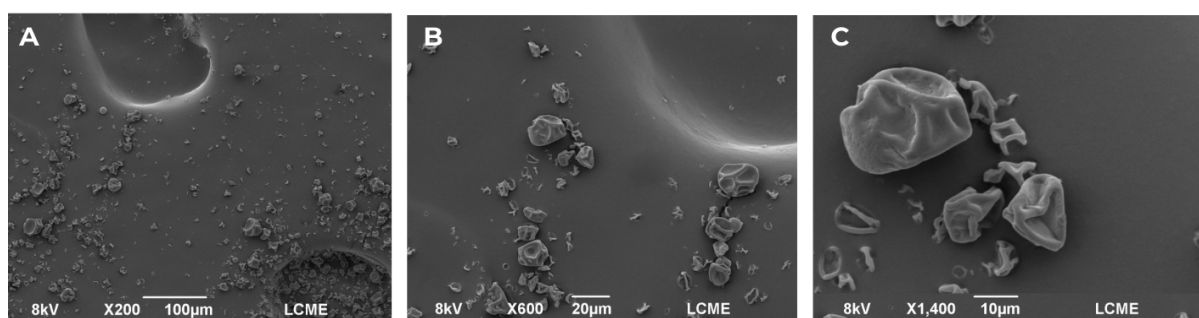
Além do tipo de polímero, as variações entre as morfologias das micropartículas podem ter sido evidenciadas devido às condições sob as quais foram submetidas pelo processo de secagem, visto que, a uniformidade e o tamanho das micropartículas geradas pelo processo de secagem por *spray drying* são diretamente influenciados por parâmetros como concentração do material de parede e temperaturas de entrada e saída do ar de secagem (Nhan *et al.*, 2020). Além disso, a maior viscosidade da emulsão preparada com HPMC pode também ter influenciado a morfologia das partículas, pela maior dificuldade em formar um *spray* uniforme durante a secagem. (Arefin; Hasan, 2016)

Figura 6 - Micrografias de MEV das micropartículas compostas de Óleo+HPMC arábica (H2) em diferentes escalas.



Fonte: Do autor (2024)

Figura 7 - Micrografias de MEV das micropartículas compostas de Óleo+HPMC (H1) em diferentes escalas.



Fonte: Do autor (2024)

6.3 EFICIÊNCIA DE ENCAPSULAÇÃO

Os valores obtidos de EE neste estudo foram determinados e estão apresentados na Tabela 3. Considerou-se como EE a quantidade total de óleo presente nas partículas, independentemente de o óleo estar localizado na superfície ou no interior da partícula. A EE variou entre 11,1% a 26,0% para as micropartículas preparadas com HPMC e de 42,0% a 82,2% para aquelas preparadas com goma arábica, evidenciando que o tipo de polímero empregado, a proporção de OE em relação ao material de parede são fatores críticos para o desempenho do processo de encapsulação.

Vários fatores influenciam a eficiência da microencapsulação de OEs por secagem por pulverização, como o tipo de material de parede e a concentração dos materiais do núcleo e também as condições do processo de secagem, como temperatura do ar de entrada, tipo de atomizador, fluxo de ar e níveis de umidade (Garcia *et al*; 2021).

Tabela 3 – Resultados de eficiência de encapsulação das formulações.

Formulação	Eficiência de Encapsulação
G1	42,0 ± 1,9
G2	82,2 ± 4,5
H1	11,1 ± 1,0
H2	26,0 ± 2,3

Fonte: Do autor (2024)

Com os resultados obtidos é observada a influência do tipo de polímero utilizado como material de parede na EE. A goma arábica, amplamente reconhecida por suas propriedades emulsificantes e capacidade de formar matrizes uniformes e estáveis (Carvalho, 2019), apresentou melhores resultados, especialmente em G2. Esse desempenho superior é associado à maior afinidade da goma arábica com compostos lipofílicos e à sua capacidade de estabilizar emulsões durante o processo de secagem. Em contrapartida, o HPMC demonstrou limitações como material de parede, a estrutura menos densa e coesa formada pelo HPMC dificulta a retenção do óleo essencial, permitindo maior difusão do núcleo ativo durante o *spray drying*, conforme observado por Lima *et al.* (2021). Além disso, sua compatibilidade

química reduzida com compostos voláteis compromete a formação de uma matriz encapsulante homogênea e eficiente (Melo *et al.*, 2022).

Garcia e colaboradores (2021), ao encapsular óleos essenciais pelo método de secagem por *spray drying* utilizando quitosana como material de parede, obtiveram valores de EE variando entre 11,45% a 39,58%. Esses resultados se assemelham aos valores obtidos nas formulações preparadas com HPMC, sugerindo que materiais de parede com menor capacidade de emulsificação e que formam barreiras físicas menos contínuas apresentam maior dificuldade em encapsular compostos voláteis, especialmente sob condições de alta temperatura, como no *spray drying*.

A proporção de óleo essencial em relação ao polímero também influenciou a eficiência de encapsulação. Neste estudo, formulações com maior concentração de OE apresentaram valores de EE superiores em relação às formulações com menor concentração de óleo, corroborando os achados de Nhan e colaboradores (2020), que relataram que o aumento da proporção de óleo pode favorecer a EE em sistemas com capacidade suficiente para acomodar o núcleo ativo. No entanto, Alencar *et al.* (2022) observaram o efeito oposto, sugerindo que o aumento na quantidade de óleo pode saturar a matriz encapsulante e reduzir a eficiência do processo, dependendo das condições do sistema. Assim, o impacto da proporção de óleo na EE está diretamente relacionado à capacidade de saturação do polímero e às propriedades da emulsão inicial.

Outro ponto crítico é a concentração do material de parede, que também afeta diretamente o processo de encapsulação. Para utilização do HPMC nas formulações, a sua concentração foi reduzida em comparação à goma arábica (conforme apresentado na Tabela 2), devido à alta viscosidade das emulsões, que inviabilizaria a secagem por *spray dryer*. Martins e colaboradores (2021) destacaram que a redução da concentração do material de parede compromete a formação de uma matriz estável, resultando em menores valores de EE. De fato, a utilização de uma menor concentração de material de parede na fase aquosa da emulsão levou à redução da EE (formulações H1 e H2).

Por fim, as interações entre o óleo essencial e os polímeros também exercem um papel importante na eficiência de encapsulação. Melo *et al.* (2022) relataram que interações químicas entre o óleo essencial e o material de parede podem reduzir a EE, devido à dificuldade em encapsular o núcleo de forma eficiente. No entanto, conforme será discutido no item subsequente, este não foi um fator relevante que influenciou a EE do óleo de capim-limão nas micropartículas.

6.4 ESPECTROSCOPIA NO INFRAVERMELHO POR TRANSFORMADA DE FOURIER (FTIR)

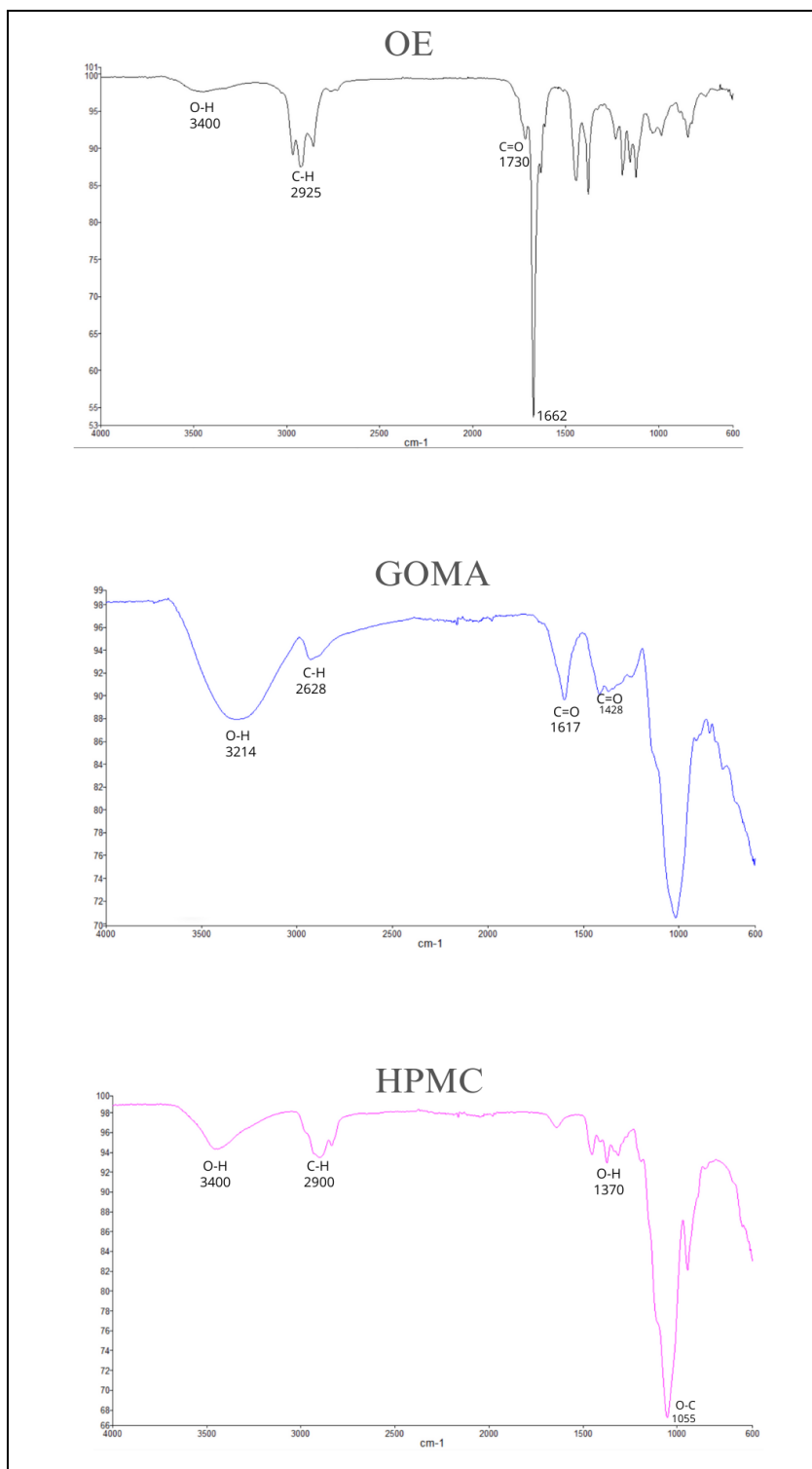
Os espectros de FTIR do OE de *Cymbopogon flexuosus*, goma arábica e HPMC são apresentados na Figura 8.

O espectro do OE apresenta uma banda de absorção em torno de 1730 cm^{-1} , característica do grupo carbonila ($\text{C}=\text{O}$) do citral (3,7-dimetil-2,6-octadienal), principal componente do óleo essencial de capim-limão, conforme observado por Martins (2021). A banda em torno de 3400 cm^{-1} é atribuída ao estiramento de O-H, enquanto a banda em 2925 cm^{-1} corresponde às vibrações de estiramento de C-H, ambas características de compostos alifáticos presentes no óleo essencial (Istiqomah *et al.*, 2022; Jiang *et al.*, 2020). Outra banda significativa, localizada em 1662 cm^{-1} , está relacionada a outros compostos presentes na composição do óleo essencial, contribuindo para a sua identificação e caracterização (Mendes *et al.*, 2020).

No espectro da HPMC observamos picos característicos em 3425 cm^{-1} , associados ao estiramento de O-H, e em 1370 cm^{-1} , atribuídos à vibração de flexão do grupo O-H, como observado por Khan (2022) e colaboradores. Outros picos foram observados em torno de 2925 cm^{-1} , indicando a presença de ligações C-H, e em 1055 cm^{-1} , relacionados às ligações O-C (Khan *et al.*, 2020).

Por último, o espectro FTIR da goma arábica apresentou bandas características em 3214 cm^{-1} atribuída ao estiramento do grupo hidroxila (O-H) da estrutura polissacarídica associada à presença de grupos hidroxila livres que contribuem para alta capacidade de interação intermolecular da goma arábica (Zonatto *et al.*, 2017). Outra banda significativa foi observada em 2628 cm^{-1} , associada ao estiramento de C-H das cadeias alifáticas nos componentes do polímero. Foram observadas bandas, também, em 1617 cm^{-1} e 1428 cm^{-1} , atribuídas ao grupo carboxila ($\text{C}=\text{O}$) e vibrações assimétricas de COO^- , respectivamente (Meiguni *et al.*, 2023).

Figura 8 - Espectro FTIR do OE *Cymbopogon flexuosus*, goma arábica e HPMC.



Fonte: Do autor (2024)

Para avaliar possíveis interações entre o OE de capim-limão e os polímeros utilizados como materiais de parede, foram comparados os espectros das misturas físicas (óleo essencial

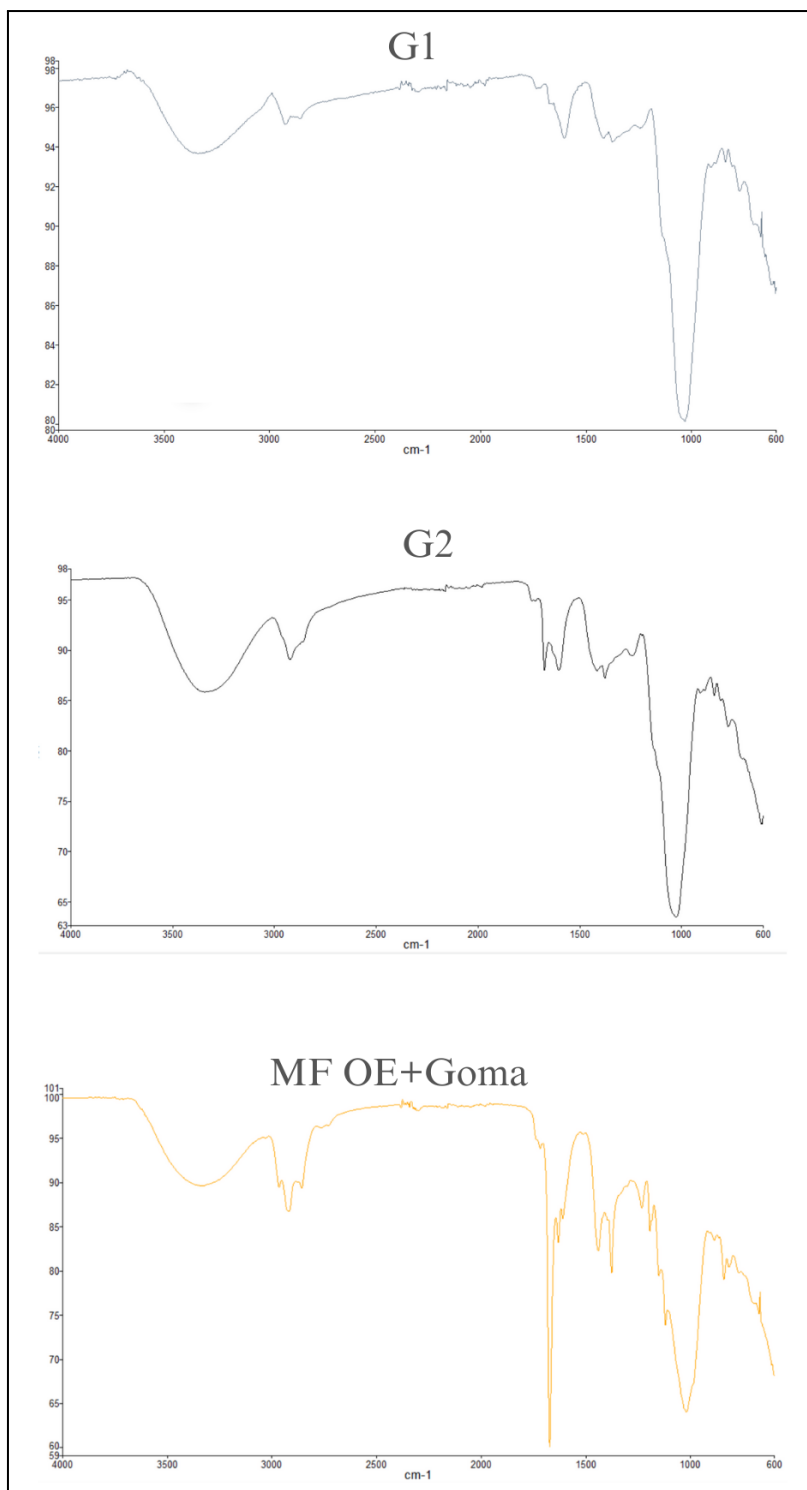
+ polímero) com os das micropartículas, nas diferentes formulações (G1, G2, H1 e H2). Conforme mencionado anteriormente, a EE pode ser influenciada não apenas pelas condições do processo de secagem, mas também pela interação química ou física entre os componentes da formulação, no qual as interações entre o óleo essencial e os polímeros podem indicar maior estabilidade da matriz encapsulante e contribuir para uma melhor retenção do núcleo ativo (Melo *et al.*, 2022).

Os espectros de FTIR das formulações G1, G2 e sua MF são apresentados na Figura 9. No espectro da mistura física, observaram-se bandas características tanto da goma arábica quanto do óleo essencial, como em 3214 cm^{-1} , atribuída ao estiramento do grupo O-H, e 2628 cm^{-1} , relacionada ao estiramento de C-H, além da banda em 1730 cm^{-1} , atribuída ao estiramento C=O do citral, principal composto do óleo essencial. Estas bandas não mostram deslocamentos ou alterações significativas, indicando ausência de interação evidente entre os componentes.

Essas bandas também estavam presentes nos espectros das micropartículas G1 e G2, sem alterações significativas, indicando que não houve interações químicas entre o óleo essencial e a goma arábica. No entanto, variações na intensidade das bandas foram observadas entre as amostras, possivelmente devido à diferença na proporção de óleo essencial utilizado em cada formulação. Especialmente nas micropartículas provenientes da formulação G1, a quantidade de polímero é muito superior à quantidade de OE. Por esse motivo, as bandas associadas ao OE aparecem com menor intensidade e, portanto, são menos evidentes, embora presentes.

Embora os espectros FTIR das formulações G1 e G2 não tenham apresentado alterações que indicassem interações químicas entre o OE e a goma arábica. Trabalhos como os de Garcia e colaboradores (2021) e Lima e colaboradores (2021) destacam que, mesmo sem a formação de novas ligações químicas, a goma arábica é capaz de proteger os compostos encapsulados durante o processo de secagem e preservar suas propriedades bioativas. Além disso, a compatibilidade química da goma arábica com compostos lipofílicos e sua capacidade de estabilizar emulsões contribuem para a eficiência do processo de encapsulação e a integridade dos compostos voláteis encapsulados.

Figura 9 - Espectro FTIR das micropartículas G1, G2 e MF Goma arábica+OE.



Fonte: Do autor (2024)

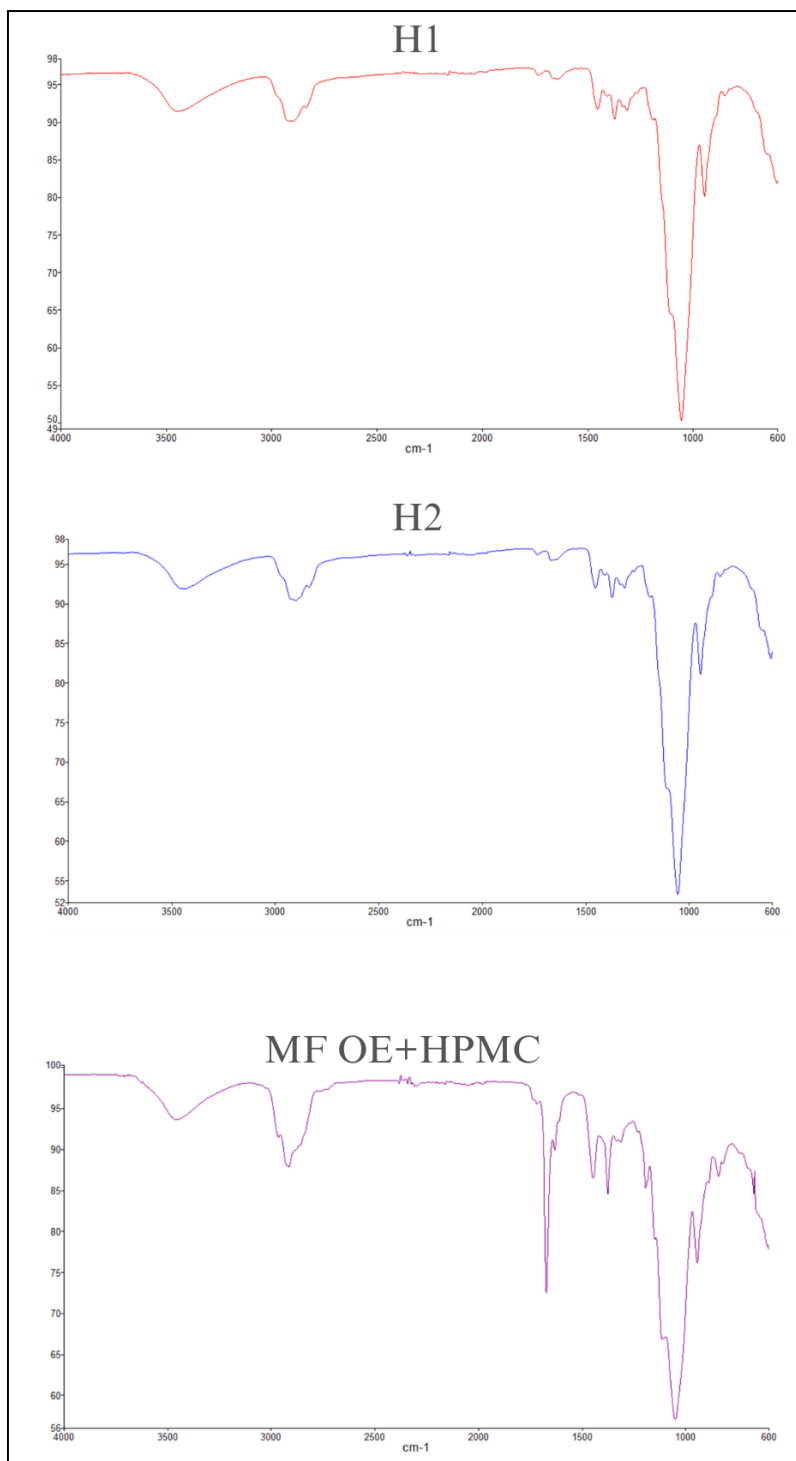
O mesmo comportamento foi observado no espectro de FTIR para as formulações utilizando a HPMC como material de parede, conforme apresentado na Figura 10. No espectro da MF OE + HPMC, foram identificadas tanto bandas características do óleo

essencial, como 3422 cm^{-1} (O-H), 2929 cm^{-1} (C-H) e 1730 cm^{-1} (C=O, citral), quanto bandas atribuídas ao HPMC, incluindo 1370 cm^{-1} . Essas bandas foram observadas sem alterações em suas posições ou formas, indicando que não houve interação química detectável entre os componentes na mistura física.

Nas micropartículas H1 e H2, o espectro revelou a predominância das bandas atribuídas ao HPMC, enquanto as bandas características do óleo essencial estavam ausentes. Isso pode ser atribuído à pequena quantidade de óleo essencial efetivamente encapsulado, mesmo em H2, que possui maior concentração de óleo essencial na formulação em comparação com H1. A ausência de picos evidentes do óleo essencial confirmam a baixa eficiência de encapsulação associada ao uso do HPMC como material de parede.

Esses resultados evidenciam as limitações do HPMC na formação de uma matriz encapsulante suficientemente coesa para reter compostos voláteis durante o processo de secagem por *spray drying*. A menor afinidade química entre o HPMC e os compostos lipofílicos do óleo essencial dificulta a formação de interações intermoleculares capazes de estabilizar a matriz polimérica, como descrito por Melo e colaboradores (2022). Além disso, a baixa capacidade emulsificante do HPMC contribui para a formação de emulsões menos estáveis, prejudicando a incorporação do óleo essencial durante o processo.

Figura 10 - Espectro FTIR das micropartículas H1, H2 e MF HPMC+OE.



Fonte: Do autor (2024)

7 CONSIDERAÇÕES FINAIS

A proporção entre o óleo essencial de *C. flexuosus* e o material de parede empregado no preparo da emulsão influenciaram a eficiência de encapsulação (EE). Formulações com maiores concentrações de óleo essencial apresentaram melhores resultados na retenção do óleo, evidenciando a necessidade de estabelecer um equilíbrio adequado entre esses componentes para otimizar o processo de encapsulação.

Dentre os parâmetros avaliados, a goma arábica destacou-se como o material de parede mais eficiente, apresentando desempenho superior em comparação ao HPMC. Essa superioridade está associada às propriedades intrínsecas da goma arábica, como maior afinidade por compostos lipofílicos, elevada capacidade emulsificante e formação de uma matriz coesa e homogênea. Por outro lado, o HPMC apresentou baixa eficiência de encapsulação devido à sua limitada capacidade de emulsificação e à formação de micropartículas estruturalmente menos estáveis. Esses resultados indicam que o HPMC, de forma isolada, não é o polímero ideal para encapsulação deste OE, sugerindo a necessidade de explorar combinações com outros materiais para melhorar a retenção de compostos voláteis.

Além disso, a concentração do polímero também foi um fator determinante na formação de micropartículas com propriedades estruturais e morfológicas adequadas. A goma arábica garantiu a formação de partículas com superfícies homogêneas, livres de trincas, enquanto as partículas formadas com HPMC apresentaram maior irregularidade estrutural e menor coesão.

Os resultados obtidos neste estudo reforçam a importância da seleção criteriosa de parâmetros como o tipo e a concentração do polímero, bem como a proporção de óleo essencial em relação ao material de parede. A otimização desses fatores é essencial para maximizar a eficiência de encapsulação e viabilizar aplicações industriais, especialmente em setores que demandam alta retenção e estabilidade de compostos bioativos.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- AGUIAR, V. S.; MENDES, B. M.; FONSECA, I. C.; *et al.* **Nanocápsulas de óleo essencial à base de polímero biodegradável: síntese e caracterização.** Journal of Innovation and Science: Research and Application, v. 2, n. 1, p. 1-11, 2020.
- AREFIN, P.; HASAN, I.; *et al.* **Design, characterization and in vitro evaluation of HPMC K100 M CR loaded Fexofenadine HCl microspheres.** SpringerPlus, v. 5, p. 691, 2016.
- AVOSEH, O.; OYEDEJI, O.; *et al.* **Cymbopogon species; ethnopharmacology, phytochemistry and the pharmacological importance.** Molecules, v. 20, n. 5, p. 7438-53, 2015.
- 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, abr. 2022.
- BAKKALI, F. *et al.* **Biological effects of essential oils – A review.** Food and Chemical Toxicology, v. 46, n. 2, p. 446–475, fev. 2008.
- BAZZO, C. G. **Piroxicam e cetoprofeno utilizados como fármacos modelo em micropartículas de PHB e PHB/quitosana: preparação, caracterização e avaliação do perfil de liberação.** Florianópolis.[Tese]. Santa Catarina: Programa de Pós-Graduação em Química, Universidade Federal de Santa Catarina, 2008.
- BORGES, L. P. *et al.* **Influence of Lemongrass Essential Oil (Cymbopogon flexuosus) Supplementation on Diabetes in Rat Model.** Life, v. 14, n. 3, p. 336, 2024.
- CAL, K.; SOLLOHUB, K. **Spray Drying Technique. I: Hardware and Process Parameters.** Journal of Pharmaceutical Sciences, v. 99, n. 2, p. 575–586, fev. 2010.
- CARVALHO, G. R., Fernandes, R. V. de B., Silva, P. de C. e, *et al.* **Influence of modified starches as wall materials on the properties of spray-dried lemongrass oil.** Journal of Food Science and Technology, 56(11), 4972–4981. 2019
- DJILANI, A.; DICKO, A. **The therapeutic benefits of essential oils.** In: BOUAYED, Jaouad (Ed.). Nutrition, well-being and health. London: IntechOpen, 2012. Cap. 7, p. 155-178.
- FERREIRA, L. M. de M. C.; PEREIRA, R. R.; *et al.* **Spray Drying Microencapsulation and Antioxidant Activity of Phenolic Compounds from Tucumã (Astrocaryum vulgare Mart.) Almond Byproduct.** Polymers, v. 14, n. 14, p. 2905, 2022.
- GANJEWALA, D. (2009). **Cymbopogon essential oils: Chemical compositions and bioactivities.** International Journal of Essential Oil Therapeutics, 3, 56-65.
- GAO, S. *et al.* **Antimicrobial activity of lemongrass essential oil (Cymbopogon flexuosus) and its active component citral against dual-species biofilms of Staphylococcus aureus**

and Candida species. *Frontiers in Cellular and Infection Microbiology*, v. 10, p. 603858, 2020.

GARCIA, L.G.S., da Rocha, M.G., Lima, L.R., *et al.* (2021). **Óleos essenciais encapsulados em micropartículas de quitosana contra biofilmes de Candida albicans.** *International Journal of Biological Macromolecules*, 166, 621–632.

GUNDEL, S. da S., Souza, M. E. de, Quatrin, P. M., *et al.* (2018). **Nanoemulsões contendo óleo essencial de Cymbopogon flexuosus: Desenvolvimento, caracterização, estudo de estabilidade e avaliação das atividades antimicrobiana e antibiofilme.** *Microbial Pathogenesis*, 118, 268–276.

HAN, X.; PARKER, T. L. **Anti-inflammatory and Skin Protective Properties of Lemongrass (Cymbopogon flexuosus) Essential Oil.** *Journal of Medicinal Plant Research*, v. 11, p. 145-152, 2017.

HEE, S. J. *et al.* **Microencapsulation of lemongrass oil with maltodextrin and gum arabic: Effects on physicochemical properties and oxidative stability.** *Journal of Food Science*, v. 84, n. 5, p. 1150-1159, 2019.

ISTIQOMAH, N.; WIDYASTUTI, Y.; *et al.*; **Atividades antioxidantes e antibacterianas de nanoemulsões de óleo essencial de capim-limão (Cymbopogon citratus).** *Journal of Applied Research on Medicinal and Aromatic Plants*, v. 27, 100373, 2022.

JIANG, Y.; WANG, X.; LI, Y.; ZHANG, L. **Encapsulação de óleos essenciais: técnicas e aplicações.** *Journal of Food Science and Technology*, v. 57, n. 10, p. 3218-3228, 2020.

KHAN, H. U.; AZIZ, S.; MAHEEN, S.; *et al.* **Superporous acrylic acid and HPMC hydrogels of mefenamic acid: Formulation, characterization and optimization by central composite design.** *Frontiers in Bioengineering and Biotechnology*, v. 10, 1057627, 2022.

KPOVIESSI, S. *et al.* **Antifungal activity of Cymbopogon citratus essential oil against mycotoxin-producing fungi during grain storage.** *Food Control*, v. 37, p. 104-110, 2014.

KURJAK, D.; SHAHID, M. **Lemongrass Essential Oil Components with Antimicrobial and Anticancer Activities.** *Antioxidants*, v. 11, n. 1, p. 20, 2022.

LAMMARI, N.; ELAISSARI, A.; BOUTEMEUR, B.; *et al.* **Nanocapsules containing Saussurea lappa essential oil: formulation, characterization, antidiabetic, anti-cholinesterase and anti-inflammatory potentials.** *Journal of Biotechnology and Biodiversity*, v. 9, n. 3, p. 248-258, 2021.

LIMA, L. R., Andrade, F. K., Alves, D. R., Morais, S. M. de, Vieira, R. S; *et al.* (2021). **Anti-acetilcolinesterase e toxicidade contra Artemia salina de micropartículas de quitosana carregadas com óleos essenciais de Cymbopogon flexuosus, Pelargonium x ssp e Copaifera officinalis.** *International Journal of Biological Macromolecules*, 167, 1361–1370.

LINKE, A.; KOHLUS, R. **Spray drying of emulsions: a review.** Journal of Food Engineering, v. 119, n. 4, p. 871-879, 2013

LUBBE, A.; VERPOORTE, R. **Cultivation of medicinal and aromatic plants for specialty industrial materials.** Industrial Crops and Products, v. 34, n. 1, p. 785–801, jul. 2011.

MARTINS, W. S., Araújo, J. S. F., Feitosa, B. F., *et al.* (2021). **Lemongrass (Cymbopogon citratus DC. Stapf) essential oil microparticles: Development, characterization, and antioxidant potential.** Food Chemistry, 355, 129644.

MEIGUNI, M. S. M.; SALAMI, M.; REZAEI, K.; *et al.* **Fabrication and characterization of a succinyl mung bean protein and arabic gum complex coacervate for curcumin encapsulation.** International Journal of Biological Macromolecules, v. 224, p. 170-180, 2023

MELO, A. M. de; BARBI, R. C. T.; ALMEIDA, F. L. C.; SOUZA, W. F. C. de; *et al.* de. **Effect of microencapsulation on chemical composition and antimicrobial, antioxidant and cytotoxic properties of lemongrass (Cymbopogon flexuosus) essential oil.** Food Technology and Biotechnology, v. 60, n. 3, p. 386-395, 2022.

MUKARRAM, M.; Choudhary, S.; Khan, M.A.; *et al.* **Lemongrass Essential Oil Components with Antimicrobial and Anticancer Activities.** Antioxidants, 2022, 11, 20.

NGUYEN, T. N. P.; VAN, C. K.; NGUYEN, T. T. T.; *et al.* **Influência dos parâmetros de secagem por spray nas características físico-químicas do óleo essencial de pomelo microencapsulado (Citrus grandis (L.) Osbeck).** Food Science and Biotechnology, v. 31, n. 12, p. 1679-1689, 2022.

PIROLT, F., *et al.* **Structural Study of (Hydroxypropyl)Methyl Cellulose Microemulsion-Based Gels Used for Biocompatible Encapsulations.** Nanomaterials, v. 10, n. 11, p. 2204, 2020.

PUDZIUVELYTE, Lauryna *et al.* **Microencapsulation of Elsholtzia ciliata Herb Ethanolic Extract by Spray-Drying: Impact of Resistant-Maltodextrin Complemented with Sodium Caseinate, Skim Milk, and Beta-Cyclodextrin on the Quality of Spray-Dried Powders.** Molecules, [s. l.], v. 24, n. 8, p. 1461, 2019.

RAJABI, H.; GHORBANI, M.; JAFARI, S. M.; *et al.* **Retention of saffron bioactive components by spray drying encapsulation using maltodextrin, gum arabic and gelatin as wall materials.** Food Hydrocolloids, v. 51, p. 327-337, 2015.

RATTES, A. L. R.; OLIVEIRA, W. P. **Encapsulação de óleos essenciais: uma revisão.** Ciência e Tecnologia de Alimentos. v. 27, n. 2, p. 246-252, 2007.

SAEDI, S. *et al.* **Optimization of spray drying conditions for microencapsulation of lemon essential oil using response surface methodology.** Drying Technology, v. 34, n. 5, p. 605-616, 2016.

SILVA, Maria Luiza Bopprê Philippi da. **Validação de metodologia analítica para a determinação da eficiência de encapsulação do óleo essencial de capim-limão**

(Cymbopogon flexuosus). 2022. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Farmácia) - Centro de Ciências da Saúde, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2022.

SOUSA, V.I.; PARENTE, J.F.; MARQUES, J.F.; *et al.* **Microencapsulation of Essential Oils: A Review.** *Polymers* 2022, 14, 1730

SUTAPHANIT, P.; CHITPRASERT, P. **Optimisation of microencapsulation of holy basil essential oil in gelatin by response surface methodology.** *Food Chemistry*, [s.l.], v. 150, p. 313-320, maio 2014.

TIMILSENA, Y. P.; HAQUE, M. A.; ADHIKARI, B. **Encapsulation in the food industry: a brief historical overview to recent developments.** *Food and Nutrition Sciences*, v. 11, n. 6, p. 481-508, 2020.

WANNISSORN, B. *et al.* **Antifungal activity of lemon grass and lemon grass oil cream.** *Phytotherapy Research*, v. 10, n. 7, p. 551-554, 1996.

ZONATTO, F.; MUNIZ, E. C.; TAMBOURGI, E. B.; *et al.* **Adsorption and controlled release of potassium, phosphate, and ammonia from modified Arabic gum-based hydrogel.** *International Journal of Biological Macromolecules*, v. 105, p. 363–369, 2017.