



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

Gabriela Perino de Almeida

**Microencapsulação de óleos essenciais:** técnicas e aplicações em produtos  
cosméticos.

Florianópolis

2025

Gabriela Perino de Almeida

**Microencapsulação de óleos essenciais: técnicas e aplicações em produtos  
cosméticos.**

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

Orientadora: Prof.<sup>a</sup> Dr.<sup>a</sup> Giovana Carolina Bazzo

Florianópolis

2025

Almeida, Gabriela Perino  
Microencapsulação de óleos essenciais :técnicas e  
aplicações em produtos cosméticos / Gabriela Perino  
Almeida ; orientadora, Giovana Carolina Bazzo, 2025.  
51 p.

Trabalho de Conclusão de Curso (graduação) -  
Universidade Federal de Santa Catarina, Centro de Ciências  
da Saúde, Graduação em Farmácia, Florianópolis, 2025.

Inclui referências.

1. Farmácia. 2. Microencapsulação. 3. Óleos essenciais.  
4. Cosméticos. 5. Cosmetotêxteis. I. Bazzo, Giovana  
Carolina . II. Universidade Federal de Santa Catarina.  
Graduação em Farmácia. III. Título.

Gabriela Perino de Almeida

**Microencapsulação de óleos essenciais:** técnicas e aplicações em produtos cosméticos.

Este Trabalho de Conclusão de Curso foi julgado adequado para obtenção do título de Bacharel e aprovado em sua forma final pelo Curso de Farmácia.

Florianópolis, 27 de Novembro de 2025

Coordenação do Curso

**Banca examinadora**

Prof.<sup>a</sup> Dr.<sup>a</sup> Giovana Carolina Bazzo

Orientadora

Prof.<sup>a</sup> Dr.<sup>a</sup> Bianca Ramos Pezzini

Instituição UFSC

Prof. Dr. Marcos Antônio Segatto Silva

Instituição UFSC

Florianópolis, 2025.

Dedico este trabalho à minha família, presente em todos os momentos com amor e apoio incondicional. Ao meu namorado, pelo incentivo e paciência ao longo dessa caminhada, mostrando-me que, com determinação, tudo é possível. Esta conquista é, em grande parte nossa, e não teria sido possível sem o apoio de todos.

## **AGRADECIMENTOS**

Gostaria de expressar minha sincera gratidão aos professores que contribuíram para o desenvolvimento deste trabalho. À professora Bianca, pelo olhar atento, pelas contribuições valiosas e pela postura crítica que enriqueceram este estudo. Seu comprometimento e disposição em apoiar-me durante todo o processo de avaliação foram fundamentais para o aprimoramento desta pesquisa. Ao professor Marcos, pelas observações precisas e pela paciência em analisar cada detalhe deste projeto. Sua experiência e conhecimento foram essenciais para meu crescimento acadêmico e pessoal ao longo dessa jornada. À minha orientadora, Giovana, registro minha eterna gratidão. Sua orientação, paciência e dedicação foram indispensáveis para a realização deste trabalho. Agradeço profundamente pela confiança, pelos ensinamentos e por sempre acreditar no meu potencial. Sem seu apoio, esta conquista não teria sido possível.

## RESUMO

Este trabalho teve como objetivo investigar as principais técnicas de microencapsulação de óleos essenciais e analisar suas aplicações em produtos cosméticos e cosmetotêxteis, destacando benefícios, limitações e desafios relacionados à sua estabilidade e eficácia. Os óleos essenciais são compostos naturais de grande interesse para a indústria cosmética devido às suas diferentes propriedades terapêuticas, além de contribuírem para a redução do uso de conservantes e antioxidantes sintéticos e oferecerem maior apelo sensorial às formulações. No entanto, sua natureza volátil e sensibilidade a fatores ambientais como luz, calor, oxigênio e umidade comprometem a estabilidade e reduzem a vida útil dos produtos, tornando necessária a adoção de estratégias tecnológicas capazes de preservar suas propriedades e potencializar seus efeitos. A microencapsulação surge nesse contexto como uma alternativa promissora, pois protege os óleos essenciais de condições adversas, favorece a liberação controlada dos ativos, melhora o manuseio e aumenta a viabilidade de sua aplicação em larga escala. Para o desenvolvimento deste estudo foi realizada uma revisão da literatura com busca de artigos científicos em bases de dados internacionais, considerando publicações entre 2010 e 2025 que abordassem técnicas de microencapsulação de óleos essenciais e suas aplicações na área cosmética. Entre as técnicas analisadas destacam-se a coacervação, a secagem por atomização e a liofilização, cada uma com vantagens específicas em termos de eficiência de encapsulamento, custos e escalabilidade industrial. Também foram discutidos os materiais de encapsulação mais utilizados, que desempenham papel essencial na estabilidade das micropartículas e na modulação da liberação dos compostos ativos. Além das aplicações em formulações convencionais, evidenciou-se a utilização dos óleos essenciais microencapsulados em cosmetotêxteis, tecidos funcionais que liberam gradualmente os ativos em contato com a pele, proporcionando benefícios como hidratação, firmeza, suavidade e ação antimicrobiana, sem comprometer as propriedades estruturais do material. A análise dos estudos demonstra que a microencapsulação de óleos essenciais representa uma solução inovadora e alinhada às exigências atuais do mercado por produtos cosméticos mais naturais, seguros, sustentáveis e tecnologicamente avançados. Assim, a pesquisa reforça a relevância da aplicação dessas técnicas no desenvolvimento de formulações mais eficazes e competitivas, além de evidenciar o potencial de expansão do uso de óleos essenciais encapsulados no setor cosmético e em áreas correlatas.

**Palavras-chave:** microencapsulação; óleos essenciais; cosméticos; cosmetotêxteis; técnicas de encapsulação.

## ABSTRACT

This work aims to investigate the main techniques of essential oil microencapsulation and analyze their applications in cosmetic products and cosmetotextiles, highlighting benefits, limitations, and challenges related to stability, efficacy, and innovation. Essential oils are natural compounds of great interest to the cosmetic industry due to their various therapeutic properties, as well as their contribution to reducing the use of synthetic preservatives and antioxidants, and enhancing the sensory appeal of formulations. However, their volatile nature and sensitivity to environmental factors such as light, heat, oxygen, and humidity compromise stability and reduce product shelf life, making it necessary to adopt technological strategies capable of preserving their properties and enhancing their effects. In this context, microencapsulation emerges as a promising alternative, as it protects essential oils from adverse conditions, promotes controlled release of active compounds, improves handling, and increases the feasibility of large-scale applications. This study was developed through a literature review with searches for scientific articles in international databases, considering publications between 2010 and 2025 addressing microencapsulation techniques of essential oils and their applications in cosmetics. Among the techniques analyzed, coacervation, spray drying, and lyophilization stand out, each with specific advantages in terms of encapsulation efficiency, cost, and industrial scalability. The most widely used encapsulating materials were also discussed, as they play an essential role in the stability of microparticles and in modulating the release of active compounds. Beyond conventional formulations, the use of microencapsulated essential oils in cosmetotextiles was also highlighted, referring to functional fabrics that gradually release active substances upon contact with the skin, providing benefits such as hydration, firmness, smoothness, and antimicrobial action without compromising the structural properties of the material. The analysis of the studies demonstrates that essential oil microencapsulation represents an innovative solution aligned with current market demands for more natural, safe, sustainable, and technologically advanced cosmetic products. Thus, this research reinforces the relevance of applying these techniques in the development of more effective and competitive formulations, while also highlighting the potential for expanding the use of encapsulated essential oils in the cosmetic sector and related areas.

**Keywords:** *microencapsulation; essential oils; cosmetics; cosmetotextiles; encapsulation techniques.*

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Representação esquemática de uma microcápsula e de uma microesfera.....	24
Figura 2 – Diagrama esquemático do mecanismo de liberação controlada de um óleo essencial em resposta a estímulos externos.....	25
Figura 3 – Esquema representativo da técnica de coacervação simples.....	28
Figura 4 – Esquema representativo da técnica de coacervação complexa.....	30
Figura 5 – Representação esquemática de secagem em spray.....	31
Figura 6 – Ilustração de diferentes sistemas de emulsões.....	34
Figura 7 – Diagrama esquemático da técnica de liofilização.....	35

## LISTA DE QUADROS

Quadro 1 – Óleos essenciais aplicados em diferentes categorias de produtos cosméticos.....	21
Quadro 2 – Atividades de diferentes tipos de óleos essenciais que justificam sua aplicação em formulações cosméticas.....	22
Quadro 3 – Tamanho das micropartículas produzidas por diferentes tecnologias de microencapsulação e suas vantagens e limitações.....	26
Quadro 4 – Materiais de parede típicos usados para encapsulamento utilizando a técnica de <i>spray drying</i> . ....	32
Quadro 5 – Potencial aplicação cosmética de diferentes óleos essenciais em virtude de suas propriedades.....	38

## LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

A/O	Água em óleo
A/O/A	Água em óleo em água
GA	Goma arábica
IN	Inulina
MD	Maltodextrina
O/A	Óleo em água
O/A/O	Óleo em água em óleo
OE	Óleo Essencial
OEs	Óleos Essenciais

## SUMÁRIO

<b>1.</b>	<b>INTRODUÇÃO</b> .....	<b>12</b>
<b>2.</b>	<b>JUSTIFICATIVA</b> .....	<b>15</b>
<b>3.</b>	<b>OBJETIVOS</b> .....	<b>17</b>
3.1	OBJETIVO GERAL .....	17
3.2	OBJETIVOS ESPECÍFICOS .....	17
<b>4.</b>	<b>METODOLOGIA</b> .....	<b>18</b>
<b>5.</b>	<b>REVISÃO DA LITERATURA</b> .....	<b>19</b>
5.1	ÓLEOS ESSENCIAIS .....	19
5.2	APLICAÇÃO DOS ÓLEOS ESSENCIAIS EM COSMÉTICOS .....	20
5.3	MICROENCAPSULAÇÃO .....	23
<b>5.3.1</b>	<b>TÉCNICAS DE MICROENCAPSULAÇÃO</b> .....	<b>25</b>
5.3.1.1	<i>COACERVAÇÃO</i> .....	27
5.3.1.2	<i>SPRAY DRYING</i> .....	30
5.3.1.3	<i>EMULSIFICAÇÃO</i> .....	34
5.3.1.4	<i>LIOFILIZAÇÃO</i> .....	35
5.4	MICROENCAPSULAÇÃO DE ÓLEOS ESSENCIAIS .....	36
<b>5.4.1</b>	<b>ÓLEOS ESSENCIAIS MICROENCAPSULADOS COM POTENCIAL APLICAÇÃO EM FORMULAÇÕES COSMÉTICAS</b> .....	<b>37</b>
<b>5.4.2</b>	<b>ÓLEOS ESSENCIAIS MICROENCAPSULADOS EM COSMETOTÊXTEIS</b> <b>40</b>	
<b>6</b>	<b>CONCLUSÃO</b> .....	<b>43</b>

## 1. INTRODUÇÃO

Os óleos essenciais (OEs) são compostos naturais, voláteis e de estrutura química complexa, caracterizados por suas fragrâncias intensas (Tian *et al.*, 2021). São reconhecidos por suas propriedades antissépticas – atuando como bactericidas, fungicidas e virucidas – além de suas aplicações medicinais e em fragrâncias (Jiao *et al.*, 2024). A biossíntese dos OEs pode ocorrer em diferentes partes da planta, como flores, folhas, caules, sementes, raízes e casca, sendo armazenados em estruturas especializadas como células secretoras e cavidades (Aqeel *et al.*, 2023).

O crescente interesse dos consumidores por produtos cosméticos de origem natural impulsionou uma transformação significativa no setor vinculado à saúde e beleza, gerando uma demanda contínua por novas formulações que conciliem eficácia, segurança e sustentabilidade (Ratajczak *et al.*, 2023). Essa tendência reflete uma maior conscientização sobre os impactos de componentes sintéticos na saúde humana e no meio ambiente, o que levou à valorização de ativos naturais, como os OEs (Rybczyńska-Tkaczyk *et al.*, 2023). Como consequência, a indústria cosmética tem sido incentivada a investir em inovação tecnológica e em pesquisas voltadas ao desenvolvimento de produtos que atendam às expectativas de um público consumidor cada vez mais exigente e informado (Timpanaro; Cascone, 2025).

Neste contexto, a incorporação de OEs em formulações cosméticas mostrou-se uma estratégia eficaz, não apenas por agregar propriedades sensoriais e terapêuticas, mas também por contribuir para a estabilidade oxidativa e microbiológica dos produtos (Mamusa *et al.*, 2021). Essa ação permite a redução do uso de conservantes e antioxidantes sintéticos, atendendo à demanda por produtos mais naturais e com menor potencial de causar irritações ou reações alérgicas (Boukhira *et al.*, 2024).

No entanto, devido à sua natureza volátil e à suscetibilidade à degradação química induzida por fatores como luz, calor, umidade e oxigênio, os OEs apresentam uma vida útil limitada (Achagar *et al.*, 2024). Para preservar suas propriedades e minimizar os efeitos deteriorantes durante o processamento e o armazenamento, a microencapsulação se destaca como uma das técnicas mais

eficazes (NezamdoostSani *et al.*, 2024). Além disso, essa tecnologia permite a liberação controlada dos compostos ativos, além de melhorar suas características de manuseio, o que favorece sua aplicação em uma ampla variedade de formulações (Baser; Buchbauer, 2024).

O processo de microencapsulação consiste no revestimento de partículas ou gotículas de materiais sólidos ou líquidos com um filme polimérico (He *et al.*, 2018). Considerando seu potencial para aprimorar a estabilidade, a utilização e a viabilidade comercial dos OEs, diversas estratégias estão sendo desenvolvidas com o objetivo de maximizar sua eficácia e aplicabilidade no setor cosmético (Guzmán; Lucia, 2021). Dentre as principais técnicas empregadas para microencapsulação destacam-se a coacervação, a secagem por atomização e a liofilização (Sousa *et al.*, 2022). Cada uma dessas abordagens apresenta características específicas quanto à eficiência de encapsulamento, viabilidade econômica, potencial de escalonamento industrial e capacidade de preservar as propriedades físico-químicas e funcionais dos OEs microencapsulados (Tian *et al.*, 2021).

Além da escolha adequada da técnica de microencapsulação, a seleção dos materiais encapsulantes – como goma arábica, gelatina, alginato e polímeros sintéticos – é fundamental para garantir a estabilidade das micropartículas e controlar a liberação dos compostos ativos (Yang *et al.*, 2024).

Cabe-se destacar, ainda, a aplicação dos OEs microencapsulados a cosmetotêxteis, ou têxteis cosméticos, materiais funcionalizados por meio da incorporação de substâncias bioativas em suas fibras ou em sua superfície, com a finalidade de promover a liberação controlada de ativos com propriedades benéficas à pele (Julaeha *et al.*, 2023). Essa integração entre tecnologia têxtil e cosmética possibilita o desenvolvimento de produtos com propriedades funcionais duradouras.

Assim, a microencapsulação de OEs configura-se como uma estratégia versátil e sustentável, com potencial para melhorar a forma como ativos naturais são aplicados em cosméticos e têxteis funcionais. Contudo, embora avanços significativos tenham sido alcançados, ainda há necessidade de estudos que aprofundem a compreensão das interações entre os OEs encapsulados, os materiais de parede e as matrizes cosméticas, bem como dos mecanismos de liberação controlada e estabilidade a longo prazo (He *et al.*, 2018). Esses

conhecimentos são fundamentais para otimizar a eficiência, segurança e desempenho dos produtos cosméticos e cosmetotêxteis de nova geração (Cunha *et al.*, 2021).

## 2. JUSTIFICATIVA

A justificativa do presente trabalho se dá na importância de desenvolver produtos cosméticos que sejam eficazes, seguros e inovadores, capazes de atender às crescentes demandas do mercado e às expectativas dos consumidores, cada vez mais exigentes quanto à qualidade e aos benefícios proporcionados pelos produtos que utilizam. Dentro desse cenário, a utilização de óleos essenciais em formulações cosméticas e em cosmetotêxteis tem ganhado destaque significativo devido às suas reconhecidas propriedades terapêuticas, antimicrobianas e antioxidantes. Entretanto, as características físico-químicas dos OEs, como alta volatilidade, sensibilidade à luz, oxigênio e temperatura, podem comprometer a estabilidade, eficácia e a vida útil dos produtos que os incorporam. Essas limitações impõem desafios técnicos que necessitam de soluções inovadoras para garantir a manutenção das propriedades funcionais dos ativos durante o armazenamento e uso.

Nesse contexto, diferentes técnicas de microencapsulação surgem como uma tecnologia promissora, capaz de proteger os OEs contra agentes externos, controlar sua liberação de forma precisa e, conseqüentemente, potencializar seus efeitos terapêuticos e cosméticos. A microencapsulação permite ainda a melhoria da solubilidade dos compostos encapsulados, facilitando a sua incorporação a formulações com diferentes propriedades, fator fundamental para a competitividade e o sucesso comercial no setor cosmético.

Por se tratar de uma temática que integra inovação tecnológica e avanços científicos no setor cosmético – além da necessidade de ampliar o número de estudos e publicações científicas que explorem tanto as diferentes técnicas de microencapsulação quanto suas aplicações práticas em cosméticos – a relevância deste trabalho é evidenciada.

Dessa forma, justifica-se a realização do presente estudo, que busca contribuir para o avanço do conhecimento e para a promoção de práticas mais eficazes no desenvolvimento de produtos cosméticos à base de OEs. Adicionalmente, pretende-se que os resultados obtidos possam ser publicados em uma revista científica da área de cosmetologia, tendo em vista que se trata de um

tema de grande potencial, porém ainda pouco divulgado, colaborando assim para a ampliação da divulgação científica e para o fortalecimento do conhecimento técnico na área.

### 3. OBJETIVOS

#### 3.1 OBJETIVO GERAL

Investigar as principais técnicas para microencapsulação de óleos essenciais e analisar suas possíveis aplicações em produtos cosméticos e cosmetotêxteis, destacando os benefícios e desafios relacionados à estabilidade, eficácia e inovação nas formulações.

#### 3.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Identificar e descrever as principais técnicas de microencapsulação utilizadas para óleos essenciais, como spray drying, coacervação, emulsificação e liofilização.
- Avaliar as vantagens e limitações das diferentes técnicas de microencapsulação dos óleos essenciais.
- Investigar e descrever os principais polímeros que vêm sendo utilizados como materiais encapsulantes para a microencapsulação de OEs.
- Apresentar os principais óleos essenciais microencapsulados que possuem propriedades interessantes para aplicação na área cosmética.
- Descrever as aplicações práticas da microencapsulação de óleos essenciais em cosmetotêxteis.

#### 4. METODOLOGIA

O presente trabalho trata-se de uma revisão da literatura sobre técnicas e aplicações de microencapsulação de óleos essenciais em produtos cosméticos, incluindo formulações e cosmetotêxteis. Para a busca de artigos foram utilizadas as bases de dados PubMed e Science Direct. O Google Acadêmico também foi utilizado para pesquisas pontuais.

Foram utilizadas como palavras-chave os termos *microencapsulation*, *essential oil* e *cosmetic*, sendo que os dois primeiros deveriam estar presentes no título e/ou no resumo dos trabalhos selecionados, enquanto o termo *cosmetic* poderia constar em qualquer parte do texto. A pesquisa foi feita com os termos em inglês. Como critérios de inclusão e exclusão, foram aceitos artigos que tivessem sido publicados entre 2010 e 2025 e que abordassem técnicas de microencapsulação de óleos essenciais e suas aplicações em cosméticos, incluindo cosmetotêxteis. As palavras-chave foram organizadas por meio dos operadores booleanos: “AND”, “OR” e “NOT” visando otimizar a busca de artigos aptos a participar da revisão. Os artigos selecionados foram lidos integralmente e organizados em uma tabela no Excel para facilitar a visualização.

A partir do estabelecimento de uma base de dados foi realizada uma discussão sobre os estudos selecionados e os resultados obtidos que estivessem relacionados a aplicação de óleos essenciais na área de cosméticos utilizando diferentes técnicas de microencapsulação.

## 5. REVISÃO DA LITERATURA

### 5.1 ÓLEOS ESSENCIAIS

Os OEs são produtos odoríferos de composição complexa, obtidos de matérias-primas vegetais botanicamente definidas por processos como destilação a vapor, destilação a seco ou extração mecânica sem aquecimento (Sousa *et al.*, 2022). Constituídos por misturas de compostos aromáticos voláteis, apresentam-se, em sua maioria, como líquidos à temperatura ambiente, possuindo características hidrofóbicas e lipofílicas (Stevanovic *et al.*, 2020).

Biossintetizados como metabólitos secundários, os OEs podem ser encontrados em diferentes órgãos vegetais, incluindo flores, folhas, frutos, sementes, cascas, raízes e rizomas, sendo extraídos de tecidos aromáticos sob a forma de líquidos oleosos (Ferreira *et al.*, 2022). Cada óleo essencial recebe o nome da planta de origem e é responsável por conferir a ela sua fragrância característica, marcando seu odor ou sabor (Tian *et al.*, 2021).

O perfil aromático de cada OE depende da composição de seus constituintes, cuja volatilidade e proporções relativas determinam o aroma particular. Essas características não apenas definem suas propriedades sensoriais, mas também estão associadas a funções biológicas importantes, tanto nas plantas quanto em organismos vivos (Jugreet *et al.*, 2020).

Neste contexto, os OEs têm se destacado por apresentarem uma ampla gama de propriedades de interesse científico e tecnológico, despertando aplicações em diferentes áreas (Tian *et al.*, 2021). Entre suas principais propriedades, destacam-se efeitos quimioterápicos, antifúngicos, antivirais, antimicrobianos, analgésicos, anti-inflamatórios e antiparasitários, dependendo do tipo de OE, o que os torna candidatos promissores para diferentes aplicações (Sousa *et al.*, 2022). Na saúde, estudos evidenciam seu potencial na prevenção e tratamento de doenças crônicas, graças a mecanismos como atividade antioxidante, ação antimutagênica, efeito antiproliferativo, modulação do sistema imunológico e estímulo à desintoxicação celular, conferindo propriedades quimiopreventivas relevantes (Abdoul-Latif *et al.*, 2023).

Além do campo medicinal, os OEs encontram espaço na indústria cosmética, em razão de seu caráter multifuncional que alia propriedades terapêuticas e apelo sensorial, e na indústria alimentícia, onde vêm sendo empregados como conservantes naturais capazes de prolongar a vida útil dos alimentos sem a necessidade de aditivos sintéticos (Sousa *et al.*, 2022). Na agricultura, por sua vez, destacam-se como alternativas sustentáveis aos pesticidas químicos, contribuindo para reduzir perdas de qualidade e produtividade, ao mesmo tempo em que minimizam riscos ambientais e à saúde (Minozzo *et al.*, 2021).

## 5.2 APLICAÇÃO DOS ÓLEOS ESSENCIAIS EM COSMÉTICOS

Os cosméticos podem ser definidos como produtos destinados ao cuidado, higiene e embelezamento, abrangendo categorias que incluem proteção e manutenção da pele, limpeza, cuidados capilares, depilação, manutenção das mucosas e fragrâncias (Guzmán; Lucia, 2021). A indústria cosmética, em constante evolução, desenvolve desde itens básicos de higiene até produtos mais sofisticados, como perfumes e maquiagens, inovando continuamente para atender às expectativas de consumidores cada vez mais exigentes (Sharmeen *et al.*, 2021).

Diante deste cenário, o renovado interesse por produtos de origem natural impulsionou pesquisas voltadas ao aproveitamento de extratos de plantas, visando incorporar seus benefícios em formulações cosméticas (Rybczyńska-Tkaczyk *et al.*, 2023). Um exemplo prático dessa tendência é a incorporação de óleos essenciais em diferentes categorias de produtos cosméticos – como hidratantes, agentes antienvelhecimento, protetores solares, pós sol, shampoos, sabonetes e até têxteis funcionais – conforme sintetizado no Quadro 1.

Quadro 1 – Óleos essenciais aplicados em diferentes categorias de produtos cosméticos.

<b>Tipo do produto cosmético</b>	<b>Óleo essencial</b>
Hidratante	Camomila ( <i>Matricaria chamomilla</i> )
Antienvelhecimento	Baunilha ( <i>Vanilla sp</i> ) Sândalo ( <i>Santalum álbum</i> ) Oliva ( <i>Olea europaea</i> ) Camomila ( <i>Matricaria chamomilla</i> )
Anti-ressecamento Antirrugas	Camélia ( <i>Camellia japonica</i> ) Centela ( <i>Centella asiática</i> )
Antiacne	Alecrim ( <i>Rosmarinus officinalis</i> )
Protetor solar	Lavanda ( <i>Lavandula sp</i> ) Orégano ( <i>Origanum vulgare</i> )
Pós sol	Chá-verde ( <i>Camellia sinensis</i> ) Hortelã-pimenta ( <i>Mentha</i> ) Camomila ( <i>Matricaria chamomilla</i> )
Protetores solares	Orégano ( <i>Origanum majorana</i> ) Lavanda ( <i>Lavandula sp</i> )
Têxteis cosméticos	Lavanda ( <i>Lavandula sp</i> ) Sálvia ( <i>Salvia officinalis</i> ) Alecrim ( <i>Rosmarinus officinalis</i> ) Babosa ( <i>Aloe vera</i> )
Shampoos e sabonetes	Alecrim ( <i>Rosmarinus officinalis</i> ) Laranja-doce ( <i>Citrus sinensis</i> ) Lavanda ( <i>Lavandula sp</i> )

Fonte: adaptado de Carvalho *et al.*, 2015.

Desde a antiguidade, os OEs têm sido amplamente utilizados por suas propriedades aromáticas, conferindo fragrâncias marcantes e agradáveis aos produtos cosméticos (Achagar *et al.*, 2024). Com o avanço científico, descobriu-se que esses compostos apresentam propriedades biológicas de grande relevância, como atividades antimicrobiana, antifúngica, antioxidante, antimelanogênica e antienvhecimento (Sousa *et al.*, 2022). Tais propriedades, sintetizadas no Quadro 2, reforçam o potencial dos OEs como ingredientes ativos em formulações cosméticas. Essa ampliação do conhecimento transformou-os em insumos multifuncionais, capazes de aliar fragrância, ação terapêutica e funcionalidade aos cosméticos (Cunha *et al.*, 2021).

Quadro 2 – Atividades de diferentes tipos de óleos essenciais que justificam sua aplicação em formulações cosméticas.

<b>Óleo essencial</b>	<b>Atividade</b>	<b>Referência</b>
Capim-limão ( <i>Cymbopogon citratus</i> )	Antimicrobiana	Martins <i>et al.</i> (2021)
	Antioxidante	
Melaleuca ( <i>Melaleuca alternifolia</i> )	Antioxidante	Yang <i>et al.</i> (2024)
	Antimicrobiana	
Gengibre ( <i>Zingiber officinale</i> )	Antioxidante	Fernandes <i>et al.</i> (2016)
	Antimicrobiana	
Canela ( <i>Cinnamomum</i> )	Antimicrobiana	Nabavi <i>et al.</i> (2015)
Laranja lima ( <i>Citrus aurantifolia</i> )	Antioxidante	Lin <i>et al.</i> (2019)
Zimbro ( <i>Juniperus communis</i> L.)	Antimicrobiana	Zheljazkov <i>et al.</i> (2018)
	Antioxidante	
	Antienvhecimento	Pandey <i>et al.</i> (2018)

Fonte: adaptado pela autora.

Entre os principais benefícios da aplicação dos OEs destaca-se a capacidade de reduzir ou substituir conservantes sintéticos, tradicionalmente empregados para garantir a estabilidade microbiológica dos produtos, mas frequentemente associados a reações adversas, como irritações cutâneas e alergias (Boukhira *et al.*, 2024). O

metilparabeno, por exemplo, é o conservante sintético mais utilizado na indústria cosmética devido à sua eficácia e estabilidade; contudo, estudos apontam possíveis riscos à saúde relacionados ao seu uso (Herman *et al.*, 2012). Neste contexto, OEs obtidos de espécies vegetais como *Rosmarinus officinalis* e *Cymbopogon citratus* vêm despertando crescente interesse científico, uma vez que apresentam comprovada atividade antimicrobiana, configurando-se como alternativas naturais promissoras para a substituição parcial ou total de conservantes sintéticos em produtos cosméticos (Rybczyńska-Tkaczyk *et al.*, 2023).

Desta forma, os OEs com propriedades antimicrobianas destacam-se como alternativas naturais e seguras, cada vez mais valorizadas pelos consumidores (Cunha *et al.*, 2021). No entanto, cabe destacar que alguns OEs podem apresentar efeito irritante para a pele, devendo, portanto, ser utilizados com cautela e incorporados às formulações em concentrações adequadas (Baser; Buchbauer, 2024).

Assim, os óleos essenciais constituem-se como ingredientes estratégicos e multifuncionais no setor cosmético. Sua incorporação representa não apenas uma resposta à demanda por produtos eficazes, naturais e sustentáveis, mas também um caminho promissor para o desenvolvimento de formulações mais competitivas e alinhadas às exigências de um mercado em constante transformação.

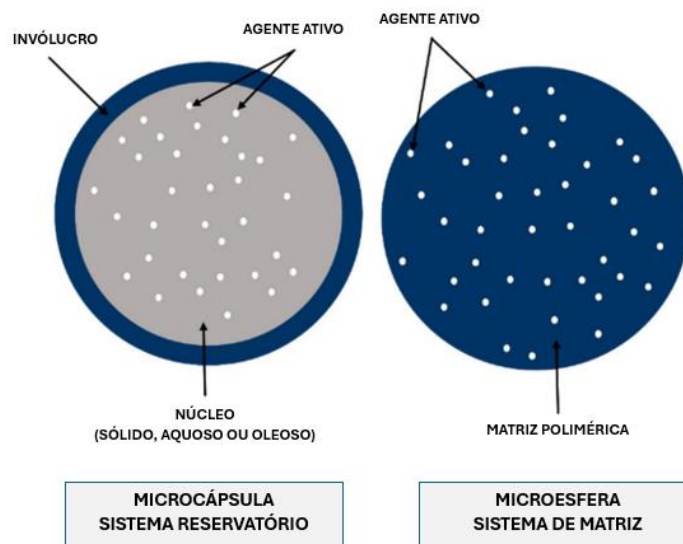
### 5.3 MICROENCAPSULAÇÃO

A microencapsulação é uma tecnologia aplicada à proteção de pequenas partículas sólidas, líquidas ou gasosas por meio de um sistema de revestimento, no qual o material encapsulado recebe o nome de núcleo e a camada protetora é denominada parede ou agente encapsulante (Sousa *et al.*, 2022). Essa camada protetora pode ser formada por polímeros naturais, sintéticos ou semissintéticos, que devem ser quimicamente inertes, de modo a não reagirem com o núcleo e, ao mesmo tempo, formar uma película coesa e estável (Mehta *et al.*, 2022). A escolha dos materiais de encapsulação, responsáveis por formar a parede protetora da partícula, é um fator crucial no processo de microencapsulação, pois deve considerar suas propriedades físico-químicas, a compatibilidade com o composto

ativo e o desempenho frente a condições ambientais específicas, como variações de pH, temperatura e umidade (Jiao *et al.*, 2024).

As micropartículas podem variar em tamanho, forma e morfologia, dependendo da técnica e do material encapsulante utilizado. Classificam-se em dois sistemas principais: microcápsulas – quando o núcleo se encontra concentrado no centro e envolvido por uma parede contínua, configurando um sistema do tipo reservatório; e microesferas – quando o agente ativo está disperso em uma matriz polimérica, deixando parte do material encapsulado exposto na superfície da micropartícula, como demonstrado na Figura 1 (Sousa *et al.*, 2022).

Figura 1 – Representação esquemática de uma microcápsula e de uma microesfera.

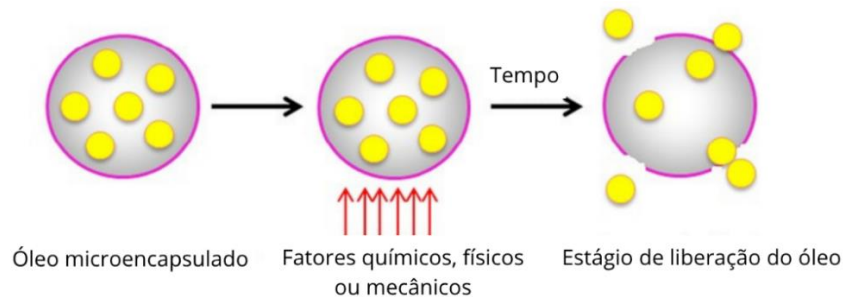


Fonte: Sousa *et al.*, 2022.

A definição do tipo de micropartícula deve estar alinhada à finalidade da aplicação, sendo necessário definir parâmetros como formato, tamanho, permeabilidade, biodegradabilidade, biocompatibilidade, resistência e flexibilidade das partículas (Sousa *et al.*, 2022). Esses atributos influenciam diretamente não apenas a proteção física e química do núcleo, mas também o mecanismo de liberação, que pode ocorrer por difusão, degradação da parede polimérica ou em resposta a estímulos externos, como variações de temperatura, solubilidade e pH, como demonstrado na Figura 2. Esse controle de liberação, gradual e funcional, é

considerado uma das principais vantagens da microencapsulação (Nezamdoost-Sani *et al.*, 2024).

Figura 2 – Diagrama esquemático do mecanismo de liberação controlada de um óleo essencial em resposta a estímulos externos.



Fonte: Bakry *et al.*, 2015.

Além da possibilidade de controlar a liberação, a microencapsulação atua como uma barreira contra fatores externos – como oxigênio, luz, umidade e agentes químicos – que poderiam comprometer a estabilidade dos compostos ativos (Pavoni *et al.*, 2020). Graças a essas características, a microencapsulação tem sido aplicada na indústria cosmética, possibilitando a proteção de OEs contra oxidação e evaporação, prolongando a vida útil dos produtos, melhorando o manuseio em processos de fabricação e armazenamento, além de possibilitar a liberação prolongada ou direcionada dos ativos (Bajac *et al.*, 2025).

As técnicas de microencapsulação, portanto, desempenham um papel estratégico na proteção e funcionalização dos agentes ativos frente a fatores ambientais, além de contribuírem para a redução de problemas relacionados à insolubilidade, higroscopicidade, reatividade e volatilidade dos compostos. Além disso, podem evitar interações indesejadas com outros ingredientes da formulação, garantindo maior estabilidade e eficácia (Sousa *et al.*, 2022).

### 5.3.1 TÉCNICAS DE MICROENCAPSULAÇÃO

Nos últimos anos, diversos métodos de microencapsulação foram desenvolvidos, impulsionados pelo avanço das pesquisas científicas e pela incorporação de tecnologias inovadoras (Carvalho *et al.*, 2015). Essas metodologias

buscam atender à crescente demanda por sistemas mais eficientes e direcionados para a proteção e liberação controlada de compostos ativos, como os OEs (Baser; Buchbauer, 2024). A escolha do método de encapsulação depende de fatores como o tipo de material a ser encapsulado, as características de liberação e a aplicação final do produto – aspectos que influenciam diretamente as propriedades físico-químicas e funcionais das micropartículas obtidas (Sousa *et al.*, 2022).

Entre os diferentes métodos de microencapsulação descritos na literatura, destacam-se, para aplicações cosméticas, a coacervação simples e complexa, a secagem por atomização, a liofilização e a emulsificação. O Quadro 3 apresenta um resumo comparativo dos principais métodos empregados, incluindo o tamanho médio das partículas, bem como suas principais vantagens e limitações, aspectos que serão discutidos em maior detalhe nas seções subsequentes.

Quadro 3 – Tamanho das micropartículas produzidas por diferentes tecnologias de microencapsulação e suas vantagens e limitações.

<b>Técnica de microencapsulação</b>	<b>Tamanho de partícula (µm)</b>	<b>Vantagens</b>	<b>Limitações</b>
Coacervação simples	20 - 200	Economia de custos  Flexibilidade operacional	Controle do tamanho das partículas  Agregação de partículas
Coacervação complexa	5 - 200	Alta eficiência de encapsulamento  Controle do tamanho das microcápsulas	Possibilidade de dissolução do composto ativo no solvente de processamento
Secagem por atomização	1 - 50	Simples e versátil	Requer processamento adicional

		Baixo custo de processo  Escalabilidade industrial	Possibilidade de perda de compostos com baixo ponto de ebulição
Liofilização	20 - 200	Adequado para materiais solúveis em água e termossensíveis	Alto custo de processo  Requer condições especiais de manuseio e armazenamento

Fonte: adaptado de Carvalho *et al.*, 2015 e Tian *et al.*, 2021

Apesar do expressivo potencial dessas técnicas, ainda existem restrições práticas e econômicas que limitam suas aplicações, evidenciando a importância de aprofundar os estudos nesse campo e de aperfeiçoar as tecnologias disponíveis (Nezamdoost-Sani *et al.*, 2024).

### 5.3.1.1 COACERVAÇÃO

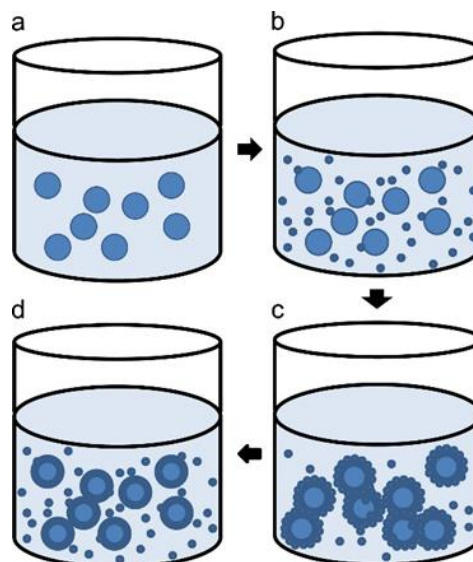
A coacervação é uma das técnicas mais consolidadas para microencapsulação, destacando-se por sua elevada eficiência de encapsulamento e pela capacidade de incorporar elevadas concentrações de substâncias bioativas (Julaeha *et al.*, 2023). Esse método baseia-se na separação de fases de sistemas coloidais contendo hidrocoloides em solução, seguida pela deposição da fase coacervada ao redor do ativo, previamente disperso ou emulsificado no meio reacional (Nezamdoost-Sani *et al.*, 2024). De modo geral, o processo envolve a formação de duas fases líquidas distintas: uma fase rica em polímero, denominada fase coacervada, e outra fase diluída, chamada de fase de equilíbrio (Sousa *et al.*, 2022).

Esta técnica pode ser classificada em simples ou complexa, diferenciando-se apenas pelo modo como ocorre a separação de fases (Giro-Paloma *et al.*, 2016). Na

coacervação simples, utiliza-se apenas um polímero, geralmente natural ou sintético, parcialmente hidrofílico, que forma um filme ao redor das gotículas de óleo (Tian *et al.*, 2021). Neste processo, os coacervados se formam por um mecanismo de desidratação induzido pela adição de um sal ou líquido dessolvante ao meio reacional (Timilsena *et al.*, 2019).

O esquema ilustrativo da coacervação simples (Figura 3) demonstra que o processo inicia com a dispersão do composto ativo em uma solução aquosa contendo o polímero formador da parede, que forma uma solução coloidal estável (a). Em seguida, ocorre a separação da solução em duas fases líquidas – uma rica em polímero e outra pobre – induzida pela adição de agentes desidratantes (b). As gotículas do composto ativo tornam-se envoltas pela fase coacervada, que se deposita progressivamente sobre sua superfície, formando uma camada polimérica contínua. O encapsulamento é promovido pela força de atração entre o polímero dessolvatado e o núcleo hidrofóbico, resultando em microcápsulas com uma parede flexível e coesa (c). Por fim, a parede polimérica é endurecida ou estabilizada por resfriamento controlado, secagem ou adição de agentes reticulantes, garantindo maior resistência mecânica, estabilidade térmica e controle da liberação do ativo (d) (Giro-Paloma *et al.*, 2016).

Figura 3 – Esquema representativo da técnica de coacervação simples.



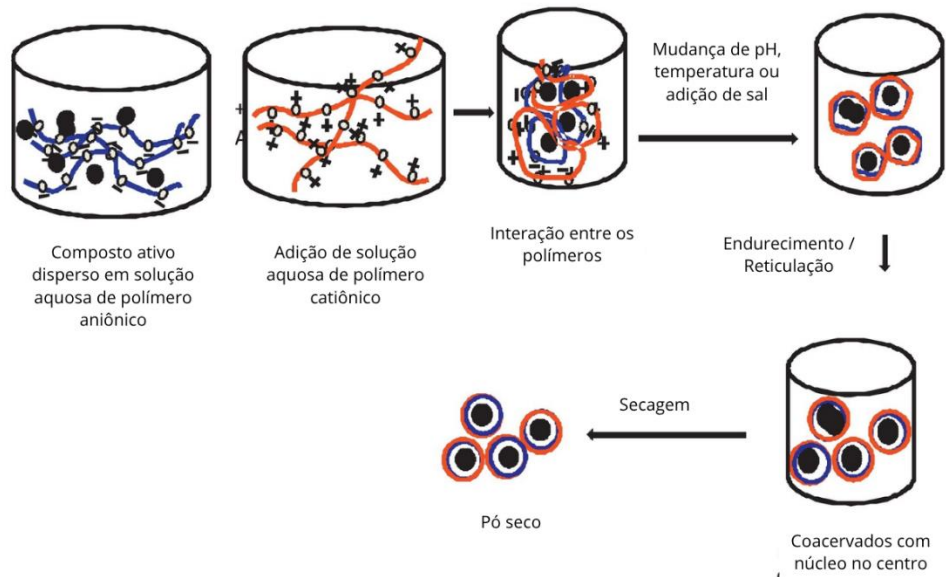
Fonte: Giro-Paloma *et al.*, 2016

Apesar de suas vantagens, a coacervação simples apresenta limitações, incluindo menor controle sobre o tamanho das partículas, dificuldade em manter a liberação sustentada, risco de evaporação de compostos voláteis, dissolução parcial do ativo no solvente de processamento e potencial oxidação do núcleo (Tian *et al.*, 2021).

Já a coacervação complexa envolve a interação de dois polímeros com cargas opostas, geralmente proteínas e polissacarídeos. A neutralização eletrostática desses polímeros induz a separação de fases, levando à deposição do material de parede ao redor do núcleo (Muhoza *et al.*, 2020). Entre os sistemas mais investigados destacam-se as combinações de gelatina/goma arábica, gelatina/alginato, gelatina/quitosana e gelatina/carboximetilcelulose (Carvalho *et al.*, 2015).

O processo de coacervação complexa, ilustrado na Figura 4, fundamenta-se na interação eletrostática entre dois polímeros de cargas opostas. Inicialmente, o composto ativo é disperso em uma solução aquosa contendo o polímero aniônico, formando uma suspensão estável na qual as gotículas do núcleo ficam recobertas por esse material. Em seguida, adiciona-se a solução do polímero catiônico, que interage com o primeiro por meio de forças eletrostáticas, promovendo a neutralização parcial das cargas e a consequente separação de fases. Esse processo gera uma fase rica em polímero (fase coacervada) e uma fase diluída (fase de equilíbrio). A fase coacervada deposita-se gradualmente ao redor das gotículas do composto ativo, formando uma película polimérica contínua que constitui a parede da microcápsula. Para conferir maior resistência mecânica e estabilidade térmica ao sistema, realizam-se ajustes de pH, temperatura ou adição de sais, que induzem o endurecimento e a reticulação da parede. Finalmente, as micropartículas formadas podem ser submetidas a processos de secagem, resultando em um pó fino e estável, adequado para aplicação em diferentes formulações (Timilsena *et al.*, 2019).

Figura 4 – Esquema representativo da técnica de coacervação complexa.



Fonte: Timilsena *et al.*, 2019.

Apesar de exigir materiais encapsulantes de custo mais elevado e apresentar maior sensibilidade a variações de pH, a coacervação complexa oferece vantagens como alta eficiência de encapsulamento, elevada capacidade de carga útil, baixo custo operacional e escalabilidade comparado a outros métodos de microencapsulação (Mamusa *et al.*, 2021).

Assim, a coacervação – seja na forma simples ou complexa – configura-se como uma tecnologia estratégica e versátil para o encapsulamento de OEs, permitindo proteger compostos voláteis, reduzir perdas por oxidação e conferir maior estabilidade e funcionalidade às formulações.

### 5.3.1.2 SPRAY DRYING

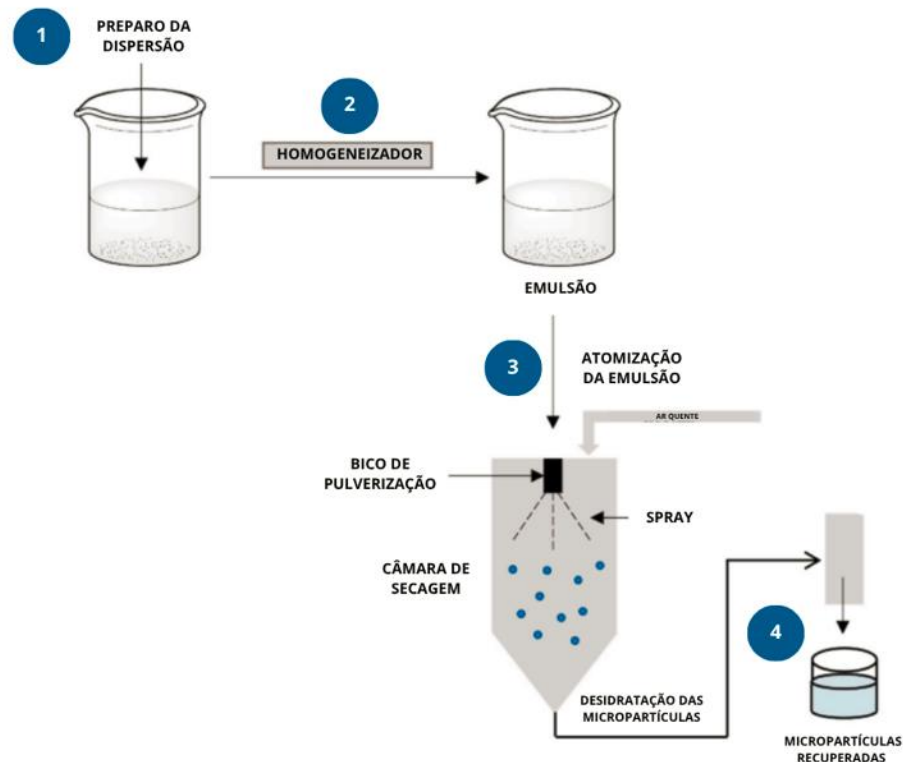
A secagem por atomização, também conhecida como *spray drying*, é amplamente utilizada para a microencapsulação de OEs, especialmente em escala industrial, devido ao seu caráter contínuo, reproduzível, flexível e de baixo custo (Bajac *et al.*, 2025). Essa tecnologia destaca-se como uma das mais empregadas no encapsulamento de compostos voláteis e termossensíveis, possibilitando a produção de microencapsulados de alta qualidade, estáveis e de fácil manuseio, geralmente

na forma de pó fino – atributo particularmente valorizado na indústria cosmética (Aguiar *et al.*, 2020).

O processo de *spray drying* consiste na atomização de uma emulsão em uma câmara de secagem a temperaturas relativamente elevadas, seguida pela rápida evaporação do solvente e, conseqüentemente, a formação de micropartículas (Tian *et al.*, 2021).

Este método envolve quatro etapas principais, conforme ilustrado na Figura 5. Primeiramente, prepara-se a dispersão ou solução, dissolvendo-se os materiais de parede em água sob agitação e temperatura controlada, seguida da adição do OE e, quando necessário, de emulsificantes. Em seguida, a emulsão O/A é homogeneizada e injetada no equipamento por meio de um bico pulverizador, gerando microgotículas. Ao entrarem em contato com o fluxo de ar aquecido na câmara de secagem, essas gotículas sofrem rápida evaporação do solvente, formando micropartículas sólidas, que são, por fim, coletadas em forma de pó por meio de filtros (Sousa *et al.*, 2022).

Figura 5 – Representação esquemática de secagem em *spray*.



Fonte: Sousa *et al.*, 2022.

As características das micropartículas obtidas dependem das condições operacionais do processo de secagem, como vazão e umidade do ar, temperatura de entrada, taxa de alimentação e características específicas do equipamento (Bajac *et al.*, 2025). Entre os materiais de parede mais empregados na secagem por atomização destacam-se carboidratos e proteínas, devido à sua biocompatibilidade, hidrofiliabilidade e baixa viscosidade em meio aquoso, além da boa dispersão durante a emulsificação e da elevada capacidade de formação de filmes protetores (Mangope *et al.*, 2025). Tais propriedades favorecem a estabilização e proteção dos compostos ativos, resultando em micropartículas de maior integridade e desempenho funcional (Tian *et al.*, 2021). O Quadro 4 apresenta uma comparação entre as principais propriedades de encapsulamento de carboidratos e proteínas comumente utilizados nessa técnica.

Quadro 4 – Materiais de parede típicos usados para encapsulamento utilizando a técnica de *spray drying*.

<b>Materiais encapsulantes</b>		<b>Propriedades</b>
<b>Carboidratos</b>	Quitosana	Capacidade de formação de filme
	Goma arábica	Alta habilidade de retenção
	Maltodextrina	Baixa viscosidade
<b>Proteínas</b>	<i>Whey protein</i>	Proteção contra oxidação
	Gelatina	Capacidade de formação de filme
	Caseinato de sódio	Anfifilicidade

Fonte: adaptado de Tian *et al.*, 2021.

O estudo conduzido por Fernandes e colaboradores (2016) exemplifica a importância da seleção adequada dos agentes encapsulantes. Os autores avaliaram a influência da matriz de encapsulamento na produção de micropartículas de óleo essencial de gengibre obtidos por secagem por *spray drying*, utilizando diferentes

combinações de materiais de parede, como goma arábica (GA), maltodextrina (MD) e inulina (IN). Os resultados evidenciaram que a escolha e a proporção dos agentes encapsulantes influenciaram diretamente as propriedades físico-químicas e a eficiência de encapsulação. A combinação de MD e IN com GA melhorou a molhabilidade dos pós, enquanto as formulações GA:MD apresentaram menor adsorção de vapor de água, indicando menor higroscopicidade. A substituição parcial da GA por MD elevou significativamente a eficiência de encapsulação, enquanto micropartículas de maior tamanho foram obtidas nas formulações contendo apenas GA ou a mistura GA:MD.

De modo geral, neste mesmo estudo, o uso combinado de carboidratos com alta capacidade emulsificante, como a goma arábica, com materiais de parede secundários adequados, mostrou-se essencial para a retenção de compostos voláteis e para a obtenção de pós com melhor estabilidade e desempenho funcional. A mistura contendo maltodextrina destacou-se por sua eficiência e baixo custo, oferecendo proteção eficaz ao óleo essencial encapsulado. Apesar de a adição de inulina ter melhorado a molhabilidade, observou-se redução na eficiência de encapsulação em formulações com maiores teores desse polímero (Fernandes *et al.*, 2016).

Entre as principais vantagens da técnica de secagem por atomização, destacam-se a elevada eficiência de encapsulamento, a obtenção de partículas com propriedades físico-químicas bem definidas e a compatibilidade com compostos termossensíveis, o que favorece sua proteção contra volatilização e oxidação (Aguiar *et al.*, 2020). Por outro lado, algumas limitações estão relacionadas à necessidade de materiais encapsulantes com boa solubilidade em água, o número de agentes encapsulantes disponíveis e à possibilidade de degradação de ativos sensíveis ao calor durante o processo, além da tendência de aglomeração do pó obtido, exigindo, em certos casos, etapas adicionais de processamento (He *et al.*, 2018).

Graças a esse conjunto de características, a secagem por atomização consolidou-se como uma das técnicas mais eficazes e economicamente viáveis para o encapsulamento de compostos voláteis, como os OEs (Mamusa *et al.*, 2021).

### 5.3.1.3 EMULSIFICAÇÃO

A técnica de emulsificação, outra abordagem relevante na microencapsulação de OEs, é utilizada em diferentes formulações para o encapsulamento de substâncias bioativas em soluções aquosas (Zhong *et al.*, 2025). As emulsões podem ser aplicadas diretamente em sistemas líquidos ou submetidos à secagem para obtenção de pós, após a evaporação do solvente.

O processo baseia-se na dispersão de um líquido em outro imiscível, formando pequenas gotas esféricas que resultam em um sistema estável. Conforme ilustrado na Figura 6, esse método pode gerar quatro tipos principais de emulsões: óleo em água (O/A), água em óleo (A/O), óleo em água em óleo (O/A/O) e água em óleo em água (A/O/A), cada qual com características e aplicações específicas (Sousa *et al.*, 2022).

Figura 6 - Ilustração de diferentes sistemas de emulsões.



Fonte: SOUSA *et al.*, 2022.

Entre essas modalidades, a emulsão do tipo O/A é a mais utilizada para a microencapsulação de OEs, em razão do seu caráter lipofílico, da simplicidade de preparo e do baixo custo de produção. No entanto, apresenta desvantagens relacionadas à instabilidade física e ao controle limitado das propriedades do sistema (Zhong *et al.*, 2025). Para contornar essas limitações, modificações em emulsificantes têm sido aplicadas, aumentando a eficiência do encapsulamento e conferindo maior estabilidade e proteção contra a oxidação dos óleos (Sousa *et al.*, 2022).

Uma variação da técnica de emulsificação é o método de evaporação ou extração do solvente, frequentemente empregado na produção de micropartículas poliméricas sólidas. Embora eficaz para encapsular materiais líquidos e sólidos,

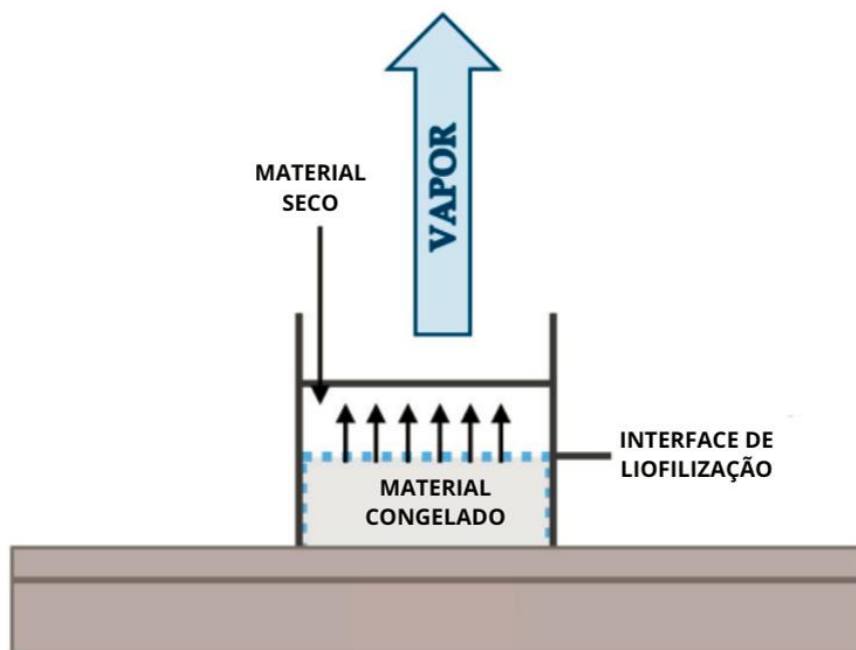
esse método envolve custos elevados, baixa eficiência de encapsulamento e presença de resíduos de solventes no produto final, o que pode limitar seu uso em determinadas aplicações. (Sousa *et al.*, 2022).

#### 5.3.1.4 LIOFILIZAÇÃO

A liofilização, também conhecida como *freeze-drying*, é uma técnica aplicada à desidratação de materiais sensíveis ao calor e a compostos voláteis, como os OEs. O processo baseia-se no princípio da sublimação, no qual os materiais do veículo solidificado passam diretamente do estado sólido para o gasoso, sem transitar pela fase líquida (Abla; Mehanna, 2022).

Nesta técnica, o óleo inicialmente é disperso em água e a mistura é congelada; em seguida, sob condições de baixa pressão e adição controlada de calor, ocorre a sublimação da mistura congelada, resultando no produto seco, como demonstrado na Figura 7 (Sousa *et al.*, 2022).

Figura 7 – Diagrama esquemático da técnica de liofilização.



Fonte: Sousa *et al.*, 2022.

Essa técnica é reconhecida por sua elevada capacidade de preservar a integridade estrutural, química e funcional dos compostos encapsulados (Hazarika; Gosztola, 2020). A liofilização oferece ainda vantagens como maior retenção de compostos voláteis e preservação das propriedades bioativas e organolépticas dos OEs, contribuindo para maior estabilidade frente à oxidação e prolongamento da vida útil dos produtos (Martins *et al.*, 2021).

Diversos são os estudos que destacam o potencial dessa técnica na proteção e aplicação de OEs. Entre eles, o trabalho conduzido por Araújo e colaboradores (2020) demonstrou que microesferas de OE de laranja-doce, produzidas com maltodextrina e gelatina como materiais de parede, apresentaram altos rendimentos e elevada eficiência de encapsulação. Além disso, o processo de microencapsulação melhorou significativamente a estabilidade do óleo, permitindo armazenamento prolongado sem perda significativa de qualidade, e preservou suas propriedades antibacterianas e antioxidantes – características de grande interesse para a indústria cosmética, que busca formulações mais estáveis e eficazes.

Entretanto, algumas limitações restringem o uso da liofilização em escala industrial. Entre os principais desafios estão o alto consumo de energia, o longo tempo de processamento e os elevados custos de produção (Araújo *et al.*, 2020).

Dessa forma, a liofilização configura-se como uma técnica eficaz e estratégica para a microencapsulação de OEs, especialmente quando se busca máxima preservação de compostos sensíveis, ainda que seu uso seja limitado em larga escala devido a restrições econômicas e operacionais (Sebaaly *et al.*, 2016).

#### 5.4 MICROENCAPSULAÇÃO DE ÓLEOS ESSENCIAIS

Conforme mencionado anteriormente, a elevada volatilidade dos OEs, aliada à sua suscetibilidade à oxidação e à degradação induzida por fatores ambientais como luz, umidade e variações de temperatura, representa um desafio significativo para sua incorporação em formulações (Bajac *et al.*, 2025). Essas características físico-químicas comprometem a estabilidade dos compostos bioativos presentes nos OEs durante o armazenamento, ocasionando perdas de rendimento, redução da eficácia e comprometimento da qualidade do produto final (Ammari; Schroen, 2018).

Como consequência, a instabilidade dos OEs impacta diretamente a eficiência dos processos produtivos, tornando imprescindível o desenvolvimento de estratégias tecnológicas que assegurem a proteção desses ativos sensíveis e preservem sua funcionalidade ao longo de toda a cadeia de produção e comercialização (Nezamdoost-Sani *et al.*, 2024).

Nesse contexto, a microencapsulação surge como uma abordagem promissora, ao otimizar o manuseio dos compostos, possibilitar a liberação controlada dos ativos e reduzir sua reatividade frente a agentes externos, contribuindo de forma significativa para a estabilidade e o desempenho das formulações, aspectos que estão diretamente relacionados ao agente encapsulante, à técnica empregada e ao mecanismo de liberação (Yang *et al.*, 2024).

#### **5.4.1 ÓLEOS ESSENCIAIS MICROENCAPSULADOS COM POTENCIAL APLICAÇÃO EM FORMULAÇÕES COSMÉTICAS**

Nos últimos anos, tem-se observado um crescimento expressivo nas pesquisas voltadas para o desenvolvimento de produtos cosméticos contendo ingredientes naturais, como os OEs. Esse avanço é impulsionado pela crescente demanda dos consumidores por produtos mais eficazes, sustentáveis e de origem natural (Rybczyńska-Tkaczyk *et al.*, 2023). A microencapsulação tem se mostrado uma estratégia promissora para otimizar a estabilidade e a eficiência dos OEs, permitindo sua incorporação em diferentes tipos de formulações cosméticas (Bajac *et al.*, 2025).

Apesar dos avanços alcançados, ainda são escassos os estudos que abordam a aplicação direta de OEs microencapsulados em formulações cosméticas, especialmente no que se refere à avaliação de sua estabilidade, eficácia e compatibilidade. Diante dessa lacuna, torna-se relevante identificar e discutir os OEs microencapsulados já descritos na literatura, cujas características sensoriais, propriedades bioativas e fragrâncias atrativas sustentam seu potencial de incorporação em produtos cosméticos inovadores, conforme apresentado no Quadro 5.

Quadro 5 – Potencial aplicação cosmética de diferentes óleos essenciais microencapsulados em virtude de suas propriedades.

<b>Técnica de microencapsulação</b>	<b>Material encapsulante(s)</b>	<b>Óleo essencial</b>	<b>Potencial aplicação cosmética</b>	<b>Referência</b>
Emulsificação	-	Cravo	Propriedades condicionantes e de cuidado capilar	Shahtalebi et al. (2017)
Polimerização <i>in situ</i>	Gelatina Goma arábica n-butilcianoacrilato	Melaleuca	Atividade antioxidante	Yang et al. (2024)
Liofilização	Maltodextrina Gelatina	Capim-limão	Ação antimicrobiana Ação antioxidante	Martins <i>et al.</i> (2021)
Coacervação complexa Secagem por atomização	Quitossana fúngica	Hortelã-pimenta	Remoção tópica de pelos	Baiocco et al. (2021)

Fonte: adaptado por autora.

Um exemplo relevante é o estudo conduzido por Shahtalebi e colaboradores (2017), que demonstrou a viabilidade da técnica de emulsificação na preparação de um shampoo contendo eugenol encapsulado – um dos principais componentes do óleo essencial de cravo. A formulação obtida apresentou excelentes propriedades condicionantes e de cuidado capilar, contribuindo significativamente para a reparação e o fortalecimento dos fios, evidenciando o potencial dos OEs encapsulados como ativos multifuncionais na indústria cosmética.

De forma semelhante, Martins e colaboradores (2021) desenvolveram microcápsulas de OE de *Cymbopogon citratus* (capim-limão) utilizando maltodextrina e gelatina como agentes encapsulantes, por meio da técnica de liofilização. O OE de capim-limão apresenta grande relevância na indústria cosmética, em virtude de sua fragrância intensa e agradável, aliado às suas propriedades antioxidantes e

antimicrobiana, que conferem valor funcional às formulações. Os resultados obtidos evidenciaram que a microencapsulação não apenas aumentou a estabilidade do óleo microencapsulado em comparação à sua forma livre, mas também potencializou suas propriedades antioxidantes, reduziu a volatilização e proporcionou maior proteção frente a agentes ambientais. Dessa forma, as formulações obtidas por meio da microencapsulação mostram-se promissoras para aplicação na indústria cosmética, assegurando maior durabilidade, estabilidade e eficácia.

No estudo conduzido por Yang *et al.* (2024), foram empregadas gelatina, goma arábica e n-butilacrilato como materiais de parede para a preparação de microcápsulas contendo OE de melaleuca. Os resultados evidenciaram que o processo de microencapsulação promoveu uma melhoria significativa na estabilidade térmica do óleo, além de preservar sua capacidade antioxidante ao longo do tempo. Dessa forma, as microcápsulas obtidas demonstraram elevado potencial de aplicação em formulações cosméticas, especialmente naquelas voltadas à proteção e cuidado da pele, onde a estabilidade e a bioatividade dos compostos são fatores determinantes para a eficácia do produto.

O estudo conduzido por Baiocco *et al.* (2021) demonstrou que microcápsulas à base de quitosana fúngica, contendo OE de hortelã-pimenta, obtidas por coacervação complexa seguida de secagem por atomização, apresentam potencial promissor para aplicação em produtos de cuidados pessoais e cosméticos, especialmente em cremes depilatórios destinados à remoção tópica de pelos. Tradicionalmente, esses produtos utilizam tioglicolatos como agentes de penetração, compostos que, devido ao seu pH altamente alcalino, podem causar sensibilização e irritação cutânea. Nesse cenário, a ação sinérgica entre o óleo de hortelã-pimenta e o etanol aquoso mostrou-se uma estratégia eficaz para acelerar o processo depilatório, aumentando a atividade dos tioglicolatos e reduzindo o tempo necessário de exposição na pele. Ao entrarem em contato com o etanol aquoso, essas microcápsulas se rompem e liberam o óleo diretamente no folículo piloso, favorecendo sua atuação no local onde a depilação efetivamente ocorre. Dessa forma, a penetração dos tioglicolatos pode ser substancialmente aprimorada,

permitindo a utilização de concentrações menores desses agentes e possibilitando, conseqüentemente, uma formulação com pH menos agressivo para a pele.

#### **5.4.2 ÓLEOS ESSENCIAIS MICROENCAPSULADOS EM COSMETOTÊXTEIS**

Nos últimos anos, tem-se observado um crescimento expressivo nas pesquisas voltadas ao desenvolvimento de produtos têxteis inteligentes, impulsionado pelo avanço tecnológico e pelas novas demandas de consumidores cada vez mais exigentes (Raesse *et al.*, 2020). Neste contexto, o setor têxtil vive uma verdadeira revolução tecnológica, marcada pela integração de tecnologia e microencapsulação nos processos de fabricação, abrindo caminho para a criação de tecidos inteligentes que interagem dinamicamente com o ambiente e o corpo humano (Jiao *et al.*, 2024).

Tradicionalmente, tecidos tratados diretamente com OEs apresentam baixa durabilidade na retenção da fragrância, o que limita a eficácia e persistência de seus efeitos. A microencapsulação surge, portanto, como uma estratégia tecnológica promissora para proteger os compostos ativos contra a degradação provocada por fatores ambientais – como radiação UV, oxigênio e umidade – e controlar sua liberação gradual. Essa abordagem confere maior estabilidade e desempenho a longo prazo, sem alterar as características originais das fibras têxteis (Zhao *et al.*, 2023).

Dentro desse cenário, destacam-se os cosmetotêxteis, uma categoria inovadora de materiais que unem funcionalidade cosmética e conforto têxtil. Esses tecidos são modificados com ingredientes cosméticos ativos, os quais, ao entrarem em contato com a pele, promovem a liberação controlada e prolongada de substâncias ativas, proporcionando efeitos como hidratação, firmeza, suavidade e melhora da aparência cutânea (Julaeha *et al.*, 2023). Além dos efeitos estéticos, esses materiais podem apresentar propriedades adicionais, como proteção contra radiação UV, ação tonificante e revitalizante, efeito aromático, refrescante e relaxante, além de atividade antibacteriana (Pratiwi *et al.*, 2022). Dessa forma, os cosmetotêxteis vêm se consolidando como uma das principais inovações da

indústria cosmética, ao combinar funcionalidade, conforto e alto desempenho em um único produto (Julaeha *et al.*, 2023).

Diversos estudos vêm sendo descritos na literatura evidenciando a aplicação de OEs microencapsulados em têxteis funcionais, com resultados promissores em termos de estabilidade, eficiência de liberação e durabilidade.

Pratiwi e colaboradores (2022), por exemplo, desenvolveram um tecido funcional a partir da imobilização de microcápsulas de óleo essencial da casca de limão (*C. aurantifolia*), obtidas pelo método de coacervação com polímeros de alginato-gelatina e emulsificante *Tween* 80, como materiais encapsulantes. As microcápsulas apresentaram alto rendimento e eficiência de encapsulação, formato esférico regular e estabilidade após três semanas em temperatura ambiente. Posteriormente, foram incorporadas a um tecido por meio do método de impregnação e secagem (*pad-dry*) com ligante à base de ácido cítrico. As microcápsulas foram imobilizadas com sucesso no tecido, com um percentual de incorporação de 30,6%. Além disso, tanto as microcápsulas isoladas quanto as imobilizadas, exibiram atividade antimicrobiana contra bactérias Gram-positivas (*S. aureus* e *S. epidermidis*) e Gram-negativas (*E. coli* e *K. pneumoniae*), mantendo desempenho satisfatório após cinco ciclos de lavagem, com uma redução de massa de 22,01%.

Em outro estudo, Jiao e colaboradores (2024) propuseram uma abordagem inovadora voltada à aplicação de extratos de ervas tradicionais chinesas em cosmetotêxteis. Esses extratos, ricos em compostos bioativos, apresentam instabilidade natural que dificulta seu uso direto em tecidos. A solução proposta envolveu a microencapsulação desses extratos com o uso de poliácrlato como aglutinante, o que resultou em microcápsulas com superfície lisa, liberação contínua por mais de 30 dias e resistência aprimorada à lavagem e ao atrito. O sistema foi capaz de modular a liberação dos compostos ativos em resposta à temperatura e à umidade, mantendo as propriedades essenciais do tecido, como permeabilidade ao ar e hidroflicidade. Além disso, as microcápsulas resistiram a 30 ciclos de lavagem e 200 ciclos de atrito, sem apresentar toxicidade em células humanas, demonstrando grande potencial para aplicação em têxteis terapêuticos baseados em ingredientes naturais da medicina tradicional chinesa.

O trabalho conduzido por Danila et al. (2021), também ilustra o avanço dos cosmetotêxteis no campo da cosmetologia. Os autores desenvolveram sistemas cosmecêuticos baseados na aplicação de emulsões polissacarídicas incorporadas com óleo essencial de lavanda em substratos celulósicos, com o objetivo de criar tecidos funcionais com propriedades hidratantes e antimicrobianas. O óleo essencial foi selecionado por sua reconhecida propriedade antimicrobiana e calmante, sendo incorporado em formulações emulsificadas, cuja estabilidade e propriedades reológicas foram avaliadas. A emulsão mais promissora foi aplicada a um tecido celulósico, resultando em um material com liberação controlada do ativo, efeitos hidratantes e ausência de toxicidade cutânea. Ensaio dermatológicos confirmaram que o tecido tratado não causou irritações, além de melhorar a maciez e a hidratação da pele, demonstrando grande potencial de uso em cosmetotêxteis adesivos e terapêuticos. Assim, o tecido enriquecido com emulsão para cuidados cutâneos mostrou-se eficaz na suavização e hidratação de áreas de pele espessada, podendo ser utilizado na formulação de curativos ou dispositivos têxteis voltados para o tratamento de regiões como calcanhares e cotovelos.

De modo geral, os estudos analisados demonstram que a microencapsulação de OEs tem se consolidado como uma estratégia altamente eficaz para o desenvolvimento de têxteis funcionais. Essa tecnologia garante estabilidade e eficiência prolongada, além de abrir novas perspectivas para a criação de produtos multifuncionais, que unem benefícios estéticos, terapêuticos e sustentáveis em um único material.

## 6 CONCLUSÃO

Os óleos essenciais representam uma classe de compostos naturais de elevada importância científica, tecnológica e comercial, amplamente empregados em diferentes setores industriais, especialmente na indústria cosmética, em virtude de suas propriedades terapêuticas, antimicrobianas, antioxidantes e aromáticas. No entanto, suas características físico-químicas, como alta volatilidade e instabilidade frente a fatores ambientais incluindo luz, temperatura, oxigênio e umidade, impõem desafios significativos à sua incorporação em formulações cosméticas e têxteis.

Diante dessas limitações, o desenvolvimento e a aplicação de técnicas de microencapsulação têm se mostrado estratégias eficazes para preservar a estabilidade e a funcionalidade dos OEs, ao mesmo tempo em que permitem controlar a liberação dos compostos ativos, prolongando seus efeitos e ampliando suas possibilidades de uso. Entre as metodologias existentes, coacervação, secagem por atomização (*spray drying*), emulsificação e liofilização destacam-se pela versatilidade, escalabilidade e capacidade de adaptação a diferentes matrizes e finalidades cosméticas.

Essas abordagens não apenas melhoram a proteção dos compostos ativos, mas também favorecem o desenvolvimento de produtos mais seguros, eficazes e sustentáveis — atributos cada vez mais valorizados pelos consumidores.

A aplicação de OEs microencapsulados em cosmetotêxteis representa um avanço particularmente expressivo, unindo inovação tecnológica e funcionalidade. Esses materiais inteligentes possibilitam a liberação controlada e prolongada de ativos biofuncionais, conferindo aos tecidos propriedades como hidratação, ação antimicrobiana, proteção contra radiação UV, efeito calmante e aromático, sem comprometer as características intrínsecas das fibras.

Portanto, pode-se afirmar que a microencapsulação de OEs constitui uma tecnologia promissora para o desenvolvimento de formulações cosméticas e têxteis de alto valor agregado. Essa tecnologia contribui para o avanço na área de cosmetologia ao oferecer soluções que integram eficácia, segurança e inovação, respondendo às demandas de um mercado em constante evolução. Apesar das vantagens, ressalta-se que poucos trabalhos foram encontrados na literatura

envolvendo estudos de aplicação dos OEs microencapsulados em formulações cosméticas sendo, portanto, uma área que possui potencial para ser explorada.

Por fim, evidencia-se a necessidade de aprofundar estudos sobre os mecanismos de liberação, estabilidade e interação dos OEs microencapsulados com diferentes matrizes cosméticas e têxteis, bem como de avaliar a viabilidade industrial e a aceitação comercial desses sistemas. A continuidade de pesquisas nesta área poderá fortalecer o uso dos OEs microencapsulados como ingredientes ativos estratégicos, consolidando sua aplicação em produtos funcionais, sustentáveis e tecnologicamente diferenciados.

## REFERÊNCIAS

ABDOUL-LATIF, Fatouma Mohamed *et al.* Exploring the Potent Anticancer Activity of Essential Oils and Their Bioactive Compounds: mechanisms and prospects for future cancer therapy. **Pharmaceuticals**, [S.L.], v. 16, n. 8, p. 1086, 31 jul. 2023. MDPI AG. Disponível em: <https://www.mdpi.com/1424-8247/16/8/1086>. Acesso em: 22 out. 2025.

ABLA, Kawthar K.; MEHANNA, Mohammed M. Freeze-drying: a flourishing strategy to fabricate stable pharmaceutical and biological products. **International Journal Of Pharmaceutics**, [S.L.], v. 628, p. 122233, nov. 2022. Elsevier BV. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0378517322007876>. Acesso em: 23 out. 2025.

ACHAGAR, Redouane *et al.* A Comprehensive Review of Essential Oil–Nanotechnology Synergy for Advanced Dermocosmetic Delivery. **Cosmetics**, [S.L.], v. 11, n. 2, p. 48, 27 mar. 2024. MDPI AG. Disponível em: <https://www.mdpi.com/2079-9284/11/2/48>. Acesso em: 22 out. 2025.

AQEEL, Umra *et al.* Regulation of essential oil in aromatic plants under changing environment. **Journal Of Applied Research On Medicinal And Aromatic Plants**, [S.L.], v. 32, p. 100441, fev. 2023. Elsevier BV. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1016/j.jarmap.2022.100441>. Acesso em: 20 abr. 2025.

ARAÚJO, Jayuri Susy Fernandes de *et al.* Microencapsulation of sweet orange essential oil (*Citrus aurantium* var. *dulcis*) by liophylization using maltodextrin and maltodextrin/gelatin mixtures: preparation, characterization, antimicrobial and antioxidant activities. **International Journal Of Biological Macromolecules**, [S.L.], v. 143, p. 991-999, jan. 2020. Elsevier BV. Disponível em: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/31669659/>. Acesso em: 01 out. 2025.

BAIOCCO, Daniele *et al.* Microcapsules with a fungal chitosan-gum Arabic-maltodextrin shell to encapsulate health-beneficial peppermint oil. **Food Hydrocolloids For Health**, [S.L.], v. 1, p. 100016, 2021. Elsevier BV. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S266702592100008X>. Acesso em: 07 out. 2025.

BAJAC, Jelena *et al.* Antimicrobial and insecticidal activity of spray dried juniper berry (*Juniperus communis* L.) essential oil microcapsules prepared by using gum arabic and maltodextrin. **International Journal Of Biological Macromolecules**, [S.L.], v. 306, p. 141128, maio 2025. Elsevier BV. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2025.141128>. Acesso em: 18 abr. 2025.

BAKRY, Amr M. *et al.* Microencapsulation of Oils: a comprehensive review of benefits, techniques, and applications. **Comprehensive Reviews In Food Science And Food Safety**, [S.L.], v. 15, n. 1, p. 143-182, 13 nov. 2015. Wiley. Disponível em: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/33371581/>. Acesso em: 30 set. 2025.

BASER, K. Husnu Can; BUCHBAUER, Gerhard. Handbook of ESSENTIAL OILS: science, technology, and applications. 3. ed. Boca Raton: Crc Press, 2024. 1120 p. Acesso em: 12 jun. 2025.

BOUKHIRA, Smahane *et al.* The chemical composition and the preservative, antimicrobial, and antioxidant effects of *Thymus broussonetii* Boiss. essential oil: an in vitro and in silico approach. **Frontiers In Chemistry**, [S.L.], v. 12, n. 1, p. 1-15, 4 jul. 2024. Frontiers Media SA. Disponível em: <https://www.frontiersin.org/journals/chemistry/articles/10.3389/fchem.2024.1402310/full>. Acesso em: 22 out. 2025.

CARVALHO, I. T. *et al.* Application of microencapsulated essential oils in cosmetic and personal healthcare products – a review. **International Journal Of Cosmetic Science**, [S.L.], v. 38, n. 2, p. 109-119, 25 maio 2015. Wiley. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1111/ics.12232>. Acesso em: 28 maio 2025.

CUNHA, Cassandra *et al.* Essential oils used in dermocosmetics: review about its biological activities. **Journal Of Cosmetic Dermatology**, [S.L.], v. 21, n. 2, p. 513-529, 6 dez. 2021. Wiley. Disponível em: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/34871468/>. Acesso em: 22 out. 2025.

DANILA, Angela *et al.* Preparation, characterization, and application of polysaccharide-based emulsions incorporated with lavender essential oil for skin-friendly cellulosic support. **International Journal Of Biological Macromolecules**, [S.L.], v. 191, p. 405-413, nov. 2021. Elsevier BV. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2021.09.090>. Acesso em: 12 jun. 2025.

FERNANDES, Regiane Victória de Barros *et al.* Study of ultrasound-assisted emulsions on microencapsulation of ginger essential oil by spray drying. **Industria Crops And Products**, [S.L.], v. 94, p. 413-423, dez. 2016. Elsevier BV. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1016/j.indcrop.2016.09.010>. Acesso em: 27 abr. 2025.

FERREIRA, Oberdan Oliveira *et al.* Essential Oil of the Plants Growing in the Brazilian Amazon: chemical composition, antioxidants, and biological applications. **Molecules**, [S.L.], v. 27, n. 14, p. 4373, 8 jul. 2022. MDPI AG. Disponível em: <https://www.mdpi.com/1420-3049/27/14/4373>. Acesso em: 22 out. 2025.

GIRO-PALOMA, Jessica *et al.* Types, methods, techniques, and applications for microencapsulated phase change materials (MPCM): a review. **Renewable And Sustainable Energy Reviews**, [S.L.], v. 53, p. 1059-1075, jan. 2016. Elsevier BV. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1016/j.rser.2015.09.040>. Acesso em: 15 abr. 2025.

GUZMÁN, Eduardo; LUCIA, Alejandro. Essential Oils and Their Individual Components in Cosmetic Products. **Cosmetics**, [S.L.], v. 8, n. 4, p. 114, 3 dez. 2021. MDPI AG. Disponível em: <https://www.mdpi.com/2079-9284/8/4/114>. Acesso em: 22 out. 2025.

HAZARIKA, Urbashi; GOSZTOLA, Beáta. Lyophilization and its effects on the essential oil content and composition of herbs and spices – A review. **Acta Scientiarum Polonorum Technologia Alimentaria**, [S.L.], v. 19, n. 4, p. 467-473, 30 dez. 2020. Uniwersytet Przyrodniczy w Poznaniu (Poznan University of Life Sciences). Disponível em: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/33179486/>. Acesso em: 01 out. 2025.

HE, Lei *et al.* Preparation and application of flavor and fragrance capsules. **Polymer Chemistry**, [S.L.], v. 9, n. 40, p. 4926-4946, 2018. Royal Society of Chemistry (RSC). Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1039/c8py00863a>. Acesso em: 16 abr. 2025.

HERMAN, Anna *et al.* Essential Oils and Herbal Extracts as Antimicrobial Agents in Cosmetic Emulsion. **Indian Journal Of Microbiology**, [S.L.], v. 53, n. 2, p. 232-237, 3 nov. 2012. Springer Science and Business Media LLC. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1007/s12088-012-0329-0>. Acesso em: 14 abr. 2025.

JIAO, Mengyan *et al.* Microencapsulation of multi-component traditional Chinese herbs extracts and its application to traditional Chinese medicines loaded textiles. **Colloids And Surfaces B: Biointerfaces**, [S.L.], v. 240, p. 113970, ago. 2024. Elsevier BV. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1016/j.colsurfb.2024.113970>. Acesso em: 19 maio 2025.

JUGREET, B. Sharmeen *et al.* Chemistry, bioactivities, mode of action and industrial applications of essential oils. **Trends In Food Science & Technology**, [S.L.], v. 101, p. 89-105, jul. 2020. Elsevier BV. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1016/j.tifs.2020.04.025>. Acesso em: 03 jun. 2025

JULAEHA, Euis *et al.* Ethyl cellulose-based microcapsules of Citrus aurantifolia (Christm.) Swingle essential oil with an optimized emulsifier for antibacterial cosmetotextiles. **Polymer**, [S.L.], v. 283, p. 126265, set. 2023. Elsevier BV. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1016/j.polymer.2023.126265>. Acesso em: 23 abr. 2025.

LIN, Li-Yun *et al.* Lime (Citrus aurantifolia (Christm.) Swingle) Essential Oils: volatile compounds, antioxidant capacity, and hypolipidemic effect. **Foods**, [S.L.], v. 8, n. 9, p. 398, 7 set. 2019. MDPI AG. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.3390/foods8090398>. Acesso em: 28 abr. 2025.

MAMUSA, Marianna *et al.* Encapsulation of volatile compounds in liquid media: fragrances, flavors, and essential oils in commercial formulations. **Advances In Colloid And Interface Science**, [S.L.], v. 298, p. 102544, dez. 2021. Elsevier BV. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.cis.2021.102544>. Acesso em: 16 jun. 2025.

MANGOPE, Kutloano *et al.* Spray-drying microencapsulation of fixed oils: an innovative and sustainable technology to enhance oxidative stability, functionality and

application in food systems. **Applied Food Research**, [S.L.], v. 5, n. 2, p. 101200, dez. 2025. Elsevier BV. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2772502225005050>. Acesso em: 23 out. 2025.

MARTINS, Wanderson da Silva *et al.* Lemongrass (*Cymbopogon citratus* DC. Stapf) essential oil microparticles: development, characterization, and antioxidant potential. **Food Chemistry**, [S.L.], v. 355, p. 129644, set. 2021. Elsevier BV. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1016/j.foodchem.2021.129644>. Acesso em: 15 maio 2025.

MEHTA, Nitin *et al.* Microencapsulation as a Noble Technique for the Application of Bioactive Compounds in the Food Industry: a comprehensive review. **Applied Sciences**, [S.L.], v. 12, n. 3, p. 1424, 28 jan. 2022. MDPI AG. Disponível em: <https://www.mdpi.com/2076-3417/12/3/1424>. Acesso em: 14 set. 2025.

MINOZZO, Mariane *et al.* Biological potential and microencapsulation of *Cinnamomum cassia* essential oil as an alternative for pest control in stored maize. **Research, Society And Development**, [S.L.], v. 10, n. 14, p. 1-19, 13 nov. 2021. Research, Society and Development. Disponível em: <https://rsdjournal.org/rsd/article/view/22334>. Acesso em: 10 set. 2025.

MUHOZA, Bertrand *et al.* Microencapsulation of essential oils by complex coacervation method: preparation, thermal stability, release properties and applications. **Critical Reviews In Food Science And Nutrition**, [S.L.], v. 62, n. 5, p. 1363-1382, 12 nov. 2020. Informa UK Limited. Disponível em: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/33176432/>. Acesso em: 23 out. 2025.

NABAVI, Seyed *et al.* Antibacterial Effects of Cinnamon: from farm to food, cosmetic and pharmaceutical industries. **Nutrients**, [S.L.], v. 7, n. 9, p. 7729-7748, 11 set. 2015. MDPI AG. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.3390/nu7095359>. Acesso em: 03 jun. 2025.

NEZAMDOOST-SANI, Narmin *et al.* The application of the coacervation technique for microencapsulation bioactive ingredients: a critical review. **Journal Of Agriculture And Food Research**, [S.L.], v. 18, p. 101431, dez. 2024. Elsevier BV. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1016/j.jafr.2024.101431>. Acesso em: 21 maio 2025.

PANDEY, Swapnil *et al.* Antioxidant and anti-aging potential of Juniper berry (*Juniperus communis* L.) essential oil in *Caenorhabditis elegans* model system. **Industrial Crops And Products**, [S.L.], v. 120, p. 113-122, set. 2018. Elsevier BV. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1016/j.indcrop.2018.04.066>. Acesso em: 25 abr. 2025.

PAVONI, Lucia *et al.* An Overview of Micro- and Nanoemulsions as Vehicles for Essential Oils: formulation, preparation and stability. **Nanomaterials**, [S.L.], v. 10, n. 1, p. 135, 12 jan. 2020. MDPI AG. Disponível em: <https://www.mdpi.com/2079-4991/10/1/135>. Acesso em: 14 set. 2025.

PRATIWI, Luthfia *et al.* Microencapsulation of Citrus aurantifoli essential oil with the optimized CaCl<sub>2</sub> crosslinker and its antibacterial study for cosmetic textiles. **Rsc Advances**, [S.L.], v. 12, n. 47, p. 30682-30690, 2022. Royal Society of Chemistry (RSC). Disponível em: <https://doi.org/10.1039/D2RA04053K>. Acesso em: 07 jun. 2025.

RATAJCZAK, Piotr *et al.* The Growing Market for Natural Cosmetics in Poland: consumer preferences and industry trends. **Clinical, Cosmetic And Investigational Dermatology**, [S.L.], v. 16, p. 1877-1892, jul. 2023. Informa UK Limited. Disponível em: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/37497379/>. Acesso em: 21 out. 2025.

RYBCZYŃSKA-TKACZYK, Kamila *et al.* Natural Compounds with Antimicrobial Properties in Cosmetics. **Pathogens**, [S.L.], v. 12, n. 2, p. 320, 15 fev. 2023. MDPI AG. Disponível em: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/36839592/>. Acesso em: 21 out. 2025.

SEBAALY, Carine *et al.* Effect of composition, hydrogenation of phospholipids and lyophilization on the characteristics of eugenol-loaded liposomes prepared by ethanol injection method. **Food Bioscience**, [S.L.], v. 15, p. 1-10, set. 2016. Elsevier BV. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S2212429216300219>. Acesso em: 01 out. 2025.

SHAHTALEBI, Mohammad Ali *et al.* Preparation and evaluation of clove oil in emu oil self-emulsion for hair conditioning and hair loss prevention. **Journal Of Hermed Pharmacology**. Shahrekord, p. 72-77. 12 abr. 2016.

SHARMEEN, Jugreet *et al.* Essential Oils as Natural Sources of Fragrance Compounds for Cosmetics and Cosmeceuticals. **Molecules**, [S.L.], v. 26, n. 3, p. 666, 27 jan. 2021. MDPI AG. Disponível em: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/33514008/>. Acesso em: 22 out. 2025.

SOUSA, Vânia Isabel *et al.* Microencapsulation of Essential Oils: a review. **Polymers**, [S.L.], v. 14, n. 9, p. 1730, 23 abr. 2022. MDPI AG. Disponível em: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/35566899/>. Acesso em: 04 jun. 2025.

STEVANOVIC, Zora Dajic *et al.* Natural Macromolecules as Carriers for Essential Oils: from extraction to biomedical application. **Frontiers In Bioengineering And Biotechnology**, [S.L.], v. 8, p. 1-24, 25 jun. 2020. Frontiers Media SA. Disponível em: <https://pmc.ncbi.nlm.nih.gov/articles/PMC7330110/>. Acesso em: 09 set. 2025.

TIAN, Qirui *et al.* Concepts, processing, and recent developments in encapsulating essential oils. **Chinese Journal Of Chemical Engineering**, [S.L.], v. 30, p. 255-271, fev. 2021. Elsevier BV. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1016/j.cjche.2020.12.010>. Acesso em: 22 abr. 2025.

TIMILSENA, Yakindra Prasad *et al.* Complex coacervation: principles, mechanisms and applications in microencapsulation. **International Journal Of Biological Macromolecules**, [S.L.], v. 121, p. 1276-1286, jan. 2019. Elsevier BV. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0141813018348967>. Acesso em: 14 set. 2025.

TIMPANARO, Giuseppe; CASCONI, Giulio. Consumer behavior and sustainability: exploring italy's green cosmetics market with prickly pear seed oil. **Heliyon**, [S.L.], v. 11, n. 3, p. 1-14, fev. 2025. Elsevier BV. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1016/j.heliyon.2025.e42233>. Acesso em: 15 abr. 2025.

YANG, Wei *et al.* Design of gum Arabic/gelatin composite microcapsules and their cosmetic applications in encapsulating tea tree essential oil. **Rsc Advances**, [S.L.], v. 14, n. 7, p. 4880-4889, 2024. Royal Society of Chemistry (RSC). Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1039/d3ra08526k>. Acesso em: 12 maio 2025.

ZHAO, Bingqian *et al.* Double-shell lignin microcapsules were prepared by one - step method for fabric coatings with UV resistance and durable antibacterial activity. **Progress In Organic Coatings**, [S.L.], v. 179, p. 107518, jun. 2023. Elsevier BV. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S030094402300114>. Acesso em: 14 out. 2025.

ZHELJAZKOV, Valtcho D. *et al.* Essential oil composition, antioxidant and antimicrobial activity of the galbuls of six juniper species. **Industrial Crops And Products**, [S.L.], v. 124, p. 449-458, nov. 2018. Elsevier BV. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1016/j.indcrop.2018.08.013>. Acesso em: 21 maio 2025.

ZHONG, Xiaolong *et al.* Foam-based mustard essential oil microcapsules preparation, characterization, grilling application and comparison with emulsion microcapsules. **Food Chemistry**, [S.L.], v. 478, p. 143758, jun. 2025. Elsevier BV. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S030881462501009X>. Acesso em: 23 out. 2025.