

UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA CATARINA
CENTRO TECNOLÓGICO DE CIÊNCIAS EXATAS E EDUCAÇÃO
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA TÊXTIL
CURSO ENGENHARIA TÊXTIL

QUESLI MARTINS

**FUNCIONALIZAÇÃO DE TECIDOS COM ÓLEO ESSENCIAL DE CRAVO
ENCAPSULADO EM MATRIZES DE QUITOSANA E ALGINATO**

BLUMENAU

2022

QUESLI MARTINS

**FUNCIONALIZAÇÃO DE TECIDOS COM ÓLEO ESSENCIAL DE CRAVO
ENCAPSULADO EM MATRIZES DE QUITOSANA E ALGINATO**

Trabalho Conclusão do Curso de Graduação em Engenharia Têxtil do Centro Tecnológico de Ciências Exatas e Educação da Universidade Federal de Santa Catarina como requisito para a obtenção do título de Bacharel em Engenharia Têxtil.

Orientador: Prof^a. Dr^a. Andrea Cristiane Krause Bierhalz.

BLUMENAU

2022

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

Martins, Quesli

Funcionalização de tecidos com óleo essencial de cravo encapsulado em matrizes de quitosana e alginato / Quesli Martins ; orientadora, Andrea Cristiane Krause Bierhalz, 2022.

70 p.

Trabalho de Conclusão de Curso (graduação) -
Universidade Federal de Santa Catarina, Campus Blumenau,
Graduação em Engenharia Têxtil, Blumenau, 2022.

Inclui referências.

1. Engenharia Têxtil. 2. Óleo essencial de cravo. 3. Inseticida. 4. Encapsulação. 5. Substrato têxtil. I. Bierhalz, Andrea Cristiane Krause . II. Universidade Federal de Santa Catarina. Graduação em Engenharia Têxtil. III. Título.

QUESLI MARTINS

**FUNCIONALIZAÇÃO DE TECIDOS COM ÓLEO ESSENCIAL DE CRAVO
ENCAPSULADO EM MATRIZES DE QUITOSANA E ALGINATO**

Este Trabalho Conclusão de Curso foi julgado adequado para obtenção do Título de “Engenheiro Têxtil” e aprovado em sua forma final pelo Curso Engenharia Têxtil.

Blumenau, 22 de março de 2022.

Prof^ª. Catia Rosana Lange de Aguiar, Dr.
Coordenadora do Curso

Banca Examinadora:

Prof^ª. Andrea Cristiane Krause Bierhalz, Dr^ª.
Orientadora
UFSC – DET

Prof. Carlos Rafael Silva de Oliveira, Dr.
Avaliador
UFSC – DET

Prof. José Alexandre Borges Valle, Dr.
Avaliador
UFSC – DET

Este trabalho é dedicado aos meus pais e irmãos pelo apoio, incentivo, suporte e motivação dados à minha vida, aos amigos que estiveram ao meu lado em diversas situações e minha amada sobrinha.

AGRADECIMENTOS

Agradeço à Deus por guiar meu caminho e ter me dado condições de chegar até aqui.

Aos meus pais, David e Lindalva, por me ensinarem a lutar, por trocarem parte dos seus sonhos pelos meus, me apoiarem quando decidi ser engenheira, além de darem sustentabilidade financeira, afetiva e orarem por mim.

Aos meus irmãos, Agnaldo e Laissa, e minha cunhada, Cássia, por acreditarem em mim, me incentivarem e serem parte da minha inspiração e exemplo.

À minha amiga Amanda, que sempre esteve comigo no decorrer da graduação, enfrentando todas as situações, ao meu lado, me dando força e ânimo para não desistir.

À minha querida professora Andrea, pelos seus ensinamentos, pela orientação excelente, sempre presente, com paciência e me dando motivação.

Aos demais professores, por dividirem seu conhecimento, despertarem a curiosidade, ensinarem a sermos felizes e lutarmos, em conjunto, pelo crescimento e desenvolvimento da área.

À UFSC Blumenau, pela disponibilidade de estrutura e apoio durante todos os semestres, todo o meu respeito e admiração pelo campus, professores, técnicos e funcionários.

Por fim, quero agradecer a todos os meus amigos com quem divido todas minhas alegrias e angústias, e aos colegas que contribuíram no decorrer dessa jornada.

“Aprender é a única coisa de que a mente nunca se cansa, nunca tem medo e nunca se arrepende.” (Leonardo da Vinci)

RESUMO

De todas as doenças infecciosas existentes no mundo, 17% são transmitidas por vetores, causando milhares de mortes por ano no mundo. Além de doenças infecciosas, destaca-se também que cerca de 15% das pessoas que sofrem ataque de insetos têm reações alérgicas a essas picadas. Com isso, tem sido crescente o interesse por alternativas que eliminem a necessidade de aplicação e reaplicação de repelentes e de inseticidas, abrindo espaço para têxteis funcionalizados com óleos essenciais (OE) de atividade inseticida. Dessa forma, realizou-se um estudo de funcionalização de tecidos com OE de cravo folhas encapsulado em nanopartículas, constituídas de alginato ou quitosana, obtidas a partir da técnica de gelificação iônica. Foi investigada a influência da composição da cápsula e do tipo de tecido na capacidade de liberação prolongada do óleo. A morfologia das cápsulas foi avaliada em microscópio óptico de luz transmitida. A estabilidade das suspensões de nanopartículas foi avaliada pela análise do potencial zeta, e o tamanho médio das partículas foi determinado por espalhamento de luz dinâmica (DLS). Os resultados obtidos indicaram que a eficiência de encapsulação foi maior para o sistema constituído de quitosana (62,64%) em comparação com o constituído de alginato (41,33%), podendo estar relacionada ao tamanho médio da cápsula de quitosana, que foi mais elevado do que a cápsula de alginato (2,2 vezes). A suspensão de alginato apresentou baixo índice de polidispersão e tamanho mais homogêneo do que a suspensão de quitosana. Ambas as suspensões apresentaram boa estabilidade e, em módulo, o potencial zeta da suspensão de alginato (-28,97 mV) foi menor que o da quitosana (36,73 mV). Nos ensaios de liberação de óleo, no período de 1 h, a amostra de algodão impregnada com nanopartículas de quitosana apresentou a menor quantidade liberada, enquanto a amostra de algodão/poliéster impregnada com nanopartículas de alginato apresentou a maior quantidade. Já para amostras de algodão/poliéster impregnada com quitosana, não foi detectada a presença de óleo nas amostras de água no período avaliado, passando a ter a liberação detectada apenas após 1 dia. Em geral, no decorrer de 14 dias, as amostras com quitosana tiveram a quantidade cumulativa liberada abaixo das amostras com alginato, sendo mantido um crescimento discreto ainda no 14º dia de liberação. Em relação aos diferentes tipos de tecido, a liberação foi maior para o tecido misto algodão/poliéster. Com base nos dados obtidos, pode-se dizer que os resultados de comparação da composição da cápsula foram promissores, considerando uma aplicação como tecido com funcionalidade inseticida. A liberação mais lenta tende a ser desejável, pois pode resultar em um efeito prolongado. Além disso, foi possível observar a influência do tipo tecido na liberação, indo de encontro com o resultado de outros autores, e entender a importância e relação entre as análises de caracterização das suspensões, substratos funcionalizados e funcionamento da liberação do agente ativo. Entretanto, outros estudos são necessários, a fim de avaliar se a taxa de liberação do agente ativo é suficiente para promover o efeito desejado de repelência/inseticida.

Palavras-chave: Óleo essencial de cravo. Inseticida. Encapsulação. Biopolímero. Substrato têxtil. Liberação prolongada.

ABSTRACT

Of all the infectious diseases existing in the world, 17% are transmitted by vectors, causing thousands of deaths per year in the world. In addition to infectious diseases, it is also noteworthy that about 15% of people who suffer from insect attacks have allergic reactions to these bites. As a result, there has been a growing interest in alternatives that eliminate the need to apply and reapply repellents and insecticides, opening space for textiles functionalized with essential oils (EO) with insecticidal activity. Thus, a study of tissue functionalization was carried out with clove leaves EO encapsulated in nanoparticles, consisting of alginate or chitosan, obtained from the ionic gelation technique. The influence of capsule composition and tissue type on the prolonged-release capacity of the oil was investigated. The morphology of the capsules was evaluated in an optical transmitted light microscope. The stability of nanoparticle suspensions was evaluated by zeta potential analysis, and the average particle size was determined by dynamic light scattering (DLS). The results obtained indicated that the encapsulation efficiency was higher for the system consisting of chitosan (62.64%) compared to the one consisting of alginate (41.33%), which may be related to the average size of the chitosan capsule, which was higher than the alginate capsule (2.2 times). The alginate suspension had a low polydispersity index and a more homogeneous size than the chitosan suspension. Both suspensions showed good stability and, in modulus, the zeta potential of the alginate suspension (-28.97 mV) was lower than that of chitosan (36.73 mV). In the oil release tests, in the period of 1 h, the cotton sample impregnated with chitosan nanoparticles showed the smallest amount released, while the cotton/polyester sample impregnated with alginate nanoparticles showed the largest amount. As for cotton/polyester samples impregnated with chitosan, the presence of oil was not detected in the water samples in this evaluated period, and the release was detected only after 1 day. In general, over 14 days, the chitosan samples had the cumulative amount released below the alginate samples, with a slight growth being maintained even on the 14th day of release. Regarding the different types of fabric, the release was greater for the mixed cotton/polyester fabric. Based on the data obtained, it can be said that the results of comparing the composition of the capsule were promising, considering an application as a fabric with insecticidal functionality. Slower release tends to be desirable as it can result in a lingering effect. In addition, it was possible to observe the influence of tissue type on the release, in line with the results of other authors, and to understand the importance and relationship between the analysis of the characterization of suspensions, functionalized substrates, and the functioning of the release of the active agent. However, further studies are needed to assess whether the release rate of the active agent is sufficient to promote the desired repellency/insecticide effect.

Keywords: Clove essential oil. Insecticide. Encapsulation. Biopolymers. Textile substrate. Prolonged release.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Tendência das publicações relacionando os termos <i>textile, insect, repellent + encapsulation</i>	21
Figura 2 - Estrutura esquemática de nanocápsulas e nanoesferas.	25
Figura 3 - Técnicas de nanoencapsulação em abordagens top-down e bottom-up.	30
Figura 4 - Diagrama esquemático da preparação das nanocápsulas via gelificação iônica.	32
Figura 5 - Estrutura química do alginato formado pelos blocos M e G.	33
Figura 6 - Estrutura química da quitosana.....	35
Figura 7 - Representação esquemática de liberação imediata, prolongada e controlada.	37
Figura 8 - Esquema de funcionamento do equipamento Foulard.....	38
Figura 9 - Ampliação da suspensão de alginato em 20x.	45
Figura 10 - Ampliação da suspensão de quitosana em 20x.....	45
Figura 11 - Varredura do óleo essencial de cravo folhas.	46
Figura 12 - Curva padrão de calibração de análise do óleo essencial de cravo folhas por absorção espectrofotométrica a 279 nm.	47
Figura 13 - Comparação de densidade entre os tecidos (a) CO e (b) CO/PES, respectivamente.	50
Figura 14 - Cinética de liberação do OEC em água durante 1 hora.	51
Figura 15 - Cinética de liberação do OEC em água durante 14 dias.....	52

LISTA DE QUADROS

Quadro 1 - Propriedades reportadas para os principais componentes de cravo.	24
Quadro 2 - Áreas de aplicações do OEs encapsulados.....	26
Quadro 3 - Estudo da arte do encapsulamento de OEs.....	27
Quadro 4 - Informações sobre os substratos utilizados.	39
Quadro 5 - Identificação das amostras.	43

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Eficiência de encapsulação, potencial zeta, índice de polidispersão e tamanho das nanocápsulas de alginato e quitosana.	47
Tabela 2 - Ganho de massa dos substratos após impregnação das suspensões.	49

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

- ABINT Associação Brasileira das Indústrias de Nãotecidos e Tecidos Técnicos
- A-CO Amostra 100% algodão impregnada com nanocápsulas de alginato
- A-CO/PES Amostra 50% algodão 50% poliéster impregnada com nanocápsulas de alginato
- DLS *Dynamic Light Scattering* (espalhamento de luz dinâmica)
- EE Eficiência de encapsulação
- NP Nanopartículas
- OE Óleo essencial
- OEC Óleo essencial de cravo
- ONGs Organizações não governamentais
- PDI Índice de polidispersão
- PM Peso molecular
- Q-CO Amostra 100% algodão impregnada com nanocápsulas de quitosana
- Q-CO/PES Amostra 50% algodão 50% poliéster impregnada com nanocápsulas de quitosana
- TPP Tripolifosfato de sódio
- UV-Vis Ultravioleta visível
- $\lambda_{\text{máx}}$ Comprimento de onda máximo de absorção

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	13
1.1	OBJETIVOS	15
1.1.1	Objetivo geral.....	15
1.1.2	Objetivos específicos.....	16
1.1.3	Estrutura da monografia	16
2	REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	17
2.1	TÊXTEIS TÉCNICOS.....	17
2.1.1	Têxteis com efeito inseticida/repelente.....	19
2.2	ÓLEOS ESSENCIAIS	22
2.2.1	Óleo essencial de cravo.....	23
2.3	ENCAPSULAÇÃO DE AGENTES ATIVOS	24
2.3.1	Técnicas de encapsulação.....	29
<i>2.3.1.1</i>	<i>Emulsão com gelificação iônica.....</i>	<i>31</i>
<i>2.3.1.2</i>	<i>Material de parede</i>	<i>32</i>
<i>2.3.1.2.1</i>	<i>Alginato</i>	<i>33</i>
<i>2.3.1.2.2</i>	<i>Quitosana</i>	<i>35</i>
<i>2.3.1.3</i>	<i>Liberação prolongada dos agentes ativos.....</i>	<i>36</i>
2.3.2	Aplicação da nanotecnologia em substratos têxteis.....	37
3	MATERIAIS E MÉTODOS	39
3.1	Materiais	39
3.1.1	Substratos têxteis	39
3.1.2	Reagentes	39
3.2	Métodos	40
3.2.1	Curva de calibração do óleo essencial.....	40
3.2.2	Síntese das nanopartículas de alginato	40
3.2.3	Síntese das nanopartículas de quitosana	41

3.2.4	Eficiência de encapsulamento por UV-vis	42
3.2.5	Caracterização das nanocápsulas.....	42
3.2.5.1	<i>Estabilidade e tamanho de partícula.....</i>	<i>42</i>
3.2.5.2	<i>Microscopia Óptica</i>	<i>43</i>
3.2.6	Aplicação das nanocápsulas em substratos têxteis	43
3.2.7	Gravimetria	43
3.2.8	Cinética de liberação do OEC em água	44
4	RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	45
5	CONCLUSÃO.....	54
5.1	Recomendações para trabalhos futuros	55
	REFERÊNCIAS.....	56
	ANEXO A – Cromatografia gasosa do óleo essencial de cravos folhas.....	68

1 INTRODUÇÃO

Segundo a Organização Mundial da Saúde (WHO, 2020), de todas as doenças infecciosas existentes no mundo, 17% são transmitidas por vetores. Em países subtropicais e tropicais, os mosquitos são vetores de doenças como a malária, febre amarela, dengue, Chikungunya e o Zika vírus, as quais acometem milhares de pessoas todos os anos. Somente em relação à malária, estima-se que ocorreram 241 milhões de casos e 627.000 mortes em todo o mundo em 2020 (WHO, 2021), sendo de uma criança a cada dois minutos (OPAS, 2022). No Brasil, as epidemias de dengue e Zika têm representado um grave problema de saúde pública, agravado pelo fato do mosquito transmissor *Aedes aegypti* ser urbano, com preferência por locais de alta densidade populacional e baixa cobertura vegetal (IOC, 2022). Além das doenças infecciosas, destaca-se também que cerca de 15% das pessoas que sofrem ataque de insetos têm reações alérgicas a essas picadas (ROGER PEREIRA, 2012).

Considerando tanto o incômodo da presença de insetos nos ambientes quanto o fato de que apenas uma picada de um inseto contaminado pode provocar graves doenças, medidas de proteção são fundamentais. As medidas de proteção convencionais envolvem o uso de repelentes para a pele e aerossóis inseticidas. No entanto, tem sido crescente o interesse por alternativas que eliminem a necessidade de aplicação e reaplicação de repelentes e de inseticidas que podem dar a sensação de ar/ambiente carregado (WELKHOFF, 2021; SUMITOMO CHEMICAL LATIN AMERICA, 2021). Nesse sentido, os têxteis funcionalizados com componentes inseticidas representam uma alternativa duradoura de proteção, podendo ser utilizados em cortinas, mosquiteiros e peças de vestuário (CHATHA *et al.*, 2019).

Os constituintes desses produtos podem ter origem sintética ou natural. Os compostos sintéticos são muito utilizados comercialmente por serem mais eficazes e duradouros, quando comparados a repelentes naturais (ANUAR; YUSOF, 2016). Já os compostos naturais, sobretudo os óleos essenciais (OEs), são seguros e ecologicamente corretos, sendo uma alternativa para as fontes sintéticas de repelentes de mosquitos (ANUAR; YUSOF, 2016). Entretanto, esses compostos apresentam limitações relacionadas, principalmente, com a rápida volatilização, oxidação dos compostos e, conseqüentemente, a baixa duração da ação repelente. Além desses fatores, em geral, apresentam características de forte odor, sendo desagradável aos usuários. A aplicação direta na pele também não é recomendada, pois pode ocorrer irritação dérmica (TAVARES *et al.*, 2018).

Outra desvantagem dos óleos essenciais é a hidrofobicidade e a baixa solubilidade em água, limitando a sua incorporação na forma livre. Desta forma, técnicas de micro e nanoencapsulação surgem como possibilidade para essa incorporação, aumentando a estabilidade, reduzindo a taxa de migração do composto para o meio e prolongando o tempo de ação do agente ativo (ZANATTA, 2017).

Diversos polímeros podem ser utilizados como material de revestimento para o encapsulamento de compostos ativos. Em consonância com o apelo natural dos óleos essenciais, polímeros naturais são atrativos pela biocompatibilidade, biodegradabilidade e não-toxicidade. A quitosana é um polissacarídeo obtido da desacetilação da quitina, encontrada em abundância no exoesqueleto de crustáceos. Uma das características que mais despertam interesse deste polímero para aplicações envolvendo têxteis e a encapsulação, é o fato da quitosana ser catiônica e a maioria das fibras têxteis ser aniônicas, o que favorece as interações químicas (VALLE *et al.*, 2021).

Outro biopolímero muito empregado para a produção de micro e nanocápsulas é o alginato de sódio. Este polissacarídeo é encontrado em abundância em algas marinhas marrons e, assim como a quitosana, é biocompatível, biodegradável e não tóxico, porém é aniônico. Uma das características responsáveis pela versatilidade do alginato é a capacidade de formar estruturas fortemente reticuladas na presença de íons divalentes, como o cálcio, o que contribui para a obtenção de sistemas de liberação controlada (MARTINS *et al.*, 2017).

O óleo essencial extraído das folhas de cravo-da-índia possui como componente majoritário o eugenol (>70%) (JIROVETZ *et al.*, 2002). Por esse motivo, o OE dessa espécie apresenta como principais atividades: ação antiviral, anti-úlceras, antidiabético, afrodisíaco, antioxidante, antitumoral, anestésico e anti-inflamatório, antimicrobiano e inseticida (CEZARO, 2015). Além de serem seguros e ecologicamente corretos, podendo ser utilizado em diversas aplicações industriais, são uma alternativa para as fontes sintéticas de repelentes de mosquitos (ANUAR; YUSOF, 2016).

Entretanto, OEs são, em sua maioria, instáveis e sensíveis à modificação química, principalmente na presença de alguns fatores externos, como temperatura, luz, oxigênio e umidade (VITTI; BRITO, 2003; COSTA, 2020). Assim, para manter os princípios ativos, proteger da oxidação e prolongar a vida útil do mesmo é necessário criar uma barreira protetora para o óleo.

Com o uso das técnicas de encapsulação, o desempenho de repelentes naturais pode ser melhorado e óleos essenciais podem se tornar uma opção mais viável para uso em repelentes

amigáveis e ao mesmo tempo duradouros (ZANATTA, 2017). A encapsulação de inseticidas em têxteis pode possibilitar o desenvolvimento de substratos com esse apelo, conectando o universo têxtil convencional com novas tecnologias e novos processos. A premissa de que, ao entrar em contato com uma superfície contendo agente inseticida, os mosquitos ficam paralisados e morrem, abre um campo para estudos sobre a obtenção de um substrato têxtil que contribua para a problemática das doenças infecciosas e problemas alérgicos (DEBBOUN; FRANCES; STRICKMAN, 2014; ELSAYED; HASSABO, 2021).

Dessa forma, estudos envolvendo o encapsulamento de agentes ativos e sua aplicação em substratos têxteis podem fornecer respostas promissoras sobre esse tema que constitui uma abordagem inovadora, pois pode ajudar a reduzir as estatísticas de casos de doenças vetoriais sem causar um efeito colateral ao usuário.

Considerando os aspectos acima mencionados, no presente estudo, objetivou-se encapsular o óleo essencial de cravo em nanopartículas constituídas de alginato ou quitosana obtidas a partir da técnica de gelificação iônica. Essas cápsulas foram caracterizadas em relação à eficiência de encapsulação, tamanho, estabilidade e morfologia e então foram impregnadas em tecidos de algodão de diferentes densidades. Ensaios de liberação *in vitro* foram realizados de forma a investigar a influência da composição da cápsula e da densidade do tecido na capacidade de migração prolongada do óleo de cravo.

1.1 OBJETIVOS

Nas seções abaixo estão descritos o objetivo geral e os objetivos específicos deste trabalho.

1.1.1 Objetivo geral

O objetivo geral deste trabalho é a obtenção de substratos têxteis de algodão com liberação prolongada de agente inseticida, a partir da nanoencapsulação do óleo essencial de cravo (*Eugenia caryophyllus*), utilizando como polímeros o alginato e a quitosana.

1.1.2 Objetivos específicos

Foram objetivos específicos deste trabalho:

- Desenvolver nanocápsulas de alginato e quitosana carregadas com óleo essencial de cravo (OEC);
- Avaliar a eficiência de encapsulação do óleo nas cápsulas de alginato e quitosana;
- Caracterizar as nanocápsulas obtidas quanto ao tamanho, dispersão de tamanho, estabilidade e morfologia;
- Aplicar as cápsulas em substratos têxteis por meio de impregnação no *Foulard* em substratos têxteis de diferentes composições e densidades;
- Avaliar a liberação prolongada do óleo essencial (OE), comparando o efeito da encapsulação com alginato e a de quitosana e os diferentes tecidos.

1.1.3 Estrutura da monografia

Esta monografia foi dividida em quatro seções principais. Na primeira seção, foi abordada a introdução e bem como os objetivos deste estudo. A segunda seção apresenta os aspectos teóricos, e relevantes, relativos aos óleos essenciais, técnicas de preparação das nanopartículas, encapsulamento, bem como a adsorção das nanopartículas em diferentes tecidos e liberação do agente ativo oleoso. Os procedimentos experimentais que foram aplicados durante o desenvolvimento do presente estudo, e as técnicas de caracterização selecionadas, foram descritos na terceira seção. Na sequência, são apresentados os resultados e as discussões e, por fim, são apresentadas as conclusões obtidas deste estudo.

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

A seguir, uma breve revisão bibliográfica sobre (i) os têxteis técnicos, (ii) as aplicações dos têxteis funcionais, com efeito inseticida, (iii) os óleos essenciais e o OE cravo-da-índia (*Eugenia caryophyllus*), (iv) a nanotecnologia e suas técnicas de nanoencapsulamento de OEs, (v) as particularidades das nanopartículas poliméricas (NP), (vi) os mecanismos de liberação controlada desse sistema e (vii) aplicação das nanopartículas em substratos têxteis.

2.1 TÊXTEIS TÉCNICOS

Os têxteis técnicos surgiram para agregar valor à substratos têxteis por meio de processos que permitem a adição de propriedades específicas, diferenciando-os dos têxteis convencionais. Entretanto, esses processos eram inicialmente considerados uma barreira entre funcionalidade e estética/conforto, pois não havia perspectivas de combinar ambas (BYRNE, 2000).

Após muitas pesquisas ao longo dos anos, surgiram diversas aplicações funcionais que não deixaram de lado a possibilidade de manter o conforto, a respirabilidade, a mobilidade e a estética agradável. Dessa forma, os artigos têxteis atuais incluem não apenas funcionalidade técnica, mas também a estética e o conforto (GOPALAKRISHNAN, 2007).

O *Textile Institute* (1995) apud Matsuo (2008), em “*Textile Terms and Definitions*”, definiu têxtil técnico como um substrato que é fabricado tendo como prioridade o desempenho técnico e propriedades funcionais, ao invés de estética ou características decorativas.

A definição de têxteis técnicos, segundo a Associação Brasileira das Indústrias de Não tecidos e Tecidos Técnicos, ABINT, (2022) diz que os mesmos “são materiais constituídos de matérias primas na forma de fibras, fios, filamentos, etc., nos mais diferentes arranjos (flocos, fios, tecidos, não tecidos) com aplicações que necessitem de desempenho bem determinado, visando praticidade, segurança, economia e durabilidade definida, exceto os têxteis que são utilizados em moda, cama, mesa e banho”.

Também podem ser definidos como fibras ou substratos têxteis desenvolvidos com características, sejam de ordem técnica, estética ou ambas, que respondem a uma demanda específica e trazem propriedades técnicas muitas vezes não presentes em têxteis convencionais, como têxteis lar e vestuário (VENTURELLI, 2016).

Essas definições estão, portanto, relacionadas às possibilidades inovadoras que surgiram para aplicações nas diversas áreas, incluindo agricultura, construção, transporte, industrial, médica e higiene, têxteis lar, vestuário, esportiva, dentre outras (BYRNE, 2000).

Os têxteis técnicos podem ser subdivididos em têxteis funcionais e inteligentes.

Os têxteis funcionais são têxteis que possuem características que proporcionam novas funções para o que seria um têxtil convencional, por exemplo a melhoria da estabilidade mecânica, química, fotoquímica e térmica; o aumento da repelência à água, ao óleo e à sujidade; efeitos protetores eletromagnéticos e antiestáticos; a imobilização e liberação controlada de espécies ativas para efeitos de bem-estar, terapêuticos e biocidas (PAN; SUN, 2011).

Já os têxteis inteligentes se diferenciam por terem suas características e propriedades ativadas, de maneira controlada ou prevista, ao serem submetidos a estímulos externos, tais como estímulos mecânicos, térmicos, químicos, elétricos, magnéticos ou de outras fontes (TAO, 2001; SÁNCHEZ, 2006). Materiais de mudança de fase, com memória de forma, crômicos, luminescentes, fotovoltaicos e têxteis condutores, entre outros, são exemplos de têxteis inteligentes (FERREIRA; FERREIRA; OLIVEIRA, 2014).

A nanotecnologia, que trata da manipulação da matéria em escala atômica e molecular, vem chamando crescente atenção para o desenvolvimento de têxteis inteligentes e funcionais. Funcionalidades, como atividade antimicrobiana, proteção contra a radiação ultravioleta, superhidrofobicidade e efeito retardante de chama podem ser obtidas com a utilização de nanopartículas metálicas e de óxidos metálicos, como a prata, óxido de zinco, dióxido de titânio, nanotubos de carbono, dentre outras. Já as nanopartículas poliméricas podem ser utilizadas para encapsular compostos voláteis ou que necessitem de um efeito prolongado como, por exemplo, em têxteis com liberação de fragrâncias e de compostos terapêuticos. De forma geral, os nanomateriais são atrativos pois, devido à alta relação área/volume e à alta energia superficial, pequenas quantidades são necessárias para a obtenção do efeito desejado, o que configura um aspecto econômico. Além disso, as características dos têxteis como durabilidade, maciez, respirabilidade e flexibilidade podem ser preservadas (PATRA; GOUDA, 2013).

Sendo assim, a aplicação da nanotecnologia pode ser um dos processos que transforma um produto têxtil em um têxtil funcional, de forma que ele atinja requisitos de liberação do seu conteúdo sob velocidade e condições específicas. Sendo assim, é possível projetar e determinar a duração das propriedades desejadas a partir da caracterização do material.

2.1.1 Têxteis com efeito inseticida/repelente

Segundo pesquisas, cerca de 15% das pessoas que sofrem um ataque de insetos, têm reações alérgicas a essas picadas (ROGER PEREIRA, 2012). Além dessa situação, existem pessoas alérgicas e sensíveis aos componentes de inseticidas, loções e sprays repelentes. O fator mais preocupante, entretanto, segundo dados divulgados pela *World Health Organization*, WHO, (2020), é que as doenças transmitidas por insetos vetores representam 17% de todas as doenças infecciosas. Sendo que, por ano, ocorrem mais de 700 mil mortes devido a essas doenças.

Considerando que apenas uma picada de um inseto contaminado, pode provocar graves doenças, fica evidente a importância do uso individual de repelentes. Isso também faz com que diversos pesquisadores e ONGs reflitam sobre as possibilidades de criar ambientes seguros, sem que haja a necessidade de aplicação e reaplicação de repelentes, aerossóis, uso de agentes que dão a sensação de ar/ambiente carregado e roupas de proteção desconfortáveis (WELKHOFF, 2021; SUMITOMO CHEMICAL LATIN AMERICA, 2021).

Quando o universo têxtil convencional é conectado com novas tecnologias e novos processos, permite-se a criação de têxteis técnicos, inteligentes e funcionais que suprem necessidades específicas. Existem, no mercado, produtos com funcionalidades semelhantes de proteção contra insetos, mas que deixam a desejar no quesito estético (VESTERGAARD, 2021).

Apesar de pesquisadores buscarem desenvolver produtos e processos aplicando encapsulamento de repelentes em têxteis, há baixa disponibilidade de substratos com apelo inseticida no mercado, o que indica oportunidades para aplicações em segmentos como arquitetura, camping, decoração, têxteis lar, entre outros.

Os têxteis com características de repelência a mosquitos apresentam dois efeitos: o primeiro é afastar o mosquito do tecido tratado, já o segundo é paralisar e derrubar os mosquitos quando estes entram em contato com o têxtil tratado (ANUAR; YUSOF, 2016).

Dessa forma, a premissa de que, ao entrar em contato com uma superfície contendo agente inseticida, os mosquitos ficam paralisados e morrem, abre um campo para estudos sobre a obtenção de um substrato têxtil que contribua para a problemática das doenças e problemas alérgicos (DEBBOUN; FRANCES; STRICKMAN, 2014; ELSAYED; HASSABO, 2021).

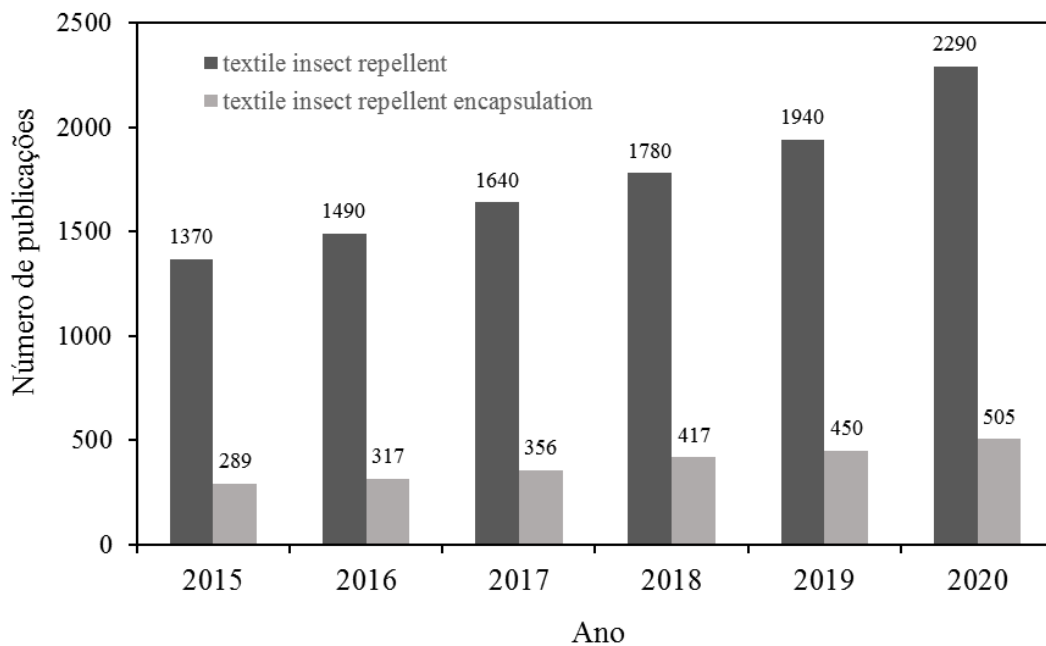
Os constituintes dos repelentes podem ter origem sintética ou natural. Os sintéticos, como, por exemplo, o DEET (N,N-dietil-m-toluamida), permetrina e picaridina, são piretróides

muito utilizados comercialmente por serem mais eficazes e duradouros, quando comparados a repelentes naturais (ANUAR; YUSOF, 2016)

Já os repelentes naturais são comumente óleos essenciais e extratos de plantas, tais como citronela, capim-limão, pimenta-preta, cravo, eucalipto e alho (TAVARES *et al.*, 2018). Esses repelentes apresentam limitações em comparação com os sintéticos, relacionadas principalmente com a rápida volatilização, oxidação dos compostos e, conseqüentemente, a baixa duração da ação repelente. Além disso, as características de forte odor dos óleos essenciais podem ser desagradáveis ao usuário e a aplicação direta na pele não é recomendada, pois pode ocorrer irritação dérmica (TAVARES *et al.*, 2018). Entretanto, os compostos naturais são seguros e ecologicamente corretos, sendo uma alternativa para as fontes sintéticas de repelentes de mosquitos (ANUAR; YUSOF, 2016). Essas desvantagens podem ser compensadas pelo uso de técnicas de encapsulação de compostos ativos, as quais aumentam a estabilidade e reduzem a taxa de migração do composto para o meio, prolongando o tempo de ação.

Diversos estudos relatam o uso de compostos naturais para ação repelente, como óleo essencial de eucalipto limão, citronela e Neem (TAVARES *et al.*, 2018). A maioria desses, no entanto, visa a aplicação em loções tópicas. A aplicação de repelentes naturais e até mesmo compostos sintéticos em substratos têxteis ainda é escassa, mas vem demonstrando crescimento nos últimos anos. Uma consulta na base de dados *Google Scholar* com os termos *textile*, *insect* e *repellent* (março de 2022), indicam um aumento de 67% no número de publicações envolvendo esse assunto entre os anos de 2015 e 2020. Quando adicionada a palavra *encapsulation* à pesquisa, os resultados apontam um crescimento de quase 75% entre os anos de 2015 e 2020, conforme indicado na Figura 1.

Figura 1 - Tendência das publicações relacionando os termos *textile*, *insect*, *repellent* + *encapsulation*.



Fonte: O autor (2022)

Assumpção (2012), por exemplo, apresenta em seu trabalho a impregnação de nanopartículas lipídicas de permetrina em diferentes substratos têxteis, visando a longa duração desse repelente sintético. A formulação foi impregnada em tecidos de algodão ou poliéster, apresentando variação na quantidade de permetrina impregnada nos diferentes tecidos utilizados. O tecido que obteve a maior quantidade de permetrina impregnada foi o algodão, apresentando melhor perfil de liberação e boa estabilidade física após 30 dias da preparação.

Já Soroh *et al.* (2021), utilizaram em seus estudos uma mistura de óleos essenciais, encapsularam com alginato-quitosana por meio da técnica de gelificação iônica e aplicaram em tecidos de algodão ou poliéster. Os seus resultados foram semelhantes ao de Assumpção, onde as amostras de algodão impregnadas apresentaram maior captação das nanopartículas e estabilidade moderada ao longo de 14 dias.

Sendo assim, um material com liberação prolongada de agente inseticida, que permite criar ambientes seguros contra mosquitos, torna-se atrativo pensando nas diversas possibilidades oriundas da nanotecnologia e suas combinações.

2.2 ÓLEOS ESSENCIAIS

Os óleos essenciais (OEs) são produtos de origem vegetal obtidos a partir de processo físico (destilação por arraste com vapor de água, destilação à pressão reduzida ou outro método adequado) (TEODORO, 2016). Eles são extraídos das plantas (folhas, raízes, sementes, frutos, flores ou troncos), possuem aroma intenso e alta volatilidade. Geralmente são líquidos de aparência oleosa à temperatura ambiente, com coloração incolor ou ligeiramente amarelada (VITTI e BRITO, 2003; POPIOLSKI, 2016).

A *International Standard Organization*, ISO (1997), define óleos essenciais como misturas complexas, contendo várias substâncias com composição química variada, e possuem entre 20 e 60 componentes em concentrações diferentes (TEODORO, 2016). Cada constituinte da composição química do OE possui efeitos que somados dão origem ao efeito deste óleo. Segundo Zhai *et al.* (2018), até 85% da mistura total é constituída por 2 ou 3 componentes que contribuem para a principal propriedade da mistura.

A maioria dos OEs possui índice de refração e são opticamente ativos, sendo essa propriedade muito usada para a identificação dos compostos e controle de qualidade (VITTI; BRITO, 2003).

Pesquisadores indicam que a variação dos constituintes voláteis da composição química dos OEs é comum devido a fatores que vão do cultivo à extração, como o processo de extração e suas condições, as variações sazonais, maturação, horário em que foi realizada a colheita, secagem, nutrientes disponíveis para o crescimento das plantas, armazenamento etc. (CARVALHO FILHO *et al.*, 2006; PEDRO *et al.*, 2013; COSTA, 2020). Além disso, Marco *et al.* (2007), constataram que o espaçamento entre as plantas, a altura das mesmas, a fase do crescimento e época de corte influenciam na produção e qualidade do óleo, assim como nos constituintes e propriedades do mesmo.

Como já apresentado, a grande diversidade de componentes químicos atribuí aos OEs propriedades importantes, que têm sido amplamente exploradas em diferentes setores para, por exemplo, conferir aromas especiais, mascarar odores desagradáveis, sínteses de outras substâncias úteis nas indústrias químicas e farmacêutica, além de serem usados como insumos em diversos produtos das indústrias de plásticos, tintas, borrachas, inseticidas e outras (MONTEIRO, 2008).

Por exemplo, no extrato da espécie de *Piper nigrum*, cujo principal ativo encontrado é a piperina, as propriedades inseticidas são conhecidas desde 1924 (CASTRO, 2007;

ZACHARIAH *et al.*, 2008; FERREIRA *et al.*, 2012; COSTA, 2020). Já o OE da espécie *Eucalyptus Globulus*, tem como componente principal o eucaliptol, apresentando concentração média de 80%, que atua no sistema respiratório com atividade expectorante, fluidificante e antisséptica (VITTI e BRITO, 2003; PEREIRA *et al.*, 2017).

Por serem compostos derivados de material vegetal com grande complexidade de hidrocarbonetos (terpenos e sesquiterpenos) e compostos oxigenados, durante a extração e armazenamento do OE, existe a necessidade de cuidados a serem tomados, pois estes óleos estão suscetíveis a uma rápida degradação (COSTA, 2020). Conforme Vitti e Brito (2003) e Costa (2020), os compostos ativos encontrados em OE são, em sua maioria, instáveis e sensíveis à modificação química, principalmente na presença de alguns fatores externos, como temperatura, luz, oxigênio e umidade.

Dessa forma, a fim de manter os princípios ativos, proteger da oxidação e prolongar a vida útil do mesmo é necessário criar uma barreira protetora para o óleo, o que será abordado nos próximos itens desta sessão.

2.2.1 Óleo essencial de cravo

O óleo de cravo é obtido a partir da destilação das flores, caules e folhas da árvore de craveiro-da-índia, uma árvore aromática nativa da Indonésia que produz uma das mais importantes especiarias comercializadas no mundo (FIGUEIREDO; SILVA; MORAIS, 2021). Pertencente à família Myrtaceae, é cientificamente conhecido como *Caryophyllus aromaticus* Teysm, *Eugenia aromática*, Baill., *Eugenia caryophyllus* Thumb., *Jambosa caryophyllus* Ndz. Et Spreng, *Myrtus caryophyllus* Spreng (FARMACOGNOSIA, 2022; MAEDA *et al.*, 1990).

Os componentes majoritários do OE extraído das folhas de cravo-da-índia são o eugenol (>70%), β -cariofileno e α -humuleno, contendo também frações de humuleno, isoeugenol, metileugenol, acetato de eugenila e outros componentes (JIROVETZ *et al.*, 2002).

O Quadro 1 resume as principais atividades descritas na literatura para esses três componentes principais do óleo do cravo-da-índia.

Quadro 1 - Propriedades reportadas para os principais componentes de cravo.

Componentes	Atividades reportadas
Eugenol	Antiviral; anti úlcera; antidiabético; afrodisíaco; antioxidante; antitumoral; anestésico e anti-inflamatório; antimicrobiano; inseticida
β -cariofileno	Inseticidas; inibidor de endemas; fagorrepelente; anti-inflamatório; antitumoral; antialérgico
α -humuleno	Anestésico e anti-inflamatório

Fonte: Adaptado de Cezaro (2015)

De acordo com Knaak e Fiuza (2010), a atividade inseticida de óleos essenciais pode ocorrer de diversas formas, causando: mortalidade, deformações em diferentes estágios de desenvolvimento, repelência e deterrência. Dentre os citados, a atividade repelente é o modo de ação mais comum dos OEs, agindo localmente ou à distância, a fim de impedir que os mosquitos entrem em contato com as superfícies.

No caso dos compostos do OE de *Eugenia caryophyllus*, eles são neurotóxicos para os insetos e causam nestes intoxicações de forma aguda ou subletal (JUMBO, 2013). Entretanto, não apresentam efeitos adversos potenciais, são reconhecidos como seguros e possuem propriedades interessantes para diversas aplicações (VALLE *et al.*, 2021). Assim, segundo Castro (2007), por ser uma alternativa mais segura, econômica e biodegradável em relação aos inseticidas sintéticos, o interesse por essas substâncias com princípios ativos dos inseticidas botânicos cresceu muito.

Apesar de os OEs serem eficazes quando aplicados, seus efeitos protetores geralmente se dissipam com relativa rapidez devido a sua volatilidade, e alta sensibilidade à luz, oxigênio e calor (NERIO *et al.*, 2010; CEZARO, 2015; KARLSEN, 2020). Essa propriedade poderia ser aprimorada com tecnologia que fosse capaz de manter os princípios ativos por mais tempo e liberá-los de forma gradual. Assim, a tecnologia de encapsulação serve como alternativa para protegê-lo, resultando no aumento da duração da repelência (SINGH *et al.*, 2012; TEODORO, 2016).

2.3 ENCAPSULAÇÃO DE AGENTES ATIVOS

Os OEs são voláteis e quimicamente instáveis na presença de ar, luz, umidade e altas temperaturas, pH etc. (COSTA, 2020). Por esse motivo, o OE aplicado diretamente nos substratos perde o potencial durante o armazenamento (CASTRO, 2007), sendo necessário

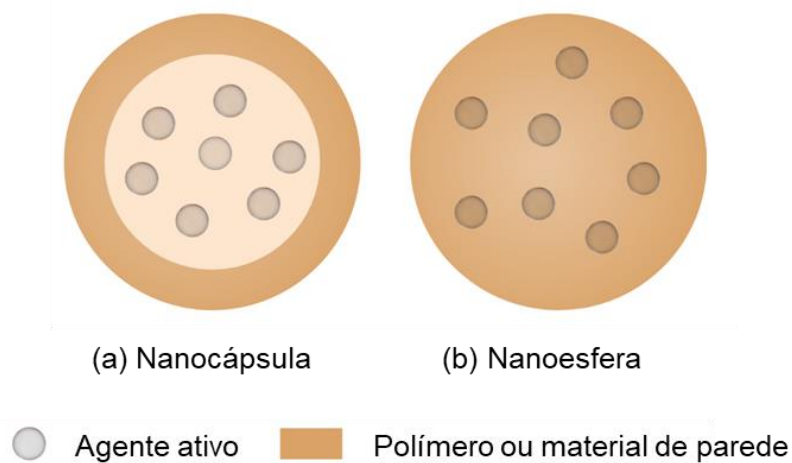
reduzir a volatilidade dos compostos para obter maior vida útil dos produtos e ampliar as aplicações possíveis. Uma abordagem viável e eficiente é o processo de encapsulação.

A encapsulação é definida como a tecnologia de aprisionamento de materiais ativos na forma de sólidos, líquidos ou até mesmo gasosos; estes materiais são encapsulados em camadas poliméricas que podem vir a liberar o material sob condições específicas e, ainda, em taxas controladas de velocidade e quantidade (MATTE; ROSA, 2013; BRATOVVIC; SULJAGIC, 2019). Essa tecnologia possui muitas aplicações potenciais em áreas como as indústrias química, farmacêutica, alimentícia, têxtil etc., variando de acordo com o tamanho das cápsulas obtidas (EZHILARASI *et al.*, 2012; KARLSEN, 2020).

As nanopartículas são definidas como estruturas nanométricas compostas por polímeros biodegradáveis de tamanho coloidal com diâmetros que variam de 1 a 100 nm e são expressas tanto como nanocápsulas quanto nanoesferas, dependendo do método de preparo e materiais empregados (BISCAIA, 2019).

A Figura 2 exemplifica a diferença entre esses dois tipos de nanopartículas.

Figura 2 - Estrutura esquemática de nanocápsulas e nanoesferas.



Fonte: Adaptado de Ezhilarasi *et al.* (2012)

As nanoesferas são sistemas de matriz polimérica onde o composto ativo está uniformemente disperso, não sendo possível identificar um núcleo diferenciado e não apresentando óleo em sua composição (ASSIS, 2018).

Já as nanocápsulas são sistemas vesiculares, que servem como uma matriz transportadora polimérica que retém substâncias ou moléculas bioativas (ASSIS, 2018; KARLSEN, 2020). Essas matrizes transportadoras, também chamadas de nanotransportadores ou nanocarreadores, tem a função de proteger os agentes ativos de fatores ambientais,

preservando suas propriedades organolépticas e físico-químicas, além de estender a atividade dos compostos (COSTA, 2020).

No caso dos OEs, o objetivo das nanocápsulas é prolongar a atividade diminuindo a evaporação dos compostos voláteis, permitindo a previsão de durabilidade do efeito dos agentes ativos.

O processo de nanoencapsulação é capaz de trazer vantagens como facilidade de manuseio, estabilidade física, química e biológica, proteção contra oxidação, melhor distribuição, permitir um direcionamento preciso do agente ativo, solubilidade, possibilidade de controlar a degradação da nanopartícula polimérica e conseqüentemente a liberação controlada dos componentes, proporcionando a aplicação em diversos setores (ASSIS, 2018; EZHILARASI *et al.*, 2012; COSTA, 2020; KARLSEN, 2020). O Quadro 2 apresenta as áreas de aplicações da encapsulação de OEs.

Quadro 2 - Áreas de aplicações do OEs encapsulados.

Áreas de aplicação
Liberação de drogas
Alimentos, utensílios domésticos e cuidados pessoais
Biotecnologia
Produtos farmacêuticos
Eletrônicos
Fotografia
Indústria química
Indústria têxtil
Cosméticos

Fonte: Karlsen (2020)

Concentrando a pesquisa bibliográfica na liberação prolongada de agentes, percebe-se que a mesma possibilita a adição de fragrâncias e funcionalidades aos têxteis (KARLSEN, 2020). Em geral, para que seja possível essa liberação prolongada, os óleos essenciais devem passar por uma técnica de encapsulação, cuja escolha depende da aplicação final.

A título de ilustração, no Quadro 3 encontram-se dispostos alguns estudos recentes sobre o encapsulamento do OE de cravo, relacionando material de parede, técnica de encapsulação utilizada, o tamanho de partícula obtido e suas principais observações.

Quadro 3 - Estudo da arte do encapsulamento de OEs.

Material de parede	Técnica de encapsulação	Tamanho obtido	Tipo de estudo	Principais observações	Referência
Látex: Estireno + Acrilato de butila	Polimerização via nanoemulsão	120 a 150 nm	Avaliação da atividade larvicida e repelente contra mosquitos <i>Aedes albopictus</i>	Apresentou eficiência de encapsulação (%EE) maior que 80% e manteve sua estabilidade coloidal no período avaliado de dois meses.	Zanatta, 2017
Zeína	Precipitação antissolvente	125 nm	Agente bioinseticida com baixa toxicidade	%EE de 92,03% As formulações foram estáveis durante 60 dias.	Saraiva <i>et al.</i> , 2021
Quitosana	Emulsificação + gelificação iônica	34 a 75 nm	Atividade inseticida em <i>Culex pipiens l.</i>	Os valores de concentrações letais indicaram que a nanopartícula de quitosana (9 ppm e 146 ppm) foi mais eficaz do que OE de cravo puro (17 ppm e 304 ppm).	Gohary <i>et al.</i> , 2021
		Não há informações	Tecidos anti-mosquito e autolimpantes modificados utilizando compósitos de óleo de cravo-CuO/TiO ₂	O óleo de cravo encapsulado pelo compósito óxido de cobre com dióxido de titânio apresentou a maior repelência (67%), quando comparado à amostra controle sem óleo e a sem compósito aplicado	Ibadurrohman, Kristianto e Slamet, 2022
		129 nm e 148 nm	Atividade antifúngica do OE de cravo com nanocápsulas de quitosana	Apresentou mudanças significativas na %EE e no tamanho das NPs ao alterar a proporção dos reagentes, resultando em uma %EE de 31%	Hasheminejad, Khodaiyan e Safari (2019)

(Continua)

Quadro 4 - Estudo da arte do encapsulamento de OEs.

(Continuação)

Material de parede	Técnica de encapsulação	Tamanho obtido	Tipo de estudo	Principais observações	Referência
Cera de carnaúba (CC)	Emulsificação à quente seguida de ultrasonicação	121,3 nm a 1489,0 nm	Nanoencapsulação de OEC em matrizes lipídicas	%EE variando entre 58 e 66%	Marques, 2017
Cera de abelha (CA)		227,2 a 443,1 nm			
Polietilenoglicol (PEG)	Dispersão por fusão com algumas modificações	179 nm / 197 nm	Atividade inseticida contra <i>Cryptolestes ferrugineus</i>	As NPs obtidas apresentaram 77 % de EE e alta toxicidade contínua durante 16 semanas de armazenamento. Seu tamanho mudou de 179 para 197 nm após 24 semanas de armazenamento e a %EE diminuiu cerca de 36%.	Ikawati <i>et al.</i> , 2021
Alginato de sódio	Emulsificação + gelificação iônica	Não há informações	Atividade antimicrobiana e antioxidante do OEC encapsulado e não encapsulado	90,02% de %EE. As partículas resultantes apresentaram menor atividade antioxidante e maior ação inibitória em relação ao óleo não encapsulado.	Radünz <i>et al.</i> , 2019
	Emulsificação modificado	$1,5 \times 10^6$ a 3×10^6	Preparação, caracterização e estudo de liberação in vitro de microesferas	A %EE foi de 24,77%, A quantidade de emulsificante e a velocidade empregada durante o processo de emulsificação podem ter impacto na %EE.	Faidi <i>et al.</i> , 2019

Fonte: O autor (2022)

2.3.1 Técnicas de encapsulação

A técnica de encapsulação é o processo em que o agente ativo é encapsulado por uma matriz polimérica, que geralmente produz partículas com diâmetros dentro na escala nano ou micrométrica (BISCAIA, 2019). Cientificamente, os diâmetros na escala nano variam entre 1 e 100 nm, enquanto na escala micro vão de 100 a 1000 nm, pois nem todos os materiais que estão na escala nanométrica são definidos como nanotecnologia (HUPFFER; LAZZARETTI, 2019; APOLINÁRIO *et al.*, 2020). O produto encapsulado influencia a forma das cápsulas e o seu tamanho, sendo idealmente esféricas (PEREIRA, 2007).

De acordo com Ezhilarasi *et al.* (2012), em geral, as técnicas de encapsulamento e sistema de entrega podem alterar as propriedades físico-químicas como tamanho de partícula, distribuição de tamanho, área de superfície, forma, solubilidade, eficiência de encapsulamento e mecanismos de liberação.

Dessa forma, entende-se a importância de selecionar adequadamente o encapsulante e a definição do método de encapsulamento apropriado, com base nas propriedades físico-químicas, natureza do material do núcleo e material da parede, do processo utilizado para formar a nanopartícula, tamanho de partícula, distribuição de tamanho, área de aplicação, mecanismo de liberação, toxicidade, escala de produção e fator econômico (PEREIRA, 2007; EZHILARASI *et al.*, 2012; TEODORO, 2016; COSTA, 2020; VALLE, 2021).

Devido a possibilidade de produzirem cápsulas na faixa de nanômetros, são consideradas técnicas de nanoencapsulação: emulsificação, coacervação, complexação de inclusão, emulsificação-evaporação de solvente, nanoprecipitação e técnica de fluido supercrítico (EZHILARASI *et al.*, 2012). Segundo Valle *et al.* (2021), os processos mais comumente apresentados na literatura são coacervação complexa, gelificação iônica, *layer-by-layer* (LBL), emulsificação e secagem por pulverização.

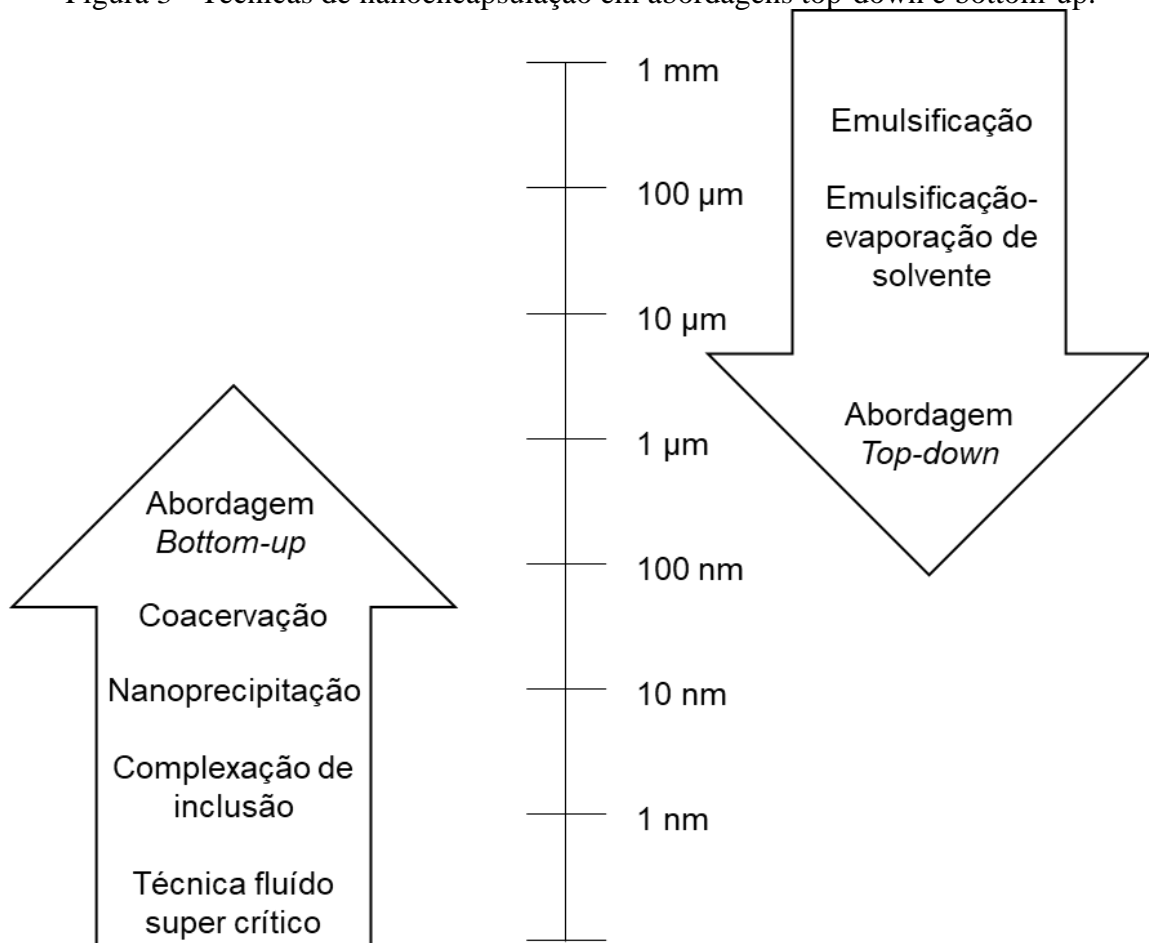
Existem duas abordagens para as técnicas de nanoencapsulação, são elas: de cima para baixo (*top-down*) e de baixo para cima (*bottom-up*) (HUPFFER; LAZZARETTI, 2019).

A abordagem de *top-down* refere-se aos métodos físicos e tem por objetivo reproduzir algo já existente, porém em escala menor que a original. Essa via de processamento envolve a aplicação de ferramentas precisas que permitem a redução do tamanho e a modelagem da estrutura, manipulando em forma macro até obter-se o tamanho desejado para a aplicação das nanopartículas (ASSIS, 2018; EZHILARASI *et al.*, 2012; HUPFFER; LAZZARETTI, 2019).

Já a abordagem *bottom-up* é a abordagem química, que consiste na criação de estruturas maiores do que o inicial (IQBAL; PREECE; MENDES, 2012). É um processo de montagem átomo por átomo ou molécula por molécula, que são adicionados até a formação de uma estrutura organizada (IQBAL; PREECE; MENDES, 2012; ASSIS, 2018).

A Figura 3 apresenta as duas abordagens na nanoencapsulação e suas respectivas técnicas.

Figura 3 - Técnicas de nanoencapsulação em abordagens top-down e bottom-up.



Fonte: Adaptado de Ezhilarasi *et al.* (2012)

A encapsulação pode manter a atividade do composto, isolando-o fisicamente do meio ambiente. No entanto, o grau de proteção oferecido por esta técnica é determinado pela escolha do método de encapsulamento (TEODORO, 2016). Assim, o encapsulamento de um OE envolve importantes etapas de escolha da técnica de encapsulação e do material de parede adequado. Entretanto, embora exista uma variedade de técnicas propostas na literatura, não existe um único método que possa ser reconhecido como padrão para encapsulamento de agentes ativos, como os OEs (SHISHIR *et al.*, 2018).

2.3.1.1 Emulsão com gelificação iônica

A gelificação iônica é uma técnica físico-química de produção de esferas ou cápsulas, que consiste na formação de estruturas gelatinosas, geralmente de formato esférico e em dimensões nanométricas, que tem por base a interação entre as cargas opostas de um polímero e contra-íons de um agente reticulante (CUNHA *et al.*, 2017; ALMEIDA, 2019; ALEXANDRINO, 2020).

Por ser atóxica, livre de solventes orgânicos, simples, não requer altas temperaturas ou pH extremo, a técnica de gelificação iônica torna-se de baixo custo em comparação com outras técnicas e pode ser empregada em diversas aplicações (ARANHA, 2015; TAKIHARA *et al.*, 2019; ALMEIDA, 2019; VALLE *et al.*, 2021). Entretanto, é necessário controlar rigorosamente parâmetros como concentração de polímero, velocidade de agitação, concentração de estabilizante para obter o gel, pois a gelificação iônica é baseada em uma interação eletrostática entre o polímero e o reticulante (ARANHA, 2015; VALLE *et al.*, 2021).

A formação de emulsões consiste em uma dispersão muito fina, composta por uma fase de óleo e uma fase aquosa (ASSIS *et al.*, 2012). Essa dispersão é obtida através de uma etapa de homogeneização que visa reduzir o tamanho médio das gotículas dos dois líquidos imiscíveis, obtendo emulsões mais estáveis com a adição de surfactantes (TEODORO, 2016).

Os sistemas emulsionantes são termodinamicamente instáveis, tendo assim a tendência de ocorrer a separação das fases aquosa e orgânica. Com a adição de surfactantes, a tensão superficial é reduzida, aumentando a estabilidade das emulsões. Dentre os surfactantes não-iônicos mais utilizados estão os ésteres de sorbitana polioxetilados, conhecidos comercialmente como Tween, que são derivados dos ácidos graxos de sorbitana e apresentam caráter hidrofílico devido à polaridade das suas moléculas (ALMEIDA, 2019).

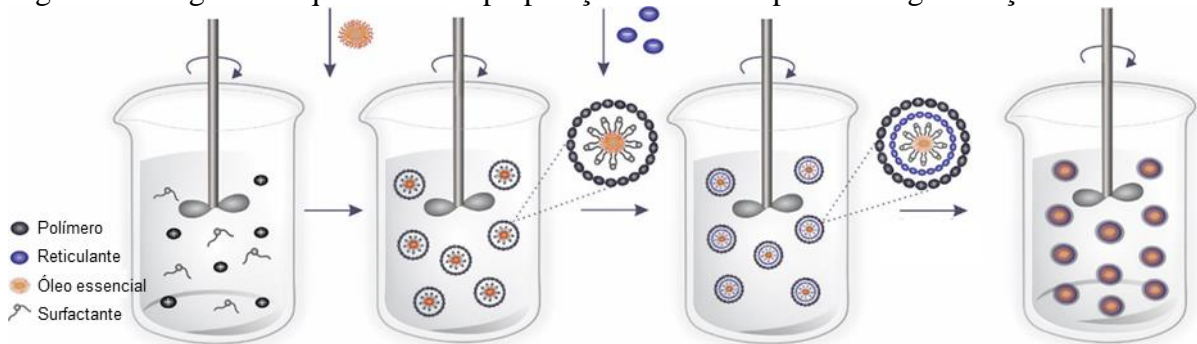
Para encapsular o óleo, primeiro, o material de parede é dissolvido, acrescenta-se o surfactante e o óleo é disperso para formar uma emulsão pelo uso de um homogeneizador. De acordo com Teodoro (2016), existem diferentes processos de homogeneização, sendo eles: mistura a altas velocidades, altas pressões de homogeneização (até 500 bar), microfluidização e emulsificação por ultrassom.

Além disso, em sua revisão, Teodoro (2016) ressalta que as propriedades físico-químicas do material de parede podem influenciar diretamente nas características das emulsões tais como: tamanho da gota, viscosidade e estabilidade.

Na técnica de gelificação iônica, um agente reticulante é gotejado, por meio de uma seringa ou pipeta de calibre reduzido, em uma solução polimérica contendo surfactante (TAKIHARA *et al.*, 2019). Dessa forma, cadeias poliméricas carregadas interagem eletrostaticamente com um meio de carga oposta, formando partículas incorporadas com material do núcleo, onde o meio carregado é usado como agente de reticulação (VALLE *et al.*, 2021).

A Figura 4 mostra um diagrama esquemático da técnica de gelificação iônica.

Figura 4 - Diagrama esquemático da preparação das nanocápsulas via gelificação iônica.



Fonte: Valle *et al.* (2021)

As interações eletrostáticas resultam na formação de géis insolúveis. No caso da formação de partículas de alginato, Aranha (2015) esclarece que “o endurecimento ocorre instantaneamente, começando na superfície na qual os íons divalentes reagem com as cadeias poliméricas carregadas negativamente, formando uma estrutura tridimensional rígida, com alto teor de água, através da qual os íons difundem para o interior da partícula, favorecendo a reticulação do exterior para o interior”.

2.3.1.2 Material de parede

O material responsável por ser o invólucro das cápsulas pode ser formulado usando uma ampla variedade de materiais, incluindo polímeros. Os polímeros são macromoléculas, naturais ou sintéticas, caracterizados por seu tamanho, estrutura química e interações intramoleculares e intermoleculares (PEREIRA, 2007).

Dessa forma, o material polimérico da matriz é selecionado de acordo com a aplicação das cápsulas, características físico-químicas e do uso pretendido do núcleo, a compatibilidade entre eles, a permeabilidade, das condições de processamento que as nanocápsulas estão

expostas, das capacidades e perfis de liberação, além do seu custo e disponibilidade (PILETTI, 2016; VALLE *et al.*, 2021; COSTA, 2020)

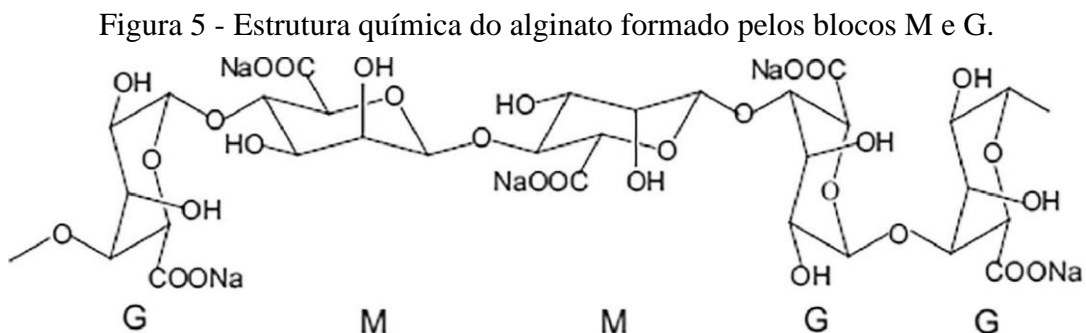
Dentre os polímeros naturais mais utilizados para encapsulação de OE destacam-se o alginato de sódio e a quitosana (MATTÉ; ROSA, 2013). Esses encapsulantes são os mais utilizados pela alta biocompatibilidade, baixa reatividade com os agentes ativos, ausência de toxicidade, biodegradabilidade, baixo custo e pela dissolução em meios brandos, como água ou solução ácida diluída, formando géis de maneira rápida e fácil (GOMBOTZ, 1998; MATTÉ; ROSA, 2013; TEODORO, 2016; KARLSEN, 2020).

2.3.1.2.1 Alginato

O alginato de sódio, conhecido popularmente como alginato (ALG), é um polissacarídeo natural, aniônico e solúvel em água. (ASSIS, 2008; EZHILARASI *et al.*, 2012). A principal fonte comercial do alginato são as algas marinhas pardas, podendo também ser obtido como produto extracelular das bactérias *Pseudobacter* e *Pseudomonas*. Possíveis diferenças sazonais, fazem com que haja variações em sua composição química, ou seja, ela depende da origem da matéria prima (SANCHES, 2020).

Quimicamente, o alginato é composto de cadeias lineares com segmentos rígidos e flexíveis, que possuem grupos ácidos carboxílicos em suas cadeias macromoleculares (VALLE *et al.*, 2021; EZHILARASI *et al.*, 2012).

O segmento rígido é atribuído aos blocos G, formados pelo monossacarídeo de ácido α -L-gulurônico; e o segmento flexível está associado aos blocos M, que são constituídos de unidades monossacarídicas de ácido β -D-manurônico. Tais unidades (M, G), representadas na Figura 5, são isômeros conformacionais, uma vez que possuem a mesma fórmula molecular e se diferem apenas no arranjo espacial dos átomos (EZHILARASI *et al.*, 2012; CARVALHO, 2019).



Fonte: Raus *et al.* (2021).

De acordo com Aranha (2015), as unidades G são a principal característica estrutural que contribui para a formação de gel, pois são as moléculas do alginato que formam reticulação com íons divalentes. Assim, em contato com soluções contendo íons bivalentes metálicos, sobretudo o Ca^{2+} , formam um gel resistente.

O gel iônico de alginato é formado instantaneamente na interface de contato dos íons Ca^{2+} com a solução de alginato, seguido pela difusão dos íons cálcio através desse gel, permitindo sua completa reticulação (PACHECO, 2016). Ou seja, a interação, entre os monômeros do alginato com os íons, causa a ligação entre cadeias lineares do ácido α -L-gulurônico (G) (PAULA *et al.*, 2009; EZHILARASI *et al.*, 2012).

No caso dos OEs encapsulados, segundo Ezhilarasi *et al.* (2012), a razão dos blocos G/M do alginato determina a taxa de intumescimento e, portanto, a taxa de difusão através do gel de alginato inchado que os envolve. Assim, dois importantes parâmetros estruturais são a distribuição dos grupos carboxila ao longo da cadeia polimérica e o peso molecular do polímero.

Em geral, alginatos com elevado teor de unidades G formam géis estáveis com permeabilidade elevada quando comparado com alginatos com um alto teor de unidades M (ARANHA, 2015). Isso ocorre pois o intumescimento proporciona maior afastamento entre as cadeias do polímero, permitindo uma maior difusão do agente ativo encapsulado para o meio onde será liberado (ALBARELLI, 2009). Entretanto, essa relação de teor das unidades depende da fonte que o alginato é obtido e tem influência direta nas suas propriedades físico-químicas (CARVALHO, 2019).

Outro fator importante é quantidade de íons cálcio na solução de alginato de sódio, pois, de acordo Pacheco (2016), à medida que se aumenta o conteúdo de cálcio em soluções de alginato de sódio ocorre o aumento da viscosidade da solução.

A reticulação do alginato com íons cálcio aumenta a resistência mecânica e as propriedades de barreira do biopolímero, fazendo com que o gel formado seja insolúvel em água (PACHECO, 2016). Isso permite uma variedade de aplicações industriais para esse biopolímero, por exemplo, nas indústrias têxtil, biomédica, engenharias, cosmética, agrícola e biotecnológica (GARCIA-CRUZ *et al.*, 2008; PACHECO, 2016).

Os métodos de produção geralmente envolvem o preparo da solução de alginato com surfactante, adicionando o OE, homogeneização da emulsão e gotejamento, controlado, da solução de CaCl_2 (TEODORO, 2016; CACURO, 2019; VALLE *et al.*, 2021).

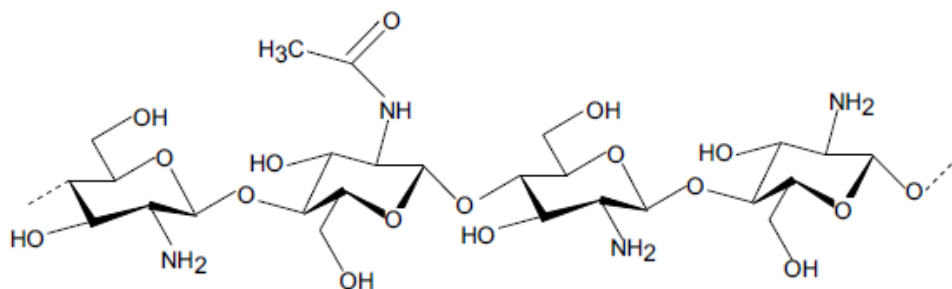
2.3.1.2.2 Quitosana

A quitosana é um polissacarídeo linear, catiônico e derivado da quitina, obtida através de cascas de caranguejos e camarões e através de micelas de fungos (CACURO, 2019).

Este polímero biodegradável, atóxico, biocompatível, possui capacidade de formação de géis em pHs abaixo de 9, podendo facilmente ser solubilizado em soluções ácidas através da formação do seu acetato, sendo o ácido acético o solvente mais empregado (VELLOSO, 2008; MATTÉ; ROSA, 2013; CACURO, 2019).

Quimicamente, a quitosana é formada por um copolímero de N-acetil glicosamina (β -(1-4)2-acetamido-2-desoxi-D-glicose), o qual corresponde à estrutura química da quitina; e D-glicosamina (2-amino-2-desoxi-D-glicose), que corresponde à estrutura química da quitina após a remoção dos grupos acetil. As proporções de quitina regular e desacetilada são representadas no grau de desacetilação da quitosana. A Figura 6 representa a estrutura química da quitosana.

Figura 6 - Estrutura química da quitosana.



Fonte: Wiegand e Hipler (2010)

Além disso, de acordo com Cé (2016) e Gonsalves (2011), esse biopolímero é insolúvel em água, em solventes orgânicos e em bases, devido às suas fortes ligações de hidrogênio, o que proporciona uma condutividade iônica quando está dissolvida em ácido acético.

A solubilidade da quitosana está relacionada com a quantidade de grupos amino protonados (NH^{3+}) na cadeia polimérica, após a dissolução em meio ácido, o que facilita sua solvatação em água. Quanto maior a quantidade destes grupos, maior a repulsão eletrostática entre as cadeias, causando um aumento no volume hidrodinâmico do polímero e na viscosidade da solução (ALVES, 2008; GONSALVES, 2011).

Devido às suas características e disponibilidade, a quitosana pode ser potencialmente usada em diversas áreas tecnológicas, tais como: biotecnologia, indústria têxtil, cosméticos, processamento de alimentos, produtos biomédicos, sistemas de liberação controlada de agentes ativos e tratamento de efluentes industriais (PEREIRA, 2007; PEREIRA, 2009; ALMEIDA, 2019).

A quitosana apresenta uma carga positiva, devido a presença de grupos aminos livre na sua estrutura. Essa carga positiva pode reagir com diversas superfícies carregadas negativamente, por exemplo, o algodão, que possui um grupo aldeído em suas extremidades (-COH), justificando uma de suas aplicações na indústria têxtil (VELLOSO, 2008; OLIVEIRA, 2017; ALEXANDRINO, 2020).

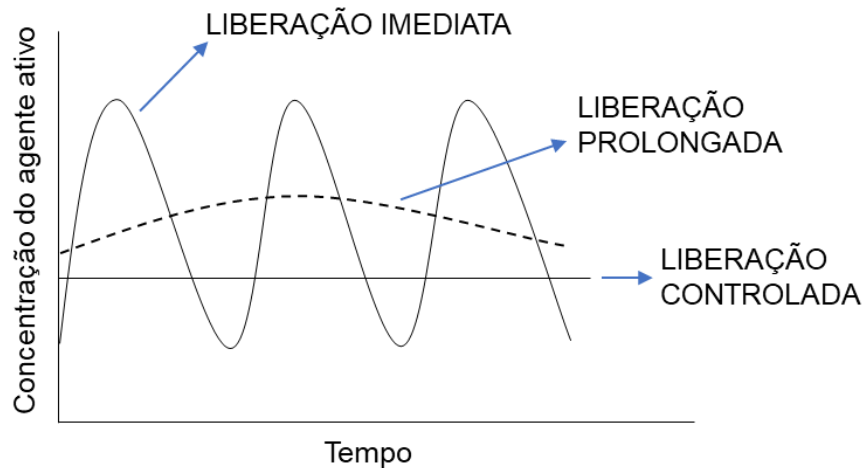
A utilização da quitosana com o tripolifosfato de sódio (TPP), permite que ocorra a geleificação desse sistema, através da interação entre grupos fosfatos negativamente carregados, presentes na estrutura do TPP, com os grupos amino protonados da quitosana. Essas interações permitem a formação de nanopartículas de Quitosana-TPP (CUNHA *et al.*, 2017; ALEXANDRINO, 2020).

2.3.1.3 Liberação prolongada dos agentes ativos

Para que se consiga prolongar a durabilidade, retardando a evaporação de substâncias voláteis, como o OE de cravo, há a necessidade de protegê-las, como já apresentado nas seções anteriores. Por outro lado, após o processo de encapsulação há a necessidade de liberação do princípio ativo aprisionado.

O processo de liberação controlada pode ser definido como um tipo de liberação modificada, que permite a redução na frequência da disponibilização do agente ativo, quando comparado com a liberação imediata, em que não há qualquer controle da liberação (ANVISA, 2011; FERRAZ, 2011). Já a liberação controlada tem como objetivo principal manter uma concentração constante do composto ativo por um tempo estabelecido (PEREIRA, 2007). A Figura 7 apresenta uma comparação entre os tipos de liberação existentes e o comportamento dos mesmos em função do tempo.

Figura 7 - Representação esquemática de liberação imediata, prolongada e controlada.



Fonte: Adaptado de Ferraz (2011)

De forma geral, existem três mecanismos para esses processos: difusão, liberação por ativação e desagregação/erosão polimérica, dependendo de como foi projetada a cápsula (PEREIRA, 2007). A partir de algumas técnicas, a cápsula pode ser projetada para liberar lentamente o produto ou até que determinada condição físico-química seja alcançada (PILETTI, 2016).

De modo geral, a liberação do ingrediente encapsulado depende do tipo de geometria da partícula e do agente encapsulante utilizado para formar as nanocápsulas. No princípio físico-químico da difusão, o agente ativo oleoso difunde-se lentamente através dos poros da barreira polimérica através de um gradiente de concentração, e esse tempo de liberação do material ativo depende da reação entre o material de parede e o meio em que se encontra (PEREIRA, 2007).

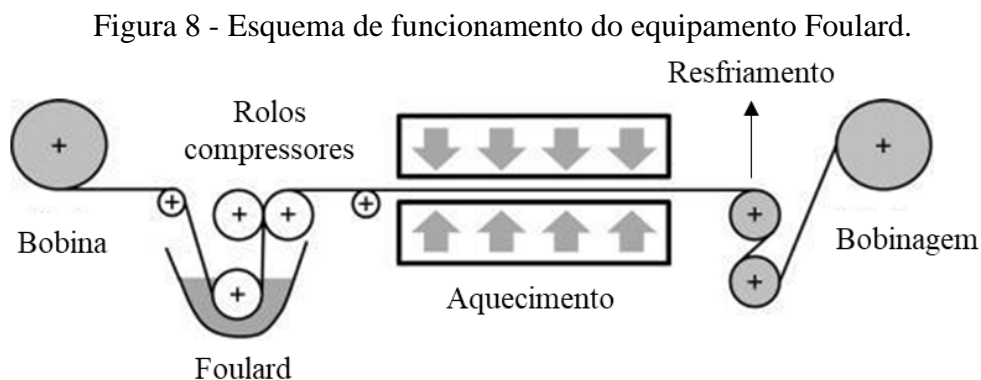
Algumas desvantagens da utilização desse sistema de liberação são a perda da flexibilidade em ajustar a dosagem do agente, e o risco de liberação repentina e total do mesmo, devido à falha da tecnologia (ZAROS, 2019).

2.3.2 Aplicação da nanotecnologia em substratos têxteis

De acordo com Valle *et al.* (2021), os acabamentos de nanopartículas podem ser aplicados aos substratos têxteis por vários métodos. Esses métodos são semelhantes aos processos de tingimento, incluindo exaustão, preenchimento e cura, pulverização, entre outros.

O método de aplicação a ser selecionado depende dos produtos químicos e tecidos específicos envolvidos e do maquinário disponível.

O processamento do material têxtil por impregnação é efetuado de uma forma contínua. Esse método consiste na imersão do têxtil numa bandeja ou reservatório, onde se encontra um banho concentrado do insumo funcional, e, posteriormente, na passagem pelos rolos de compressão a fim de remover o excesso e definir a espessura final da impregnação (CARVALHO, 2014; MORISSO; SILVA, 2017). O equipamento responsável por esse processo é chamado *Foulard* e seu funcionamento está representado na Figura 8.



Fonte: Adaptado de Gries *et al.* (2016)

Neste processo, o fenômeno da substantividade é indesejável, pois não se pretende que exista esgotamento do banho no reservatório do *Foulard* de impregnação, mas sim proporcionar ao tecido uma incorporação mais homogênea no comprimento e na largura do substrato têxtil.

O que determina a taxa de adsorção do insumo funcional é a pressão que os rolos exercem sobre o têxtil bem como a velocidade de avanço. Já a difusão é o processo de ligação à fibra têxtil, é resultante de tratamentos térmicos adequados, tais como secagem, termofixação etc. Estes procedimentos são realizados também com temperatura e tempo definidos (CARVALHO, 2014; MORISSO; SILVA, 2017).

A vantagem desse método de aplicação, quando comparado ao processo por esgotamento, cujo tecido permanece sob agitação em contato com o banho da solução, está no enorme volume de tecido que pode ser produzido num maior curto espaço de tempo e com grande eficiência, proporcionando um menor consumo de produto (CARVALHO, 2014).

3 MATERIAIS E MÉTODOS

3.1 MATERIAIS

A seguir, serão apresentados os materiais utilizados para a os experimentos.

3.1.1 Substratos têxteis

O Quadro 4 apresenta os substratos têxteis utilizados no estudo e suas respectivas características. Os tecidos foram adquiridos no comércio local, ambos na cor branca (branco ótico) e em estrutura tafetá

Quadro 5 - Informações sobre os substratos utilizados.

Composição	Gramatura (g/m ²)	Densidade (fios/pol)
100% Algodão (CO)	120	180
50% Algodão e 50% Poliéster (PES)	80,4	100

Fonte: O autor (2022)

3.1.2 Reagentes

Os reagentes utilizados no procedimento de preparação das nanocápsulas foram o alginato de sódio (Êxodo Científica) e quitosana de média viscosidade (Sigma-Aldrich) como materiais de parede; cloreto de cálcio (PM 147,02, Anidrol) e tripolifosfato de sódio (TPP) como agente complexante; Tween 80 (Polissorbato, densidade entre 1,01 e 1,09 g/cm³, Êxodo Científica) como estabilizante/surfactante e ácido acético glacial (PM 60,05, Vetec) como solubilizante para a quitosana. Óleo essencial de cravo folhas (*Eugenia caryophyllus*, originário de Singapura, a partir de destilação a vapor das folhas dessa árvore, com composição conforme apresentado no Anexo A), obtido comercialmente, em frasco âmbar, lacrado e com volume de 10 mL, foi usado como material de núcleo e ainda outros reagentes de grau analítico. Para a solução do banho de impregnação foram utilizados ácido cítrico anidro (PM 192,12, Neon) como agente reticulante e hidrofosfito de sódio (PM 119,98, LS Chemicals) como catalisador.

3.2 MÉTODOS

O processo de encapsulação, de impregnação nos tecidos e os ensaios de liberação foram realizados no Laboratório de Beneficiamento (LABENE) e Laboratório de Meio Ambiente (LABMAM), ambos do Departamento de Engenharia Têxtil da UFSC, Campus Blumenau. As análises de caracterização por DLS e potencial zeta foram realizadas no Laboratório Interdisciplinar para o Desenvolvimento de Nanoestruturas (LINDEN) do Departamento de Engenharia Química e Engenharia de Alimentos da UFSC. A análise morfológica foi realizada no Laboratório de Microscopia e Análise Estrutural (LMAE) do Campus Blumenau.

3.2.1 Curva de calibração do óleo essencial

Previamente à obtenção das curvas de calibração, realizou-se uma varredura para encontrar o comprimento de onda de máxima absorvância para o óleo de cravo, utilizando-se um espectrofotômetro UV-Visível, modelo UV-M51, marca Bel, variando entre os comprimentos de onda de 190 a 800 nm, em cubeta de quartzo.

Para a obtenção da curva de calibração do óleo de cravo, inicialmente foi preparado uma solução de óleo em etanol (0,1 g/50 mL). A partir dessa solução, foram então preparadas 5 soluções aquosas, nas seguintes concentrações: 300; 400; 500; 600 e 700 $\mu\text{L}/50\text{mL}$ de água destilada.

As soluções foram analisadas com o auxílio do espectrofotômetro, no comprimento de onda característico obtido anteriormente na varredura. As medidas foram ajustadas em um gráfico de absorvância *versus* concentração. A equação da reta e o coeficiente de correlação linear foram calculados pela análise da regressão linear para a obtenção da curva de calibração.

3.2.2 Síntese das nanopartículas de alginato

A síntese das nanopartículas de alginato foi feita segundo a metodologia de Hosseini *et al.* (2013), com algumas adaptações.

A preparação do gel de alginato deu-se a partir da adição de alginato de sódio em água destilada (0,6 mg/mL), utilizando agitador magnético (modelo TE-0853/1, Tecnal), para homogeneização em temperatura ambiente.

Após completa dissolução, foi adicionado, lentamente, 1% (m/v) do emulsificante Tween 80, e deixado em agitação por mais 10 min. Acrescentou-se, então, 5 $\mu\text{L}/\text{mL}$ com óleo essencial de cravo por gotejamento, utilizando uma micropipeta. A emulsão foi mantida em agitação magnética por mais 30 min e depois foi levada ao homogeneizador, (modelo NL-150-01, New Lab), durante 1 min.

Já o preparo da solução reticulante foi feito a partir da solubilização de cloreto de cálcio em água destilada resultando em uma concentração de 0,67 mg/mL.

As nanocápsulas de alginato foram então preparadas por gelificação iônica a partir do gotejamento da solução de cloreto de cálcio na solução de alginato contendo o surfactante e óleo. Sendo assim, com o auxílio de uma bomba seringa (modelo Injectomat Agilia, Fresenius Kabi), em uma vazão de 30 mL/h, foi gotejado 0,08 mL da solução de CaCl_2 por mL de emulsão. Após o término do gotejamento, a suspensão foi mantida em agitação magnética por 30 min adicionais.

Após o procedimento, a suspensão das nanocápsulas foi armazenada na geladeira até análise.

3.2.3 Síntese das nanopartículas de quitosana

A síntese das nanopartículas de quitosana foi feita segundo a metodologia de Ahmadi *et al.* (2018), com algumas modificações.

O gel de quitosana foi preparado por solubilização em ácido acético a 1 % (v/v), sob agitação magnética de 500 rpm, em uma proporção de 0,1 g de quitosana para 50 mL de solução aquosa de ácido acético. Após a solubilização, foi adicionado 0,24% (m/v) do emulsificante Tween 80, e deixado em agitação por mais 10 min. Acrescentou-se, então, 250 μL com óleo essencial de cravo por gotejamento, utilizando uma micropipeta. A solução foi mantida em agitação magnética por mais 30 min e depois foi levada ao homogeneizador durante 1 min.

O preparo da solução reticulante de TPP (tripolifosfato de sódio), deu-se a partir da dissolução de 0,04 g de TPP em 10 mL de água destilada.

A formação das nanocápsulas foi dada a partir do gotejamento da solução TPP na solução de quitosana, surfactante e óleo. O TPP foi adicionado à emulsão com o auxílio de uma bomba seringa em vazão de 30 mL/h. Após o término do gotejamento, a suspensão foi mantida em agitação magnética por 60 min.

Após o procedimento, a suspensão das nanocápsulas foi armazenada na geladeira.

3.2.4 Eficiência de encapsulamento por UV-Vis

A quantidade de óleo essencial encapsulada foi determinada por meio de análise de espectroscopia na região do UV-Vis, onde se calculou a concentração de óleo através da curva de calibração.

Primeiro, em triplicata, foram retiradas alíquotas de 5 mL de amostra de cada suspensão de nanopartícula e as mesmas foram submetidas a centrifugação (modelo LM-DM-0412, Lab1000) a 4500 rpm por 30 min. Em seguida, separou-se o sobrenadante e adicionou-se, então, 1 µL de etanol, conforme a metodologia utilizada por Ahmadi *et al.* (2018). Posteriormente, centrifugou-se o conteúdo por mais 10 min, na mesma rotação anterior, e a absorbância do sobrenadante foi medida em espectrofotômetro UV-Vis (modelo AJX-1900, Micronal), e usada para determinar a quantidade de OE livre.

Dessa forma, a eficiência de encapsulamento foi calculada através da razão entre a quantidade encapsulada nas esferas e a quantidade de óleo utilizado no processo. Ou seja, foi a partir da diferença entre a concentração inicial de óleo na síntese das emulsões e a concentração de óleo no sobrenadante, dividido pela concentração inicial, conforme a Equação 1.

$$\%EE = \frac{\text{Concentração inicial de OEC} - \text{Concentração de OEC no sobrenadante}}{\text{Concentração inicial de OEC}} \times 100 \quad (1)$$

3.2.5 Caracterização das nanocápsulas

A seguir, são apresentadas as técnicas de caracterização utilizadas para analisar as nanocápsulas obtidas.

3.2.5.1 Estabilidade e tamanho de partícula

A estabilidade das suspensões de nanopartículas de alginato e quitosana foi avaliada em triplicata pela análise do potencial zeta, utilizando o equipamento Zetasizer Nano ZS (Malvern Instruments). Para isso, foram utilizadas as suspensões diluídas em água destilada na proporção de 1:10. A análise foi realizada a 25°C. O diâmetro médio das partículas foi determinado por espalhamento de luz dinâmica (DLS – *Dynamic Light Scattering*) utilizando o mesmo equipamento com ângulo fixo de detecção de 173°.

3.2.5.2 Microscopia óptica

A morfologia das cápsulas de alginato e quitosana foi vista em microscópio óptico de luz transmitida, modelo AxioLab.A1, marca Zeiss. Amostras das suspensões de nanopartículas foram depositadas sobre uma lâmina de vidro e cobertas por uma lamínula para análise. As imagens foram obtidas utilizando lente objetiva de 20x para cada amostra.

3.2.6 Aplicação das nanocápsulas em substratos têxteis

As amostras de tecido, previamente lavadas, foram identificadas conforme Quadro 5 abaixo.

Quadro 6 - Identificação das amostras.

Tecido	Identificação	
	Alginato-Ca	Quitosana-TPP
100% CO	A-CO	Q-CO
50% CO e 50% PES	A-CO/PES	Q-CO/PES

Fonte: O autor (2022)

As condições de aplicação para as nanocápsulas foram baseadas no método de Yang *et al.* (2013).

O banho foi constituído por nanocápsulas com óleo essencial seguindo uma relação de banho de 1:20, hidrofosfito de sódio (40 g/L) e ácido cítrico (80 g/L). As amostras foram mergulhadas durante 70 min no banho. Após, foi realizado o processo de impregnação no *Foulard* de laboratório para um *pick-up* de 90% (4,8 rpm, 2 bar para as amostras 100% CO e 4 bar para as 50% CO 50% PES). Após o primeiro processo, os tecidos foram encharcados no banho e passados pelo *Foulard* novamente. As amostras foram secadas a 90°C durante 3 minutos e reticuladas a 160°C durante 2 minutos em estufa com circulação e renovação de ar.

3.2.7 Gravimetria

Com o objetivo de avaliar a adesão das nanocápsulas impregnadas nos tecidos, pesou-se as amostras antes de qualquer procedimento em uma balança analítica para verificar sua

massa inicial. Após a impregnação, secagem e cura em estufa, as amostras foram pesadas novamente.

A equação utilizada para análise gravimétrica está apresentada a seguir.

$$\text{Ganho de massa (\%)} = \frac{\text{Massa final} - \text{Massa inicial}}{\text{Massa inicial}} \times 100 \quad (2)$$

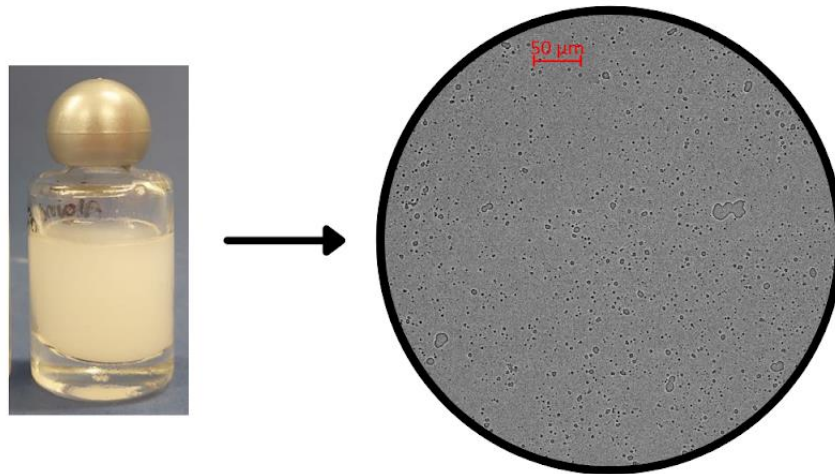
3.2.8 Cinética de liberação do óleo essencial de cravo em água

Para o estudo de liberação do óleo essencial em meio aquoso, foram cortadas, em triplicata, amostras de 8 cm², dos tecidos impregnados, e adicionados em um recipiente contendo 10 mL de água destilada. O sistema foi mantido a temperatura constante, sob agitação em uma incubadora *shaker* (modelo NL-343-01, New Lab). Após intervalos de tempo pré-determinados, retirava-se uma alíquota de 3 mL da amostra, e analisava-se por espectroscopia na região do UV-Vis, no comprimento de onda de 279 nm. Os dados de absorbância foram utilizados para calcular a concentração de óleo liberado para a água por meio da curva de calibração obtida anteriormente. Após as medidas em cada tempo, as alíquotas foram recolocadas na solução de origem, para que o volume do sistema não sofresse alteração.

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

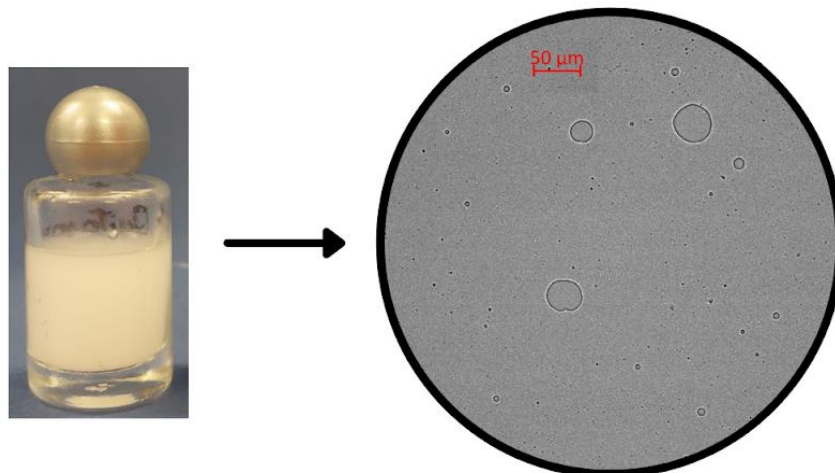
Após o processo de síntese, as suspensões obtidas apresentaram-se visualmente homogêneas e com uma coloração brancas leitosa. O aspecto visual macroscópico e a morfologia das cápsulas de alginato e quitosana, obtidas da análise por microscopia óptica, estão apresentadas nas Figuras 9 e 10, respectivamente.

Figura 9 - Ampliação da suspensão de alginato em 20x.



Fonte: O autor (2022)

Figura 10 - Ampliação da suspensão de quitosana em 20x.

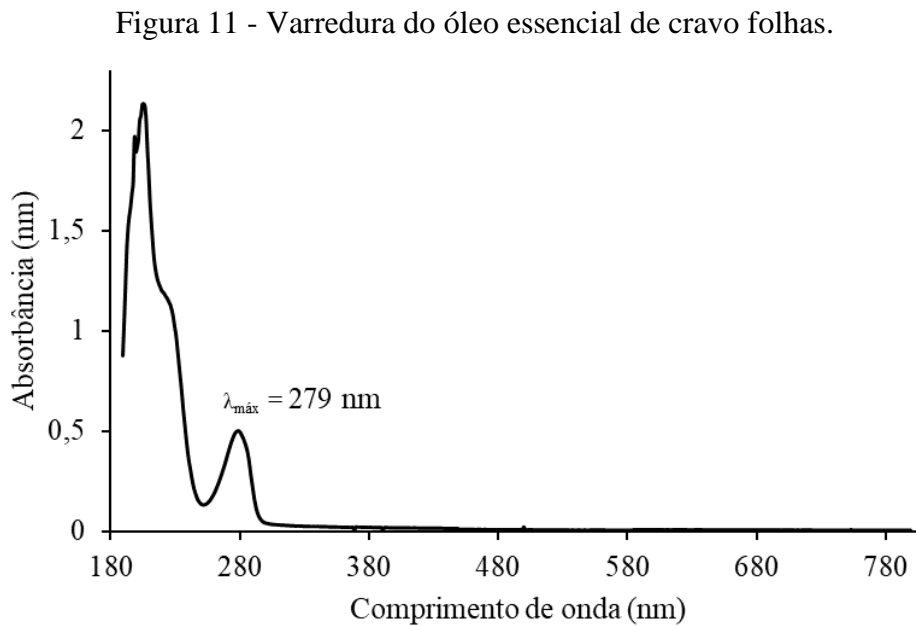


Fonte: O autor (2022)

Ao comparar as imagens de microscopia das Figuras 9 e 10, é possível perceber a diferença entre os tamanhos de cápsulas obtidas. A suspensão de alginato apresentou uma

quantidade maior de pontos e aglomerados, quando comparada à de quitosana. No entanto, a de quitosana mostrou a formação de cápsulas mais esféricas e distribuição de tamanho heterogênea.

A partir da varredura do óleo essencial de cravo com o espectrofotômetro UV-Vis, obteve-se a curva com o comprimento de onda característico do mesmo, apresentado na Figura 11.

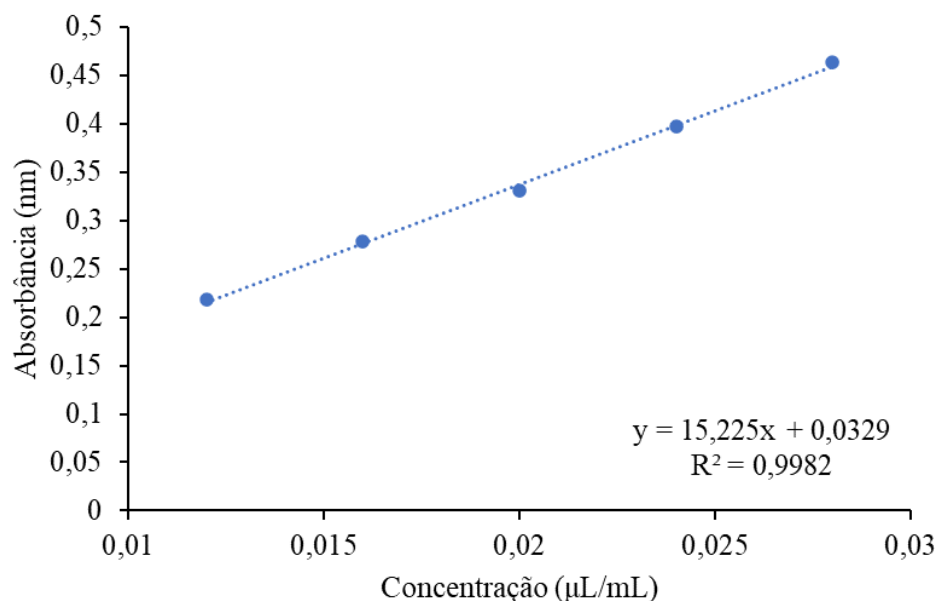


A curva de varredura relaciona a intensidade do principal pico de absorvância no espectro UV-visível com a concentração conhecida do óleo essencial de cravo na solução. Conforme a Figura 11, o espectro padrão de UV-visível do óleo de cravo folhas indicaram como pico máximo de absorvância um comprimento de onda ($\lambda_{\text{máx}}$) igual a 279 nm.

Apesar de haver um pico mais alto em 207 nm, optou-se pelo de 279 nm para construir a curva de calibração, pois foi o valor mais próximo dos obtidos em outros estudos que utilizaram o óleo de cravo (PEREIRA, 2007; SANTOS, 2014; SÁ, 2019).

Já a Figura 12, apresenta a curva de calibração para o óleo essencial de cravo folhas e sua respectiva regressão linear. O valor do coeficiente de determinação encontrado foi 0,9982, indicando que o método apresentou linearidade na faixa de concentração estudada.

Figura 12 - Curva padrão de calibração de análise do óleo essencial de cravo folhas por absorção espectrofotométrica a 279 nm.



Fonte: O autor (2022)

A partir da curva de calibração, foi possível calcular a concentração de óleo presente no sobrenadante das suspensões e, com isso, determinar a eficiência de encapsulação (%EE) dos dois sistemas. Os valores da eficiência de encapsulação para os dois tipos de polímeros estão apresentados na Tabela 1, juntamente com os valores de potencial zeta, índice de polidispersão (PDI) e tamanho médio das partículas. A análise por DLS foi utilizada com o intuito de avaliar o diâmetro médio e o índice de polidispersividade (PDI) das nanopartículas, enquanto a análise de potencial zeta foi utilizada com o intuito de avaliar a estabilidade eletrostática do sistema de nanopartículas.

Tabela 1 - Eficiência de encapsulação, potencial zeta, índice de polidispersão e tamanho das nanocápsulas de alginato e quitosana.

	% EE	Potencial zeta (mV)	Índice de polidispersão (PDI)	Tamanho médio (nm)
Alginato	41,33 ± 0,04	- 28,97 ± 1,72	0,31 ± 0,08	137,37 ± 0,01
Quitosana	62,64 ± 0,13	36,73 ± 2,05	0,89 ± 0,10	298,73 ± 110,71

Fonte: O autor (2022)

Conforme a Tabela 1, a eficiência de encapsulação foi maior para o sistema constituído de quitosana (62,64%) em comparação com o constituído de alginato (41,33%). De forma geral,

a eficiência de encapsulação pode ser influenciada por diversos parâmetros, como proporção polímero:óleo, a concentração do polímero, técnica de encapsulação utilizada e outros parâmetros de processo (pH, agitação etc.). Ahmadi *et al.* (2018) estudaram a encapsulação de óleo essencial *Achillea millefolium* utilizando quitosana como material de parede e obtiveram %EE entre 84,6 e 92,5%, e 24,72%, sendo que a eficiência diminuiu com o aumento da proporção de óleo. Abreu *et al.* (2012) avaliaram a encapsulação de óleo essencial de alecrim-pimenta em quitosana e goma de caju e obtiveram uma eficiência de encapsulação entre 40 e 70%, sendo observado que maiores concentrações de polímero tendem a aumentar a %EE. Fathi *et al.* (2021) encapsularam óleo essencial de gengibre em microcápsulas de quitosana por gelificação iônica e verificaram uma variação da %EE entre 4 e 31% para partículas com diferentes proporções quitosana:óleo, sendo que o maior valor foi obtido para a menor proporção de óleo. Utilizando o método para a produção de nanocápsulas de alginato no qual o presente estudo foi baseado, Hosseini *et al.* (2013) obtiveram %EE entre 52 e 66%, que variou com a proporção de óleo na formulação. Não foram encontrados trabalhos na literatura que tenham avaliado a %EE de partículas de quitosana e de alginato individualmente.

A maior %EE observada neste estudo para as partículas de quitosana pode estar relacionada ao tamanho médio, que foi mais elevado do que a cápsula de alginato (2,2 vezes), conforme apresentado na Tabela 1. De acordo com Ahmadi *et al.* (2018), a %EE tende a aumentar com o aumento do tamanho da partícula, uma vez que maiores volumes de óleo participam da formação das nanocápsulas.

Além de algumas diferenças de processo e da própria característica dos polímeros e reticulantes, a concentração de polímero utilizada e o pH da solução podem ter contribuído para o maior tamanho das partículas de quitosana.

Além do maior tamanho, no entanto, com base no desvio padrão e na Figura 10, fica evidente a formação heterogênea das mesmas, o que corrobora com o alto valor de PDI. Pois, de acordo com o apresentado por Souza (2019), para valores de PDI maiores que 0,4 considera-se as nanopartículas polidispersas. Já no caso do alginato, o PDI menor que 0,4 sugere uma distribuição de tamanho mais uniforme que a quitosana, confirmado pelo desvio padrão obtido na análise de tamanho médio.

Em relação à análise da estabilidade da suspensão das nanopartículas de quitosana, o seu elevado potencial zeta confirma que há forças repulsivas que tendem a evitar a agregação em função das colisões ocasionais de nanopartículas adjacentes, promovendo estabilidade a suspensão. De acordo com a literatura, em valores altamente negativos ou positivos de potencial

zeta (mais de 30 mV ou menos de -30 mV), as partículas em dispersões tendem a se repelir, ou seja, a dispersão resistirá à agregação (FATHY *et al.*, 2021). Devido à existência de grupos amino na estrutura da quitosana, esta é carregada positivamente sob $\text{pH} < 6,5$. Esses grupos amino são responsáveis pela formação da interação iônica com a carga negativa do TPP em meio ácido.

A estabilidade da suspensão do alginato de -28,97 mV foi, em módulo, menor do que da quitosana, mas muito próxima da estabilidade, podendo ser considerada relativamente forte na superfície da partícula, dando boa estabilidade físico-química da suspensão coloidal. Neste caso, a carga negativa refere-se ao caráter aniônico do alginato.

Entretanto, Purwanti *et al.* (2018) sugeriram em seus estudos que o uso de alginato de sódio para encapsular o óleo de cravo não produz um sistema de emulsão mais estável que a quitosana.

Cabe ressaltar que a análise do potencial zeta ocorreu cerca de 15 dias após a síntese das partículas, indicando que as mesmas permaneceram estáveis neste período.

Após a impregnação das nanocápsulas nos substratos têxteis, foi avaliada a absorção de massa nos mesmos, pesando as amostras antes e após o processo. Por meio da diferença de massa, foi determinado o percentual de nanocápsulas presente nas amostras, utilizando a Equação 2. Os resultados estão apresentados na Tabela 2.

Tabela 2 - Ganho de massa dos substratos após impregnação das suspensões.

Impregnação	Ganho de massa (%)
A-CO	13,53 ± 0,03
A-CO/PES	9,63 ± 0,05
Q-CO	12,16 ± 0,03
Q-CO/PES	12,20 ± 0,02

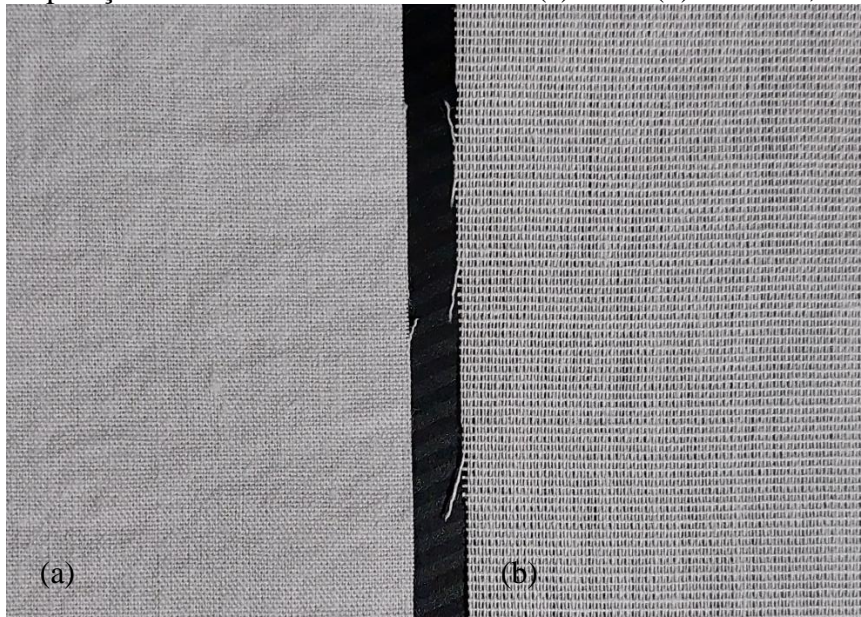
Fonte: O autor (2022)

Os resultados apresentados indicam que ao final do processo é constatada a presença de nanocápsulas na superfície dos substratos têxteis, variando de acordo com o tipo de tecido e polímero.

Apesar de apresentarem densidades diferentes, os dois tecidos impregnados com a suspensão de quitosana apresentaram resultados semelhantes de ganho de massa. A maior diferença foi observada entre os tecidos impregnados com alginato. Isso pode ser parcialmente

justificado, pelo fato de o alginato impregnar apenas de forma física com substratos de algodão, devido à sua carga negativa. Assim, estruturas mais fechadas acumulam mais nanopartículas do que uma estrutura mais aberta. A Figura 13 apresenta visualmente a diferença de densidade entre os substratos utilizados, deixando evidente que as amostras CO/PES eram estruturas mais abertas que as amostras CO.

Figura 13 - Comparação de densidade entre os tecidos (a) CO e (b) CO/PES, respectivamente.



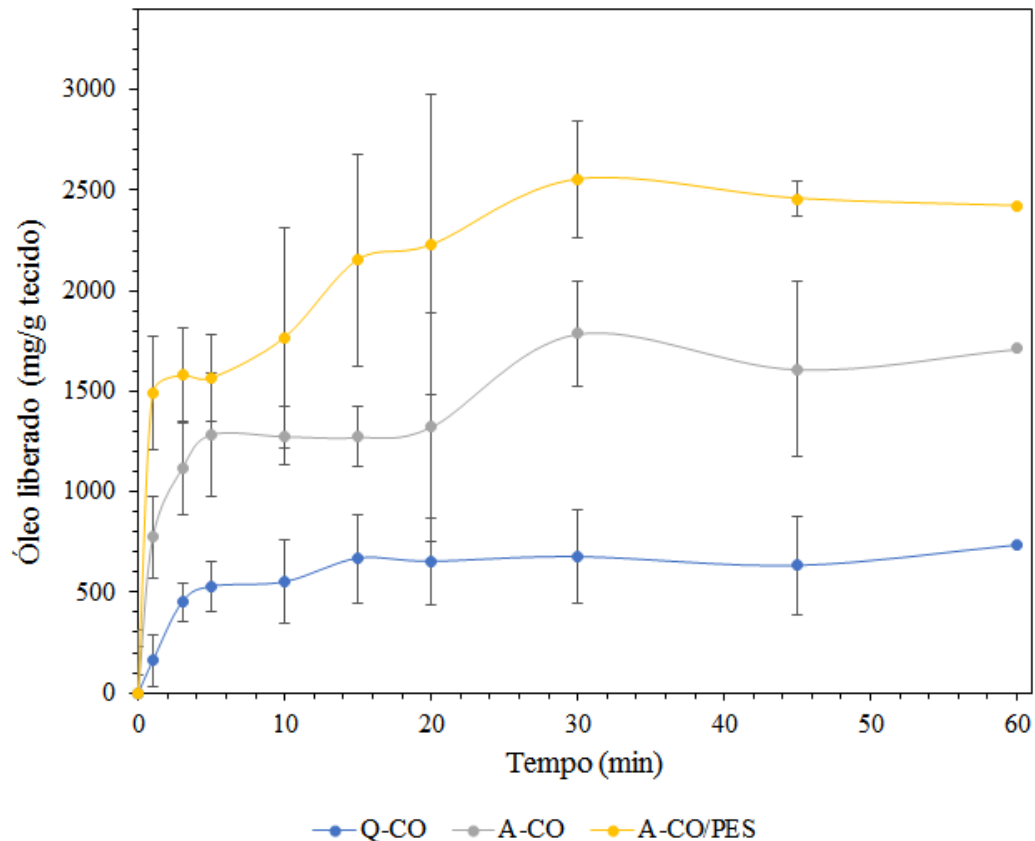
Fonte: O autor (2022)

Outra possível justificativa para a diferença entre as impregnações nos tecidos de composições diferentes é a característica hidrofílica do algodão. Quanto maior a porcentagem de algodão, maior o *pick-up*, menor a pressão necessária e maior a adsorção de soluções nas amostras (BEZZERA, 2016).

Já no caso da quitosana, além da impregnação física, pode ocorrer uma interação química do banho com o substrato de algodão, uma vez que suas cargas positivas são capazes de ligarem quimicamente com a superfície negativa do algodão, resultando em valores melhores de adsorção das nanopartículas.

A liberação do OE de cravo a partir dos diferentes tecidos em contato com água foi avaliada e os resultados estão apresentados na Figuras 14, para um período de 60 minutos, e na Figura 15, para o período de 14 dias. Como as amostras de tecido possuem densidades distintas, a quantidade liberada foi apresentada em termos da massa de tecido, de forma a facilitar a comparação.

Figura 14 - Cinética de liberação do OEC em água durante 1 hora.



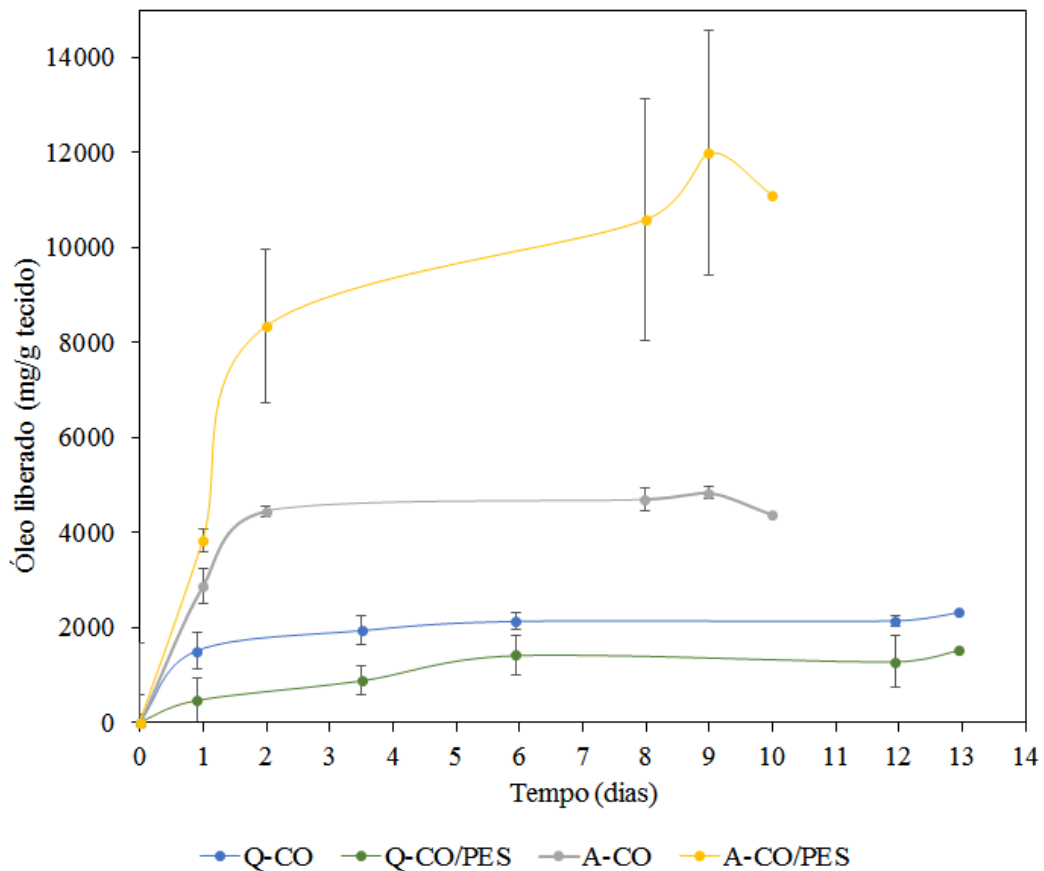
Fonte: O autor (2022)

Na Figura 14 não é apresentado o perfil de liberação referente às amostras Q-CO/PES, pois não foi detectada a presença de óleo nas amostras de água neste período avaliado. Foi observado um desvio padrão relativamente elevado, principalmente para a amostra A-CO/PES, o que pode estar relacionado à metodologia ou à existência de erros experimentais.

Os perfis de liberação em 60 minutos indicam uma quantidade substancial de OE liberado nos primeiros 10 minutos e um comportamento de liberação distinto para as três amostras. A amostra de algodão impregnada com nanopartículas de quitosana (Q-CO) apresentou a menor quantidade liberada, enquanto a amostra de algodão/poliéster impregnada com nanopartículas de alginato (A-CO/PES) apresentou a maior quantidade. Para tempos de liberação maiores (Figura 15), verifica-se que essa amostra continuou a liberar a maior quantidade de óleo, atingindo o máximo após 9 dias, com a concentração de 11996 mg/g de tecido. A amostra A-CO também atingiu o máximo em 9 dias, com 4826 mg/g. Após 9 dias, houve uma redução da quantidade cumulativa liberada e interrompeu-se as medidas. A amostra de tecido CO/PES impregnado com nanopartículas de quitosana (Q-CO/PES) passou a ter a liberação detectada após 1 dia. Tanto esse tecido quanto a amostra de algodão (Q-CO) tiveram

a quantidade cumulativa liberada abaixo das amostras com alginato, sendo mantido um crescimento discreto ainda no 14º dia de liberação. A liberação mais lenta a partir das partículas de quitosana pode estar relacionada à possibilidade de interação química entre a quitosana e o algodão e, conseqüentemente, à maior adesão neste tecido (BRASSOLATTI, 2018). Ao ligar-se quimicamente com o algodão, pode ocorrer mais uma etapa de reticulação, fazendo com que o óleo fique mais preso e libere mais lentamente (BEZZERA, 2016).

Figura 15 - Cinética de liberação do OEC em água durante 14 dias.



Fonte: O autor (2022)

O alginato é altamente poroso, conforme Cacuro (2019), o que pode justificar essa grande diferença da quantidade de óleo liberado entre os dois tipos de polímeros. No entanto, em geral, partículas formadas por gelificação iônica apresentam alta porosidade, e conseqüente elevado índice de difusão, podendo acelerar a liberação do material de recheio conforme apresentado por Aranha (2015).

Em relação aos diferentes tipos de tecido, não foi possível observar uma tendência definida, pois com as nanopartículas de alginato, a liberação foi maior para o tecido CO/PES.

Já com as nanopartículas de quitosana, o tecido misto CO/PES apresentou menor quantidade liberada.

Fazendo uma análise das impregnações feitas com nanocápsulas de alginato, é possível perceber que as amostras de tecido misto CO/PES liberaram muito mais OE que as amostras de CO. Assim, a diferença de composição dos substratos mostrou ter influência na cinética de liberação. Bezerra *et al.* (2016) impregnaram óleo essencial de citronela encapsulada em microcápsulas de gelatina e goma arábica em tecidos de algodão e poliéster. Estes autores observaram que a taxa de liberação foi diretamente influenciada pelo tipo de fibra, sendo maior para o poliéster.

Considerando uma aplicação como tecido com funcionalidade repelente, a liberação mais lenta tende a ser desejável, pois pode resultar em um efeito prolongado. Cabe ainda ressaltar que o estudo foi realizado em meio líquido, o qual está relacionado às taxas de liberação maiores do que em meio gasoso. No entanto, é preciso que a liberação do agente ativo seja suficiente para promover o efeito desejado de repelência/inseticida, o que só é possível de avaliar com testes *in vivo*.

5 CONCLUSÃO

O óleo essencial de cravo folhas é um importante agente ativo, mas sua aplicação direta sobre o têxtil é limitada devido à sua alta volatilidade. Assim, a proteção do óleo foi realizada por nanoencapsulação utilizando a gelificação iônica como técnica de encapsulação, com alginato de sódio e quitosana como materiais de parede e pela reticulação, utilizando cloreto de cálcio e tripolifosfato de sódio (TTP).

De acordo com os dados apresentados, percebe-se que eficiência de encapsulação foi maior para o sistema constituído de quitosana (62,64%) em comparação com o constituído de alginato (41,33%). Essa diferença pode estar relacionada ao tamanho médio, que foi 2,2 vezes mais elevado para as partículas de quitosana do que a cápsula de alginato. Além disso, a suspensão de quitosana se mostrou um pouco mais estável que a de alginato, entretanto, apresentou uma distribuição de tamanhos de partículas mais heterogênea, porém mais esférica.

Quanto a liberação, percebeu-se a influência da composição da cápsula, uma vez que as partículas de alginato liberaram mais óleo no decorrer das análises, tendo seu pico máximo em 9 dias de liberação, enquanto as de quitosana apresentaram um crescimento discreto ainda no 14º dia de liberação. Além disso, percebeu-se o efeito do tipo de tecido na cinética de liberação do OE, sendo que a composição do tecido pode influenciar as interações químicas polímero-fibra e a densidade do tecido na possibilidade de maior deposição de nanocápsulas sobre os substratos. No entanto, uma vez que houve diferenciação entre o tipo de composição e densidade dos substratos, faz-se necessário análises mais adequadas, utilizando tecidos de mesma composição com densidades diferentes, por exemplo, para fazer uma melhor comparação. Os resultados de liberação obtidos apresentaram elevado desvio padrão, mostrando que não há uma boa reprodutibilidade. Isso abre porta para questionamento sobre as adaptações efetuadas na metodologia ou, até mesmo, a ocorrência de erros experimentais no decorrer das práticas.

Com base no exposto, pode-se dizer que os resultados de comparação da composição da cápsula foram promissores. Considerando uma aplicação como tecido com funcionalidade inseticida, a liberação mais lenta tende a ser desejável, como das nanocápsulas de quitosana no tecido 100% algodão, pois pode resultar em um efeito prolongado. Além disso, foi possível observar a influência do tipo de tecido na liberação, indo de encontro com o resultado de outros autores, e entender a importância e relação entre as análises de caracterização das suspensões, substratos funcionalizados e funcionamento da liberação do agente ativo. Entretanto, outros

estudos são necessários, a fim de avaliar se a taxa de liberação do agente ativo é suficiente para promover o efeito desejado de repelência/inseticida.

5.1 RECOMENDAÇÕES PARA TRABALHOS FUTUROS

Na sequência do presente trabalho surgiram alguns aspectos que se revelaram interessantes para uma abordagem mais detalhada e são eles:

- Realizar testes, incluindo *in vivo*, com os têxteis impregnados para determinar a eficácia dos têxteis tratados como repelente e/ou inseticida de mosquitos.
- Estudar fatores que podem contribuir para a diminuição da eficácia de um repelente ou inseticida, como a abrasão do têxtil, a lavagem em água, o contato com o suor ou a chuva, as elevadas temperaturas, a absorção e evaporação através da pele, e ainda a exposição ao vento, interação com outros produtos etc.
- Estudar a combinação dos materiais utilizados com tecidos sintéticos e outros materiais para combinar funcionalidades nos substratos têxteis.
- Incluir os cuidados referente a problemas e questões de segurança ambientais, éticas e regulatórias, que decorrem da falta de conhecimento sobre os impactos de materiais nanométricos na saúde humana e no meio ambiente.

REFERÊNCIAS

ABINT - Associação Brasileira das Indústrias de Não tecidos e Tecidos Técnicos. **Têxteis Técnicos: O que são**. Disponível em: <https://www.abint.org.br/texteis-tecnicos/o-que-sao>. Acesso em: 20 fev. 2022.

ABREU, F. O., *et al.* (2012). **Chitosan/cashew gum nanogels for essential oil encapsulation**. Carbohydrate polymers, 89(4), 1277-1282.

AHMADI, Zeinab, *et al.* Achillea millefolium essential oil and chitosan nanocapsules with enhanced activity against Tetranychus urticae. **Journal Of Pest Science**, [S.L.], v. 91, n. 2, p. 837-848, 6 out. 2017. Springer Science and Business Media LLC. <http://dx.doi.org/10.1007/s10340-017-0912-6>. Disponível em: <https://link.springer.com/article/10.1007/s10340-017-0912-6>. Acesso em: 09 mar. 2022.

ALBARELLI, Juliana. Encapsulação de corantes funcionais em matriz de alginato puro ou recoberto por biopolímeros. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE POLÍMEROS, 10., 2009, Foz do Iguaçu. **Anais [..]**. São Carlos: Abpol, 2010.

ALEXANDRINO, Taís Téó de Barros. **Síntese e caracterização de nanopartículas de quitosana-tripolifosfato e seu potencial como antifúngico natural para aplicação por aspersão em frutas frescas**. 2020. 94 f. Tese (Doutorado) - Curso de Doutorado em Biotecnologia, Universidade Federal de São Carlos, São Carlos, 2020. Disponível em: <https://repositorio.ufscar.br/bitstream/handle/ufscar/13080/TaisTeodeBarrosAlexandrino.pdf?sequence=6&isAllowed=y>. Acesso em: 27 fev. 2022.

ALMEIDA, Herllan Vieira de. **Características físicas e físico-químicas de partículas de alginato e quitosana obtidas por gelificação iônica**. 2019. 40 f. Monografia (Especialização) - Curso de Química, Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, 2019. Disponível em: https://repositorio.ufc.br/bitstream/riufc/50379/1/2019_tcc_hvalmeida.pdf. Acesso em: 27 fev. 2022.

ALVES, Keila S. Preparação de derivados de quitosana por alquilação redutiva e o efeito na solubilidade e viscosidade dos derivados. In: Congresso Brasileiro De Polímeros, 9., 2007, Campina Grande. **Anais [..]**. São Carlos: Abpol, 2008.

ANUAR, Aufa Adeela; YUSOF, Nurain. Methods of imparting mosquito repellent agents and the assessing mosquito repellency on textile. **Fashion And Textiles**, [S.L.], v. 3, n. 1, 28 jun. 2016. Springer Science and Business Media LLC. <http://dx.doi.org/10.1186/s40691-016-0064-y>. Disponível em: <https://fashionandtextiles.springeropen.com/articles/10.1186/s40691-016-0064-y#citeas>. Acesso em: 15 dez. 2021.

ANVISA, Agência Nacional de Vigilância Sanitária. **Vocabulário controlado de formas farmacêuticas, vias de administração e embalagens de medicamentos**. Brasília: Anvisa, 2011. 58 p. Disponível em: <https://www.gov.br/anvisa/pt-br/centraisdeconteudo/publicacoes/medicamentos/publicacoes-sobre-medicamentos/vocabulario-controlado.pdf>. Acesso em: 27 fev. 2022.

APOLINÁRIO, Alexsandra *et al.* Abrindo a caixa de pandora dos nanomedicamentos: há realmente muito mais espaço lá embaixo. **Química Nova**, [S.L.], v. 43, n. 2, p. 212-225, fev. 2020. Sociedade Brasileira de Química (SBQ). <http://dx.doi.org/10.21577/0100-4042.20170481>. Disponível em: <http://static.sites.sbq.org.br/quimicanova.sbq.org.br/pdf/RV20190374.pdf>. Acesso em: 21 fev. 2022.

ARANHA, Caroline Pereira Moura. **Microencapsulação por gelificação iônica e interação eletrostática do corante de buriti (*Mauritia flexuosa L. f.*)**. 2015. 177 f. Tese (Doutorado) - Curso de Doutorado em Engenharia e Ciência de Alimentos, Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho”, São José do Rio Preto, 2015. Disponível em: <https://repositorio.unesp.br/bitstream/handle/11449/127991/000845515.pdf%3Bjsessionid=4E467E0A0B06440454024ABEFA3B8F45?sequence=1>. Acesso em: 25 fev. 2022.

ASSIS, Beatriz Alves. **Nanocosmectotecnologia: principais nanoestruturas e suas aplicações**. 2018. 45 f. TCC (Graduação) - Curso de Farmácia, Universidade Presbiteriana Mackenzie, São Paulo, 2018. Disponível em: <https://dspace.mackenzie.br/bitstream/handle/10899/20843/Beatriz%20Alves%20Assis.pdf?sequence=1&isAllowed=y>. Acesso em: 13 jan. 2022.

ASSIS, Letícia Marques de *et al.* Revisão: características de nanopartículas e potenciais aplicações em alimentos. **Brazilian Journal Of Food Technology**, [S.L.], v. 15, n. 2, p. 99-109, 24 abr. 2012. FapUNIFESP (SciELO). <http://dx.doi.org/10.1590/s1981-67232012005000004>. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/bjft/a/LKt5hYRHMhgQrzHZ4WdWxCp/?lang=pt>. Acesso em: 27 fev. 2022.

ASSUMPÇÃO, Evelise Rodrigues. **Impregnação de diferentes tipos de tecidos de vestuário com nanopartículas de permetrina para ação repelente de insetos de longa duração**. 2012. 117 f. Tese (Doutorado) - Curso de Ciências Farmacêuticas, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2012. Disponível em: <https://lume.ufrgs.br/handle/10183/194426>. Acesso em: 28 fev. 2022.

BISCAIA, Patrícia Bubna. **Desenvolvimento tecnológico e caracterização de micropartículas poliméricas contendo piperina obtidas por spray-drying**. 2019. 87 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Mestrado em Ciências Farmacêuticas, Universidade Estadual de Ponta Grossa, Ponta Grossa, 2019. Disponível em: <https://tede2.uepg.br/jspui/bitstream/prefix/3149/1/Patricia%20Bubna%20Biscaia.pdf>. Acesso em: 14 jan. 2022.

BRASSOLATTI, Marina Pilleggi de Souza. **Aplicação de nanocápsulas de óleo de gengibre em substratos têxteis para tratamento de doenças reumáticas**. 2018. 49 f. TCC (Graduação) - Curso de Engenharia Têxtil, Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Apucarana, 2018. Disponível em: https://repositorio.utfpr.edu.br/jspui/bitstream/1/5690/1/AP_COENT_2018_1_09.pdf. Acesso em: 09 mar. 2022.

BRATOVČIĆ, A., SULJAGIĆ, J. (2019). **Micro-and nano-encapsulation in food industry**. Croatian journal of food science and technology, 11(1), 113-121.

BYRNE, Chris. Technical textiles market – an overview. **Handbook of technical textiles**, [S.L.], p. 1-23, 2000. Elsevier. <http://dx.doi.org/10.1533/9781855738966.1>. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/B9781855733855500068?via%3Dihub>. Acesso em: 09 fev. 2022.

CACURO, Thiago Aguiar. **Compósitos de alginato como material inteligente, modulação de solubilidade e objeto de ensino**. 2019. 121 f. Tese (Doutorado) - Curso de Biotecnologia e Monitoramento Ambiental., Universidade Federal de São Carlos, Sorocaba, 2019.

CARVALHO, Pedro Jorge Ribeiro de. **Estudo e conceção de um processo para aplicação doméstica de nanopartículas em tecidos têxteis**. 2014. 128 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia Mecânica, Universidade de Porto, 2014. Disponível em: <https://repositorio-aberto.up.pt/bitstream/10216/88272/2/32517.pdf>. Acesso em: 07 fev. 2022.

CARVALHO FILHO, José Luiz S. *et al.* Influence of the harvesting time, temperature and drying period on basil (*Ocimum basilicum L.*) essential oil. **Revista Brasileira de Farmacognosia**, [S.L.], v. 16, n. 1, p. 24-30, mar. 2006. Springer Science and Business Media LLC. <http://dx.doi.org/10.1590/s0102-695x2006000100007>. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/rbfar/a/vbG5sWS3f6YDcJgtP6vr8vw/?lang=en#>. Acesso em: 11 jan. 2022.

CARVALHO, Priscila de Freitas Siqueira. **Preparação e caracterização de géis de alginato, quitosana e nanoceluloses para aplicações biomédicas**. 2019. 188 f. Tese (Doutorado) - Curso de Engenharia de Materiais, Redemat, Ouro Preto, 2019.

CASTRO, Maria de Jesus Passos de. **Potencial inseticida de extratos de *piper tuberculatum jacq. (Piperaceae)* sobre a fase larval de *spodoptera frugiperda (J. E. Smith)***. 2007. 58 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Agronomia, Universidade Federal do Piauí, Teresina, 2007. Disponível em: <https://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/item/123407/1/DissertacaoMariaJesus.pdf>. Acesso em: 04 fev. 2022.

CÉ, Rodrigo. **Desenvolvimento e caracterização de nanocápsulas de núcleo lipídico contendo dapsona e revestidas com quitosana para potenciais aplicações farmacêuticas**. 2016. 122 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Ciências Farmacêuticas, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2016.

CEZARO, Alana Marie de. **Equilíbrio de fases e modelagem termodinâmica para os sistemas ternário eugenol + diclorometano + dióxido de carbono e quaternário eugenol + diclorometano + dióxido de carbono + poli (ϵ -caprolactona) em altas pressões**. 2015. 90 f. Tese (Doutorado) - Curso de Engenharia de Alimentos, Universidade Regional Integrada do Alto Uruguai e das Missões, Erechim, 2015. Disponível em: https://www.uricer.edu.br/cursos/arq_trabalhos_usuario/2700.pdf. Acesso em: 20 fev. 2022.

CHATHA, S. A. S. *et al.* (2019). **Environmentally responsive and anti-bugs textile finishes—Recent trends, challenges, and future perspectives**. *Science of the Total Environment*, 690, 667-682.

COSTA, Italo Carvalho da. **Nanopartículas poliméricas preenchidas com óleo essencial de *Piper nigrum*: caracterização química e morfológica**. 2020. 82 f. Dissertação (Mestrado em Ciência e Engenharia de Materiais) - Universidade Federal do Amazonas, Manaus, 2020.

CUNHA, Daniel Aparecido Lopes Vieira da *et al.* **Otimização do processo de obtenção de nanopartículas de quitosana-tpo pelo método de gelificação ionotrópica.** in: **workshop de nanotecnologia aplicada ao agronegócio**, 9., 2017, São Carlos. Anais [...]. São Carlos: Embrapa, 2017. p. 56-59. Disponível em:

<https://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/item/167796/1/P-Otimizacao-do-Processo-de-Obtencao-.pdf>. Acesso em: 27 fev. 2022.

DEBBOUN, Mustapha; FRANCES, Stephen P.; STRICKMAN, Daniel (Ed.). **Insect repellents handbook**. CRC Press, 2014.

ELSAYED, Ghada A.; HASSABO, Ahmed G. Insect repellent of cellulosic fabrics (a review). **Letters in applied nanobioscience**, [S.L.], v. 11, n. 1, p. 3181-3190, 27 jun. 2021. AMG Transcend Association. <http://dx.doi.org/10.33263/lianbs111.31813190>. Disponível em: <https://nanobioletters.com/wp-content/uploads/2021/06/22846808111.31813190.pdf>. Acesso em: 28 fev. 2022.

EZHILARASI, P. N. . Nanoencapsulation techniques for food bioactive components: a review. **Food and bioprocess technology**, [S.L.], v. 6, n. 3, p. 628-647, 12 ago. 2012. Springer Science and Business Media LLC. <http://dx.doi.org/10.1007/s11947-012-0944-0>. Disponível em: <https://link.springer.com/article/10.1007/s11947-012-0944-0>. Acesso em: 11 jan. 2022.

FAIDI, Adel *et al.* Application of sodium alginate extracted from a Tunisian brown algae *Padina pavonica* for essential oil encapsulation: microspheres preparation, characterization and in vitro release study. **International journal of biological macromolecules**, [S.L.], v. 136, p. 386-394, set. 2019. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2019.06.023>. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S014181301931712X#f0015>. Acesso em: 09 mar. 2022.

FARMACOGNOSIA, Sociedade Brasileira de (org.). **Histoquímica do cravo**. Apostila de aula prática de farmacognosia UFBA. Disponível em: http://www.sbfgnosia.org.br/Ensino/histoquimica_do_cravo.html. Acesso em: 20 fev. 2022.

FATHI, M., SAMADI, M., ROSTAMI, H., PARASTOUEI, K. (2021). **Encapsulation of ginger essential oil in chitosan-based microparticles with improved biological activity and controlled release properties**. *Journal of food processing and preservation*, 45(4), e15373.

FERRAZ, Humberto G. **Formas farmacêuticas de liberação modificada**. São Paulo, 2011. 4 páginas. Disponível em: https://edisciplinas.usp.br/pluginfile.php/3588666/mod_resource/content/1/Texto%20FFLM.pdf. Acesso em: 10 mar. 2022.

FERREIRA, Alexandre José Sousa; FERREIRA, Fernando Batista Nunes; OLIVEIRA, Fernando Ribeiro. **Têxteis Inteligentes: uma breve revisão da literatura**. Redige, Rio de Janeiro, v. 1, n. 5, p. 0-0, abr. 2014. Disponível em: <https://texcontrol.com.br/wp-content/uploads/2016/02/Texteis-Inteligentes-Uma-breve-revisao-da-literatura-Texteis-inteligentes.pdf>. Acesso em: 14 jan. 2022.

FERREIRA, Welisson S. *et al.* Piperine, its analogues and derivatives: potencial as antiparasitic drugs. **Revista virtual de química**, [S.L.], v. 4, n. 3, p. 208-224, jul. 2012. Sociedade Brasileira de Química (SBQ). <http://dx.doi.org/10.5935/1984-6835.20120018>. Disponível em: <https://rvq-sub.s bq.org.br/index.php/rvq/article/view/233>. Acesso em: 09 jan. 2022.

FIGUEIREDO, Ana Rosa de; SILVA, Leirson Rodrigues da; MORAIS, Lilia Aparecida Salgado de. Bioatividade do óleo essencial de *Eugenia caryophyllus* sobre *Cladosporium herbarum*, agente etiológico da verrugose em maracujá. **Scientia Plena**, [S.L.], v. 17, n. 2, p. 1-8, 11 mar. 2021. Associação Sergipana de Ciência. <http://dx.doi.org/10.14808/sci.plena.2021.020201>. Disponível em: <https://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/item/222913/1/Bioatividade-do-oleo-essencial-de-Eugenia-caryophyllus-sobre.pdf>. Acesso em: 20 fev. 2022.

GARCIA-CRUZ, Crispin Humberto . Alginato bacteriano:: aspectos tecnológicos, características e produção. **Química Nova**, São José do Rio Preto, v. 7, n. 31, p. 1800-1806, set. 2008.

GOHARY, E. El *et al.* Insecticidal activity and biochemical study of the clove oil (*Syzygium aromaticum*) nano- formulation on *Culex pipiens l. (diptera: culicidae)*. **Egyptian journal of aquatic biology & fisheries**. Cairo, jan. 2021. p. 1-13. Disponível em: https://ejabf.journals.ekb.eg/article_137233_f720d926d628b822798a9893d7f4a0d9.pdf. Acesso em: 09 mar. 2022.

GOMBOTZ, W. Protein release from alginate matrices. **Advanced drug delivery reviews**, [S.L.], v. 31, n. 3, p. 267-285, 4 maio 1998. Elsevier BV. [http://dx.doi.org/10.1016/s0169-409x\(97\)00124-5](http://dx.doi.org/10.1016/s0169-409x(97)00124-5). Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0169409X97001245?via%3Dihub>. Acesso em: 16 fev. 2022.

GONSALVES, Arlan de Assis *et al.* Diferentes estratégias para a reticulação de quitosana. **Química Nova**, [S.L.], v. 34, n. 7, p. 1215-1223, 2011. FapUNIFESP (SciELO). <http://dx.doi.org/10.1590/s0100-40422011000700021>. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/qn/a/k3GqvpJJx4jqmNzNQZQV3Mw/?lang=pt#:~:text=A%20quitosana%20%C3%A9%20insol%C3%BAvel%20em,usados%20na%20solubiliza%C3%A7%C3%A3o%20do%20biopol%C3%ADmero>. Acesso em: 27 fev. 2022.

GOPALAKRISHNAN, D. **Advanced protective textiles**. 2007. Disponível em: <https://www.fibre2fashion.com/industry-article/1763/advanced-protective-textiles>. Acesso em: 08 fev. 2022.

HASHEMINEJAD, Nayeresadat; KHODAIYAN, Faramarz; SAFARI, Mohammad. Improving the antifungal activity of clove essential oil encapsulated by chitosan nanoparticles. **Food chemistry**, [S.L.], v. 275, n. , p. 113-122, mar. 2019. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.foodchem.2018.09.085>. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S030881461831656X?via%3Dihub#t0010>. Acesso em: 09 mar. 2022.

HOSSEINI, Seyede Marzieh *et al.* Incorporation of essential oil in alginate microparticles by multiple emulsion/ionic gelation proces. **International journal of biological**

macromolecules, [S.L.], v. 62, p. 582-588, nov. 2013. Elsevier BV.

<http://dx.doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2013.09.054>. Disponível em:

<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0141813013005424?via%3Dihub>. Acesso em: 09 mar. 2022.

HUPFFER, Haide Maria; LAZZARETTI, Luisa Lauermann. Nanotecnologia e sua Regulamentação no Brasil. **Revista gestão e desenvolvimento**, [S.L.], v. 16, n. 3, p. 153, 9 set. 2019. Associação Pro-Ensino Superior em Novo Hamburgo.

<http://dx.doi.org/10.25112/rgd.v16i3.1792>. Disponível em:

<https://periodicos.feevale.br/seer/index.php/revistagestaoedesenvolvimento/article/view/1792>. Acesso em: 21 fev. 2022.

IBADURROHMAN, Muhammad; KRISTIANTO, David; SLAMET. Modified anti-mosquito and self-cleaning fabrics utilizing clove oil–CuO/TiO₂ composites. **Textile research journal**, [S.L.], v. 5, p. 1-9, 15 fev. 2022. SAGE Publications.

<http://dx.doi.org/10.1177/00405175211071001>. Disponível em:

<https://journals.sagepub.com/doi/pdf/10.1177/00405175211071001>. Acesso em: 09 mar. 2022.

IKAWATI, Silvi *et al.* Characterization of clove oil nanoparticles and their insecticidal activity against *Cryptolestes ferrugineus (stephens) (Coleoptera laemophloeidae)*. **Agrivita journal of agricultural science**, [S.L.], v. 43, n. 1, p. 43-55, 1 fev. 2021. Agrivita, Journal of Agricultural Science (AJAS).

<http://dx.doi.org/10.17503/agrivita.v43i1.2532>. Disponível em:

<https://www.agrivita.ub.ac.id/index.php/agrivita/article/view/2532/1340>. Acesso em: 09 mar. 2022.

IOC - Instituto Oswaldo Cruz. **Vetor**: conheça o comportamento do mosquito aedes aegypti e entenda a razão que leva este pequeno inseto a ser taxado desta forma. Conheça o comportamento do mosquito Aedes aegypti e entenda a razão que leva este pequeno inseto a ser taxado desta forma. 2022. Disponível em:

<https://www.ioc.fiocruz.br/dengue/textos/opportunista.html>. Acesso em: 11 mar. 2022.

IQBAL, Parvez; PREECE, Jon A.; MENDES, Paula M. Nanotechnology: the “top-down” and “bottom-up” approaches. **Supramolecular chemistry: from molecules to nanomaterials**, 2012.

JIROVETZ, Leopold . Aroma compound analysis of *Piper nigrum* and *Piper guineense*

essential oils from Cameroon using solid-phase microextraction–gas chromatography, solid-phase microextraction–gas chromatography–mass spectrometry and olfactometry. **Journal of chromatography A**, [S.L.], v. 976, n. 1-2, p. 265-275, nov. 2002. Elsevier BV.

[http://dx.doi.org/10.1016/S0021-9673\(02\)00376-X](http://dx.doi.org/10.1016/S0021-9673(02)00376-X).

JUMBO, Luis Oswaldo Viteri. **Atividade inseticida e de repelência de óleos essenciais de cravo e canela sobre o caruncho *Acanthoscelides obtectus* (Say)**. 2013. 57 f. Dissertação

(Mestrado) - Curso de Programa de Pós-Graduação em Entomologia, Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 2013. Disponível em:

<https://www.locus.ufv.br/bitstream/123456789/3980/1/texto%20completo.pdf>. Acesso em: 21 fev. 2022.

KARLSEN, Jan. Encapsulation and other programmed/sustained-release techniques for essential oils and volatile terpenes. In: BAŞER, K. Hüsnü Can (ed.). **Handbook of Essential Oils**. 3. ed. Boca Raton: Crc Press, 2020. Cap. 17, p. 868. Disponível em: <https://www.taylorfrancis.com/chapters/edit/10.1201/9781351246460-26/encapsulation-programmed-sustained-release-techniques-essential-oils-volatile-terpenes-jan-karlsen?context=ubx&refId=91e2eefc-8d09-44c8-9888-2f54af1c374f>. Acesso em: 09 jan. 2022.

KNAAK, Neiva; FIUZA, Lidia. Potencial dos óleos essenciais de plantas no controle de insetos e microrganismos. **Neotropical biology and conservation**, [S.L.], v. 5, n. 2, p. 120-132, 10 set. 2010. Pensoft Publishers. <http://dx.doi.org/10.4013/nbc.2010.52.08>. Disponível em: <http://revistas.unisinos.br/index.php/neotropical/article/view/4757>. Acesso em: 26 fev. 2022.

MAEDA, Jocely Andreuccetti *et al.* Craveiro-da-Índia: características físicas das sementes e seus efeitos na germinação e desenvolvimento vegetativo. **Bragantia**, Campinas, v. 49, n. , p. 23-26, 1990. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/brag/a/XT5ByJYzF9z5hTzGsTxpTPF/?format=pdf&lang=pt>. Acesso em: 20 fev. 2022.

MARCO, Cláudia A. *et al.* Características do óleo essencial de capim-citronela em função de espaçamento, altura e época de colheita. **Horticultura Brasileira**, [S.L.], v. 25, n. 3, p. 429-432, set. 2007. FapUNIFESP (SciELO). <http://dx.doi.org/10.1590/s0102-05362007000300020>. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/hb/a/ZbFNRm94z3hcbFzwLTmd6xS/?lang=pt>. Acesso em: 11 jan. 2022.

MARQUES, Elisa Balbi Pinto. **Nanoencapsulação de óleo essencial de cravo em matrizes lipídicas**. 2017. 62 f. TCC (Graduação) - Curso de Engenharia de Alimentos, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2017. Disponível em: https://repositorio.ufsc.br/bitstream/handle/123456789/182615/TCC_final_Elisa_Balbi.pdf?sequence=1&isAllowed=y. Acesso em: 09 mar. 2022.

MARTINS, E. *et al.*, (2017). Oil encapsulation techniques using alginate as encapsulating agent: Applications and drawbacks. **Journal of microencapsulation**, 34(8), 754-771.

MATSUO, T. Fibre materials for advanced technical textiles. **Textile progress**, [S.L.], v. 40, n. 2, p. 87-121, 13 jun. 2008. Informa UK Limited. <http://dx.doi.org/10.1080/00405160802133028>. Disponível em: <https://www.tandfonline.com/doi/abs/10.1080/00405160802133028?needAccess=true&journalCode=tpr20>. Acesso em: 14 jan. 2022.

MATTÉ, Grasielle M.; ROSA, Sirlei da. **A tecnologia da microencapsulação através das microesferas de quitosana**. Revista Iberoamericana de Polímeros, [s. l.], v. 14, n. 5, p. 206-218, ago. 2013. Bimestral. Disponível em: <https://www.observatorioplastico.com/ficheros/articulos/120760257206030829.pdf>. Acesso em: 21 fev. 2022.

MONTEIRO, Odair dos Santos. **Caracterização do óleo essencial da pimenta dioica lindl e sua aplicação como atrativo de abelhas euglossina**. 2008. 148 f. Tese (Doutorado) - Curso de Química Orgânica, Universidade Federal da Paraíba, João Pessoa, 2008. Disponível em:

http://www.quimica.ufpb.br/ppgq/contents/documentos/teses-e-dissertacoes/teses/2008/Tese_Odair_S_Monteiro.pdf. Acesso em: 21 fev. 2022.

NERIO, Luz Stella; OLIVERO-VERBEL, Jesus; STASHENKO, Elena. Repellent activity of essential oils: a review. **Bioresource technology**, [S.L.], v. 101, n. 1, p. 372-378, jan. 2010. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.biortech.2009.07.048>. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0960852409009468?via%3Dihub>. Acesso em: 27 jan. 2022.

OLIVEIRA, Guilherme Venancio de. **A influência de tratamentos com quitosana na solidez da cor a lavagem de camisetas de algodão com estampa digital**. 2017. 117 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Têxtil e Moda, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2017. Disponível em: https://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/100/100133/tde-28112017-174748/publico/Corrigida_Guilherme_Venancio_Oliveira.pdf. Acesso em: 10 mar. 2022.

OPAS - ORGANIZAÇÃO PAN-AMERICANA DA SAÚDE. **Malária**. 2022. Disponível em: <https://www.paho.org/pt/topicos/malaria>. Acesso em: 11 mar. 2022.

PACHECO, Laíssa Rodrigues Esposti. **Obtenção e caracterização de uma matriz polimérica a base de alginato com diferentes agentes reticulantes**. 2016. 74 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia e Ciência dos Materiais, Universidade Estadual do Norte Fluminense, Campos dos Goytacazes, 2016.

PAN, Ning; SUN, Gang (Ed.). **Têxteis funcionais para melhor desempenho, proteção e saúde**. Elsevier, 2011.

PATRA, J. K.; GOUDA, S. **Application of nanotechnology in textile engineering: An overview**. Academic Journals, v. 5, n. June, p. 104–111, 2013.

PAULA, Haroldo C. B. de. Esferas de alginato como agente encapsulante de óleo de croton *Zehntneri pax Et Hoffm*. In: Congresso Brasileiro De Polímeros, 10., 2009, Foz do Iguaçu. **Anais [..]**. São Carlos: Abpol, 2010.

PEDRO, A. São *et al*. The use of nanotechnology as an approach for essential oil-based formulations with antimicrobial activity. In: A MÉNDEZ-VILAS., **Microbial pathogens and strategies for combating them: science, technology and education**. 2. ed. .: Badajoz: Formatex Research Center., 2013. Cap. 15. p. 1364-1374. Disponível em: <https://pdf4pro.com/amp/view/the-use-of-nanotechnology-as-an-approach-for-essential-oil-2e545b.html>. Acesso em: 05 jan. 2022.

PEREIRA, A. M. S. *et al*. Formulário de preparação extemporânea. **Farmácia da natureza - chás medicinais**. 1. ed. São Paulo: Bertolucci, 2017.

PEREIRA, Gislaíne de Souza. **Materiais e processos têxteis**. Araranguá: Ifsc, 2009. 94 p. Disponível em: <https://wiki.ifsc.edu.br/mediawiki/images/temp/0/07/20090218180450!MPTEX6.pdf>. Acesso em: 10 mar. 2022.

PEREIRA, Taize. **Microencapsulação do óleo eugenol pelo método de spray drying**. 2007. 47 f. TCC (Graduação) - Curso de Química, Universidade Federal de Santa Catarina,

Florianópolis, 2007. Disponível em:

https://repositorio.ufsc.br/bitstream/handle/123456789/105202/Taize_Pereira.pdf?sequence=1&isAllowed=y. Acesso em: 21 fev. 2022.

PILETTI, Raquel. **Obtenção e caracterização de microcápsulas de eugenol e de óleo de alho duplamente revestidas para aumento da estabilidade térmica**. 2016. 187 f. Tese (Doutorado) - Curso de Engenharia Química, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2016.

POPIOLSKI, Tatiane Michele. **Desenvolvimento de nanopartículas contendo óleos essenciais antibacterianos para adsorção em fibras têxteis**. 2016. 145 f. Tese (Doutorado) - Curso de Ciências e Engenharia de Materiais, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis - Sc, 2016. Disponível em: <https://repositorio.ufsc.br/bitstream/handle/123456789/174698/344805.pdf?sequence=1&isAllowed=y>. Acesso em: 14 jan. 2022.

PURWANTI, Nanik *et al.* Emulsion stability of clove oil in chitosan and sodium alginate matrix. **International journal of food properties**, [S.L.], v. 21, n. 1, p. 566-581, 1 jan. 2018. Informa UK Limited. <http://dx.doi.org/10.1080/10942912.2018.1454946>. Disponível em: <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/full/10.1002/ffj.3186>. Acesso em: 05 jan. 2022.

RADÜNZ, Marjana *et al.* Antimicrobial and antioxidant activity of unencapsulated and encapsulated clove (*Syzygium aromaticum*, L.) essential oil. **Food Chemistry**, [S.L.], v. 276, n. , p. 180-186, mar. 2019. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.foodchem.2018.09.173>. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0308814618317588>. Acesso em: 09 mar. 2022.

RAUS, R. A., *et al.* (2021). **Alginate and alginate composites for biomedical applications**. *Asian Journal of Pharmaceutical Sciences*, 16(3), 280-306.

ROGER PEREIRA (Paraná). Associação Médica do Paraná (ed.). **Alergias a insetos crescem no verão**. *Medicina & Cia*, Curitiba, v. 35, p. 15-19, set. 2012. Disponível em: https://www.amp.org.br/site/arquivos/revistasarquivos/medicina-cia-edicao-numero-35_1575658612.pdf. Acesso em: 28 fev. 2022.

SÁ, Fernanda Vieira de. **Produção e caracterização de filmes de colágeno incorporado com óleo de cravo para potencial aplicação como curativo**. 2019. 56 f. TCC (Graduação) - Curso de Engenharia de Materiais, Centro Federal de Educação Tecnológica de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2019. Disponível em: https://www.eng-materiais.bh.cefetmg.br/wp-content/uploads/sites/189/2019/12/TCCII_Vers%C3%A3o-Final. Acesso em: 10 mar. 2022.

SANCHES, Mariele Paludetto. **Nanopartículas de Pluronic®F127 recobertas com o complexo polieletrólítico quitosana/alginate de sódio contendo óleo essencial de citronela**: deposição em tecido de algodão para aplicação antimicrobiana. 2020. 112 f. Tese (Doutorado) - Curso de Química, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2020.

SÁNCHEZ, Dr. Ing. José Cegarra. **Têxteis inteligentes**. *Revista Química Têxtil: Nanotecnologia*, São Paulo, v. 82, p. 1-14, mar. 2006. Disponível em: <https://www.ufjf.br/posmoda/files/2008/07/T%C3%A3o-xteis-inteligentes.pdf>. Acesso em: 14 jan. 2022.

SANTOS, Adriana de Jesus. **Nanocompósitos contendo óleo essencial de Syzygium aromaticum**: obtenção, caracterização e atividade larvicida contra aedes eegypti. 2014. 79 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Ciências Farmacêuticas, Universidade Federal de Sergipe, São Cristóvão, 2014. Disponível em: https://ri.ufs.br/bitstream/riufs/3960/1/ADRIANA_JESUS_SANTOS.pdf. Acesso em: 10 mar. 2022.

SARAIWA, Nariani Rocha *et al.* Clove oil-loaded zein nanoparticles as potential bioinsecticide agent with low toxicity. **Sustainable chemistry and pharmacy**, [S.L.], v. 24, n. , p. 1-16, dez. 2021. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.scp.2021.100554>. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2352554121001819>. Acesso em: 09 mar. 2022.

SHISHIR, Mohammad Rezaul Islam, *et al.* Advances in micro and nano-encapsulation of bioactive compounds using biopolymer and lipid-based transporters. **Trends in food science & technology**, [S.L.], v. 78, p. 34-60, ago. 2018. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.tifs.2018.05.018>. Disponível em: https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S092422441730777X?casa_token=XAlm3SL_ybIAAAAAA:ePhUP12yOYtdH1k9VrT7JAijeDsg9MkIHowXtqHQwC7KEixXkUKyLhdXNWsBg5GAZMyXxlZdJsw. Acesso em: 16 fev. 2022.

SINGH, Jitender *et al.* *Eugenia caryophyllata* Thunberg (family *Myrtaceae*): a review. **International journal of research in pharmaceutical and biomedical sciences**, Mohali, v. 3, n. 4, p. 1469-1475, fev. 2012. Disponível em: <https://www.cabdirect.org/globalhealth/abstract/20133079804>. Acesso em: 20 fev. 2022.

SOROH, A. *et al.* Microemulsification of essential oils for the development of antimicrobial and mosquito repellent fu. **Journal of applied microbiology**, [S.L.], v. 131, n. 6, p. 2808-2820, 11 jun. 2021. Wiley. <http://dx.doi.org/10.1111/jam.15157>. Disponível em: <https://sfamjournals.onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1111/jam.15157?af=R>. Acesso em: 28 fev. 2022.

SOUZA, Marina Guedes Fonseca de. **Lipossomas termossensíveis contendo nanopartículas de óxido de ferro como um potencial sistema anticâncer**. 2019. 92 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Química, Universidade Federal de Itajubá, Itabira, 2019. Disponível em: https://repositorio.unifei.edu.br/xmlui/bitstream/handle/123456789/2146/Disserta%C3%A7%C3%A3o_2020044.pdf?sequence=1&isAllowed=y. Acesso em: 09 mar. 2022.

SUMITOMO CHEMICAL LATIN AMERICA. **OLYSET®**: rede inseticida mosquiteira incorporada para controle do mosquito anopheles spp. transmissor da malária. Rede inseticida mosquiteira incorporada para controle do mosquito Anopheles spp. transmissor da Malária. Disponível em: <https://www.sumitomochemical.com/ehd/saude-publica/olyset/#>. Acesso em: 10 dez. 2021.

TAKIHARA, Anderson Massaro *et al.*. Otimização da produção de microcápsulas de alginato de sódio e seu efeito sobre a atividade da β -galactosidase. In: Oliveira, Ana Flávia de. **Tópicos em ciências e tecnologia de alimentos**: resultados de pesquisas acadêmicas - vol. 4. [S. L.]: Blucher, 2019. Cap. 11. p. 285-311.

TAO, Xiaoming. Smart technology for textiles and clothing – introduction and overview. **Smart fibres, fabrics and clothing**, [S.L.], p. 1-6, 2001. Elsevier.
<http://dx.doi.org/10.1533/9781855737600.1>. Disponível em:
<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/B9781855735460500079?via%3Dihub>.
 Acesso em: 14 fev. 2022.

TAVARES, Melanie *et al.* Trends in insect repellent formulations: a review. **International journal of pharmaceutics**, [S.L.], v. 539, n. 1-2, p. 190-209, mar. 2018. Elsevier BV.
<http://dx.doi.org/10.1016/j.ijpharm.2018.01.046>. Disponível em:
<https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0378517318300668>. Acesso em: 03 fev. 2022.

TEODORO, Rhana Amanda Ribeiro. **Microencapsulação do óleo essencial de cravo-da-índia (*Caryophyllus aromaticus L.*) por secagem por atomização**. 2016. 104 f. Tese (Doutorado) - Curso de Ciências dos Alimentos, Universidade Federal de Lavras, Lavras - Mg, 2016. Disponível em:
http://repositorio.ufla.br/bitstream/1/10990/2/DISSERTA%C3%87%C3%83O_Microencapsula%C3%A7%C3%A3o%20do%20%C3%B3leo%20essencial%20de%20cravo-da-%C3%ADndia%20%28L.%29%20%20por%20secagem%20por%20atomiza%C3%A7%C3%A3o.pdf. Acesso em: 09 fev. 2022.

VALLE, José Alexandre Borges *et al.* Chitosan microcapsules: methods of the production and use in the textile finishing. **Journal of applied polymer science**, [S.L.], v. 138, n. 21, p. 50482, 18 jan. 2021. Wiley. <http://dx.doi.org/10.1002/app.50482>. Disponível em:
<https://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1002/app.50482>. Acesso em: 21 fev. 2022.

VELLOSO, Fabiana Tolêdo. **Desenvolvimento e caracterização de microcápsulas de alginato/quitosana contendo ácido retinóico e óleo de babaçu**. 2008. 107 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Ciências Farmacêuticas, Departamento de Ciências Farmacêuticas, Universidade Federal de Pernambuco, Recife, 2008. Disponível em:
https://repositorio.ufpe.br/bitstream/123456789/2946/1/arquivo1103_1.pdf. Acesso em: 25 fev. 2022.

VENTURELLI, Rafaela Bohaczuk. **Produção de não tecidos de pet reciclado com incorporação de óleo essencial: comparação entre eletrofiação coaxial e eletroaspersão**. 2016. 117 f. Tese (Doutorado) - Curso de Programa de Pós-Graduação em Engenharia Química, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2016. Disponível em:
<https://repositorio.ufsc.br/xmlui/handle/123456789/167862>. Acesso em: 14 jan. 2022.

VESTERGAARD. **Saúde pública**. Disponível em: <https://vestergaard.com/wp-content/uploads/2019/11/Permanet-Quality-Brochure.pdf>. Acesso em: 10 dez. 2021.

WELKHOFF, Philip. **What will it take to outsmart malaria?** 2021. Disponível em:
<https://www.gatesfoundation.org/ideas/articles/malaria-rtss-vaccine>. Acesso em: 10 dez. 2021.

WHO - World Health Organization (org.). **Vector-borne diseases**. 2020. Disponível em:
<https://www.who.int/en/news-room/fact-sheets/detail/vector-borne-diseases>. Acesso em: 28 fev. 2022.

WHO - World Health Organization (org.). **Malaria**. 2014. Disponível em:
<https://www.who.int/news-room/fact-sheets/detail/malaria>. Acesso em: 21 jan. 2022.

WIEGAND, C., HIPLER, U. C. (2010, August). **Polymer-based biomaterials as dressings for chronic stagnating wounds**. In *Macromolecular symposia* (Vol. 294, No. 2, pp. 1-13). Weinheim: WILEY-VCH Verlag.

YANG, Zujin *et al.* Preparation and controllable release of chitosan/vanillin microcapsules and their application to cotton fabric. **Flavour and fragrance journal**, [S.L.], v. 29, n. 2, p. 114-120, 3 out. 2013. Wiley. <http://dx.doi.org/10.1002/ffj.3186>. Disponível em: <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/full/10.1002/ffj.3186>. Acesso em: 05 dez. 2021.

ZANATTA, Juliana da Silva. **Avaliação da atividade larvicida e repelente do óleo de cravo (*Syzygium aromaticum*) em diferentes sistemas de nanoencapsulação**. 2017. 102 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia Química, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2017. Disponível em: <https://repositorio.ufsc.br/bitstream/handle/123456789/188696/PENQ0745-D.pdf?sequence=1&isAllowed=y>. Acesso em: 09 fev. 2022.

ZAROS, Karin Juliana Bitencourt. BD, XR, SR, ER: Qual o significado das Siglas nos Nomes dos Medicamentos? **Cimformando**, v. 16, n. 1, p. 1-10, 2019. Disponível em: <https://www.crf-pr.org.br/uploads/revista/36139/LoaWrP5r1wBcigYykkiUhrbPNQNQtKyd.pdf>. Acesso em: 27 fev. 2022.

ZHAI, Hengxiao *et al.* Potential of essential oils for poultry and pigs. **Animal Nutrition**, [S.L.], v. 4, n. 2, p. 179-186, jun. 2018. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.aninu.2018.01.005>. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2405654517301506>. Acesso em: 05 jan. 2022.

ANEXO A – Cromatografia gasosa do óleo essencial de cravos folhas



Universidade Federal de Minas Gerais
 Instituto de Ciências Exatas
 Departamento de Química / Colegiado de Extensão
 Telefax : (31) 3409-5724 – e-mail: núcleo@qui.ufmg.br

CERTIFICADO DE ANÁLISE QUÍMICA

Solicitante: VIA AROMA Industria de Aromatizadores de Ambientes Ltda

CNPJ : 04.612.952/0001-17

ÓLEO ESSENCIAL de CRAVO FOLHAS

Composição Química

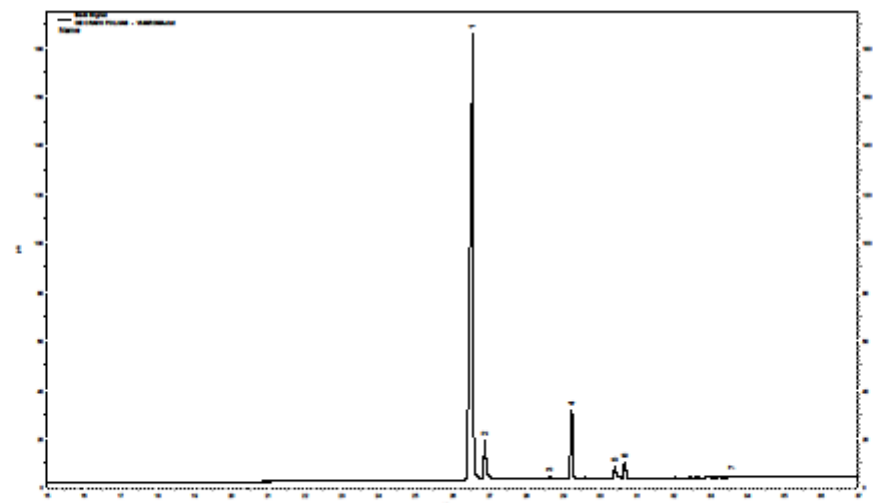
Nome comercial: Óleo Essencial de Cravo Folhas

Nomenclatura botânica: Eugenia caryophyllus

Extração: Destilação

Parte da planta: Folhas

Origem: Singapura



Pico	IR	Constituintes	%
		calc	
1	1383	eugenol	81.5
2	1371	α -copaeno	5.7
3	1414	metileugenol	0.4
4	1428	β -cariofileno	8.3
5	1458	isoeugenol	1.6
6	1463	humuleno	2.0
7	1533	acetato eugenila	0.3
		outros	0.3

Dra. Vany Ferraz
 Laboratório de Cromatografia
 Departamento de Química – UFMG
 varyferraz@ufmg.br
 Belo Horizonte, 10/10/2019

Método de análise: Cromatografia Gasosa de Alta Resolução. Cromatógrafo a Gas AGILENT 7820A.
 Coluna: RXI-SMS 30m x 0,25mm x 0,25 μ m (Restek). Temp.: Coluna: 50°C (0 min), 3°C/min a 200°C.
 Injetor: 200°C Split: 1/50. Detetor FID: 220°C. Vol. de Injeção: 1 μ l (1% em acetato de etila).