



UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARÁ
CAMPUS UNIVERSITÁRIO DE ANANINDEUA
FACULDADE DE ENGENHARIA DE MATERIAIS

VALÉRIA DA SILVA VAZ

**COMPORTAMENTO FÍSICO-QUÍMICO DAS NANOEMULSÕES DO ÓLEO
ESSENCIAL DA FOLHA DO CRAVO-DA-ÍNDIA**

ANANINDEUA-PA
2026

VALÉRIA DA SILVA VAZ

**COMPORTAMENTO FÍSICO-QUÍMICO DAS NANOEMULSÕES DO ÓLEO
ESSENCIAL DA FOLHA DO CRAVO-DA-ÍNDIA**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado à Faculdade de Engenharia de Materiais, do *Campus* Universitário de Ananindeua, da Universidade Federal do Pará, como requisito parcial para obtenção do título de Bacharel em Engenharia de Materiais.

Orientador: Prof. Dr. Marcos Vinicius da Silva
Paula
Coorientador: Eng. Cássio Fernandes de Araújo

ANANINDEUA-PA
2026

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP) de acordo com ISBD
Sistema de Bibliotecas da Universidade Federal do Pará
Gerada automaticamente pelo módulo Ficat, mediante os dados fornecidos pelo(a) autor(a)

V393c Vaz, Valéria da Silva.
Comportamento físico-Químico das nanoemulsões do óleo
essencial da folha do cravo-da-índia / Valéria da Silva Vaz. — 2025.
. : 57 f. : il. color.

Orientador(a): Prof. Dr. Marcos Vinicius da Silva Paula
Coorientador(a): Eng. Cássio Fernandes de Araújo
Trabalho de Curso (Graduação) - Universidade Federal do Pará,
Campus Universitário de Ananindeua, Curso de Engenharia de
Materiais, Ananindeua, 2025.

1. Nanomaterias. 2. Emulsões. 3. Sustentabilidade. I.
Título.

CDD 541.345

VALÉRIA DA SILVA VAZ

**COMPORTAMENTO FÍSICO-QUÍMICO DAS NANOEMULSÕES DO ÓLEO
ESSENCIAL DA FOLHA DO CRAVO-DA-ÍNDIA**


Trabalho de Conclusão de Curso, apresentado à Faculdade de Engenharia de Materiais do *Campus* Universitário de Ananindeua da Universidade Federal do Pará, como requisito parcial para obtenção de grau de Bacharel em Engenharia de Materiais.

Orientador: Prof. Dr. Marcos Vinicius da Silva Paula
Coorientador: Eng. Cássio Fernandes de Araújo


Data da aprovação: 09/04/2025

Conceito: EXCELENTE


BANCA EXAMINADORA

Documento assinado digitalmente
 **MARCOS VINICIUS DA SILVA PAULA**
Data: 19/03/2026 11:19:28-0300
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>


Prof. Dr. Marcos Vinicius da Silva Paula- UFPA
Orientador

Documento assinado digitalmente
 **CASSIO FERNANDES DE ARAUJO**
Data: 19/03/2026 19:04:43-0300
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Eng. Cássio Fernandes de Araújo
Coorientador

Documento assinado digitalmente
 **ALACID DO SOCORRO SIQUEIRA NEVES**
Data: 19/03/2026 15:00:00-0300
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Prof. Msc. Alacid do Socorro Siqueira Neves- UFPA
Examinador Interno

Documento assinado digitalmente
 **ALCY FAVACHO RIBEIRO**
Data: 19/03/2026 17:20:47-0300
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Prof. Dr. Aley Favacho Ribeiro- UFPA
Examinador externo

AGRADECIMENTOS

Primeiramente, agradeço a DEUS pelo privilégio da vida, melhor amigo, companheiro e refúgio na hora da aflição. “Embora meu corpo e meu coração possam fraquejar, Deus é a força do meu coração e minha herança para sempre” (Salmo 73.26). Que a sua graça continue a me guiar em todos os momentos da minha jornada.

Gostaria de expressar minha profunda gratidão à minha família, um alicerce inabalável em minha vida. Ao meu querido pai, Benedito, cuja sabedoria e apoio constante moldaram meu caráter e me ensinaram a importância da perseverança. À minha amada mãe, Alcione, cujo amor incondicional e sacrifício incansável sempre me sustentaram nos momentos mais difíceis. E à minha querida irmã, Esteffany, cuja presença alegre e apoio inabalável tornam cada desafio mais fácil de enfrentar. Ao meu namorado pelo amor, carinho e paciência. Sou infinitamente grata por ter cada um de vocês em minha vida. Obrigado por serem minha família e por estarem sempre ao meu lado.

Quero estender meu mais profundo agradecimento ao restante da minha família, cujo apoio e amor são inestimáveis para mim. A vovó Maria, vovó Joana, vovô Miguel, cujas histórias inspiradoras e carinho me ajudaram a seguir em frente. À tia Jack, tio Afonso, tio Almir e tia Dira, cuja presença calorosa e conselhos sábios enriquecem minha jornada. Aos meus primos: Janaína, André Jesus e Izamara cuja amizade e companheirismo tornam cada momento mais especial. E ao saudoso tio Milton, que mesmo ausente sou imensamente grata pelo seu companheirismo. Agradeço a todos vocês por fazerem parte da minha vida e por encherem meu coração de amor e gratidão.

Expresso minha sincera gratidão aos amigos que a UFPA me presenteou Lorena, Michelle e Rose, que foram meu alicerce nos momentos mais desafiadores, além de Douglas, Rochelle, Jenniffer, Cássio e toda a turma de Engenharia de Materiais 2019. Cada um de vocês contribuiu para que essa trajetória fosse mais leve, inspiradora e cheia de aprendizado. Agradeço profundamente ao Professor Marcos Vinícius por sua orientação dedicada, paciência e constante incentivo. Estendo meu reconhecimento a todos os docentes da FEMAT, bem como ao Labpol, LabQuim e à Superintendência Estudantil. Muito obrigada a todos que fizeram parte dessa caminhada!

RESUMO

A busca por soluções inovadoras tem impulsionado a crescente demanda por nanomateriais, em razão de limitações dos métodos convencionais para resolver problemas como a deterioração de alimentos e a resistência de microrganismos, que acarretam impactos financeiros e sociais significativos. Nesse cenário, avanços científicos têm se concentrado no desenvolvimento de materiais eficientes, sustentáveis e seguros para a saúde humana e o meio ambiente. As emulsões configuram-se como alternativa promissora, especialmente por empregarem matérias-primas de origem natural. Este estudo investigou o efeito do armazenamento, durante trinta dias, nas propriedades físico-químicas de emulsões obtidas por emulsificação espontânea, formuladas com óleo essencial de cravo-da-índia (OEFC) nas proporções 8/2, 7/3 e 10/0 (v/v), utilizando óleo de canola como inibidor do amadurecimento de Ostwald e Tween® 80 como surfactante. Foram realizadas análises visuais, espectroscópicas, de pH e viscosidade. Os resultados indicaram elevada estabilidade ao longo do período avaliado, com baixa variação de pH, manutenção da viscosidade e alterações mínimas nos espectros de absorbância e transmitância. Conclui-se que as emulsões apresentam potencial para aplicações em embalagens ativas, filmes alimentares e curativos, contribuindo para a extensão da vida útil de alimentos e para o desenvolvimento de soluções sustentáveis.

Palavras-chave: nanomateriais; emulsões; emulsificação espontânea; sustentabilidade.

ABSTRACT

The search for innovative solutions has driven the growing demand for nanomaterials, due to the limitations of conventional methods for solving problems such as food spoilage and microbial resistance, which have significant financial and social impacts. In this context, scientific advances have focused on the development of efficient, sustainable, and environmentally safe materials. Emulsions represent a promising alternative, especially because they use natural raw materials. This study investigated the effect of 30 days of storage on the physicochemical properties of emulsions obtained by spontaneous emulsification, formulated with clove essential oil (CVEO) in 8/2, 7/3, and 10/0 (v/v) ratios, using canola oil as an Ostwald ripening inhibitor and Tween® 80 as a surfactant. Visual, spectroscopic, pH, and viscosity analyses were performed. The results indicated high stability throughout the evaluation period, with low pH variation, viscosity maintenance, and minimal changes in absorbance and transmittance spectra. It is concluded that the emulsions have potential for applications in active packaging, food films, and dressings, contributing to extending the shelf life of foods and developing sustainable solutions.

Keywords: nanomaterials; emulsions; spontaneous emulsification; sustainability.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1- Fotos da árvore (a), folha(b), fruto (c), flor seca (d)	15
Figura 2- Estrutura molecular dos principais compostos do óleo essencial folha cravo-da-índia.....	18
Figura 3- Esquema da nanoemulsão (O/A) e (A/O)	19
Figura 4- Processo de encapsulamento nanoemulsão.....	23
Figura 5- Fluxograma do processo produção nanoemulsão.....	27
Figura 6- Produção das nanoemulsões cravo folha.....	28
Figura 7- Análise visual das amostras OEFC 01 E OEFC 02.....	32
Figura 8- Medição de turbidez a 600 nos tempos de armazenamento em 0, 15 e 30 dias.....	33
Figura 9- Espectros de absorvância para as emulsões nos tempos de 0, 15 e 30 dias, sendo identificados na Figura respectivamente como a,b e c	36
Figura 10- Medições de pH no intervalo de 0, 15 e 30 dias.....	39
Figura 11- Amostras OEFC 01 e OEFC 02 no decorrer de zero, quinze e trinta dias em relação de viscosidade e taxa de cisalhamento.....	41

LISTA DE TABELAS

Tabela 1- Composição química da Folha do cravo-da-índia.....	17
Tabela 2- Reagentes utilizados no experimento.....	25
Tabela 3- Proporções do (OECF) para (Ocan) a 5% (v/v).....	26

LISTA DE ABREVIACÕES E SIMBOLOS

- (OE) Óleo essencial
- (NE) Nanoemulsão
- (OEFC) Óleo essencial da Folha do Cravo-da-índia
- (OCan) Óleo de canola
- (Abs) Absorbância
- η viscosidade
- pH Potencial hidrogeniônico
- mL Mililitro
- % Percentual
- Nm Nanômetro
- Pa.s-1 Pascal /segundo
- (t-0) Tempo zero
- (t-15) Tempo quinze
- (t-30) Tempo trinta
- (v/v) Volume/ volume
- (O/A) Óleo-em-água
- (A/O) Água-em-óleo
- (O/A/O) Óleo em água em óleo
- (A/O/A) Água em óleo em água
- (MO) Amadurecimento de Ostwald
- (DL) Dose letal
- Trans (%) Percentagem de transmitância
- (LABQUIM) Laboratório de Química
- (LABPOL) Laboratório de Polímero
- (UFPA) Universidade Federal do Pará.

SUMÁRIO

1 INTRUDUÇÃO.....	12
2 JUSTIFICATIVA.....	13
3 OBJETIVOS.....	14
3.1 Objetivo Geral.....	14
3.2 Objetivo Específico.....	14
4 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	15
4.1 Nanotecnologia	15
4.2 Compostos químicos isolados do OEFC.....	17
4.3 Emulsão.....	19
4.4 Nanoemulsão	20
4.5 Procedimento de Preparação.....	22
4.6 Aplicações das NEs.....	24
5 METODOLOGIA.....	25
5.1 Materiais e reagentes.....	25
5.2 Preparação das emulsões.....	26
5.3 Caracterização das Nanoemulsões OEFC.....	29
5.3.1 Análise Visual.....	29
5.3.2 Medição de Transmitância.....	30
5.3.3 Leituras de Absorbância.....	30
5.3.4 Medição de Potencial hidrogeniônico.....	30
5.3.5 Medições Reológicas: Viscosidade dinâmica	30
6 RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	32
6.1 Análise Visual.....	32
6.2 Medição de Transmitância.....	33
6.3 Leituras de Absorbância.....	35
6.4 Medição de Potencial hidrogeniônico.....	38
6.5 Medições Reológicas: Viscosidade dinâmica.....	40

7 CONCLUSÃO	44
8 SUGESTÕES DE TRABALHOS FUTUROS.....	45
REFERÊNCIAS.....	46

1 INTRODUÇÃO

A demanda por nanomateriais tem se expandido significativamente nas últimas décadas, impulsionada pela necessidade de soluções mais eficazes para desafios que métodos convencionais não resolvem, como a degradação de alimentos e o aumento da resistência microbiana, os quais geram impactos socioeconômicos relevantes. As nanoemulsões surgem como alternativa, com propriedades formidáveis apresentando uma elevada estabilidade combinada com cinética e maior biodisponibilidade de compostos lipofílicos, ocasionando ótimos resultados em múltiplas aplicações (McClements, 2012).

O óleo essencial de *Syzygium aromaticum* apresenta propriedades farmacológicas amplamente reconhecidas, incluindo atividades antimicrobiana e anti-inflamatória. Entretanto, sua aplicação direta é limitada devido à volatilidade e à baixa solubilidade em meio aquoso. A incorporação desse óleo em nanoemulsões surge como alternativa promissora, uma vez que aumenta sua estabilidade, bioatividade e potencial de aplicação industrial (Perteghell *et al.*, 2023).

Diversos métodos têm sido utilizados para a produção de nanoemulsões estáveis, sendo a emulsificação espontânea um dos mais empregados por permitir a obtenção de partículas homogêneas e com baixa polidispersidade. Além disso, o planejamento experimental auxilia na otimização das proporções entre óleo, surfactante e fase aquosa, garantindo propriedades físico-químicas adequadas e maior estabilidade estrutural (Cholakova *et al.*, 2021; Singh *et al.*, 2021).

A estabilidade físico-química durante o armazenamento é um dos fatores determinantes para a aplicação industrial desses sistemas. Estudos demonstram que formulações produzidas com surfactantes naturais mantêm parâmetros críticos como pH, viscosidade e tamanho de gotículas estáveis por longos períodos, assegurando sua integridade funcional e segurança de da sua utilização (Perteghella *et al.*, 2023).

Diante desse cenário, o presente estudo avaliou as propriedades físico-químicas e reológicas das formulações OEFC 7:3, OEFC 8:2 e OEFC 10:0, com o objetivo de determinar a estabilidade das nanoemulsões ao longo do tempo. Os resultados obtidos indicam que as formulações OEFC 7:3 e OEFC 8:2 apresentam maior estabilidade óptica, morfológica e química durante o período de 30 dias de armazenamento, evidenciando seu potencial para aplicações nas áreas de cosméticos, alimentos funcionais e produtos farmacêutico.

2 JUSTIFICATIVA

Motivada pela crescente procura por materiais biotecnológicos que substituam os sintéticos reconhecidos pelos seus impactos ambientais e potenciais danos à saúde esta pesquisa explora alternativas sustentáveis. Este estudo propõe o uso do óleo essencial das folhas de cravo como matéria-prima, analisando suas principais características para reduzir impactos ambientais. A nanoemulsão tem papel essencial ao encapsular o óleo, aumentando sua estabilidade e eficácia, além de potencializar seus efeitos medicinais oferecendo soluções biológicas para problemas atuais, como a deterioração de alimentos e o aumento de microrganismos resistentes.

3 OBJETIVOS

3.1 Objetivo Geral

Analisar as propriedades físico-químicas das nanoemulsões produzidas a partir do óleo essencial da folha do cravo da índia, de acordo com o tempo de armazenamento.

3.2 Objetivos específicos

- Desenvolver nanoemulsões utilizando o método de emulsificação espontânea a partir do óleo essencial das folhas de cravo-da-índia;
- Caracterizar as nanoemulsões produzidas, determinando suas propriedades físico-químicas por meio das análises de turbidez, estabilidade física, viscosidade dinâmica e pH.
- Monitorar e comparar a evolução dessas propriedades em diferentes períodos de armazenamento, a fim de verificar sua estabilidade e potencial de aplicação.

4 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

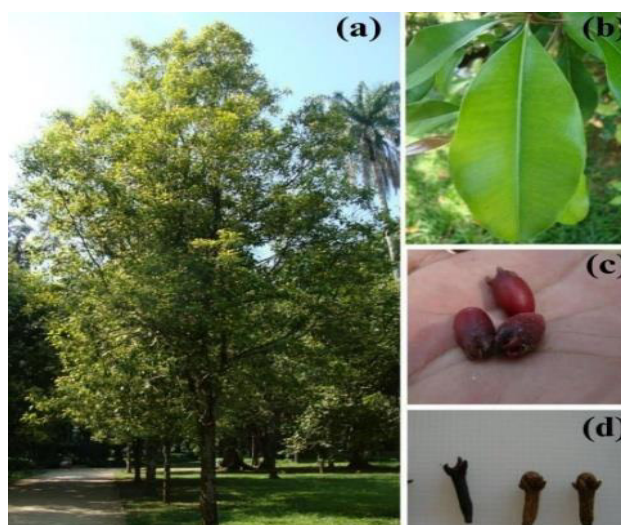
4.1 Nanotecnologia

A nanotecnologia configura-se como um campo interdisciplinar que reúne conhecimentos provenientes da engenharia química, ciência dos materiais, biotecnologia e das tecnologias de processamento industrial, apresentando-se como uma ferramenta promissora na solução de desafios relacionados à preservação e ao acondicionamento de alimentos (Cartelle; Zurita, 2015).

Nesse contexto, os óleos essenciais surgem como candidatos ideais para serem incorporados às estratégias nanotecnológicas, devido às suas reconhecidas propriedades antimicrobianas, antioxidantes e conservantes. Que são substâncias voláteis extraídas de diversas partes das plantas. Sua composição química varia conforme a origem da planta, tornando cada óleo essencial único em sua constituição. Esses compostos, que podem conter mais de 300 substâncias químicas diferentes, são altamente valorizados por suas propriedades e aplicações (Wolffenbüttel, 2007; Nascimento, 2012).

Dentre os óleos essenciais mais estudados, está o óleo de cravo-da-índia (*Syzygium aromaticum*), uma planta amplamente valorizada tanto na culinária quanto na medicina tradicional. A árvore do cravo-da-índia é composta por folhas, flores e brotos, como apresenta a figura 1. O interesse científico por essa espécie reforça sua relevância no contexto das plantas aromáticas e medicinais com potencial para aplicações na farmacologia, biotecnologia, cosméticos e ramo alimentício (Ramadan, 2022).

Figura 1- Fotos da árvore (a), folha (b), fruto (c), flor



Fonte: Affonso *et al.*, 2012, p. 148.

O óleo essencial de cravo-da-índia destaca-se por suas propriedades fitoterápicas, aromáticas e anestésicas, podendo ser extraído de diferentes partes da planta. Sua composição química é caracterizada pela alta concentração de eugenol (4-alil-2-metoxifenol), um monoterprenoide com grupo funcional fenólico que possui ligação dupla carbono-carbono, responsável pela maioria das atividades biológicas atribuídas ao óleo (Cabral; Castier; Cardozo-Filho, 2019; Silva *et al.*, 2024).

O seu efeito antioxidante desempenha um papel fundamental na neutralização dos radicais livres, interrompendo a cadeia de reações oxidativas ou retardando o processo de oxidação por meio de mecanismos como a captura de oxigênio e a absorção de radiação ultravioleta. O eugenol, em particular, contribui diretamente para a inibição da formação de radicais hidroxila, reforçando a ação protetora contra danos oxidativos (Chaieb *et al.*, 2007; Affonso *et al.*, 2012).

Além da ação antioxidante, os óleos essenciais também apresentam atividade antimicrobiana devido à sua natureza hidrofóbica, que lhes permite desestabilizar a membrana lipídica dos microrganismos e impedir sua proliferação. Contudo, concentrações elevadas podem comprometer as características sensoriais dos produtos, tornando essencial definir níveis adequados de uso (Machado; Barros, 2006; Forsythe, 2010; Ramos *et al.*, 2007).

No contexto do uso do cravo-da-índia, embora suas propriedades antioxidantes e antimicrobianas sejam amplamente reconhecidas, é importante considerar também sua toxicidade e efeitos colaterais. Estudos apontam que o extrato hidroalcoólico da planta apresenta toxicidade significativa quando administrado por via intraperitoneal em modelos animais, com uma DL_{50} de 255 mg/kg, sendo classificado como altamente tóxico. No entanto, por via oral, doses de até 5.000 mg/kg não foram letais, embora sinais de toxicidade tenham sido observados, o que evidencia que os efeitos variam de acordo com a via de administração e a dosagem utilizada (Santos *et al.*, 2020).

As doses adequadas devem ser administradas a ajuda de profissionais especializados, a fim de evitar possíveis problemas relacionados como por exemplo: alergias e intolerâncias ao óleo essencial, o que podem acarretar complicações mais sérias à saúde. O uso excessivo dessa planta pode provocar efeitos adversos, como hipoglicemia e reações alérgicas severas. Dessa forma, a frequência de uso deve ser criteriosamente avaliada para maximizar seus benefícios terapêuticos e minimizar os riscos à saúde (Silva; Pereira, 2021).

Paralelamente, a citotoxicidade do óleo essencial também tem sido explorada do ponto de vista terapêutico. Estudos demonstraram que o eugenol apresenta capacidade biológica

formidável principalmente contra linhagens celulares tumorais, o que reforça seu potencial em aplicações farmacêuticas (Oliveira *et al.*, 2019).

4.2 Compostos químicos isolados do OEFC

O óleo essencial de cravo tem como componentes predominantes o eugenol, o acetato de eugenila, o β -cariofileno e outros constituintes minoritários. Sua composição química, porém, pode variar de acordo com a variedade da planta, as condições agroecológicas, os pré-tratamentos aplicados ao material vegetal e o método de extração utilizado (Santos; Batista, 2019).

Considerando essa variação composicional, o óleo extraído das folhas de cravo utilizado nesta pesquisa apresentou características particularmente distintas, como coloração castanho-escura e aroma lenhoso, com leves notas de queima. Sua concentração variou entre 3,0% e 4,8%, de acordo com a Tabela 1. Entre os principais compostos identificados destacaram-se o eugenol (38,3% a 95,2%), o acetato de eugenila (1,5% a 51,2%) e o β -cariofileno (0,2% a 6,3%), além de outros componentes presentes em menores proporções chamadas de elementos residuais.

Tabela 1: Composição Química da Folha do Cravo-da-índia.

Cravo-da-índia	Características	Composição (%)
Folha	Óleo castanho escuro; Odor lenhoso/queimado;	OEFC: 3,0-4,8% eugenol (38,3-95,2%); acetato de eugenila (1,5- 51,2%) β -cariofileno (0,2- 6,3%) elementos residuais.

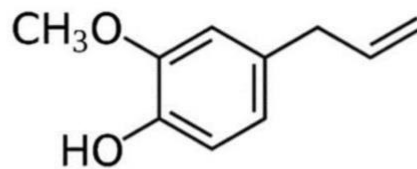
Fonte: Adaptado de Batista, 2016.

Dando continuidade à caracterização dos principais constituintes, o eugenol um composto fenólico amplamente predominante desempenha funções importantes em alimentos, contribuindo para o aroma, a coloração e a estabilidade oxidativa. Sua estrutura química,

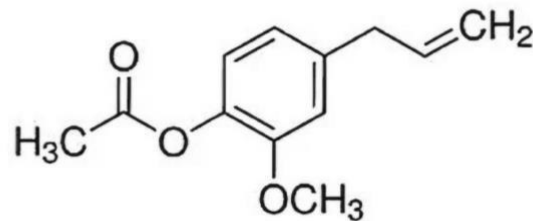
apresentada na Figura 2, evidencia a relação com outros metabólitos bioativos presentes no óleo. Entre seus derivados, o acetato de eugenila se sobressai por apresentar forte atividade antimicrobiana, além de propriedades antioxidantes e ação larvicida, ampliando o potencial funcional do óleo. O β -cariofileno, por sua vez, é um sesquiterpeno amplamente encontrado em óleos essenciais e contribui de forma marcante para o aroma característico do cravo, também sendo comum em espécies como a pimenta-do-reino (Santoro *et al.*, 2007; Angelo; Jorge, 2007; Gurib-Fakim, 2006; Cavar *et al.*, 2021; Gioffre *et al.*, 2020; Thurman, 2020).

Figura 2 - Estrutura molecular dos principais compostos do óleo essencial Folha cravo-da-índia

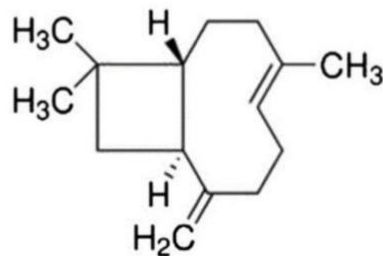
Estrutura do eugenol



Estrutura do Acetato de eugenila



Estrutura do β -cariofileno



Fonte: Adaptado de Pandey *et al.*, 2024.

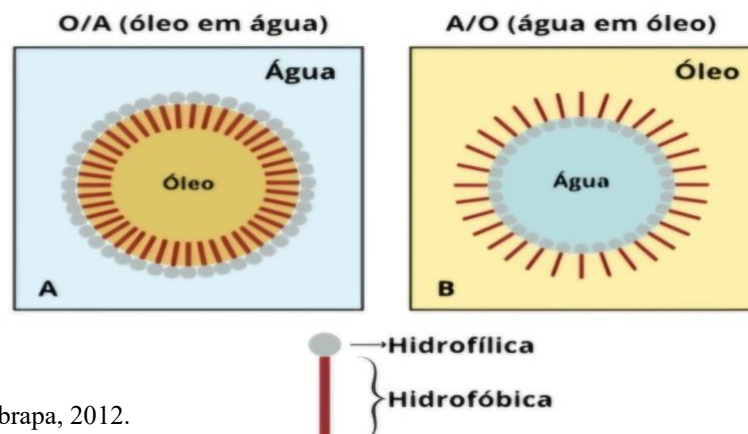
4.3 Emulsão

As emulsões são sistemas coloidais metaestáveis constituídos por dois líquidos imiscíveis, geralmente água e óleo, nos quais um deles se encontra disperso na forma de pequenas gotículas no outro, denominado fase contínua. Esse arranjo resulta em um sistema heterogêneo, caracterizado pela presença de gotículas com diferentes tamanhos, cuja estabilidade depende de fatores como a presença de agentes emulsificantes, método de preparo e condições físico-químicas do meio (Ephrem *et al.*, 2018).

Esses sistemas enquadram-se como coloides do tipo líquido-líquido e requerem agitação mecânica para sua formação. A classificação das emulsões baseia-se na natureza da fase contínua, podendo ser do tipo óleo em água (O/A), quando a água constitui a fase contínua, ou água em óleo (A/O), quando o óleo desempenha esse papel. No ponto de vista termodinâmico, as emulsões são instáveis, tendem à separação das fases originais por processos como fusão e coalescência das gotículas dispersas. Para contornar essa instabilidade e prolongar a vida útil do sistema, utilizam-se agentes emulsificantes ou surfactantes, que atuam reduzindo a tensão interfacial e promovendo maior estabilidade à emulsão (Lu; Gao, 2010).

Nesse contexto, a formação e a estabilidade das emulsões dependem diretamente da ação dos surfactantes, que são moléculas anfífilas fundamentais para a manutenção desses sistemas. Devido à presença simultânea de regiões hidrofílicas e hidrofóbicas, os surfactantes se adsorvem na interface entre a fase aquosa e a fase oleosa, reduzindo a tensão interfacial e formando uma barreira que dificulta a aproximação e a coalescência das gotículas, conforme ilustrado na Figura 3. Esses compostos podem ser classificados em aniônicos, catiônicos ou não iônicos, e sua eficiência é influenciada por fatores como temperatura, pH e presença de íons no meio, os quais afetam o comportamento interfacial e a duração da emulsão (Moreira, 2010; Silva, 2019).

Figura 3-Esquema da nanoemulsão (O/A) e (A/O)



Fonte: Adaptado Embrapa, 2012.

Dessa forma a compreensão do comportamento dos surfactantes em sistemas dispersos é fundamental para explicar a formação e a invariabilidade das emulsões. O tipo de surfactante é determinado pela carga da cabeça polar, permitindo sua classificação em aniônicos, catiônicos e não iônicos, de acordo com a presença e o sinal elétrico dessa porção da molécula. Essa característica molecular influencia diretamente a interação com interfaces, a formação de micelas e o desempenho em aplicações como redução da tensão superficial, emulsificação e solubilização de fases imiscíveis (Duan *et al.*, 2024).

4.4 Nanoemulsão

As nanoemulsões são sistemas coloidais constituídos por gotículas de água em óleo (A/O) ou óleo em água (O/A), com diâmetros geralmente compreendidos entre 20 e 200 nanômetros. Devido à reduzida dimensão das gotículas, esses sistemas apresentam vantagens relevantes, como maior biodisponibilidade de compostos lipofílicos, aumento da estabilidade dos ingredientes ativos e melhor absorção de nutrientes e fármacos (Clementes, 2021). Em razão dessas características, a obtenção de nanoemulsões tem sido amplamente estudada, podendo ser realizada por métodos de alta ou de baixa energia

Os utilizados métodos de alta energia, empregam-se equipamentos capazes de gerar forças mecânicas intensas, como homogeneizadores de alta pressão e ultrassom, que promovem a fragmentação de gotículas maiores até a escala nanométrica (Gupta *et al.*, 2016; Ho; Abik; Mikkonen, 2022). Por outro lado, os métodos de baixa energia baseiam-se em modificações controladas do sistema, como variações de temperatura ou de composição, que reduzem espontaneamente a tensão interfacial, favorecendo a formação de gotículas nanométricas a partir de macroemulsões (Gupta *et al.*, 2016).

De acordo com essa classificação, as macroemulsões apresentam diâmetros de gotículas compreendidos entre 500 e 100 000 nm e caracterizam-se por estabilidade cinética limitada. As microemulsões, por sua vez, possuem tamanhos de gotículas entre 200 e 500 nm. As nanoemulsões distinguem-se por gotículas com diâmetros variando de 20 a 200 nm, apresentando elevada estabilidade cinética, distribuição de tamanho mais homogênea e, frequentemente, aspecto translúcido, o que favorece sua aplicação (Che Marzuki; Wahab; Abdul Hamid, 2019; Gupta *et al.*, 2016).

A emulsificação espontânea é uma técnica utilizada na obtenção de nanoemulsões, apresentando como principais vantagens a simplicidade do processo, a rapidez de execução e o menor custo quando comparada aos métodos físicos. O método baseia-se na dissolução da fase oleosa em um solvente orgânico, seguida da adição dessa fase à fase aquosa contendo água e

tensoativo hidrofílico, sob agitação. Após o contato entre as fases, ocorre um rápido espalhamento da interface em razão da difusão mútua entre os solventes, fenômeno que fornece a energia necessária para a formação das gotículas da emulsão. Posteriormente, o solvente orgânico é removido por evaporação sob pressão reduzida (Bouchemal *et al.*, 2004 apud Souza, 2013).

As nanoemulsões estão diretamente relacionadas à presença de micelas, estruturas moleculares formadas por moléculas anfífilas, geralmente surfactantes, quando estão acima da concentração micelar crítica. Essas moléculas apresentam uma cabeça polar hidrofílica, que interage com a água, e uma cauda apolar hidrofóbica, que se afasta do meio aquoso. Essa organização resulta em agregados esféricos, nos quais as caudas hidrofóbicas ficam voltadas para o interior e as cabeças hidrofílicas, para o exterior, favorecendo a durabilidade do sistema (Yukuyama, 2017).

A estabilidade físico-química das nanoemulsões também pode ser afetada por fatores externos, como pH, temperatura e exposição à luz, que influenciam diretamente o potencial zeta, afetando a repulsão eletrostática entre as partículas e, conseqüentemente, sua constância (Freitas; Müller, 1999).

Têm ganhado destaque nas indústrias alimentícia, agrícola e cosmética. Sua capacidade de proteger compostos bioativos, como óleos essenciais, vitaminas e antioxidantes, contra degradação, potencializa sua funcionalidade. Além disso, a busca por processos mais sustentáveis tem incentivado o uso de emulsificantes naturais, como proteínas vegetais e polissacarídeos, reduzindo o impacto ambiental (Pandey, 2024).

No contexto industrial, as nanoemulsões são amplamente utilizadas devido às suas propriedades físico-químicas superiores. A escala nanométrica das gotículas aumenta a área superficial, favorecendo a solubilização, estabilidade e liberação controlada de ingredientes ativos. Em cosméticos e medicamentos, contribuem para maior permeação e biodisponibilidade, enquanto na formulação de pesticidas promovem distribuição mais uniforme, maior eficiência e redução de perdas e impactos ambientais (Jha, 2023).

No desenvolvimento farmacêutico, destacam-se pelos inúmeros benefícios, como a liberação controlada, o aumento da taxa de absorção de princípios ativos e a melhoria na biodisponibilidade de fármacos lipofílicos. Outro aspecto relevante é a capacidade de mascarar sabores indesejáveis, o que contribui para uma melhor aceitação dos pacientes (Shah; Bhalodia, 2011).

Adicionalmente, essas formulações podem ser administradas por diversas vias, como tópica, oral e intravenosa, favorecendo uma penetração rápida e eficiente dos fármacos. A

propriedade de autoemulsificação também colabora significativamente para a adesão ao tratamento. As nanoemulsões têm sido exploradas em vacinas mucosas, produtos cosméticos, agentes antimicrobianos e terapias oncológicas, destacando-se pela capacidade de promover a liberação prolongada de medicamentos e reforçando sua importância na indústria global (Sharma *et al.*, 2010 apud Grumezescu, 2016).

4.5 Procedimento de Preparação

As nanoemulsões podem ser obtidas por métodos de alta ou baixa energia. O método de alta energia utiliza processos mecânicos, como impacto e cisalhamento, para reduzir o tamanho das gotas; entretanto, o excesso de energia aplicada pode comprometer a estabilidade da emulsão. Em contrapartida, o método de baixa energia baseia-se no fenômeno de inversão de fase, que pode ocorrer por variação de temperatura quando os surfactantes alteram sua afinidade com as fases aquosa e oleosa, promovendo a transição entre emulsões óleo-em-água (O/A) e água-em-óleo (A/O) ou por mudanças na composição do sistema, facilitando a emulsificação com menor demanda energética (Sanfelice; Pavinatto; Corrêa, 2022).

A preparação de nanoemulsões contendo óleos essenciais, como o óleo essencial de folha de cravo, tem sido amplamente investigada devido ao seu potencial de aplicação nas áreas farmacêutica, alimentícia e cosmética. Estudos demonstram que esse óleo apresenta atividade larvicida, sendo empregado no controle de larvas de mosquitos. A incorporação do óleo essencial em nanoemulsões favorece sua dispersão em meio aquoso, melhora a solubilidade e contribui para uma liberação mais eficiente do composto ativo, refletindo positivamente na estabilidade do sistema (Souza, 2023).

Diante desse cenário, a pesar dessas vantagens, a estabilidade das nanoemulsões representa um desafio tecnológico. Entre os principais mecanismos de instabilidade destaca-se o amadurecimento de Ostwald (MO), fenômeno associado à diferença de pressão entre gotas de tamanhos distintos, que promove a difusão de moléculas da fase dispersa das gotas menores para as maiores, resultando no crescimento médio das partículas e na desestabilização do sistema (Mendes, 2019).

A intensidade do MO é fortemente influenciada pela solubilidade dos constituintes da fase oleosa na fase contínua, sendo mais pronunciada em sistemas óleo-em-água (O/A) formulados com óleos de maior polaridade, como triglicerídeos de cadeia curta e óleos essenciais (Silva, 2021). Dessa forma, a utilização de óleos de baixa solubilidade em água, como óleos vegetais de cadeia longa (por exemplo, óleo de milho ou canola), associada à

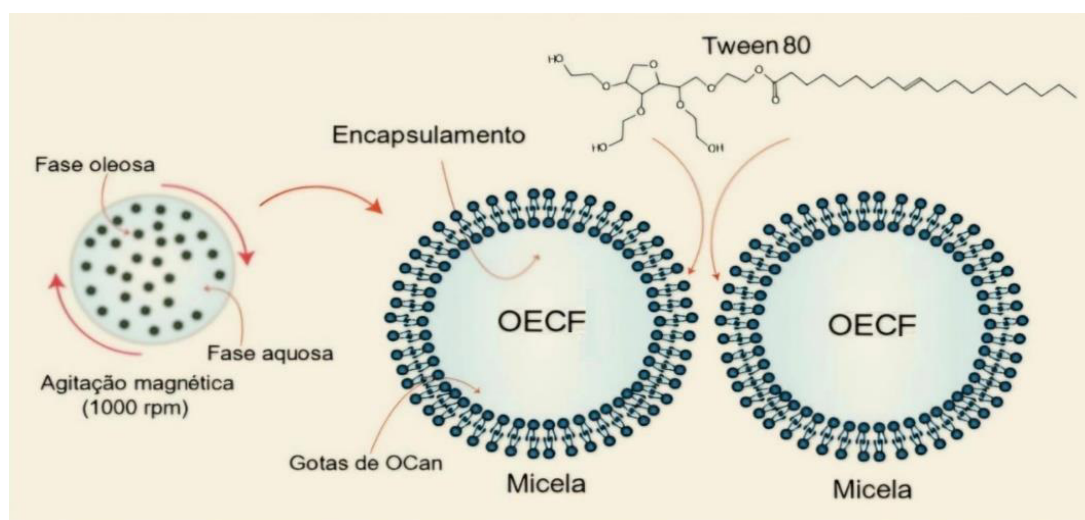
escolha adequada de surfactantes, tem se mostrado uma estratégia eficaz para reduzir o MO e aumentar a estabilidade das nanoemulsões (Oliveira *et al.*, 2020).

Nesse contexto, o uso de surfactantes não iônicos, como o Tween®80, é amplamente explorado devido à sua elevada eficiência na estabilização de sistemas emulsificados. O Tween®80 reduz a tensão interfacial entre óleo e água, facilitando a formação de emulsões estáveis e homogêneas. Além disso, sua baixa concentração micelar crítica indica que pequenas quantidades do surfactante são suficientes para a formação de micelas, favorecendo a estabilidade do sistema (Santos, 2019).

A formação de micelas pelo Tween®80 é influenciada pela concentração do surfactante e pela presença de co-solventes. Estudos demonstram que, dependendo dessas condições, as micelas podem assumir diferentes morfologias estruturais, como cilindros, discos e elipsoides, afetando diretamente as interações interfaciais e as propriedades físico-químicas das nanoemulsões, incluindo tamanho de gotículas, estabilidade e comportamento reológico (Silva *et al.*, 2024).

Dessa forma o encapsulamento por nanoemulsões baseia-se na dispersão de compostos bioativos hidrofóbicos em gotículas nanométricas estabilizadas por surfactantes em meio aquoso, formando um sistema coloidal capaz de proteger o ativo contra oxidação, degradação e volatilização, além de favorecer sua biodisponibilidade e liberação controlada. Esse processo pode ser obtido tanto por métodos de alta energia quanto por métodos de baixa energia, como a emulsificação espontânea (McClements, 2012). A Figura 4 apresenta um esquema do processo de encapsulamento em nanoemulsões, destacando a formação das gotículas e o papel do surfactante na estabilização do sistema.

Figura 4 – Processo de encapsulamento nanoemulsão.



A partir dessas considerações, após a definição da composição do sistema e a formação das nanoemulsões, a caracterização inicial do estado coloidal torna-se essencial para verificar a eficiência do processo de emulsificação e a organização das gotículas dispersas. Em estudos de caracterização de nanoemulsões, observasse que o efeito Tyndall constituído pelo método visual qualitativo é amplamente empregado para confirmar a natureza do sistema coloidal antes da aplicação de técnicas instrumentais mais avançadas, como a dispersão de luz dinâmica ou a microscopia eletrônica. As nanoemulsões, caracterizadas como dispersões óleo-em-água com gotículas na faixa nanométrica, apresentam frequentemente uma aparência translúcida ou levemente opalescente, resultante do espalhamento da luz pelas partículas dispersas, fenômeno conhecido como efeito Tyndall. Esse comportamento óptico indica a presença de gotículas com dimensões comparáveis ao comprimento de onda da luz visível, confirmando a formação de um sistema coloidal homogêneo e estável, sendo considerado um indicativo preliminar importante antes da caracterização quantitativa do tamanho e da distribuição das partículas (Raffin; Gutiérrez; Izquierdo, 2020).

4.6 Aplicações das NEs

A nanotecnologia, por meio das nanoemulsões, tem sido amplamente aplicada em diversas áreas devido à sua capacidade de melhorar a dispersão, proteção e liberação de compostos. Na indústria alimentícia, nanoemulsões aprimoram a aparência, textura, estabilidade e funcionalidade dos alimentos, além de melhorar materiais de embalagem ao reduzir a permeabilidade e permitir a incorporação de agentes antimicrobianos e antioxidantes, prolongando a vida útil dos produtos. No campo farmacêutico, elas facilitam a liberação de fármacos pouco solúveis, aumentando a biodisponibilidade e protegendo contra degradação, sendo eficazes tanto na via oral, ao melhorar a absorção intestinal. Em cosméticos, nanoemulsões garantem melhor aplicação e penetração dos ingredientes ativos, possibilitam texturas variadas e dispensam conservantes via microfiltração, enquanto polímeros ajustam a textura e o estrato córneo atua como barreira, superada pelas nanoemulsões para melhor absorção tópica (Sanfelice; Pavinatto; Corrêa, 2022).

5 METODOLOGIA

Este estudo caracteriza-se como uma pesquisa experimental e quantitativa, desenvolvida com o objetivo de obter, formular e caracterizar nanoemulsões do tipo óleo em água (O/A), bem como avaliar sua estabilidade sob diferentes condições físico-químicas. As etapas experimentais foram realizadas no Laboratório de Polímeros (LABPOL) e no Laboratório de Química (LABQUIM) da Universidade Federal do Pará (UFPA), os artigos analisados foram publicados entre 2021 a 2025.

5.1 Materiais e reagentes

Os reagentes utilizados no desenvolvimento das emulsões e na caracterização das amostras estão listados na Tabela 2, acompanhados de suas respectivas especificações e fornecedores.

Tabela 2 – Reagentes utilizados no experimento.

Reagentes	Fornecedor
Óleo essencial de folha Cravo-da-índia (<i>Syzygium aromaticum</i>)	Terra Flor Essencial ®
Óleo de Canola	Cargill, Incorporated ®
Tween 80 (Polissorbato)	(CSE): 9005-65-6 Êxodo Científica ® (São Paulo, Brasil)

Fonte: Adaptado Fernandes, 2023.

As formulações apresentadas na Tabela 3 foram preparadas com diferentes proporções de óleo de cravo e óleo de canola: 7:3, 8:2 e 10:0, respectivamente. O objetivo dessas variações foi avaliar o impacto das concentrações dos óleos nas propriedades das misturas. Para facilitar o processo de emulsificação, foi utilizado o surfactante Tween 80.

Tabela 3 - Proporções do (OECF) para (OCN) a 5% (v/v)

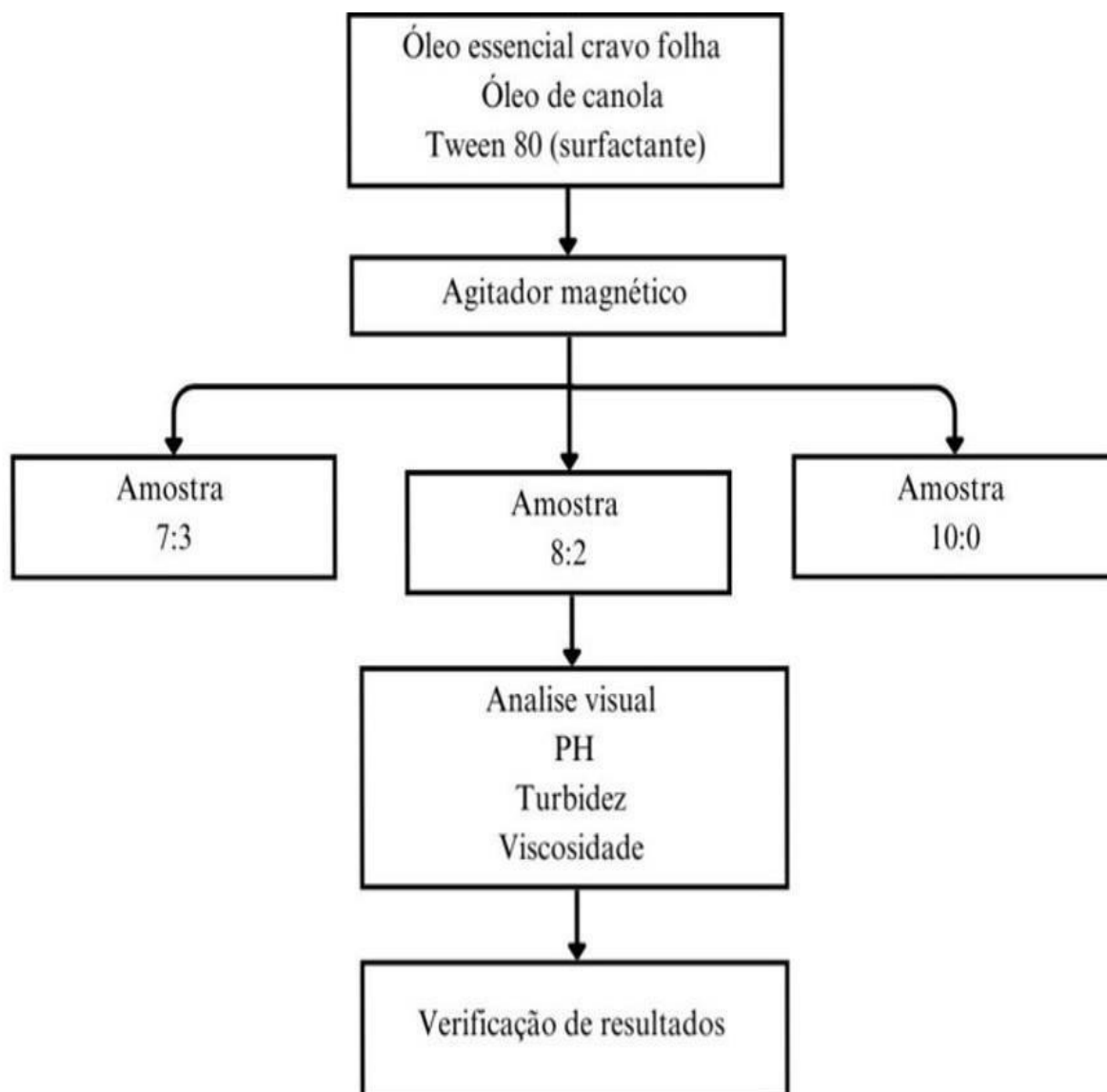
Amostras	OECF(mL)	Ocan.(mL)	Tween 80(mL)	H ₂ O(mL)
(7:3) v/v	1,75	0,75	7,5	40
(8:2)v/v	2,0	0,5	7,5	40
(10:0)v/v	2,5	0,0	7,5	40
(v/v)%	5%		15%	80%

Fonte: Adaptado Santa Rosa, 2022.

5.2 Preparação das emulsões

O fluxograma apresentado na Figura 5 descreve, de forma organizada e sequencial, as etapas do processo produtivo das amostras de óleo de cravo e canola, desde a preparação até o armazenamento final. Essa representação visual contribui para a melhor compreensão do procedimento e favorece a padronização das etapas experimentais.

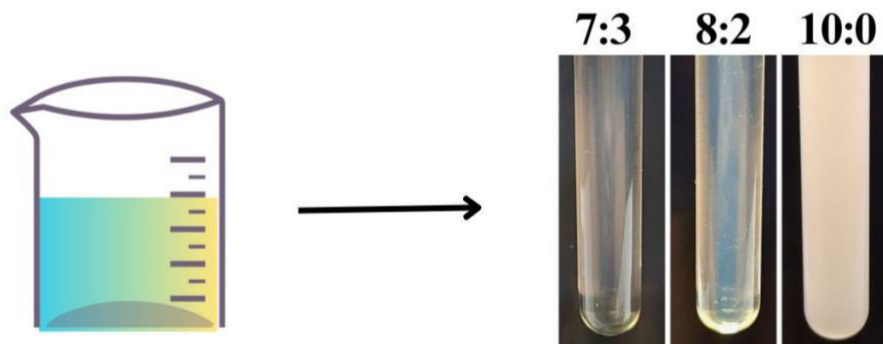
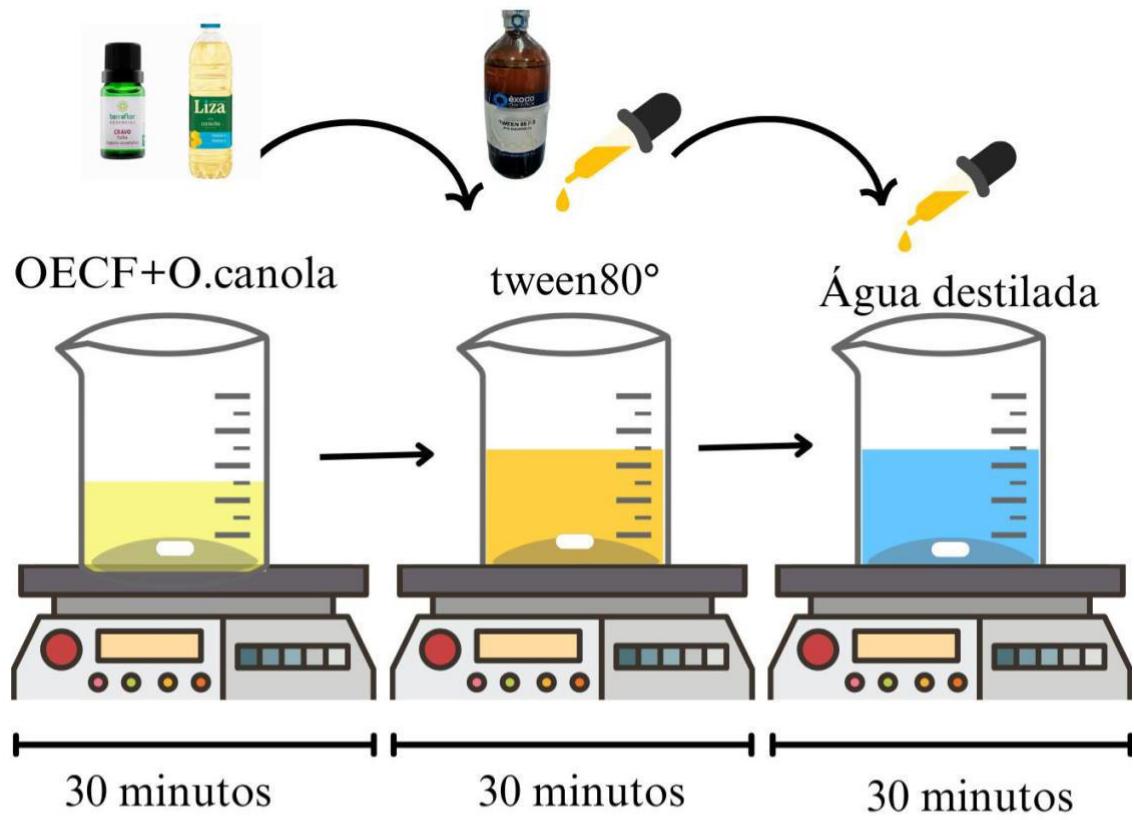
Figura 5 – Fluxograma do Processo Produção nanoemulsão.



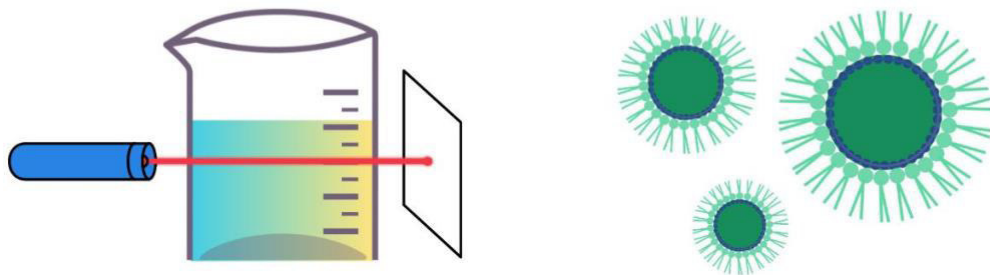
Fonte: Autor, 2024.

A Figura 6 apresenta os materiais utilizados e as etapas de execução do experimento. Para a realização das atividades experimentais, foram empregados béqueres, pipetas, seringas e tubos de ensaio. Inicialmente, procedeu-se à verificação das condições dos utensílios e vidrarias, com o objetivo de assegurar que todos estivessem devidamente higienizados, íntegros e em conformidade com os padrões de uso estabelecidos pelo laboratório, garantindo, assim, a confiabilidade dos resultados obtidos e a segurança durante a execução do experimento.

Figura 6- Produção das nanoemulsões cravo folha.



Formação de micelas



O procedimento a preparação das amostras teve início com a formação de amostras, compostas por óleo essencial da folha do cravo-da-índia e óleo de canola em três proporções distintas: 7:3, 8:2 e 10:0. Sendo a proporção 10:0 formada apenas por óleo de cravo, sem adição de óleo de canola, sendo utilizada como controle para avaliar os efeitos da ausência do óleo carreador. As misturas foram colocadas em béqueres e submetidas à agitação em agitador magnético por 30 minutos, a 1000 rpm, para garantir uma homogeneização adequada dos componentes.

Durante esse processo, foi incorporado o surfactante Tween 80, responsável por favorecer a emulsificação entre os óleos e a água. A adição do surfactante foi realizada de forma controlada, assegurando sua distribuição uniforme em cada amostra. Após a incorporação, as soluções permaneceram sob agitação por mais 30 minutos, promovendo a completa integração dos componentes (Pandey *et al.*, 2024).

Concluída a etapa de homogeneização, as amostras foram cuidadosamente transferidas com o auxílio de uma pipeta para béqueres contendo 40 mL de água destilada. Essa transferência ocorreu de forma gradual, mantendo a agitação durante o processo para garantir uma diluição homogênea. Em seguida, as amostras continuaram sob agitação por mais 30 minutos, permitindo a estabilização do sistema.

Por fim, as misturas foram acondicionadas em tubos de ensaio, onde permaneceram armazenadas para análises posteriores nos tempos t-0, t-15 e t-30, correspondendo a 0, 15 e 30 dias após a preparação, respectivamente. Esse procedimento assegurou a preparação adequada das amostras, possibilitando a investigação de suas propriedades físico-químicas em diferentes proporções óleo-óleo e em diferentes períodos de armazenamento (Costa *et al.*, 2021).

5.3 Caracterização das Nanoemulsões OEFC

5.3.1 Análise Visual

As amostras foram submetidas a análises visuais em três momentos distintos: imediatamente após a preparação das nanoemulsões (t-0), após 15 dias (t-15) e ao término de 30 dias (t-30). Cada etapa de avaliação teve como objetivo identificar possíveis alterações na aparência das amostras ao longo do tempo. Para assegurar um registro detalhado dessas variações, foram capturadas fotografias em cada fase do estudo, utilizando um dispositivo Samsung A55 5g. Essas imagens desempenham um papel fundamental na documentação e

comparação das mudanças perceptíveis nas características físicas das amostras durante o período de análise.

5.3.2 Medição de Transmitância

A turbidez das Nanoemulsões (NEs) foi avaliada por meio da intensidade de transmitância a 600 nm utilizando um espectrofotômetro SHIMADZU (Modelo U-1800, Tóquio, Japão), seguindo procedimentos triplicados para assegurar a precisão dos resultados. A quantidade de luz que atravessava as amostras foi medida e a percentagem de transmitância $I_{trans}(\%)$ foi registrada e analisada utilizando o software UV-probe 2.43. Água destilada foi empregada como branco de referência para a calibração dos valores de transmitância. Esse método proporcionou uma avaliação meticulosa da turbidez das NEs, permitindo a obtenção de informações fundamentais sobre sua estabilidade e uniformidade ao longo do tempo e em diferentes condições de armazenamento.

5.3.3 Leituras de Absorbância

Ao analisada a absorbância na faixa de 600 nm, considerando o intervalo entre 400 nm e 700 nm. Os espectros de absorbância foram adquiridos por meio de varredura utilizando um espectrofotômetro SHIMADZU (Modelo U-1800, Tóquio, Japão). As intensidades de absorbância das amostras foram detectadas nos momentos $t-0$, $t-15$ e $t-30$ e foram processadas utilizando o software UV-probe 2.43 integrado ao aparelho. As leituras foram realizadas em cubetas de quartzo à temperatura ambiente ($25 \pm 2^\circ\text{C}$), tendo água como referência para a obtenção dos valores de absorbância.

5.3.4 Medição de Potencial hidrogeniônico

O pH das Nanoemulsões (NEs) foi avaliado em triplicata por meio de medições utilizando um pHmetro (Modelo TOA ION meter IM-40s, Japão). O bulbo do aparelho foi submerso em cada amostra, respeitando os tempos de armazenamento designados ($t-0$, $t-15$ e $t-30$). Antes de cada medição, o medidor de pH foi devidamente calibrado utilizando soluções tampão de pH 7,0 e 4,0. Esse processo assegurou a precisão e confiabilidade das leituras de pH, fornecendo informações cruciais no período de armazenamento.

5.3.5 Medições Reológicas: Viscosidade dinâmica

Para determinar a viscosidade dinâmica, foi empregado um Viscosímetro rotacional HAAKE Viscotester, Modelo VT 550. Utilizou-se a configuração de cilindros coaxiais copo SV e cilindros SV1. As amostras foram inseridas e mantidas a uma temperatura constante de 28°C , enquanto a taxa de cisalhamento variou de 0 a 600 s^{-1} durante um intervalo de 180 segundos.

A análise e os resultados foram programados e obtidos, respectivamente, por meio do software computacional associado ao equipamento (Thermo Scientific™ HAAKE™ RheoWin™ Measuring and Evaluation Software). Esse método permitiu uma avaliação detalhada das propriedades de viscosidade das amostras, fornecendo informações cruciais sobre sua aplicabilidade em diferentes contextos e condições de uso.

6 RESULTADOS E DISCUSSÃO

6.1 Análise visual

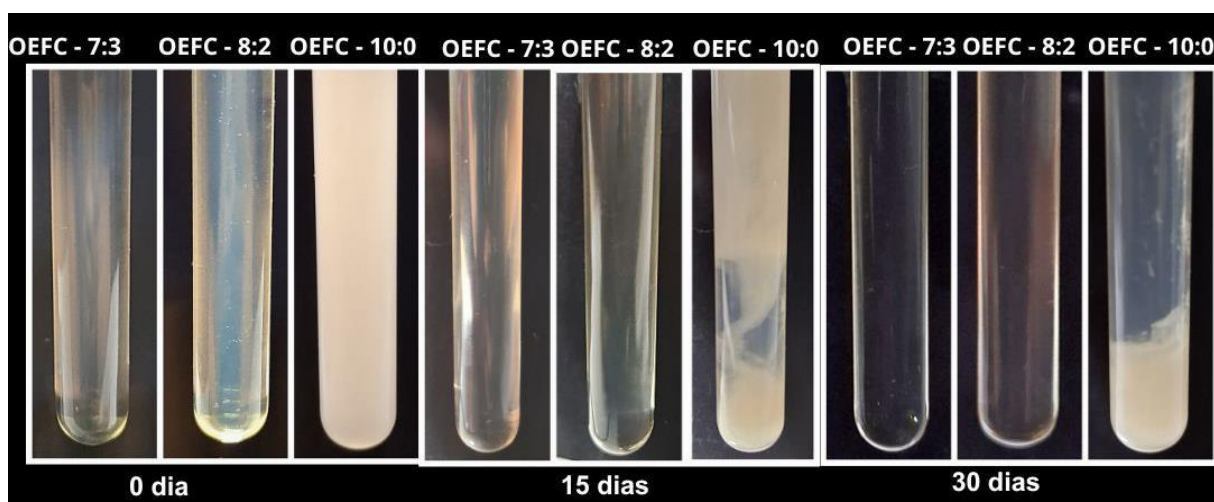
A Figura 7 apresenta o aspecto visual das amostras nos intervalos de tempo definidos: logo após a emulsificação (dia zero), após quinze dias e ao término de trinta dias de armazenamento. Após a preparação, das emulsões OEFC 7:3, OEFC 8:2 e OEFC 10:0 exibiram características homogêneas em todas elas, com a amostra OEFC 10:0 destacando-se por apresentar um aspecto opaco.

Logo após a emulsificação, as amostras OEFC 7:3 e OEFC 8:2 demonstraram elevada estabilidade ao longo do trigésimo dia, sem que fosse observada separação de fases ou formação de creme, indicando que o diâmetro médio das gotas permaneceu inalterado.

Em contrapartida, a amostra OEFC 10:0 apresentou uma coloração branca e leitosa desde o início do processo de emulsificação, com mudanças na tonalidade ao longo dos quinze dias subsequentes, o que sugere uma possível separação de fases ou alteração no tamanho das gotas emulsificadas.

De acordo com a literatura, há uma relação entre a coloração da emulsão e o tamanho das partículas presentes. Emulsões compostas por gotículas menores geralmente apresentam aspecto translúcido (Pillai *et al.*, 2024; Jia *et al.*, 2024; Ghorbani *et al.*, 2025; Lyra *et al.*, 2019; Kumar *et al.*, 2022; Mehmood; Ahmed, 2020).

Figura 7- Análise Visual das amostras OEFC 01 E OEFC 02.

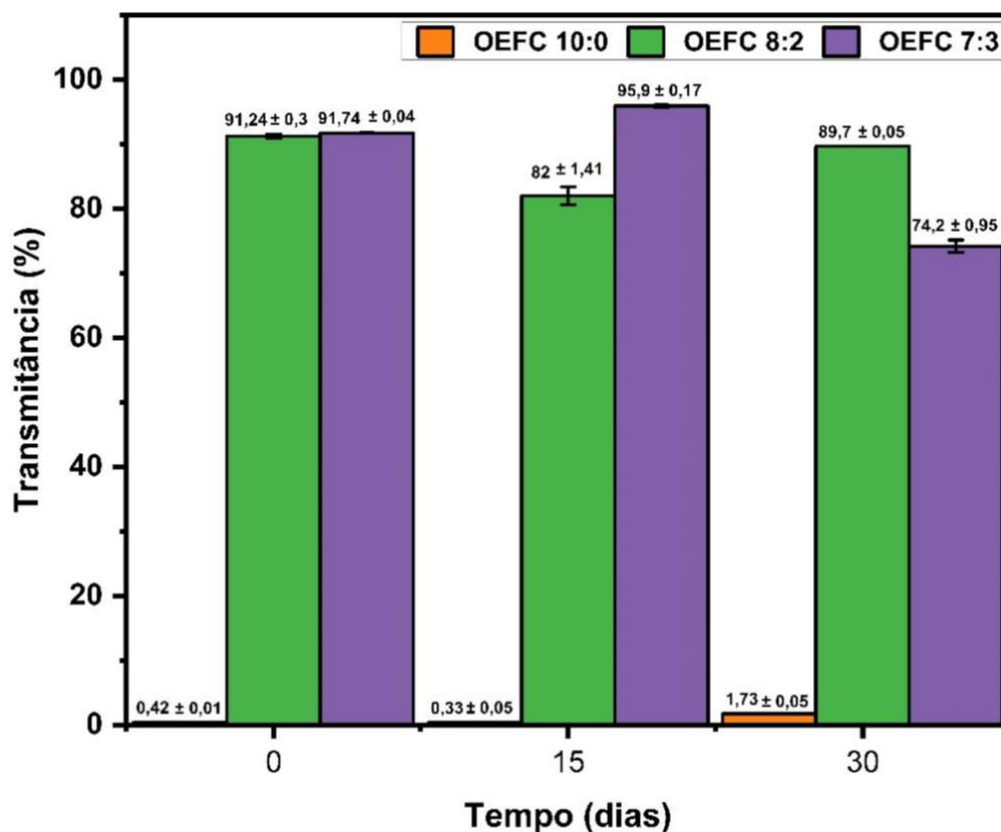


Fonte: Autor, 2024.

6.2 Medição de transmitância

A turbidez foi medida e expressa como percentual de transmitância a 600 nm para todas as amostras analisadas nos intervalos de zero, quinze e trinta dias. Esses dados estão representados na Figura 8, onde as barras foram organizadas de acordo com o progresso dos dias, seguindo a padronização das amostras classificadas como OEFC 7:3, OEFC 8:2 e OEFC 10:0.

Figura 8: Medição de turbidez a 600 nm nos tempos de armazenamento em 0, 15 e 30 dias.



Fonte: Elaborado pelo autor (2023).

A análise de turbidez em emulsões fornece informações essenciais sobre a estabilidade do sistema coloidal ao longo do tempo. Alterações significativas na turbidez podem evidenciar processos como agregação, coalescência ou separação de fases das partículas, conforme descrito na literatura (Srivastava *et al.*, 2025; Abla *et al.*, 2025; Saavedra, 2018; Porto, 2015).

Considerando que o objetivo é otimizar a eficiência, homogeneidade e estabilidade do processo, os resultados obtidos para as amostras OEFC 8:2 e OEFC 7:3 permitem avaliar a eficácia dos métodos de formulação, além de comparar diferentes formulações em termos de estabilidade, como observado em relação à amostra OEFC 10:0.

Conforme evidenciado na Figura 6, a leitura realizada a 600 nm mostra que a amostra OEFC 10:0 apresentou uma transmitância inicial baixa no dia zero, mantendo-se em níveis reduzidos ao longo dos dias quinze e trinta. Essa característica pode indicar que a amostra não alcançou estabilidade, em contraste com as demais amostras, que exibiram transmitância elevada e estável ao longo dos 30 dias. Esses resultados sugerem uma maior estabilidade das amostras OEFC 7:3 e OEFC 8:2, com variações mínimas, como esperado para testes de turbidez, corroborando os achados descritos na literatura.

Essa observação está de acordo com pesquisas que destacam que a turbidez está predominantemente associada à composição do óleo e ao tamanho médio das partículas (Liu *et al.*, 2021; Martinez *et al.*, 2024; Liew *et al.*, 2020).

Os valores de transmitância para a amostra OEFC 8:2 foram de 91,24% no dia zero, 82% no dia quinze e 89,7% no dia trinta. Em comparação com as demais amostras, esses dados evidenciam que a OEFC 8:2 conseguiu manter uma estabilidade superior, sugerindo que a emulsão preservou as características dos seus componentes. Essa constatação é promissora e abre caminhos para investigações futuras.

A turbidez em emulsões é influenciada por diversos fatores, incluindo o tamanho das partículas dispersas, como observado na amostra OEFC 10:0, que apresentou partículas de maior dimensão. Além disso, a concentração de ingredientes ativos, a presença de emulsificantes, a estabilidade coloidal e as interações entre as partículas desempenham papéis fundamentais nesse contexto.

Quando as partículas são pequenas e uniformemente dispersas, como constatado nas amostras OEFC 8:2 e OEFC 7:3, a emulsão tende a apresentar maior translucidez. Em contrapartida, concentrações elevadas de partículas ou sua aglomeração podem resultar em maior opacidade e, conseqüentemente, em maior turbidez. A estabilidade da emulsão ao longo do armazenamento é influenciada por fatores como o tipo de emulsificante utilizado, sua composição e a distribuição do tamanho das partículas (Mehran *et al.*, 2023; Rahman *et al.*, 2024).

Por exemplo, a escolha de um surfactante iônico pode gerar uma carga elétrica que contribui para a estabilidade da emulsão, enquanto um surfactante não iônico pode formar uma

barreira estérica devido ao seu grupo molecular volumoso, também favorecendo a estabilidade (Delmas *et al.*, 2011).

Pode-se deduzir que essa característica tende a aumentar proporcionalmente ao diâmetro médio das partículas. Quando o raio das gotículas se aproxima de 100 nm, as emulsões adquirem um aspecto turvo, enquanto acima desse limite, na faixa de submícrons, apresentam uma aparência branca devido ao aumento significativo do espalhamento da luz (Mason *et al.*, 2006; Cheng *et al.*, 2024).

As amostras OEFC 8:2 e OEFC 7:3 apresentam uma estabilidade notável em relação à floculação, coalescência e sedimentação, devido às pequenas dimensões das gotículas que as compõem, resultado de sua composição. Essa estabilidade é particularmente evidenciada em gotículas menores, que possuem uma menor tendência à floculação, conforme confirmado na literatura (Mehran *et al.*, 2023).

A maior parte das variações no tamanho das gotículas e na turbidez ocorreu nos primeiros quinze dias de armazenamento. Como mencionado anteriormente, essas alterações podem ser atribuídas ao fenômeno do amadurecimento de Ostwald, uma vez que esse processo é mais pronunciado na fase inicial da conservação (Li *et al.*, 2012; Du *et al.*, 2024). No entanto, a taxa de crescimento das gotículas pode ser reduzida por meio de estratégias como a diminuição da quantidade de lipídios polares e o uso de óleos de alto peso molecular (Wooster *et al.*, 2008; Chang *et al.*, 2012).

6.3 Leitura de Absorbância (abs)

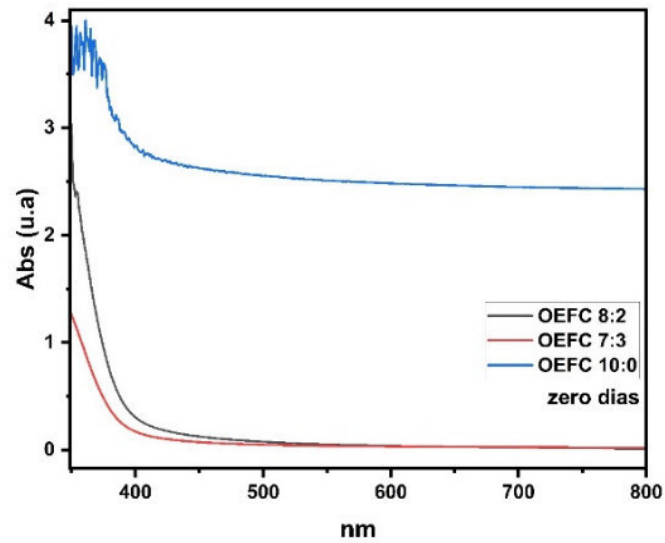
A absorbância em emulsões está relacionada à capacidade de absorver luz em uma faixa específica de comprimento de onda. Neste estudo, foi analisada a absorbância na faixa de 600 nm, considerando o intervalo entre 400 nm e 700 nm.

Através dessa análise, foi possível observar o comportamento das amostras, destacando uma variação significativa na amostra OEFC 10:0, especialmente ao final do período de 20 dias. Essa instabilidade se manifestou por meio de mudanças abruptas na absorbância.

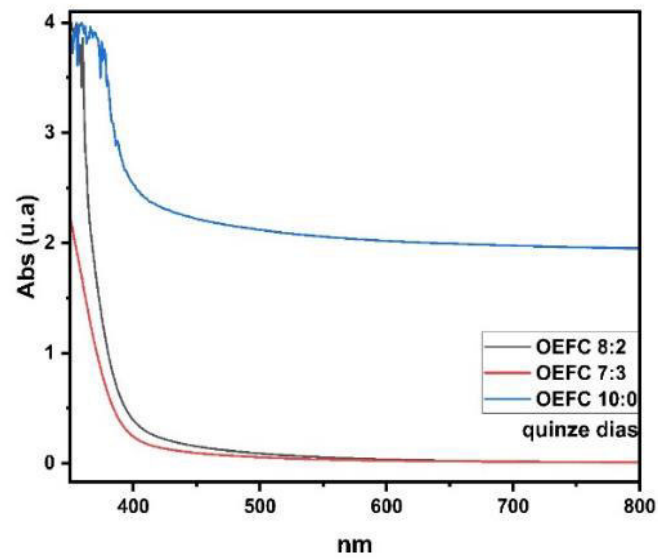
Com base nos dados coletados, foi possível avaliar a variação das emulsões nos dias zero, quinze e trinta para as amostras OEFC 8:2, OEFC 7:3 e OEFC 10:0, como ilustrado na Figura 9.

Figura 9- Espectros de absorvância para as emulsões nos tempos de 0, 15 e 30 dias, sendo identificados na Figura respectivamente como a,b e c.

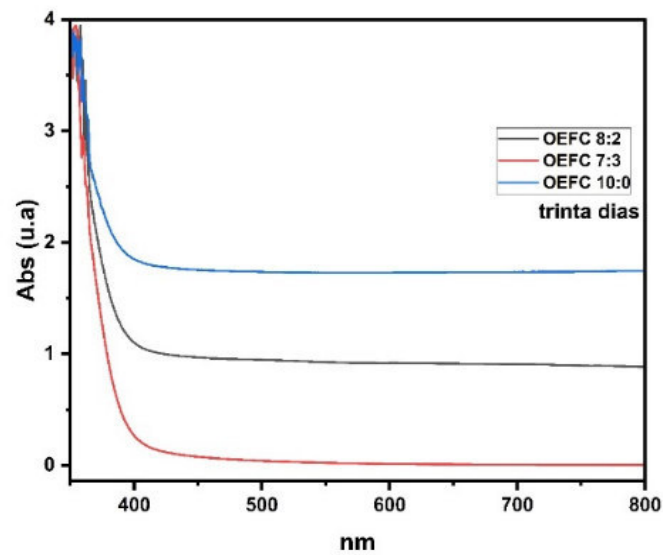
(a)



(b)



(c)



Fonte: Autor, 2023.

Ao analisar o desempenho da emulsão OEFC 7:3, observou-se que seu comportamento estava alinhado com as expectativas descritas na literatura (Nikolić *et al.*, 2025; Rasoulían *et al.*, 2025 e Melo *et al.*, 2020). Ao longo dos períodos de zero, quinze e trinta dias, a OEFC 7:3 demonstrou uma estabilidade notável em relação à absorvância, o que indica um potencial promissor para futuras pesquisas, especialmente em aplicações na escala nanométrica.

Considerando que as nanoemulsões são emulsões compostas por gotículas de dimensões extremamente pequenas, situadas na faixa nanométrica, elas se destacam como uma escolha ideal para situações em que a estabilidade e a capacidade de transportar substâncias ativas são fatores essenciais.

Ao comparar as três amostras analisadas, observou-se que as amostras OEFC 8:2 e OEFC 10:0 apresentaram variações, enquanto a amostra OEFC 7:3 não exibiu alterações. Essa constatação sugere uma perspectiva positiva quanto à estabilidade a longo prazo da amostra OEFC 7:3, o que representa um resultado favorável para o contexto da emulsão. Recomenda-se a manutenção das ligações, das influências e, principalmente, do tamanho das gotículas ao longo do tempo, conforme as pesquisas de (Hernández *et al.*, 2025; Hussein *et al.*, 2025; Brito *et al.*, 2022; Borrin, 2015; Benites *et al.*, 2023; Melo *et al.*, 2020).

A absorvância em emulsões pode ser influenciada por diversos fatores, incluindo o tamanho das gotículas da emulsão, como observado na amostra OEFC 10:0. Esta apresentou uma concentração maior em comparação com as amostras OEFC 7:3 e OEFC 8:2, o que provavelmente resultou em um tamanho de gotículas maior, causando o aspecto leitoso da amostra e as mudanças notáveis nos espectros.

A avaliação da absorvância em emulsões é fundamental em diversas aplicações, incluindo formulações farmacêuticas, produtos cosméticos, alimentos e outras áreas em que a estabilidade e a eficácia na liberação de substâncias ativas são essenciais. Por meio da análise da absorvância, é possível monitorar a qualidade e a eficiência das emulsões, garantindo que atendam aos requisitos específicos de cada aplicação futura. Isso foi evidenciado no caso das amostras OEFC 7:3 e OEFC 8:2, que se mostram promissoras para estudos e aplicações avançadas, permitindo delimitar características e aplicações específicas conforme os parâmetros demonstrados (Xie *et al.*, 2024; Souza *et al.*, 2024).

Entre os diversos fatores que podem afetar as propriedades das emulsões, é importante destacar que emulsões contendo óleos ou lipídios são particularmente suscetíveis à oxidação. Esse processo pode causar alterações na composição química da emulsão, o que impacta diretamente na absorvância.

Além disso, devido à sua natureza de dispersão de gotículas nanométricas de óleo ou lipídios em uma fase aquosa, a estabilidade dessas gotículas ao longo do tempo é crucial. Caso as gotículas se fundam ou se separem, isso pode afetar diretamente a absorbância da emulsão, conforme apontado nos estudos de (Silva, 2014; Abdullah *et al.*, 2025; e Gama *et al.*, 2025) e evidenciado no caso da amostra OEFC 10:0, que apresentou variações abruptas nos resultados de absorbância.

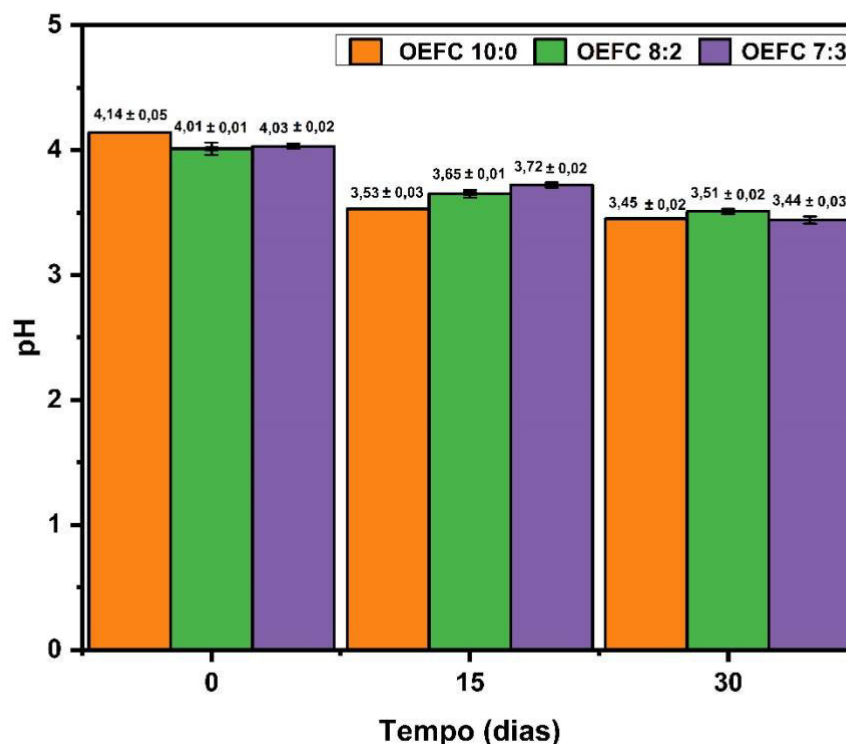
Para manter uma absorbância constante ao longo de um período prolongado, é crucial que a formulação da emulsão seja cuidadosamente planejada e que o armazenamento seja realizado de maneira a preservar suas propriedades físicas, que são essenciais para a análise ao longo do tempo, como destacado nos estudos de (Sánchez-Gaitán, González-López e Delgado, 2025; Joanitti, 2022; Silva, 1999; Tulbah, 2025)

A degradação ou alteração química dos componentes absorventes pode causar variações na absorbância. Entre os fatores que contribuem para essa degradação, destacam-se a temperatura, a exposição à luz, a umidade e outras condições de armazenamento, que podem afetar diretamente a estabilidade da emulsão e, conseqüentemente, sua absorbância, conforme indicado por (Srivastava *et al.*, 2025; Rasoulían *et al.*, 2025; Gupta, 2016; e Gupta, 2019).

6.4 Medição de Potencial Hidrogeniônico (pH)

O pH de uma emulsão é uma característica de grande relevância, capaz de afetar diversos atributos do sistema, incluindo sua estabilidade, eficácia e compatibilidade com o ambiente circundante ou com a aplicação pretendida. A emulsão é formada pela mistura de duas fases imiscíveis, geralmente água e óleo, estabilizadas por um agente emulsificante. Nesse contexto, o pH exerce sua principal influência na carga superficial das moléculas do emulsificante e nas partículas presentes na emulsão, conforme ilustrado na Figura 10.

Figura 10- Medição de pH no intervalo de 0, 15 e 30 dias.



Fonte: Autor, 2023.

As emulsões que continham o óleo essencial de folha de cravo foram submetidas a um estudo de estabilidade, no qual o pH variou para a amostra OEFC 10:0 para os seguintes valores: 4,14 no dia zero, 3,53 no dia quinze e 3,44 no dia trinta. A amostra OEFC 8:2 apresentou variações de pH de 4,01, 3,65 e 3,51, e a amostra OEFC 7:3 teve valores de 4,03, 3,72 e 3,44, respectivamente, nos mesmos períodos. O objetivo deste estudo foi investigar o impacto das flutuações de pH sobre a integridade físico-química das emulsões, bem como suas características visuais em termos de homogeneidade e propriedades reológicas ao longo do tempo.

O pH tem uma influência significativa na estabilidade da emulsão. De acordo com os estudos de Onaizi (2020) e Afkhami *et al.*, (2025), certos intervalos de pH podem promover a repulsão eletrostática entre as partículas, prevenindo a coalescência das gotículas de óleo e água. Geralmente, um pH próximo da neutralidade é favorecido para garantir a estabilidade (Onaizi, 2020; Yang *et al.*, 2024; Ahari, Kalateh-Seifari ; Yousefi, 2025).

Essa observação está em concordância com os resultados obtidos neste estudo, sendo explicada pela adsorção de cargas catiônicas ou aniônicas provenientes de ácidos ou bases presentes no meio, que ocorre na interface entre as nanogotículas e o meio aquoso

((Bhattacharjee, 2016; Ananingsih *et al.*, 2024; Banu, Mubeena Radhakrishnan, 2025; e de Souza Iacia *et al.*, 2024)

Uma das características mais importantes das emulsões é sua estabilidade cinética, que oferece resistência às nanogotículas quando expostas a condições de estresse, como a diluição (Gupta, 2016; Pathak *et al.*, 2018). Nesse contexto, as emulsões propostas mostraram-se promissoras para diversas aplicações futuras, especialmente quando comparadas com os estudos existentes na literatura (Ganta *et al.*, 2016; Faramarzi *et al.*, 2025; Nagar *et al.*, 2025; Chime *et al.*, 2014). A comparação entre as amostras evidenciou também o comportamento estável do pH, apresentando os padrões desejados.

Diante do desafio imposto pela emulsificação, as nanogotículas presentes na OEFC 10:0 mantiveram uma consistência notável em seu tamanho ao longo de todo o período de avaliação. Isso reforça a ideia de que essa formulação atende às expectativas de estabilidade comuns em emulsões, mesmo com a alteração no aspecto visual e segundo a literatura (Rahmanzadrhishkeh *et al.*, 2025; Sharma *et al.*, 2024).

Dado que a variação do pH pode afetar as cargas elétricas das partículas, influenciando a repulsão eletrostática entre elas, é notável que ambas as amostras tenham mostrado estabilidade ao longo dos trinta dias. Isso sugere que as propriedades coloidais da emulsão provavelmente foram preservadas (Song *et al.*, 2025).

É importante destacar que o pH pode impactar a eficácia de componentes específicos na emulsão, como ingredientes ativos ou conservantes, que frequentemente apresentam melhor desempenho dentro de um intervalo de pH específico (Yang *et al.*, 2024; Zhzha e Xia, 2025; Zhu *et al.*, 2025).

Portanto, o controle preciso do pH é essencial para otimizar a atividade desses componentes. Considerando o foco no composto orgânico deste estudo, é fundamental ressaltar a necessidade de um controle rigoroso, com o objetivo de preservar a estabilidade das moléculas orgânicas ao longo de todo o processo. O objetivo principal é manter, tanto quanto possível, a integridade das moléculas responsáveis pelas características sensoriais e pelas propriedades antibacterianas, que são o foco central deste estudo.

6.5 Medições Reológicas: Viscosidade Dinâmica

No dia zero, à medida que a tensão de cisalhamento avançava de 100 para 600s⁻¹, revelou características relacionada ac constância de viscosidade para as amostras OEFC 7:3, OEFC 8:2

e OEFC 10:0, conforme o avanço da taxa cisalhamento percorreu de 100 para 600s⁻¹, localizados em intervalos extremos de valores expressos em 0,03 a 0,06 Pa.s⁻¹ e 0,10 a 0,12 Pa.s⁻¹, respectivamente.

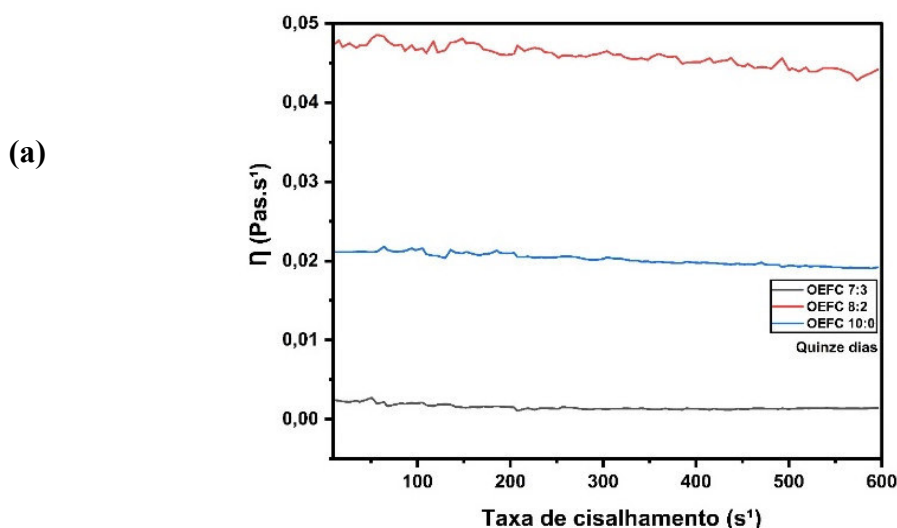
Os valores demonstrados para todas as amostras no tempo quinze dias mantiveram-se constantes para a superior da taxa cisalhante (100 para 600s⁻¹) alcançando valores extremos de 0,003 a 0,045 Pa.s⁻¹.

Para o dia trinta as amostras mantiveram os parâmetros apresentados nos quinze primeiros dias, ou seja, um parâmetro de constância, quando comparado aos dias anteriores, observada entre 0,003 a 0,045 Pa.s⁻¹.

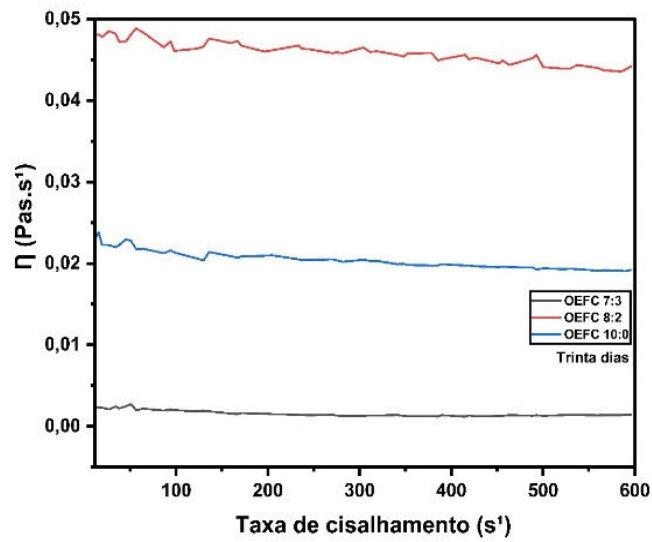
Conforme observado na Figura 11, a taxa de cisalhamento permanece constante ao longo dos 600 segundos em que a amostra é submetida à tensão. Ao comparar as três amostras, verifica-se que a amostra OEFC 8:2, que possui maior concentração de óleo essencial, apresenta o maior valor de viscosidade. De acordo com estudos anteriores, isso ocorre devido à relação entre o surfactante e o óleo essencial nessa combinação, que influencia diretamente a viscosidade (Borrin, 2015; Farias, 2022; Koch, Dhua e Mishra, 2024), isso ocorre devido à relação entre o surfactante e o óleo essencial nessa combinação, que influencia diretamente a viscosidade. A literatura corrobora esses resultados, apontando que a interação entre o surfactante e a viscosidade das amostras é um fator determinante, como confirmado na análise em questão.

De forma geral, os testes de viscosidade avaliam o comportamento da emulsão na presença de Tween 80, considerando a estabilização das gotículas formadas e a manutenção dessa estabilidade ao longo dos dias de análise. A relação entre os tempos de avaliação nos dias zero, quinze e trinta é apresentada na Figura 11, a seguir.

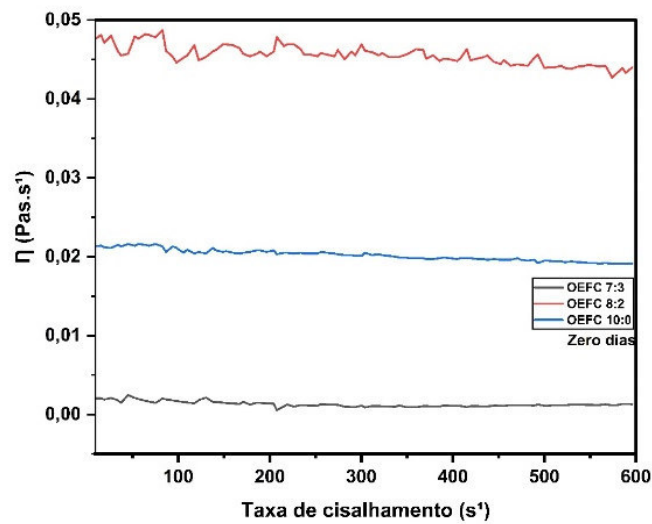
Figura 11 - Amostras OEFC 01 e OEFC 02 no decorrer de zero, quinze e trinta dias em relação de viscosidade e taxa de cisalhamento:



(b)



(c)



Fonte: Autor, 2023.

A amostra OEFC 10:0, que possui maior concentração de óleo essencial e menor quantidade de Tween 80, apresentou comportamento intermediário em relação à viscosidade quando comparada às demais amostras, mantendo-se constante. A amostra OEFC 7:3 exibiu o

menor valor de viscosidade, enquanto a OEFC 8:2 demonstrou o maior comportamento viscoso. Esse fato confirma que todas as três amostras mantiveram estabilidade no comportamento de viscosidade ao longo dos trinta dias de análise.

Um aspecto crucial a ser destacado é que as nanogotículas não apresentaram variação ao longo dos trinta dias. Assim, as perspectivas para estudos futuros são promissoras, dado que os padrões de consistência foram mantidos ao longo do tempo.

Sistemas emulsionados, devido à sua baixa viscosidade e relativa transparência, são agradáveis tanto esteticamente quanto sensorialmente. No caso das emulsões óleo-em-água (O/A), há ainda a vantagem de não deixarem a pele pegajosa após a aplicação (Carvalho, 2015), o que contribui para a boa aceitação de produtos desenvolvidos com emulsões (Tadros *et al.*, 2004; Rocha-Filho, 2014; Sanchez *et al.*, 2022; Gorjian *et al.*, 2022).

Portanto, o sistema demonstra que, para cargas oleosas mais baixas, a viscosidade tende a uma estabilidade mais significativa. Esse comportamento está de acordo com os estudos reológicos recentes de nanoemulsões do tipo óleo-em-água relatados (Al-Sakkaf; Onaizi, 2022; Özogul; Özogul, 2022; Pilog *et al.*, 2022; Roozitalab *et al.*, 2022; Sun *et al.*, 2021; Ranjbar *et al.*, 2023)

CONCLUSÃO

Com base nos resultados apresentados, o estudo demonstrou a relevância das propriedades físico-químicas e reológicas das emulsões analisadas (OEFC 7:3, OEFC 8:2 e OEFC 10:0) para a avaliação da estabilidade e eficácia das formulações.

Estabilidade das Emulsões: As amostras OEFC 7:3 e OEFC 8:2 exibiram maior estabilidade em termos de turbidez, tamanho de gotículas e comportamento reológico ao longo dos 30 dias de armazenamento. Em contrapartida, a amostra OEFC 10:0 apresentou sinais de instabilidade visual e alterações mais significativas na turbidez e absorbância, sugerindo desafios na formulação para garantir sua estabilidade.

Absorbância e Turbidez: As leituras confirmaram que amostras com partículas menores (OEFC 7:3 e OEFC 8:2) mantêm maior estabilidade óptica, evidenciada pela consistência dos valores ao longo do tempo. A OEFC 10:0, com partículas maiores, mostrou variações que indicam coalescência ou separação de fases.

pH e Viscosidade: A estabilidade do pH em todas as amostras reforça a adequação das formulações para preservar suas características, enquanto os dados de viscosidade demonstraram comportamentos consistentes, sendo a OEFC 8:2 a mais viscosa, devido à maior concentração de óleo essencial.

Esses resultados destacam o potencial das formulações OEFC 7:3 e OEFC 8:2 para aplicações futuras, incluindo cosméticos, alimentos funcionais e produtos farmacêuticos, que exigem emulsões estáveis e de alta eficiência.

SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS

Otimização das Formulações: Investigação detalhada de diferentes concentrações de emulsificantes e óleos essenciais para aprimorar a estabilidade das emulsões, especialmente para formulações como a OEFC 10:0, que apresentou maior instabilidade.

Estudos de Longo Prazo: Ampliar o período de análise para entender a estabilidade em condições reais de armazenamento e transporte, considerando variáveis como temperatura, luz e umidade.

Interações Moleculares: Utilizar técnicas avançadas, como espectroscopia de infravermelho ou ressonância magnética nuclear, para estudar as interações entre os componentes da emulsão e suas implicações na estabilidade.

Avaliações Funcionais: Testar as propriedades biológicas das emulsões, como atividade antimicrobiana e antioxidante, para validar sua aplicação em alimentos e produtos farmacêuticos.

Análise Sensorial e Aplicações Cosméticas: Explorar a aceitação sensorial e a eficácia de aplicação tópica das emulsões, com foco na textura, adesividade e estabilidade na pele.

Uso de Novos Emulsificantes: Investigar alternativas mais sustentáveis e naturais de emulsificantes que possam melhorar a estabilidade e minimizar impactos ambientais.

Nanotecnologia: Incorporar técnicas de nanocarregadores para melhorar a eficiência de encapsulamento e liberação controlada dos ativos presentes nas emulsões.

Analisar a viabilidade das amostras de nanoemulsões OEFC 7:3 e OEFC 8:2, que obtiveram melhores resultados, serem inseridas em filmes poliméricos com ações antimicrobianas e também caracterização quanto a propriedades dos materiais.

REFERÊNCIAS

- ABDULLAH, Nurul Nabila Aini *et al.* Goma guar catiônica carregada com formulações de nanoemulsão à base de óleo essencial como repelentes de mosquitos para tecidos contra *Aedes aegypti*. **BioNanoScience**, v. 15, n. 1, p. 179, 2025.
- ABLA, Kawthar K. *et al.* Potencial de gerenciamento de alopecia de nanoemulgel à base de alecrim carregado com metformina: abordagem combinando óleo essencial ativo e medicamento reaproveitado. **International Journal of Nanomedicine**, p. 605–624, 2025.
- AFFONSO, R. S. *et al.* **Atividade antioxidante do cravo-da-índia**. 2012. Disponível em: [https://www.researchgate.net/publication/259776934_Atividade_antioxidante_do_cravo-da-india](https://www.researchgate.net/publication/259776934_Atividade_antioxidante_do_cravo-da-india). Acesso em: 8 fev. 2024.
- AFFONSO, R. S.; RENNÓ, M. N.; SLANA, G. B. C. A.; FRANÇA, T. C. C. Aspectos químicos e biológicos do óleo essencial de cravo-da-índia. **Revista Virtual de Química**, Rio de Janeiro, v. 4, n. 2, p. 146–161, 2012. DOI: 10.5935/1984-6835.20120012. Disponível em: [<https://rvq-sub.sbq.org.br/index.php/rvq/article/download/254/234/2074>]. Acesso em: 22 dez. 2024.
- AFKHAMI, Aram *et al.* Nanoemulsão de óleo essencial de limão contendo tetraisopalmitato de ascorbila: investigando a relação entre HLB do surfactante e tamanho. **Nanomedicine Research Journal**, v. 9, n. 3, p. 251–263, 2024. Acesso em: 2 abr. 2024.
- AHARI, Hamed; KALATEH-SEIFARI, Fatemeh; YOUSEFI, Shima. Atividade antimicrobiana de filme de quitosana/amido de milho incorporado com nanocristais de amido/nanoemulsão de óleo essencial de urtiga para preservação de filés de *Eleutheronema tetradactylum*. **Food Chemistry: X**, v. 25, p. 102085, 2023.
- AL-SAKKAF, M. K.; ONAIZI, S. A. Rheology, characteristics, stability, and pH-responsiveness of biosurfactant-stabilized crude oil/water nanoemulsions. **Fuel**, v. 307, p. 121845, 2022. DOI: 10.1016/j.fuel.2021.121845. Acesso em: 2 jan. 2024.
- ANANINGSIH, Victoria Kristina *et al.* Formulation of nanoemulsion parijoto fruit extract (*Medinilla speciosa*) with variation of Tweens stabilizers. **Frontiers in Nutrition**, v. 11, p. 1398809, 2024. Acesso em: 3 abr. 2024.
- ANGELO, P. M.; JORGE, N. Antioxidantes em alimentos. 2007. Disponível em: [https://www.researchgate.net/publication/265915752_Antioxidantes_em_alimentos](https://www.researchgate.net/publication/265915752_Antioxidantes_em_alimentos). Acesso em: 28 fev. 2024.
- BANU, S. Rameeza; MUBEENA, S. Asmath; RADHAKRISHNAN, Preetha. Nanoemulsão como carreador do sabor de jaca (*Artocarpus heterophyllus* Lam.) para maior estabilidade e sua incorporação em alimentos. **Revista de Ciência e Tecnologia de Alimentos**, p. 1–10, 2025. Acesso em: 6 abr. 2024.
- BATISTA, Daniela Sofia Brito. **Aplicações tradicionais e potencial bioativo de *Eugenia caryophyllata***: revisão bibliográfica. 2016. Relatório de experiência profissionalizante (Mestrado Integrado em Ciências Farmacêuticas) — Universidade da Beira Interior, Covilhã, 2016. Acesso em: 2 abr. 2023.
- BENITES, B. R.; SILVA, M. D.; PEREIRA, S. F.; BATISTA, T. Estudo cinético da fotólise direta de corantes alimentícios e têxteis em fotorreator de fluxo. **RECIMA21 – Revista**

Científica Multidisciplinar, v. 4, n. 3, e432928, 2023. DOI: 10.47820/recima21.v4i3.2928. Acesso em: 2 abr. 2022.

BHATTACHARJEE, S. DLS and zeta potential: what they are and what they are not? **Journal of Controlled Release**, v. 235, p. 337–351, 2016. DOI:10.1016/j.jconrel.2016.06.017. Acesso em: 2 abr. 2023.

BORRIN, T. R. **Nanoemulsões produzidas pelo método do ponto de inversão da emulsão (EIP) para encapsulação de curcumina**: parâmetros de produção, estabilidade físico-química e incorporação em sorvete. 2015. Dissertação (Mestrado em Desenvolvimento, Caracterização e Aplicação de Materiais voltados à Agroindústria) — Faculdade de Zootecnia e Engenharia de Alimentos, Universidade de São Paulo, Pirassununga, 2015. DOI: 10.11606/D.74.2015.tde-17092015-102029. Acesso em: 5 set. 2023.

BRITO, J. E. de; VIANA, D. dos S. F.; VIANA, V. G. F. Green synthesis and characterization of AgNP silver nanoparticles stabilized in jurema preta extract (*Mimosa tenuiflora*). **Research, Society and Development**, [S. l.], v. 11, n. 6, e21611629051, 2022. DOI: 10.33448/rsd-v11i6.29051. Disponível em: https://rsdjournal.org/index.php/rsd/article/view/29051. Acesso em: 5 set. 2023.

CABRAL, V. F.; CASTIER, M.; CARDOZO-FILHO, L. Chapter 3 – Classical models part 1: cubic equations of state and applications. In: PEREIRA, C. G. (org.). **Thermodynamics of phase equilibria in food engineering**. London: Academic Press, 2019. p. 73–102. DOI: 10.1016/B978-0-12-811556-5.00003-X. Disponível em: https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/B978012811556500003X. Acesso em: 30 ago. 2024.

CARTELLE GESTAL, M.; ZURITA, J. La nanotecnología en la producción y conservación de los alimentos. **Revista Cubana de Alimentación y Nutrición**, v. 25, n. 1, p. 184–207, 2015. Disponível em: https://www.medigraphic.com/pdfs/revcubalnut/can-2015/can151n.pdf. Acesso em: 18 set. 2024.

CARVALHO, P. R. *et al.* Application of clove essential oil in food products: nanoemulsion technology for enhanced stability and flavor. **Food Research International**, v. 137, p. 109416, 2021. DOI: 10.1016/j.foodres.2020.109416. Acesso em: 2 abr. 2024.

CAVAR, S.; SOLIC, M. E.; MAKSIMOVIC, M.; VIDIC, D. Chemical composition and biological activity of eugenol and its derivatives. **Molecules**, Basel, v. 26, n. 15, p. 4532, 2021. DOI: 10.3390/molecules26154532. Disponível em: https://doi.org/10.3390/molecules26154532. Acesso em: 24 out. 2024.

CHAIEB, K. *et al.* Antibacterial activity of essential oils, particularly clove oil (*Eugenia caryophyllata*), against *Staphylococcus aureus*. **Food Chemistry**, v. 113, n. 2, p. 484–489, 2007. DOI: 10.1016/j.foodchem.2008.07.085. Disponível em: https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0308814608002245. Acesso em: 12 mar. 2024.

CHANG, Y.; MCLANDBOROUGH, L.; MCCLEMENTS, D. J. Physical properties and antimicrobial efficacy of thyme oil nanoemulsions: influence of ripening inhibitors. **Journal of**

Agricultural and Food Chemistry, v. 60, n. 48, p. 12056–12063, 2012. DOI: 10.1021/jf304045a.). Acesso em: 18 mar. 2024

CHE MARZUKI, N. H.; WAHAB, R. A.; ABDUL HAMID, M. An overview of nanoemulsion: concepts of development and cosmeceutical applications. **Biotechnology & Biotechnological Equipment**, v. 33, n. 1, p. 779–797, 2019. DOI: 10.1080/13102818.2019.1620124. Disponível em:

<https://www.tandfonline.com/doi/full/10.1080/13102818.2019.1620124>. Acesso em: 15 mar. 2024.

CHENG, C. *et al.* Antibacterial activity of Litsea essential oil nanoemulsion and its effect on storage quality of duck meat. **Journal of Molecular Liquids**, v. 410, p. 125610, 2024. DOI: 10.1016/j.molliq.2024.125610.). Acesso em: 18 mar. 2024

CHIME, S. A.; KENECHUKWU, F. C.; ATTAMA, A. A. Nanoemulsions: advances in formulation, characterization and applications in drug delivery. In: SEZER, A. D. (org.). **Application of nanotechnology in drug delivery**. London: IntechOpen, 2014. DOI: 10.5772/58673. Acesso em: 22 mai. 2024.

CHOLAKOVA, D.; GLUSHKOVA, D.; TCHOLAKOVA, S.; DENKOV, N. D. Cold-burst method for nanoparticle formation with natural triglyceride oils. **Langmuir**, v. 37, n. 26, p. 7875–7889, 2021. DOI: 10.1021/acs.langmuir.0c02967. Disponível em: <https://doi.org/10.1021/acs.langmuir.0c02967> . Acesso em: 23 mai. 2024.

CORTÉS-ROJAS, D. F.; SOUZA, C. R. de; OLIVEIRA, W. P. Clove (*Syzygium aromaticum*): a precious spice. **Asian Pacific Journal of Tropical Biomedicine**, v. 4, n. 2, p. 90–96, 2014. DOI: 10.1016/S2221-1691(14)60215-X. Acesso em: 21 mai. 2024.

COSTA, D. *et al.* Estudo de estabilidade de emulsão cosmética com potencial de creme hidratante para o tratamento da xerose cutânea utilizando o óleo de babaçu (*Orbignya phalerata* Mart.). **Brazilian Journal of Development**, v. 7, n. 3, p. 29552–29570, 2021. ISSN: 2525-8761. Acesso em: 26 dez. 2024.

DE SOUZA, M. V. M. *et al.* Evaluation of curcumin nanoemulsion effect to prevent intestinal damage. **International Journal of Pharmaceutics**, v. 650, p. 123683, 2024. DOI: 10.1016/j.ijpharm.2024.123683. Acesso em: 3 mai. 2024.

DELMAS, T. *et al.* How to prepare and stabilize very small nanoemulsions. **Langmuir**, v. 27, n. 5, p. 1683–1692, 2011. DOI: 10.1021/la104221q. Acesso em: 1 set. 2024.

DU, X.-X. *et al.* Antibacterial film using benzyl isothiocyanate nanoemulsion-loaded κ -carrageenan: characterization and application in beef preservation. **International Journal of Biological Macromolecules**, v. 276, p. 133689, 2024. DOI: 10.1016/j.ijbiomac.2024.133689. Acesso em: 11 set. 2024.

DUAN, Y.; LI, Y.; CHEN, B. Preparation and performance evaluation of a novel temperature-resistant anionic/nonionic surfactant. **Scientific Reports**, v. 14, p. 5710, 2024. DOI: 10.1038/s41598-024-56342-5. Acesso em: 22 set. 2024.

EPHREM, E. *et al.* Encapsulation of natural active compounds, enzymes, and probiotics for fruit juice fortification, preservation, and processing: an overview. **Journal of Functional Foods**, v. 48, p. 65–84, 2018. DOI: 10.1016/j.jff.2018.06.021. Acesso em: 1 set. 2024.

ESQUEMA representativo de nanoemulsões óleo-em-água (O/A) e água-em-óleo (A/O). [S. l.: s. n.], 2011. Disponível em: Google Imagens. Acesso em: 15 maio 2024.

FARAMARZI, H. *et al.* Investigating the inhibitory effect of nettle (*Urtica dioica* L.) essential oil and Pickering nanoemulsion on pathogenic bacteria inoculated in pizza cheese. **International Journal of Food Microbiology**, p. 111060, 2025.

FARIAS, L. K. A. de *et al.* O uso de nanotecnologia na formulação de cosméticos. **Revista Saúde Multidisciplinar**, 2023.

FORSYTHE, S. J. **Microbiologia de alimentos**. Porto Alegre: Artmed, 2010.

GAMA, F. *et al.* Sinvastatin delivery to the brain by intranasal high-resistance cationic SMEDDS and nanoemulsions. **Drug Delivery and Translational Research**, p. 1–16, 2025.

GANTA, S. *et al.* Formulation development of a novel targeted theranostic nanoemulsion of docetaxel to overcome multidrug resistance in ovarian cancer. **Drug Delivery**, v. 23, n. 3, p. 958–970, 2016. DOI: 10.3109/10717544.2014.885615. Acesso em: 2 set. 2024.

GHORBANI, Z. *et al.* Anticancer and antibacterial efficacy of *Matricaria chamomilla* essential oil nanoemulsion. **Nanomedicine Research Journal**, v. 9, n. 3, p. 317–328, 2025.

GIOFFRÉ, A.; SANTORO, A.; MANICA, M.; SATTA, G.; SCANNI, R.; LA RUSSA, F. Toxicity and bioactivity of eugenyl acetate: Potential use against human parasites. *Parasitology Research, Heidelberg*, v. 119, n. 12, p. 4351–4359, 2020. Disponível em: <https://doi.org/10.1007/s00436-020-06913-8>. Acesso em: 23 Nov. 2024.

GOMES, M. L. *et al.* The effectiveness of clove oil nanoemulsions in acne treatment. **Journal of Dermatological Treatment**, v. 31, p. 15-23, 2020.

GORJIAN, Hayedeh; MIHANKHAH, Peyman; KHALIGH, Nader Ghaffari. Influência da natureza e do tipo de tween nas propriedades físico-químicas e na estabilidade do óleo essencial de hortelã (*Mentha spicata* L.) estabilizado com nanoemulsão de mucilagem de semente de manjeriço. **Journal of Molecular Liquids**, v. 359, p. 119379, 2022.

GUPTA A. Nanoemulsions. In: Chung EJ, Leon L, Rinaldi C. *Nanoparticles for Biomedical Applications: Fundamental Concepts, Biological Interactions and Clinical Applications*. Oxford: Elsevier 1. ed. Inc.; 371–384 p, 2019.

GUPTA, H.B. Eral, T.A. Hatton, P.S. Doyle, Nanoemulsions: formation, properties and applications, **Soft Matter** 12 (2016) 2826–2841, <https://doi.org/10.1039/c5sm02958a>.

GURIB-FAKIM, A., Metabólitos secundários e suas funções biológicas. 2006. Disponível em: https://www.researchgate.net/publication/Metabolitos_secundarios_e_suas_funcoes_biologicas. Acesso em: 8 jul. 2024.

HERNÁNDEZ, Aura Rocío *et al.* Nanoemulsões à base de extrato de algas para fotoproteção contra radiação UVB: um estudo de espectroscopia de impedância elétrica. **Scientific Reports**, v. 15, n. 1, p. 1911, 2025.). Acesso em: 12 mar. 2024.

HO, M. T.; ABIK, F.; MIKKONEN, K. S. An overview of nanoemulsion characterization via atomic force microscopy. **Critical Reviews in Food Science and Nutrition**, v. 62, n. 18, p. 4908–4928, 2022. DOI: <https://doi.org/10.1080/10408398.2021.1879727>. Acesso em: 8 jul. 2024

HUSSEIN, Mohammed Yasser *et al.* Desvendando a potencial atividade anticâncer do extrato-nanoemulsão de *Spirulina maxima* por meio de estudos in vitro e in vivo. **Scientific Reports** , v. 15, n. 1, p. 912, 2025. 11 jul. 2024

JHA, Menaka; HUSSAIN, Chaudhery Mustansar; KAILASAM, Kamalakannan (org.). Industrial applications of nanoemulsion. 1. ed. Amsterdam: **Elsevier**, 2023. DOI: 10.1016/C2020-0-00068-X. 3 jul. 2024

JIA, Mingxi *et al.* Melhorando a solubilidade e a biodisponibilidade do octacosanol: Desenvolvimento de um processo de síntese de nanoemulsão O/A verde. **International Journal of Pharmaceutics**, v. 651, p. 123726, 2024. 22 jul. 2024

JOANITTI, G. A.; MORAIS, P. C.; AZEVEDO, R. B. Nanotecnologia: considerações em materiais, saúde e meio ambiente. Brasília: Editora Universidade de Brasília, 2022. 517 p.

KOCH, Parismita; DHUA, Subhamoy; MISHRA, Poonam. Revisão crítica sobre óleo essencial de *Citrus* extraído de nanoemulsão baseada em resíduos de processamento: preparação, caracterização e aplicação emergente em alimentos. **Journal of Essential Oil Research** , v. 36, n. 5, p. 407-425, 2024. 28 jul. 2024

KUMAR, A.; KANWAR, R.; MEHTA, S. Development of Phosphatidylcholine/Tween 80 based biocompatible clove oil-in-water nanoemulsion as a green nanocarrier for controlled herbicide delivery. **Environmental Pollution**, v. 293, p. 118558, jan. 2022. 23 jul. 2024

KUMAR, K. (Ed.) Handbook of Herbs and Spices: Volume 1. 2. Ed. Cambridge: Woodhead Publishing, 2012. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/book/9781845691698/handbook-of-herbs-and-spices-volume-1>. Acesso em: 22 jan. 2024.

LI, J., LI, Y., SONG B. Y., CHEN A. G., Improved synthesis of 2,20 -arylmethylene bis(3-hydroxy-5,5-dimethyl-2- cyclohexene-1-one) derivatives catalyzed by urea under ultrasound, *Ultrasonics Sonochemistry*, 2012, pg 4. <https://doi.org/10.1016/j.ultsonch.2011.05.001>. 10 jul. 2024.

LIEW, S. N., UTRA, U., ALIAS, A. K., TAN, T. B., TAN, C. P., YUSSOF, N. S. Physical, morphological and antibacterial properties of lime essential oil nanoemulsions prepared via spontaneous emulsification method. **Lwt**, [s. l.], v. 128, n., 2020. Available at: <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2020.109388>

LIU, X.; CHEN, L.; KANG, Y.; HE, D.; YANG, B.; WU, K. Cinnamon essential oil nanoemulsions by high-pressure homogenization: Formulation, stability, and antimicrobial activity. **Lwt**.;147:111660, 2021.

LU, Guang Wei; GAO, Ping. Emulsions and microemulsions for topical and transdermal drug delivery. In: KULKARNI, Vitthal S. (Ed.). Handbook of non-invasive drug delivery systems. **Oxford: William Andrew Publishing**, 2010. p. 59–94. ISBN 978-0-8155-2025-2.

LYRA, L. P. S.; FERNANDES, A.; RICCARDI, C. S.; ANDRADE, B. F. M. T; DESENVOLVIMENTO DE NANOEMULSÃO DE GERANIOL E ÓLEO ESSENCIAL DA PALMAROSA (*Cymbopogon martinii*) E SUA AÇÃO INIBITÓRIA SOBRE LINHAGENS DE *Cutibacterium acnes*. Dissertação de mestrado, Universidade Estadual Paulista “Julio de Mesquita Filho”, **instituto de Biociências - Botucatu**, 2019.

MACHADO, M. I. L. *et al.* Antimicrobial properties of clove essential oil and its potential in formulations for topical use. *Brazilian Journal of Pharmacognosy*, v. 29, p. 219-225, 2019.

MACHADO, P. F.; BARROS, M. M. Resistência e tolerância microbiana a antimicrobianos. 2006. Disponível em: https://www.researchgate.net/publication/Resistencia_e_tolerancia_microbiana_a_antimicrobianos. Acesso em: 19 abr. 2024.

MARTINEZ, Ricardo *et al.* Contabilidade rigorosa para espalhamento dependente em nanoemulsões espessas e concentradas. **The Journal of Physical Chemistry C**, v. 128, n. 15, p. 6419-6430, 2024.

MCCLEMENTS, D. J. Nanoemulsions versus microemulsions: terminology, differences, and similarities. *Soft Matter*, **Cambridge**, v. 8, n. 6, p. 1719–1729, 2012. DOI: 10.1039/C2SM06903B. Disponível em: (<https://doi.org/10.1039/C2SM06903B>). Acesso em: 12 mar. 2024.

MEHMOOD, T.; AHMED, A. Tween 80 and Soya-Lecithin-Based Food-Grade Nanoemulsions for the Effective Delivery of Vitamin D. **Langmuir**, v. 36, n. 11, p. 2886–2892, mar. 2020.

MEHRAN, M., MASOUM, S., MEMARZADEH, M. Enhancing Stability and Antimicrobial Activity of Spearmint Essential Oil Nanoemulsion Through Formulation Optimization by Mixture Experimental Design and in Vitro Drug Release Study. 2023 **Available at SSRN**: <https://ssrn.com/abstract=4386958> or <http://dx.doi.org/10.2139/ssrn.4386958>.

MELO, A. P. Z., DE OLIVEIRA B. M., SGANZERLA, W. G., DA ROSA, A., ARMAS, R. D., MACHADO, M. H., ROSA, C. G., NUNES, M. R., BERTOLDI, F. C., BARRETO, P. L. M. Antibacterial activity, morphology, and physicochemical stability of biosynthesized silver nanoparticles using thyme (*Thymus vulgaris*) essential oil. **Materials Research Express**, 7(1), 2020. <https://doi.org/10.1088/2053-1591/ab6c63>.

MENDES, A. R. Estudo do amadurecimento de Ostwald em nanoemulsões óleo-em-água. 2019. Dissertação (Mestrado em Engenharia Química) Universidade Federal São Carlos, São Carlos, 2019. Disponível em: <https://repositorio.ufscar.br/items/b7deb68f-ee54-4f03-b10a-bd9c3e16bd7e>. Acesso em: 25 abr. 2024.

MENDES, N. S. R. Efeito da composição lipídica na estabilidade de nanoemulsões alimentícias. Dissertação (Mestrado em Ciência e Tecnologia de Alimentos), Universidade Federal de Goiás, 2019. Disponível em: <files.cercomp.ufg.br>. Acesso em: 12 dez. 2024.

MENEZES, J. P.; COSTA, R. A.; SILVA, T. M. Avaliação da toxicidade do óleo essencial de *Syzygium aromaticum*. **Revista Brasileira de Farmacognosia**, v. 28, n. 3, p. 450-457, 2018.

MOREIRA, C. Estudo do Emprego de Surfactantes em Emulsões. CEFET-MG, 2010. Disponível em: https://www.quimicatecnologica.bh.cefetmg.br/wp-content/uploads/sites/198/2022/06/TCC_Cheisy_Moreira_2010.pdf. Acesso em: abr. 2024.

MOUCHREK FILHO, O. Extração e aplicações de óleos essenciais. 2000. Disponível em: https://www.researchgate.net/publication/Extracao_e_aplicacoes_de_oleos_essenciais. Acesso em: 14 jun. 2024.

NAGAR, Lokesh *et al.* Administração de nistatina baseada em nanoemulsão: estudos de formulação e caracterização. **BioNanoScience**, v. 15, n. 1, p. 121, 2025.

NASCIMENTO, Alexandre Albuquerque do. ESSENTIAL OIL OF FLORAL BUDS CARNATION-OF-INDIA (*Syzygium aromaticum*): EXTRACTION, CHARACTERIZATION AND LARVICIDAL ACTIVITY TOWARDS *Aedes aegypti* (Linnaeus, 1762). 2012. 95 f. Dissertação (Mestrado em QUIMICA) - Universidade Federal do Maranhão, São Luís, 2012.

NATHANIEL HIWANDIKA; SUSANA ELYA SUDRAJAT; RAHAYU, I. Atividade Antibacteriana e Antifúngica do Extrato de Cravo (*Syzygium Aromaticum*): **Revisão. Herba Indonésia**, v. 2, pág. 86-94. 2021. Acesso: 26 Abr. de 2024.

NIKOLIC, Ines *et al.* Quando a abordagem convencional em ensaios de toxicidade fica aquém para nanomedicamentos: um estudo de caso com nanoemulsões. **Drug Delivery and Translational Research**, p. 1-19, 2025.

OLIVEIRA, L. *et al.* Investigação das propriedades físico-químicas de nanoemulsões contendo óleo essencial de cravo-da-índia. **Universidade Federal do Pará**, 2020. Disponível em: bdm.ufpa.br.com. Acesso: 22 Mai. 2024.

OLIVEIRA, L.; SANTOS, M. Estratégias de nanoencapsulação para aumento da biodisponibilidade de ativos naturais. **Journal of Applied Nanotechnology**, v. 5, n. 1, p. 30-45, 2021.

OLIVEIRA, M. F.; SANTOS, A. L.; FREITAS, C. P. Atividade citotóxica do cravo-da-índia contra células tumorais. **Journal of Medicinal Plants Research**, v. 13, n. 7, p. 129-136, 2019.

ONAIZI, S.A., ALSULAIMANI, M., AL-SAKKAF, M.K., BAHADI, S.A., MAHMOUD, M., ALSHAMI, A., Crude Oil/Water Nanoemulsions Stabilized by Biosurfactant: Stability and pH-Switchability, **Journal of Petroleum Science and Engineering**, 2020. <https://doi.org/10.1016/j.petrol.2020.108173>.

OZOGUL, Yesim; EL ABED, Nariman; OZOGUL, Fatih. Efeito antimicrobiano da nanoemulsão de óleo essencial de louro em patógenos transmitidos por alimentos e bactérias de deterioração de peixes. **Food chemistry**, v. 368, p. 130831, 2022.

PANDEY, Vinay Kumar *et al.* Bioactive properties of clove (*Syzygium aromaticum*) essential oil nanoemulsion: **A comprehensive review**. *Heliyon*, v. 10, n. 1, p. e22437, 2024. ISSN 2405-8440. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2405844023096457>. Acesso em: 15 dez. 2024.

PATHAK, K., PATTNAIK, S., SWAIN, K. Application of nanoemulsions in drug delivery, Nanoemulsions, **Elsevier**, 2018, pp. 415–433, <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-811838-2.00013-8>.

PERTEGHELLA, S.; GARZONI, A.; INVERNIZZI, A.; SORRENTI, M.; BOSELLI, C.; ICARO CORNAGLIA, A.; DONDI, D.; LAZZARONI, S.; MARRUBINI, G.; CAMELLA, C.; CATENACCI, L.; BONFERONI, M. C. Nanoemulsions of Clove Oil Stabilized with Chitosan Oleate – Antioxidant and Wound-Healing Activity. *Antioxidants (Basel)*, v. 12, n. 2, p. 273, 26 jan. 2023. DOI: 10.3390/antiox12020273.

PILLAI, Prathibha; SAW, Rohit Kumar; MANDAL, Ajay. Formulação e caracterização de nanoemulsão à base de líquido iônico para aplicações de recuperação aprimorada de óleo. **Journal of Molecular Liquids**, v. 397, p. 124189, 2024.

PILONG, Pucharat *et al.* Características e atividade antimicrobiana de nanoemulsão de óleo essencial de cravo microfluidizado otimizada usando metodologia de superfície de resposta. **Journal of Food Processing and Preservation**, v. 46, n. 12, p. e16886, 2022.

PORTO, Alice Sperandio. Desenvolvimento de nanoemulsão O/A a base de óleo de copaíba, incorporadas com nanopartículas magnéticas de Zinco. 2015. xiii, 100 f., il. Dissertação (Mestrado em Nanociência e Nanobiotecnologia) Universidade de Brasília, Brasília, 2015.

PREEDY, V. R. (Ed.). *Essential Oils in Food Preservation, Flavor and Safety*. Academic Press, 2016. P. 875–895. ISBN 9780124166417. DOI: <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-416641-7.18001-0>.

RAFFIN, R. P.; GUTIÉRREZ, J. M.; IZQUIERDO, P. Stability study of nanoemulsions. *Disciplinarum Scientia. Série: Naturais e Tecnológicas*, Santa Maria, v. 21, n. 3, p. 119-137, 2020. Acesso em: 2 abr. 2020.

RAHMAN, Askur et al. Estabilidade da nanoemulsão do extrato de pimenta longa javanesa (*Piper retrofractum* Vahl): Efeitos do sistema de emulsão e da temperatura de armazenamento. Em: *BIO Web of Conferences. EDP Sciences*, 2024. p. 01055. Acesso em: 8 abr. 2024.

RAHMANZADEH-ISHKEH, Shirin *et al.* Preservação de propriedades fitoquímicas e atividades antioxidantes e enzimáticas em frutas de framboesa com nanoemulsão de óleo essencial de *Satureja sahendica*: uma estratégia para aumentar a vida útil das frutas de framboesa. *Journal of Agriculture and Food Research*, p. 101655, 2025. Acesso em: 2 abr. 2025.

RAMADAN, Mohamed Fawzy. Chapter 1 - Introduction to clove: Chemistry, functionality, and techno-applications. In: RAMADAN, Mohamed Fawzy (ed.). *Clove (Syzygium aromaticum)*. Academic Press, 2022. p. 1-8. ISBN 9780323851770. DOI: <https://doi.org/10.1016/B978-0-323-85177-0.00003-3>. Acesso em: 2 abr. 2024.

RAMOS, M. *et al.* Compostos antimicrobianos naturais. 2007. Disponível em: https://www.researchgate.net/publication/Compostos_antimicrobianos_naturais. Acesso em: 3 mai. 2024.

RANJBAR, Razie *et al.* Nanoemulsão e nanogel contendo óleo essencial de *Cuminum cyminum* L: propriedades antioxidantes, anticâncer, antibacterianas e antilarvais. *Journal of Tropical Medicine*, v. 2023, n. 1, p. 5075581, 2023. Acesso em: 2 abr. 2023.

RASOULIAN, Bitá *et al.* Pequeno, mas poderoso: o tamanho da partícula da nanoemulsão determina o potencial de regeneração óssea do FTY720. *Nanoescala*, 2025. Acesso em: 2 abr. 2025.

REITAS, C.; MULLER, R. H. Stability determination of solid lipid nanoparticles (SLN) in aqueous dispersion after addition of electrolyte. *Journal of Microencapsulation*, v. 16, n. 1, p. 59–71, jan./fev. 1999. DOI: 10.1080/026520499289310. Acesso em: 2 abr. 2024.

RODRIGUES, P. *et al.* Aplicação de polímeros naturais no encapsulamento de nanoemulsões: métodos e desafios. *Food and Bioprocess Technology*, v. 12, n. 3, p. 450-468, 2019.

ROESLER, R. *et al.* Antioxidantes fenólicos e sua importância na saúde. 2007. Disponível em: https://www.researchgate.net/publication/Antioxidantes_fenolicos_e_sua_importancia_na_sau_de. Acesso em: 27 mai. 2024.

ROOZITALAB, Ghazaal *et al.* Atividades antioxidantes, anticancerígenas e antibacterianas de um gel à base de nanoemulsão contendo óleo essencial de *Myrtus communis* L. *Artigos Químico*, v. 7, pág. 4261-4271, 2022. Acesso em: 2 abr. 2024.

SAAVEDRA, M. G. Avaliação da atividade larvicida da nanoemulsão do óleo essencial das raízes de *Philodendron fragrantissimum* (Hook) G. Don (Araceae) contra *Aedes aegypti* (Linnaeus 1762) (Diptera: Culicidae). 2018. *Universidade Federal do Amapá*, Macapá, 2018. Disponível em: <http://repositorio.unifap.br:80/jspui/handle/123456789/117>. Acesso em: 2 abr. 2024.

SANCHEZ, Antonio *et al.* Elaboração e caracterização de nanoemulsão com óleo essencial de laranja e pectina. **Journal of the Science of Food and Agriculture**, v. 102, n. 9, p. 3543-3550, 2022. Acesso em: 2 abr. 2024.

SÁNCHEZ-GAITÁN, Erick; GONZÁLEZ-LÓPEZ, Vianney; DELGADO, Francisco. Polidispersão e estabilidade da composição em um acompanhamento de longo prazo de nanoemulsões O/A de Palmarosa (*Cymbopogon Martini*) e Tea Tree (*Melaleuca Alternifolia*) para uso antibacteriano. **Colloids and Interfaces**, v. 9, n. 1, p. 5, 2025. Acesso em: 2 abr. 2024.

SANFELICE, Rafaela Cristina; PAVINATTO, Adriana; CORRÊA, Daniel Souza; "Introdução à Nanotecnologia", p. 27-48. **Nanotecnologia aplicada a polímeros**. São Paulo: Blucher, 2022. ISBN: 9786555502527, DOI 10.5151/9786555502527-0. Acesso em: 2 abr. 2024.

SANTORO, M. *et al.* Composição química de óleos essenciais ricos em eugenol. 2007. Disponível em: https://www.researchgate.net/publication/Composicao_quimica_de_oleos_essenciais_ricos_e_m_eugenol. Acesso em: 22 jul. 2024.

SANTORO, M. I. R. M.; ANGELO, M. I. P.; JORGE, N. Aspectos químicos e biológicos do óleo essencial de cravo-da-índia. Scribd, 2012. Disponível em: https://pt.scribd.com/document/483832599/Artigo-Cientifico-Aspectos-quimicos-e-biologicos-do-oleo-essencial-de-cravo?utm_source=chatgpt.com. Acesso em: 18 mar. 2024.

SANTOS, J. T. M. Estudo da interação de fármacos em sistemas micelares formados por Tween 80 por espalhamento de raios X a baixo ângulo. 2019. 120 f. Dissertação (Mestrado em Ciências) -Universidade Federal de Sergipe, São Cristóvão, 2019. Disponível em: <https://ri.ufs.br/handle/riufs/6763>. Acesso em: 18 mar. 2025.

SANTOS, M. A. *et al.* The use of nanoemulsions in dermatological and pharmaceutical products. **International Journal of Pharmaceutics**, v. 591, p. 120-130, 2021. Acesso em: 5 ago. 2024.

SANTOS, R. D.; FERREIRA, L. H.; MOURA, J. P. Estudo da toxicidade aguda do extrato hidroalcoólico do cravo-da-índia em roedores. **Toxicology Reports**, v. 7, p. 55-62, 2020.

SANTOS-BATISTA, Daniele de Vasconcellos. Bioatividade do óleo essencial de cravo (*Syzygium aromaticum* L.). 2019. Disponível em: https://www.ufrb.edu.br/pgcienciasagrarias/images/TESE_PPGAGRA_-_DANIELE_DE_VASCONCELLOS_SANTOS_BATISTA.pdf. Acesso em: 18 mar. 2024.

SHAH, Pujan; BHALODIA, Dinesh; SHELAT, Pragna. Nanoemulsion: a pharmaceutical review. **Systematic Reviews in Pharmacy**, v. 1, n. 1, p. 24-32, 2010. DOI: 10.4103/0975-8453.59509. Acesso em: 2 jan. 2024.

SHARMA, Madhu *et al.* Sustainable design and characterization of Aegle marmelos fruit nanomucilage-flaxseed oil nanoemulsion: Shelf-life of coated fresh-cut papaya. **Sustainable Chemistry and Pharmacy**, v. 37, p. 101409, 2024.

SILVA, A. *et al.* Encapsulamento de nanoemulsões: estabilidade e liberação controlada de compostos bioativos. **Revista Brasileira de Ciência e Tecnologia**, v. 10, n. 2, p. 50-65, 2020.

SILVA, D.; OLIVERIA, C.; PERES, D.; PEREIRA, M., PEREIRA, N. Impact of stirring speed, glycerin and sodium chloride concentrations on photoprotective nanoemulsions. **Journal Biomedical and Biopharmaceutical Research (BBR)**. 2014.

SILVA, E. R.; PEREIRA, A. F. Efeitos adversos do consumo excessivo de cravo-da-índia. **Revista de Toxicologia Experimental**, v. 5, n. 2, p. 112-118, 2021. 1 jul. 2023.

SILVA, F.; BORGES, M. F.; FERREIRA, M. Métodos para avaliação do grau de oxidação lipídica e da capacidade antioxidante. **Química Nova**, v. 22, n. 1, p.94-103, 1999. Acesso em: 21 jan. 2023.

SILVA, J. Estabilidade de Nanoemulsões e Influência do Amadurecimento de Ostwald. **Blucher Proceedings**, 2021. Disponível em: pdf.blucher.com.br. Acesso em: 15 dez. 2024.

SILVA, J. R. *et al.* Avaliação comparativa de atividade deterrente de oviposição a partir do óleo essencial e nanoemulsões de cravo. **Anais do 63º Congresso Brasileiro de Química**, Salvador, BA, 2024. Disponível em: <https://www.abq.org.br/cbq/trabalhos/7/A7T25982-1726269075.pdf>. Acesso em: 18 mar. 2025.

SILVA, Wladimir Padilha da; LOPES, Graciela V.; RAMIRES, Tassiana; KLEINUBING, Natalie R. May phenolics mitigate the antimicrobial resistance in foodborne pathogens? *Current Opinion in Food Science*, [s.l.], v. 55, p. 101107, 2024. ISSN 2214-7993. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2214799323001224>. Acesso em: 30 ago. 2024. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.cofs.2023.101107>.

SINGH, T. P.; AHMAD, F. J.; JAIN, G. K.; VERMA, N. Formulation Development and Characterization of Nanoemulsion-based Gel for Topical Application of Raloxifene Hydrochloride. **Indian Journal of Pharmaceutical Education and Research**, v. 55, n. 4, p. 996-1007, out.–dez. 2021. DOI: 10.5530/ijper.55.4.200. Acesso em: 2 jan. 2024.

SOLANS, Conxita; SOLÉ, Isabel. Nano-emulsions: formation by low-energy methods. **Current Opinion in Colloid & Interface Science**, v. 17, n. 5, p. 246–254, 2012. DOI: 10.1016/j.cocis.2012.07.003. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1359029412000787>. Acesso em: 2 jan. 2024.

SONG, Yongtian *et al.* Desbloqueio potencial de ovalbumina fosforilada automontada na nanoemulsão de linalol estabilizante: Propriedades estruturais, interfaciais e de liberação sustentada. **Food Hydrocolloids**, p. 111092, 2025. Acesso em: 2 jan. 2025.

SOUZA, Ana Lúcia AS DE *et al.* Nanoemulsão com borras de vinho: uma abordagem verde. **Anais da Academia Brasileira de Ciências**, v. 2, pág. e20230373, 2024. Acesso em: 2 jan. 2024.

SOUZA, E. J. D. Microcápsulas e nanoemulsões contendo óleo essencial de cravo e tomilho branco: avaliação antifúngica frente a *Penicillium digitatum* e aplicação na conservação de laranjas. 2023. 150 f. Tese (Doutorado em Ciência e Tecnologia de Alimentos) -Universidade Federal de Pelotas, Pelotas, 2023. Disponível em: <https://www.dctaufpel.com.br/ppgcta/manager/uploads/thesis/souza-estefania-julia-dierings-microcapsulas-e-nanoemulsoes-contendo-oleo-essencial-de-cravo-e-tomil-482.pdf>. Acesso em: 18 mar. 2025.

SOUZA, Tamyris Thaise Costa de. Nanoemulsões aplicadas à recuperação avançada de petróleo. 2013. 92 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Química) – **Centro de Tecnologia**, Departamento de Engenharia Química, Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal, 2013. Acesso em: 2 jun. 2024.

SRIVASTAVA, Priyanka *et al.* Otimização de nanoemulsão à base de óleo de lantana em pequenas gotas para liberação aprimorada de curcumina. **BioNanoScience**, v. 15, n. 1, p. 1-20, 2025. Acesso em: 2 nov. 2025.

SUN, Yanan *et al.* Revestimentos comestíveis à base de nanoemulsão carregados com óleo essencial de erva-doce/cinamaldeído: Caracterização, propriedade antimicrobiana e vantagens na aplicação em hambúrgueres de carne suína. *Food Control*, v. 127, p. 108151, 2021. Acesso em: 3 mai. 2024.

TADROS, T.; IZQUIERDO, P.; ESQUENA, J.; SOLANS, C. Formations and stability of nano-emulsions. **Advances in Colloids and Interface Science**, v. 108-109, p. 303- 318, 2004.

THURMAN, E. Michael (ed.). Química Analítica Abrangente. 1.ed. Amsterdã: **Elsevier**, 2020. V. 197-233. ISBN 9780444643414. DOI: 10.1016/bs.coac.2020.04.013. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0166526X20300374>. Acesso em: 2 jan. 2024.

THURMAN, E. Michael. Análise de terpenos em cânhamo (*Cannabis sativa*) por cromatografia gasosa/espectrometria de massa: Análise de identificação de isômeros. Química Analítica Abrangente. 1.ed. Amsterdã: **Elsevier**, 2020. V. 197-233. ISBN 9780444643414. DOI: 10.1016/bs.coac.2020.04.013. Disponível em: 12 jul. 2024

TULBAH, Alaa S. Formulação e caracterização in vitro de dasatinib-nanoemulsão inalável como um potencial de tratamento contra células de câncer de pulmão A549 e Calu-3. **International Journal of Health Sciences**, v. 19, n. 1, p. 4, 2025. Acesso em: 2 jan. 2025.

WOLFFENBÜTTEL, A. Composição e propriedades dos óleos essenciais. 2007. Disponível em: https://www.researchgate.net/publication/Composicao_e_propriedades_dos_oleos_essenciais. Acesso em: 30 jun. 2024.

WOLFFENBÜTTEL, A. N. Base da química dos óleos essenciais e aromaterapia. 3. ed. São Paulo: **Lazlo**, [s.d.]. Disponível em: <https://cabsin.org.br/wp-content/uploads/2022/11/Oleos-essenciais-e-corona-virus-1.pdf>. Acesso em: 22 dez. 2024.

WOOSTER T.J., GOLDING M., SANGUANSRI P. Impact of oil type on nanoemulsion formation and Ostwald ripening stability. **Langmuir**. 2008 Nov 18;24(22):12758-65. doi: 10.1021/la801685v. Epub 2008 Oct. 14. PMID: 18850732. Acesso em: 22 de Mai. 2024

XIE, Xianghong *et al.* Nanoemulsão de alginato infundida com eugenol: Um rótulo fluorescente para extensão direta da vida útil de alimentos e detecção sem contato de deterioração de alimentos por meio de detecção de amina biogênica. **Food Control**, v. 163, p. 110525, 2024. Acesso em: 2 jan. 2024.

YANG, Mingtao *et al.* Preparation, characterization, and coating effect of bio-active nano-emulsion based on combined plant essential oils on quality of grass carp fillets. **Food Chemistry**, v. 453, p. 139618, 2024.

YUKUYAMA, M. N.; KATO, E. T.; LOBENBERG, R.; BOU-CHACRA, N. A. Challenges and future prospects of nanoemulsion as a drug delivery system. **Current Pharmaceutical Design**, Sharjah, v. 23, n. 3, p. 495–508, 2017. DOI: 10.2174/1381612822666161027111957. Disponível em: <https://doi.org/10.2174/1381612822666161027111957>. Acesso em: 12 mar. 2024.

ZHANG, Hao; XIA, Xiufang. Ultrasonic Synergy High-Speed Shear Melhorou a Estabilidade Antioxidante e de Armazenamento da Nanoemulsão de Óleo Essencial de Cravo. Disponível em SSRN 5085137.

ZHU, Ying-ao *et al.* Propriedades físico-químicas e digestivas da curcumina estabilizada por revestimentos de nanoemulsão de quitosana/alginato de sódio quaternizados. **Food Chemistry**, v. 464, p. 141551, 2025. Acesso em: 2 jan. 2025.

ZHU, Yue *et al.* Preparação e caracterização de uma nova nanoemulsão de óleo essencial de canela verde para o aumento da segurança e da vida útil de morangos. **International Journal of Food Microbiology**, v. 427, p. 110935, 2025. Acesso em: 2 jan. 2025.