



UNIVERSIDADE FEDERAL DA GRANDE DOURADOS
FACULDADE DE CIÊNCIAS EXATAS E TECNOLOGIA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM CIÊNCIA E TECNOLOGIA
AMBIENTAL



MARIZA CUNHA DE LIMA

ELABORAÇÃO E APLICAÇÃO DE EMULSÕES COM ÓLEOS ESSENCIAIS EM
MORANGOS (*Fragaria* × *ananassa* Duch)

DOURADOS – MS

2026

MARIZA CUNHA DE LIMA

**ELABORAÇÃO E APLICAÇÃO DE EMULSÕES COM ÓLEOS ESSENCIAIS EM
MORANGOS (*Fragaria* × *ananassa* Duch)**

Tese submetida ao Programa de Pós-Graduação
em Ciência e Tecnologia Ambiental, como
requisito para a obtenção do título de Doutor(a)
na área de Tecnologia Ambiental.

Orientador(a): Dr(a). Silvia Maria Martelli
Orientador(a): Dr(a). Danielle Marques Vilela

DOURADOS – MS
2026

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP).

L732e	Lima, Mariza Cunha de Elaboração e aplicação de emulsões com óleos essenciais em morangos (<i>Fragaria</i> × <i>ananassa</i> Duch) / Mariza Cunha de Lima -- Dourados: UFGD, 2026. 113p. Orientador(a): Dr(a). Silvia Maria Martelli Orientador(a): Dr(a). Danielle Marques Vilela. Tese (Doutorado em Ciências e Tecnologia Ambiental) FACET, Faculdade de Ciências Exatas e da Tecnologia – Universidade Federal da Grande Dourados. 1. Óleos essenciais. 2. Atividades antifúngicas. 3. Sanitizante. 4. Frutas. I. Título. CDD – 664.8
-------	---

Ficha catalográfica elaborada pela Biblioteca Central – UFGD.



MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO
Fundação Universidade Federal da Grande Dourados
 Pró-Reitoria e Ensino de Pós-Graduação e Pesquisa
 Programa de Pós-Graduação em Ciência e Tecnologia Ambiental



TERMO DE APROVAÇÃO

Após apresentação, arguição e apreciação pela banca examinadora, foi emitido o parecer APROVADA, para a Tese intitulada: " ELABORAÇÃO E APLICAÇÃO DE EMULSÕES COM ÓLEOS ESSENCIAIS EM MORANGOS (*Fragaria* × *ananassa* Duch)", de autoria de Mariza Cunha de Lima, apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Ciência e Tecnologia Ambiental da Universidade Federal da Grande Dourados.

Documento assinado digitalmente
 **SILVIA MARIA MARTELLI**
 Data: 24/08/2026 13:44:34-0300
 Verifique em <https://validar.itl.gov.br>

Prof. Dra. Silvia Maria Martelli
 Presidente da Banca Examinadora

Documento assinado digitalmente
 **ROZANNA MARQUES MUZZI**
 Data: 20/08/2026 13:42:02-0300
 Verifique em <https://validar.itl.gov.br>

Prof. Dra. Rozanna Marques Muzzi
 Membro Examinador (Universidade Federal da Grande Dourados - UFGD)

Documento assinado digitalmente
 **FABIANA GOMES DA SILVA DANTAS**
 Data: 19/08/2026 06:51:43-0300
 Verifique em <https://validar.itl.gov.br>

Prof. Dra. Fabiana Gomes da Silva
 Membro Examinador (Universidade Federal da Grande Dourados - UFGD)

Documento assinado digitalmente
 **LEANDRO LEVATE MACEDO**
 Data: 19/08/2026 07:18:43-0300
 Verifique em <https://validar.itl.gov.br>

Prof. Dr. Leandro Levate Macedo
 Membro Examinador (Universidade Federal da Grande Dourados - UFGD)

Documento assinado digitalmente
 **VITOR AUGUSTO DOS SANTOS GARCIA**
 Data: 18/08/2026 21:21:44-0300
 Verifique em <https://validar.itl.gov.br>

Prof. Dr. Vitor Augusto dos Santos Garcia
 Membro Examinador (Universidade Estadual Paulista Júlio de Mesquita Filho - UNESP)

Dourados/MS, 13 de Agosto de 2026.



Ministério da Educação
Fundação Universidade Federal da Grande Dourados
 Pró-Reitoria de Pós-Graduação
 Coordenadoria de Pós-Graduação



ATA DA DEFESA DE TESE DE DOUTORADO APRESENTADA POR MARIZA CUNHA DE LIMA, DISCENTE DO PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM CIÊNCIA E TECNOLOGIA AMBIENTAL, ÁREA DE CONCENTRAÇÃO "TECNOLOGIA AMBIENTAL".

Aos treze dias do mês de agosto do ano de dois mil e vinte e seis, às quatorze horas, em sessão pública, realizou-se na Universidade Federal da Grande Dourados, a Defesa de Tese de Doutorado intitulada **"ELABORAÇÃO E APLICAÇÃO DE SANITIZANTES NATURAIS EM MORANGOS (*Fragaria × ananassa* Duch)"**, apresentada pela pessoa doutoranda Mariza Cunha de Lima, do Programa de Pós-graduação em Ciência e Tecnologia Ambiental, à Banca Examinadora constituída pelos membros: Prof.^a Dr.^a Sílvia Maria Martelli/UFGD (presidente/orientadora), Prof.^a Dr.^a Rozanna Marques Muzzi/UFGD (membro titular interno), Prof. Dr. Vitor Augusto dos Santos Garcia/UNESP (membro titular externo), Prof. Dr. Leandro Levate Macedo/UFGD (membro titular externo), Prof.^a Dr.^a Fabiana Gomes da Silva Dantas/UFGD (membro titular externo). Iniciados os trabalhos, a presidência deu a conhecer à pessoa candidata e aos integrantes da banca as normas a serem observadas na apresentação da Tese. Após a pessoa candidata ter apresentado a sua Tese, os membros da Banca Examinadora fizeram suas arguições. Terminada a Defesa, a Banca Examinadora, em sessão secreta, passou aos trabalhos de julgamento, tendo a pessoa candidata obtido APROVADA. Nada mais havendo a tratar, lavrou-se a presente ata, que vai assinada pelos membros da Comissão Examinadora.

Dourados/MS, 13 de agosto de 2026.

Documento assinado digitalmente
 **SILVIA MARIA MARTELLI**
 Data: 24/08/2026 13:43:38-0300
 Verifique em <https://validar.itl.gov.br>

Prof.^a Dr.^a Sílvia Maria Martelli
 Presidente/orientadora

Documento assinado digitalmente
 **ROZANNA MARQUES MUZZI**
 Data: 20/08/2026 13:42:02-0300
 Verifique em <https://validar.itl.gov.br>

Prof.^a Dr.^a Rozanna Marques Muzzi
 Membro Titular Interno

Documento assinado digitalmente
 **VITOR AUGUSTO DOS SANTOS GARCIA**
 Data: 19/08/2026 11:10:46-0300
 Verifique em <https://validar.itl.gov.br>

Prof. Dr. Vitor Augusto dos Santos Garcia
 Membro Titular Externo

Documento assinado digitalmente
 **LEANDRO LEVATE MACEDO**
 Data: 19/08/2026 09:39:46-0300
 Verifique em <https://validar.itl.gov.br>

Prof. Dr. Leandro Levate Macedo
 Membro Titular Externo

Documento assinado digitalmente
 **FABIANA GOMES DA SILVA DANTAS**
 Data: 21/08/2026 11:54:21-0300
 Verifique em <https://validar.itl.gov.br>

Prof.^a Dr.^a Fabiana Gomes da Silva Dantas
 Membro Titular Externo

(PARA USO EXCLUSIVO DA PROPG)

Dedico primeiramente a Deus e à minha família: à minha mãe, Maria, e ao meu pai, Álvaro (*in memoriam*); ao meu marido, Evandro; e aos nossos filhos, Mariana e Evandro Filho, pessoas essenciais em minha vida.

AGRADECIMENTOS

Em primeiro lugar, agradeço a Deus e à minha mãe santíssima, intercessora Nossa Senhora Aparecida, pela dádiva da vida e pela saúde para a realização de mais um sonho.

À minha família: minha mãe, Maria do Carmo, e meu pai, Álvaro Crozariolli de Lima (*in memoriam*); meu marido, Evandro; e meus filhos, Mariana e Evandro Filho; minha cunhada, Edvania; meu irmão, Aldo; minha sogra, Adeilza; e minhas primas, Daiani e Dalva, que ficaram com meus filhos enquanto precisei me ausentar para viagens acadêmicas. À minha vizinha Patrícia e à amiga Sophia, que buscavam as crianças na escola quando eu ficava até a noite no laboratório; e à Beijamina, vizinha que me ajudou com os frutos para a pesquisa.

À Profa. Dra. Silvia Maria Martelli, pela orientação, pelo incentivo à participação em congressos e apresentações de trabalhos, pelas parcerias nas pesquisas, pela paciência, dedicação e pelos ensinamentos transmitidos ao longo do doutorado; pela amizade entre a Maria Eduarda e a Mariana, que foi muito importante e marcante para minha filha enquanto esteve estudando no Objetivo.

À professora Dra. Danielle Marques Vilela, por permitir a utilização do Laboratório de Biotecnologia Aplicada para a realização das Análises, e pela coorientação, apoio, compreensão e ensinamentos. Ao professor Dr. Leandro Levate Macedo, pela ajuda com as Análises laboratoriais, e ao Dr. Vitor Augusto Garcia, pela recepção e pelo apoio à pesquisa enquanto estive na Unesp Botucatu – SP, realizando os testes laboratoriais.

Aos amigos que me ajudaram de alguma forma: Paula, João, Mayana, Bruno, Priscila, Thais, Josiane, Liz, Fernanda e Noellen; à Tatiane, servidora e vizinha que trabalha na biblioteca da UFGD; às meninas da brinquedoteca, que ficaram com as crianças até a noite quando precisei ficar no laboratório; e às técnicas de laboratório, pelo auxílio diário.

Ao Programa de Pós-Graduação em Ciência e Tecnologia Ambiental, da Universidade Federal da Grande Dourados, por ter proporcionado a realização do doutorado, especialmente à coordenadora do curso, professora Dra. Rozanna Marques Muzzi, por todas as demandas atendidas quando solicitadas, tanto financeiras, junto à orientadora, quanto acadêmicas.

À Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior Capes, pela concessão da bolsa. A todos que, direta ou indiretamente, contribuíram para a realização deste trabalho, minha eterna gratidão.

A todos que, direta ou indiretamente, contribuíram para a realização deste trabalho, minha eterna gratidão.

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Compostos químicos majoritários nos óleos essenciais utilizados.....	32
Tabela 2 - Laudo técnico dos óleos essenciais e seus principais componentes.....	46
Tabela 3 - Halo de inibição (mm) dos óleos essenciais, frente a <i>Colletotrichum</i> e <i>A. Alternata</i> durante 120 horas.....	47
Tabela 4 - Atividade antifúngica da emulsão dos óleos essenciais, expressas por halo de inibição (mm) frente aos microrganismos testes <i>Colletotrichum gloeosporioides</i> e <i>Alternaria alternata</i> isolados pela técnica de difusão em disco.....	51
Tabela 5 - Composição das emulsões utilizadas e a descrição dos tratamentos empregados no experimento.....	59
Tabela 6 - Resultados da relação entre a porcentagem de perda de massa dos frutos controle (sem tratamento) e dos frutos tratados.....	107
Tabela 7 - Fotos (Análises visuais) das quatro amostras por tratamento tiradas ao longo dos 9 dias de Análises.....	71
Tabela 8 - Principais critérios de deterioração.....	75
Tabela 9 - Análises dos parâmetros de cor do morango.....	76
Tabela 10 - Expressão de resultado em UFC/mL ao número de colônias.....	83
Tabela 11 - Resultados de sólidos solúveis, ratio, acidez titulável e pH apresentados por cada tratamento ao longo de 13 dias de Análises.....	87
Tabela 12 - Resultados de acidez titulável apresentados por tratamentos.....	107
Tabela 13 - Resultados de potencial hidrogeniônico (pH) de cada tratamento.....	107
Tabela 14 - Resultados dos Sólidos solúveis totais (°BRIX).....	108
Tabela 15 - Resultados do Índice de maturação (RATIO).....	108
Tabela 16 - Resultados das Análises de antocianinas (mg.100g-1).....	109

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Mecanismo de ação dos óleos essenciais sobre fungos e seus efeitos nos compostos bioativos sobre a estrutura e processos celulares.....	32
Figura 2 - Subescala de deterioração microbiológica de morangos adotada.....	38
Figura 3 - Modelo de mensuração em (mm)..	50
Figura 4 - Atividades antifúngicas dos óleos essenciais, expressas por halos de inibição, após 48h. Controle (CT) positivo placa com crescimento fúngico, controle (CT) negativo placa com Óleo essencial.	50
Figura 5 - Atividade antifúngica da emulsão dos óleos essenciais, expressas por halo de inibição frente aos microrganismos testes isolados pela técnica de difusão em disco. Controle (CT) positivo placa com crescimento fúngico, controle (CT) negativo placa com Óleo essencial ..	52
Figura 5 - Subescala de deterioração microbiológica de morangos adotada.....	58
Figura 6 - Fluxograma da metodologia	59
Figura 7 - Preparo das emulsões com OEs	59
Figura 8 - Parâmetros de cor CIE L* a* b*	63
Figura 9 - Parâmetros de cor L* C* h.	64
Figura 10 - Morfologia do morango	65
Figura 11 - Infográfico da metodologia.....	66
Figura 12 - Contador de colônias	67
Figura 13 - Relação entre a porcentagem de perda de massa dos frutos controle (sem revestimento) e dos frutos revestidos	70
Figura 14 – Amostragem visual de crescimento fúngico após o método rolagem.....	82
Figura 15 - Inibição de crescimento fúngico comparativo dos tratamentos após o método rolagem	85
Figura 16 - Fungos isolados da placa controle e observados em microscópio após microcultivo	84
Figura 17. Resultados das análises de antocianinas.....	89

RESUMO

A antracnose e a alternarioses é uma das principais doenças fúngicas que acometem frutas de importância econômica, sendo responsável por perdas significativas durante a produção, armazenamento, transporte e comercialização. A doença antracnose é causada principalmente por fungos do gênero *Colletotrichum*, a alternarioses pelo fungo *Alternaria* ambas comprometem a qualidade visual, nutricional e comercial dos frutos. Diante das preocupações com o uso excessivo de fungicidas sintéticos, torna-se necessária a busca por alternativas naturais, eficazes e sustentáveis para o controle desses microrganismos. Nesse contexto, os óleos essenciais destacam-se por apresentarem compostos bioativos com ação antimicrobiana reconhecida, podendo atuar como agentes naturais no controle de fungos Fitopatogênicos. O presente estudo teve como objetivo desenvolver uma emulsão à base de óleos essenciais e avaliar sua atividade antifúngica frente aos fungos *C. gloeosporioides*, principal agente causal da antracnose, e *A. alternata*, importante fungo associado à deterioração pós-colheita de frutas. Foram avaliados as atividades antifúngicas *in vitro* com óleos essenciais de cravo (*Syzygium aromaticum*), canela (*Cinnamomum cassia*), menta (*Mentha arvensis*) e limão siciliano (*Citrus limon*), além de uma emulsão formulada pela combinação desses óleos. Análises físico-químicas, microbiológicas e visuais, incluindo perda de massa, sólidos solúveis totais, acidez titulável, pH, parâmetros de cor, atividades fúngicas e conservação visual dos morangos. Os frutos foram submetidos a seis tratamentos: controle sem emulsão (T1), sanitizante comercial (T2), emulsão de OE a 0,5% aplicada por Aspersão (T3), emulsão a 1,0% por Aspersão (T4), emulsão a 0,5% por imersão (T5) e emulsão a 1,0% por imersão (T6). Após os tratamentos, os morangos foram armazenados sob refrigeração entre 3 a 7 °C, durante períodos de até 13 dias. Os resultados *in vitro* das análises microbiológicas, demonstraram que todos os óleos essenciais apresentaram atividade antifúngica frente aos fungos destacando -se canela e cravo por promover maiores halos de inibição, os óleos combinados demonstraram atividade antifúngica em todas maiores halos nos volumes de 50µL. A avaliação microbiológica foi conduzida pelo método de rolagem direta em placas contendo meio BDA, seguido de incubação a 28 °C por sete dias. Os resultados demonstraram que os tratamentos contendo óleos essenciais apresentaram atividade antifúngica significativa em relação ao controle, reduzindo o crescimento dos fungos, testados. Os maiores índices de inibição foram observados nos tratamentos por aspersão, com destaque para T3 (96,7%) e T4 (95,7%), superiores ao sanitizante comercial T2 (85,7%). Os tratamentos por imersão também apresentaram redução do crescimento microbiano, embora com menor eficiência. Nas Análises físico-químicas, os tratamentos por aspersão contribuíram para menor perda de massa, melhor estabilidade dos parâmetros de cor e maior preservação da qualidade visual dos frutos ao longo do armazenamento refrigerado. O tratamento T4 destacou-se na redução da perda de massa, enquanto T3 apresentou melhor manutenção das características cromáticas dos morangos. As Análises visuais confirmaram menor ocorrência de enrugamento, escurecimento e crescimento fúngico nos frutos tratados com emulsões aplicadas por aspersão. Conclui-se que as emulsões à base de óleos essenciais apresentam elevado potencial como alternativa naturais e sustentável para a conservação de morangos pós-colheita, aplicadas por aspersão. Os resultados que a utilização de emulsão pode contribuir para a redução da deterioração pós-colheita, constituindo uma alternativa promissora ao uso de fungicidas químicos para o controle de doenças associados à antracnose e alternariose.

Palavras-chave: Óleos essenciais; Atividades Antifúngicas; Fitossanitários; Frutas.

ABSTRACT

Anthrachnose and alternariosis are among the major fungal diseases affecting economically important fruits, causing significant losses during production, storage, transportation, and commercialization. Anthracnose is mainly caused by fungi of the genus *Colletotrichum*, whereas alternariosis is associated with fungi of the genus *Alternaria*. Both diseases compromise the visual, nutritional, and commercial quality of fruits. Given the increasing concerns regarding the excessive use of synthetic fungicides, the search for natural, effective, and sustainable alternatives for the control of these microorganisms has become necessary. In this context, essential oils stand out due to their bioactive compounds with recognized antimicrobial activity, which may act as natural agents for the control of phytopathogenic fungi. The present study aimed to develop an essential-oil-based emulsion and evaluate its antifungal activity against *Colletotrichum gloeosporioides*, the main causal agent of anthracnose, and *Alternaria alternata*, an important fungus associated with the postharvest deterioration of fruits. *In vitro* antifungal activities of essential oils from clove (*Syzygium aromaticum*), cinnamon (*Cinnamomum cassia*), mint (*Mentha arvensis*), and Sicilian lemon (*Citrus limon*) were evaluated, as well as an emulsion formulated by combining these essential oils. Physicochemical, microbiological, and visual analyses were also performed, including mass loss, total soluble solids, titratable acidity, pH, color parameters, fungal development, and visual preservation of strawberries. The fruits were subjected to six treatments: untreated control (T1), commercial sanitizer (T2), 0.5% essential-oil emulsion applied by spraying (T3), 1.0% essential-oil emulsion applied by spraying (T4), 0.5% essential-oil emulsion applied by immersion (T5), and 1.0% essential-oil emulsion applied by immersion (T6). Following treatment, the strawberries were stored under refrigeration at temperatures ranging from 3 to 7 °C for up to 13 days. The *in vitro* results demonstrated that all essential oils exhibited antifungal activity against the evaluated fungi, with cinnamon and clove showing the greatest inhibition zones. The combined essential oils also exhibited antifungal activity, with the largest inhibition zones observed at the 50 µL volume. Microbiological evaluation was performed using the direct fruit-rolling method on Petri plates containing potato dextrose agar (PDA), followed by incubation at 28 °C for seven days. The results demonstrated that treatments containing essential oils showed significant antifungal activity compared with the control, reducing fungal growth. The highest inhibition rates were observed in the spraying treatments, particularly T3 (96.7%) and T4 (95.7%), which were higher than those observed for the commercial sanitizer T2 (85.7%). The immersion treatments also reduced microbial growth, although with lower efficiency. Regarding the physicochemical analyses, the spraying treatments contributed to lower mass loss, greater stability of color parameters, and better preservation of fruit visual quality throughout refrigerated storage. Treatment T4 stood out for reducing mass loss, whereas T3 showed better maintenance of the chromatic characteristics of the strawberries. Visual analyses confirmed a lower incidence of wrinkling, darkening, and fungal growth in fruits treated with emulsions applied by spraying. It is concluded that essential-oil-based emulsions have high potential as a natural and sustainable alternative for the postharvest conservation of strawberries, particularly when applied by spraying. The results indicate that the use of these emulsions may contribute to reducing changes associated with postharvest deterioration, representing a promising alternative to conventional chemical fungicides for the control of diseases associated with anthracnose and alternariosis.

Keywords: Essential oils; Antifungicidal Activity; Phytosanitary; Fruits.

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO GERAL.....	25
1.1 OBJETIVOS	27
1.1.1 OBJETIVO GERAL	27
1.1.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	27
2. REVISÃO DE LITERATURA.....	28
2.1 PRODUÇÃO DE FRUTAS NO BRASIL.....	28
2.2 ANTRACNOSE E ESTRATÉGIAS PARA O SEU CONTROLE	29
2.3 PRINCIPAIS CAUSADORES DA ANTRACNOSE E SEUS IMPACTOS ECONÔMICOS.....	30
2.4 ÓLEOS ESSENCIAIS: COMPOSIÇÃO QUÍMICA E ATIVIDADE ANTIFÚNGICA 31	
2.5 Legislação Aplicável à Higienização de Frutas no Pós-Colheita.....	34
2.6 PRODUÇÃO DE MORANGOS NO BRASIL.....	36
2.6.1 Óleos essenciais com formulações aplicadas em frutas.....	36
2.6.2 Aplicação de emulsões de óleos essenciais por imersão e aspersão.....	38
2.7 ALTERNATIVAS AO USO DE FUNGICIDAS SINTÉTICOS E PRÁTICAS AGROECOLÓGICAS	38
2.8 MORANGOS E SUA PERECIBILIDADE.....	39
CAPÍTULO I.....	42
APLICAÇÃO DE OLEOS ESSENCIAIS IN VITRO NO CONTROLE DA ATIVIDADE ANTIFUNGICA	42
3. INTRODUÇÃO.....	42
3.1. OBJETIVOS	44
3.1.2 OBJETIVO GERAL	44
3.1.3 OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	44
3.2. METODOLOGIA	45
3.2.1 ANÁLISES MICROBIOLÓGICAS	45
3.1.1 Preparo do meio de cultura.....	45
3.1.2 Preparo da solução salina 0,85%	45
3.2 Preparo da emulsão para análises microbiológicas	45
3.2.1 Microrganismos.....	45
3.2.2 Óleos essenciais.....	46
3.2.3 Testes antifúngicos	46

3.3 RESULTADOS E DISCUSSÃO	48
3.3.1 ATIVIDADE ANTIFÚNGICA DOS ÓLEOS ESSENCIAIS ISOLADOS	48
3.3.2 ATIVIDADE ANTIFÚNGICA DA EMULSÃO CONTENDO OS QUATRO ÓLEOS ESSENCIAIS.....	51
3.4. CONCLUSÃO.....	53
CAPÍTULO II.....	54
ELABORAÇÃO E APLICAÇÃO DE EMULSÕES COM ÓLEOS ESSENCIAS EM MORANGOS (<i>Fragaria</i> × <i>ananassa Duch</i>)	54
4. INTRODUÇÃO.....	56
4.1 OBJETIVOS.....	58
4.1.1 OBJETIVO GERAL	58
4.1.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	58
4.2 METODOLOGIA	59
4.2.1 ELABORAÇÃO DAS EMULSÕES	60
4.2.2 ARMAZENAMENTO E CONDIÇÕES EXPERIMENTAIS.....	61
4.2.3 ANÁLISES FÍSICO-QUÍMICAS	61
4.2.4 Perda de massa.....	61
4.2.5 Acidez titulável	62
4.2.6 Sólidos Solúveis (°Brix), Índice de maturação (Ratio) e Potencial hidrogeniônico (pH)	62
4.2.7 Análises de Cor.....	63
4.2.8 Análises visual	65
4.2.9 Análises de Antocianinas.....	65
4.3 ANÁLISES MICROBIOLÓGICAS	66
4.3.1 Preparo da solução salina 0,85%	66
4.3.2 Incubação	66
4.3.3 Ensaios de microcultivo	68
4.4 AMOSTRAGEM E TRATAMENTOS	68
4.4.1 Microrganismos.....	68
4.5 ANÁLISES ESTATÍSTICAS	68
4.6 RESULTADOS E DISCUSSÃO	69
4.6.1 PERDA DE MASSA.....	69
4.6.2 ANÁLISES VISUAL	71
4.6.3 ANÁLISES MICROBIOLÓGICAS	82

4.6.4 SÓLIDOS SOLÚVEIS (°BRIX), ACIDEZ TITULÁVEL E ÍNDICE DE MATURAÇÃO (RATIO)	87
4.6.5 ANÁLISES DE ANTOCIANINAS	89
4.7 CONCLUSÃO.....	91
5. CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	98
6. REFERÊNCIAS.....	93
7. ANEXO I.....	108

1. INTRODUÇÃO GERAL

A produção de frutas no Brasil destaca-se pela ampla diversidade de espécies cultivadas, favorecida pelas condições climáticas e geográficas do território nacional, que abrangem desde regiões tropicais até áreas subtropicais e temperadas (Santos *et al.*, 2025). Essa variedade ambiental permite o cultivo contínuo de diferentes frutas ao longo do ano, incluindo banana, manga, caju e maracujá no Nordeste, laranja e goiaba no Cerrado, além de uva, maçã e pera em regiões de clima mais ameno (Brazilian Farmers, 2025). Essa diversidade produtiva representa um importante diferencial competitivo para os mercados interno e externo (Silva *et al.*, 2021).

A relevância agrícola, a fruticultura possui papel estratégico na segurança alimentar, no desenvolvimento econômico regional e na geração de empregos. A produção nacional de frutas, vem empregando aproximadamente 200 mil trabalhadores formais, enquanto a agricultura familiar responde por mais de 80% das propriedades dedicadas ao cultivo de frutas (Brazilian Farmers, 2025). Nesse contexto, o fortalecimento de pequenos produtores e de sistemas agroflorestais contribui tanto para a conservação ambiental quanto para a manutenção da biodiversidade, especialmente no cultivo de espécies nativas brasileiras (Silva *et al.*, 2021; Santos *et al.*, 2025).

A produção frutífera é fundamental tanto para o abastecimento do mercado interno quanto para a exportação, destacando-se culturas como laranja, banana, mamão e manga. A expansão para novos mercados globais eleva a competitividade do país, porém doenças pós-colheita, como a antracnose, representam um desafio significativo. Essa doença, causada principalmente por fungos do gênero *Colletotrichum*, compromete a produção e a qualidade das frutas (Tavares, 2021). As condições climáticas brasileiras, notadamente alta umidade e temperaturas amenas, favorecem a proliferação desses patógenos, além de práticas de manejo inadequadas, potencializando o problema (Fonseca *et al.*, 2022).

Além disso, na pós-colheita dos frutos outra espécie de fungo como *Alternaria alternata* têm sido associadas ao agravamento de quadros fitopatológicos, especialmente em condições de umidade e calor elevados, acelerando a germinação de conídios e esporulação colonização rápida (Li et al., 2023; Wu et al., 2026). Entre as características provocadas são as manchas negras, necroses, podridão e perda de firmeza nos frutos, com isso, acaba comprometendo sua qualidade, valor comercial e aumentando o descarte no pós-colheita.

Em morangos, a elevada perecibilidade do fruto e sua epiderme delicada tornam-no altamente suscetível a infecções fúngicas, tanto no campo quanto no período pós-colheita.

Estudos conduzidos em Santa Catarina identificaram e caracterizaram espécies de *Colletotrichum* associadas à antracnose em morangueiro, com isolamento de frutos apresentando sintomas típicos da doença em sistemas orgânicos e convencionais, evidenciando a ampla disseminação do patógeno (Soares *et al.*, 2025). A antracnose pode afetar folhas, frutos, coroas e raízes, reduzindo a absorção de água e nutrientes, facilitando infecções secundárias e impactando diretamente a produtividade e a qualidade comercial (Fagherazzi *et al.*, 2021; Oliveira *et al.*, 2024).

No controle de doenças pós colheita, ainda é comum o uso de fungicidas, porém há crescente preocupação quanto à resistência dos patógenos e aos efeitos adversos associados aos fungicidas sintéticos no meio ambiente e na saúde humana (Rocha *et al.*, 2023). Por isso, alternativas naturais, como o uso de extratos vegetais e óleos essenciais, têm sido intensamente pesquisadas e mostram resultados promissores no controle pós-colheita (Camili *et al.*, 2021; Borges *et al.*, 2024).

Nesse contexto, a busca por alternativas naturais e ambientalmente mais adequadas tem recebido crescente atenção são os óleos essenciais suas misturas complexas de compostos orgânicos voláteis produzidos por plantas, entre os quais se destacam terpenos, fenóis, aldeídos, álcoois e ésteres. Esses compostos têm comprovada ação antimicrobiana, antioxidante e antifúngica, aptos a interromper processos bioquímicos e afetar a morfologia dos patógenos (Li *et al.*, 2023; Maciel *et al.*, 2024).

Pansera *et al.* (2025) demonstraram que óleos essenciais provenientes de tangerina, cravo, limão e canela apresentam elevada eficácia contra *C. gloeosporioides* e *A. alternata*, principais causadores de podridões pós-colheita. Experimentos com emulsões de óleo de tangerina reduziram em até 85% a incidência da antracnose em morangos armazenados sob refrigeração (Lima *et al.*, 2022), reforçando o potencial dessas substâncias no manejo fitossanitário sustentável. De acordo com Leite *et al.* (2022) os mecanismos de ação dos compostos bioativos presentes nos óleos essenciais, como limoneno e γ -terpineno, são capazes de induzir disfunção mitocondrial e apoptose em fungos.

1.2 OBJETIVOS

1.2.3 OBJETIVO GERAL

Avaliar atividade antifúngica *in vitro* dos óleos essenciais individual e combinados de cravo, canela, menta e limão-siciliano e frente aos fungos, determinar inibição do crescimento fúngico das diferentes concentrações, analisar *in vivo* parâmetros físicos- químicos, microbiológicos e compostos bioativos dos morangos testados com emulsão formulada à base de óleo essenciais.

1.2.4 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Determinar ação antifúngica *in vitro* dos óleos essenciais frente aos fungos *Colletotrichum gloeosporioides* e *Alternaria alternata* em diferentes (individual e combinados);
- Desenvolvimento e aplicação *in vivo* de emulsões à base da combinação de OE, em diferentes métodos (aspersão e imersão);
- Investigação dos tratamentos apresentados se possuem eficiência microbiológica sem alterar os parâmetros físicos - químicos, teor de antocianinas.
- Verificar qual tratamento apresenta atividade antifúngica frente aos fungos causadores das doenças antracnose e à alternariose, reduzindo contaminação fúngicas e a deterioração pós-colheita dos morangos.

2. REVISÃO DE LITERATURA

2.1 PRODUÇÃO DE FRUTAS NO BRASIL

O Brasil ocupa posição de destaque no cenário internacional da fruticultura, sendo o terceiro maior produtor mundial de frutas e um dos principais exportadores de frutas frescas, com destaque para manga, melão, limão e uva (Farmonaut, 2025). Em 2024, as exportações brasileiras superaram 1 bilhão de dólares nos primeiros nove meses do ano, impulsionadas principalmente pelo aumento das exportações de manga, cujo valor exportado cresceu cerca de 46% no período (Farmonaut, 2025). Esse desempenho está associado à adoção de novas práticas agrícolas, melhoria genética das variedades cultivadas e avanços em tecnologias pós-colheita e logística de transporte, fatores essenciais para ampliar a vida útil e preservar a qualidade dos frutos destinados ao mercado internacional (Dynamic Perspectives, 2024; Farmonaut, 2025).

Apesar do potencial produtivo e exportador, a fruticultura brasileira ainda enfrenta desafios estruturais relacionados à infraestrutura de transporte, armazenamento e manutenção da cadeia de frio, os quais comprometem a qualidade das frutas e reduzem a competitividade do setor (Gerum *et al.*, 2021; Farmonaut, 2025). Além disso, o aumento dos custos com embalagens, fertilizantes, combustíveis e frete marítimo, aliado aos impactos das mudanças climáticas, como secas prolongadas e chuvas intensas, representa um obstáculo adicional à expansão sustentável da atividade (Brazilian Fruit Exports, 2022; Dynamic Perspectives, 2024).

Diante desse cenário, torna-se fundamental investir em inovação tecnológica, sustentabilidade e adaptação climática, visando aumentar a resiliência produtiva e reduzir perdas pós-colheita. Paralelamente, observa-se crescente valorização de frutas nativas brasileiras, como jabuticaba, açaí, cajá e bacaba, devido ao seu elevado valor nutricional e potencial funcional, favorecendo a agregação de valor aos pequenos produtores e fortalecendo sistemas alimentares mais sustentáveis (Rsc, 2024; Santos *et al.*, 2025).

Portanto, a fruticultura brasileira apresenta elevada relevância econômica, social e ambiental, destacando-se pela diversidade produtiva e pelo potencial de expansão no mercado global. Entretanto, a consolidação do setor depende de investimentos em infraestrutura, logística, inovação e políticas públicas voltadas à sustentabilidade e à adaptação frente às mudanças climáticas (Silva *et al.*, 2021; Dynamic Perspectives, 2024).

2.2 ANTRACNOSE E ESTRATÉGIAS PARA O SEU CONTROLE

A antracnose é uma doença fúngica, causada principalmente por espécies do gênero *Colletotrichum*, que afeta diversas culturas frutíferas no Brasil, destacando-se pelo impacto negativo sobre a qualidade dos frutos e a redução da vida útil pós-colheita (Borges *et al.*, 2024). Espécies de *Colletotrichum* podem colonizar folhas, ramos e, principalmente, frutos, produzindo lesões características que prejudicam a aparência e a integridade dos produtos, comprometendo sua aceitabilidade no mercado e gerando perdas econômicas significativas (Tavares, 2021).

O ciclo da antracnose é favorecido por condições de alta umidade e temperaturas amenas, fatores climáticos comuns em muitas regiões produtoras do Brasil, como o Nordeste e o Sudeste (Fonseca *et al.*, 2022). O fungo pode persistir no solo e na matéria orgânica, bem como em frutos e ramos, garantindo sua sobrevivência entre as safras e facilitando a transmissão para novas plantas (De Lemos *et al.*, 2023). Durante a pós-colheita, a doença pode se intensificar caso o armazenamento das frutas não seja feito em ambientes controlados, com temperatura e umidade adequadas, acelerando a deterioração dos frutos infectados (Moraes *et al.*, 2022).

Entre as estratégias de manejo, destaca-se o controle integrado que envolve práticas culturais para redução da umidade no pomar, rotação de culturas e seleção de variedades resistentes, ações essenciais para minimizar a incidência da antracnose (Silva *et al.*, 2024).

Os avanços tecnológicos permitiram o desenvolvimento de nanoemulsões e sistemas de liberação controlada para otimizar a ação dos compostos bioativos, aumentando sua eficácia antifúngica e prolongando a proteção dos frutos (Silva *et al.*, 2024). Estudos recentes demonstram a influência positiva de tratamentos com óleos essenciais de plantas como tangerina, cravo, limão e canela sobre a redução da incidência da antracnose em morangos e mangas (Fonseca *et al.*, 2022; Pansera *et al.*, 2025).

Além disso, tratamentos físicos como o uso de radiação gama associada a técnicas de refrigeração e atmosfera controlada têm se mostrado eficazes no manejo da doença em mangas, contribuindo para a redução das doses de fungicidas e mantendo a qualidade do fruto (Nascimento *et al.*, 2023). A correta higienização prévia e a aplicação de agentes biológicos antagonistas também são opções que vêm ganhando espaço na agricultura sustentável, auxiliando no aumento da resistência natural das plantas (Rocha *et al.*, 2023).

É fundamental que o manejo da antracnose inclua um enfoque multidisciplinar que conjugue o conhecimento agrônomo, fitopatológico e tecnológico para garantir a segurança

alimentar e a sustentabilidade da produção (Borges *et al.*, 2024). O investimento contínuo em pesquisa e desenvolvimento de soluções inovadoras para controle dessa doença é indispensável para preservar a competitividade do setor frutícola brasileiro, especialmente quanto à exportação, mercado que demanda produtos de alta qualidade e segurança (Camili *et al.*, 2021; Tavares, 2021).

Diante da complexidade do patossistema, as pesquisas recentes ampliam as possibilidades para o controle eficaz da antracnose, fortalecendo o uso de métodos integrados e menos agressivos ao meio ambiente, alinhados às demandas globais de sustentabilidade e saúde pública (De Lemos *et al.*, 2023; Pansera *et al.*, 2025).

2.3 PRINCIPAIS CAUSADORES DA ANTRACNOSE E SEUS IMPACTOS ECONÔMICOS

A fruticultura brasileira desempenha papel estratégico no abastecimento interno e na exportação, consolidando o país como importante fornecedor de frutas frescas no mercado global. Nesse cenário, embora culturas como laranja, banana, mamão e manga liderem em volume, o morango (*Fragaria x ananassa* Duch) destaca-se pelo elevado valor agregado, forte participação da agricultura familiar e crescente demanda de consumo in natura. Contudo, a competitividade do setor é diretamente impactada por doenças pós-colheita, especialmente a antracnose, causada principalmente por fungos do gênero *Colletotrichum*, que comprometem a qualidade, a vida útil e a comercialização dos frutos (Tavares., 2021). As condições climáticas predominantes no Brasil, caracterizadas por alta umidade e temperaturas amenas a elevadas, favorecem a proliferação desses patógenos, sendo o problema intensificado por variações climáticas e práticas de manejo inadequadas (Fonseca *et al.*, 2022).

Diante desse cenário, cresce a adoção de práticas sustentáveis, como o manejo integrado de doenças, o uso racional de fungicidas e a incorporação de alternativas naturais e biológicas (Rocha *et al.*, 2023). Tecnologias emergentes, incluindo nanoemulsões e extratos vegetais, vêm sendo investigadas como estratégias promissoras para o controle pós-colheita do morango, associando eficácia antimicrobiana e menor impacto ambiental (Camili *et al.*, 2021). Considerando a relevância socioeconômica da cultura e sua contribuição para geração de renda e segurança alimentar, torna-se essencial o investimento contínuo em pesquisas que promovam métodos de controle mais eficientes e sustentáveis (Silva *et al.*, 2024; Pansera *et al.*, 2025). Além disso, a magnitude global das perdas causadas pela antracnose reforça a necessidade de estratégias integradas que combinem práticas culturais, controle químico e biológico e

tecnologias inovadoras, garantindo maior estabilidade produtiva e qualidade ao morango brasileiro (Moraes *et al.*, 2022; Verde *et al.*, 2024).

Contudo, a antracnose permanece como o principal entrave fitossanitário, exigindo investimento contínuo em pesquisas para desenvolvimento de produtos e práticas que tornem o manejo mais eficaz, econômico e ambientalmente responsável (Pansera *et al.*, 2025).

Países com culturas similares enfrentam desafios comparáveis, com perdas que chegam a 55% do total produzido quando o manejo da antracnose é insuficiente (Verde *et al.*, 2024). Isso evidencia a abrangência global do problema e a necessidade de estratégias integradas que combinem práticas culturais, controle químico e biológico aliadas a tecnologias emergentes (Moraes *et al.*, 2022).

2.4 ÓLEOS ESSENCIAIS: COMPOSIÇÃO QUÍMICA E ATIVIDADE ANTIFÚNGICA

Óleos como o de cravo-da-índia, rico em eugenol, e o de canela, contendo aldeído cinâmico, são frequentemente destacadas pela potência antifúngica contra fungos que causam antracnose como *C. gloeosporioides* (Wang *et al.*, 2024). Além desses, os óleos cítricos (limão, laranja) que possuem limoneno em sua composição, executam ação antifúngica eficaz, combinando mecanismos de via dupla: interrupção da membrana e indução de estresse oxidativo (Zhang *et al.*, 2023; Fernandes *et al.*, 2024).

Para tornar os óleos essenciais aplicáveis em sistemas reais de pós-colheita, podem ser utilizadas formulações na forma de emulsões e nanoencapsulações que aprimoram a estabilidade química e facilitam a liberação controlada dos compostos bioativos, aumentando a eficiência antifúngica (Silva *et al.*, 2024). A estabilidade é crucial para manutenção da atividade no ambiente variável de armazenamento e transporte de frutas. Tais formulações vêm sendo desenvolvidas com vistas a substituir progressivamente os fungicidas de síntese, minimizando a contaminação química e preservando a qualidade nutricional e sensorial dos frutos (Rodrigues *et al.*, 2022).

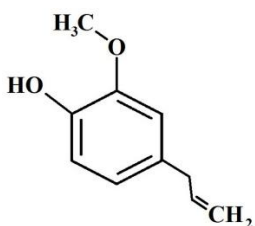
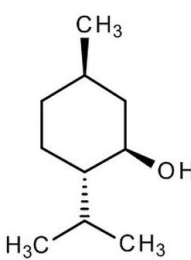
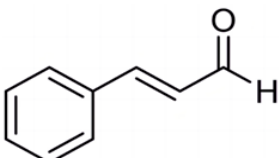
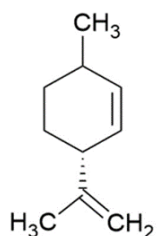
Além disso, o uso combinado de óleos essenciais com tratamentos físicos, como aplicação de calor moderado e sais minerais, tem potencializado sua eficácia, facilitando o manejo integrado na agricultura orgânica e sustentável. O incentivo regulatório e técnico para adoção dessas tecnologias por produtores tem crescido, principalmente diante das crescentes restrições legais aos fungicidas convencionais (Almeida; Nascimento, 2021).

O mecanismo antifúngico mais estudado é a ação sobre a membrana plasmática dos fungos. Compostos lipofílicos como eugenol e aldeído cinâmico penetram a bicamada lipídica,

desorganizando a estrutura da membrana, aumentando sua permeabilidade e provocando vazamento dos componentes intracelulares vitais, íons, proteínas e ácidos nucleicos, resultando em desintegração celular e morte (Mani *et al.*, 2021; Martins *et al.*, 2023)

A Tabela 1, apresenta os principais compostos químicos presentes nos óleos essenciais utilizados, os quais possuem propriedades antimicrobianas e antioxidantes importantes para o controle de deterioração dos morangos.

Tabela 1. Estrutura química dos principais compostos bioativos dos óleos essenciais utilizados.

Óleo essencial	Nome do composto	Estrutura química
Cravo (<i>Syzygium aromaticum</i>)	Eugenol	
Hortelã (<i>Mentha arvensis</i>)	Mentol	
Canela (<i>Cinnamomum cassia</i>)	Aldeído cinâmico	
Limão Siciliano (<i>Citrus limon</i> (L.) Burm)	d- Limoneno	

Fonte: Adaptado de Chen *et al.*, 2024; Peng *et al.*, 2024; Khaldari *et al.*, 2025.

Além dos efeitos diretos nas células, os óleos essenciais influenciam fases críticas do ciclo de vida fúngico, como a germinação dos esporos, a formação de apressórios e o alongamento das hifas (Fincheira *et al.*, 2023). Podem ainda interferir na produção de micélios

e na capacidade de infecção dos fungos. Esses compostos podem inibir a formação de estruturas de reprodução e reduzir a virulência dos fungos, ajudando a controlar seu crescimento e propagação, contribuindo para o potencial dos óleos essenciais no combate a fungos (Campos *et al.*, 2025). Compostos fenólicos e aldeídicos presentes nesses óleos exibem uma notável capacidade de inibir a germinação conidial, uma etapa fundamental para a infecção e colonização dos tecidos vegetais (Li *et al.*, 2023).

Foi demonstrado que o eugenol por exemplo, reduz drasticamente a esporulação, alterando a morfologia dos conídios e enfraquecendo a capacidade do fungo *A. alternata* de colonizar o hospedeiro, sendo o principal componente do óleo essencial de cravo da índia (*S. aromaticum*), reduzindo significativamente a atividade antifúngica contra diversos fungos. Estudos indicam que o eugenol pode reduzir drasticamente a esporulação, alterar a morfologia dos conídios e enfraquecer a capacidade de colonização de fungos como *A. alternata* (Santos *et al.*, 2019; Filipe *et al.*, 2021; Silva *et al.*, 2023).

A Figura 1, traz os principais mecanismos de ação dos óleos essenciais sob os fungos.

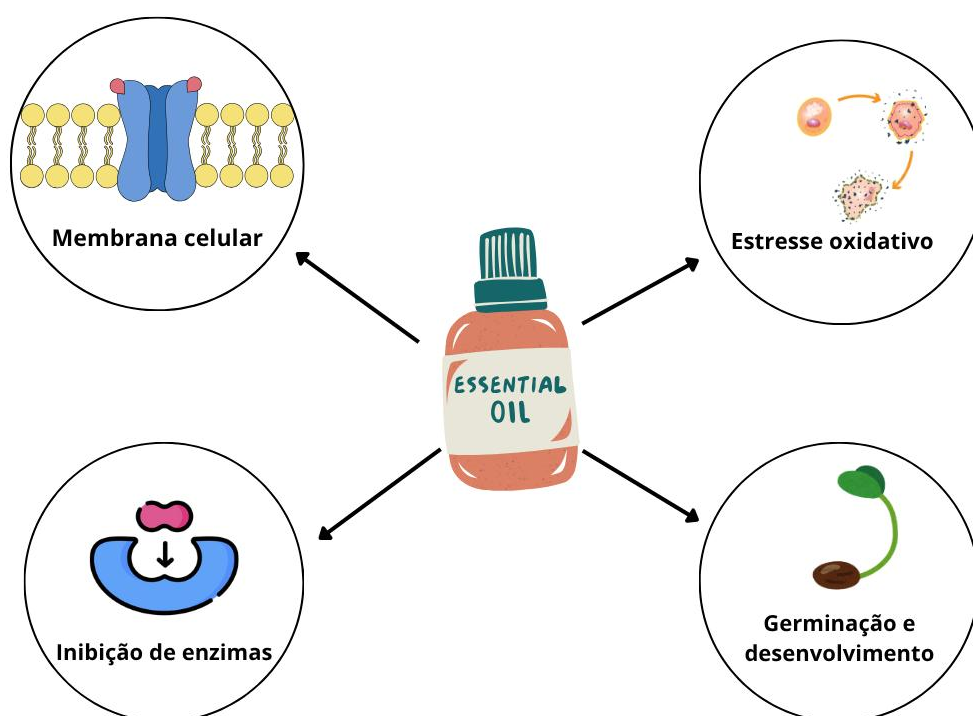


Figura 1. Mecanismo de ação dos óleos essenciais sobre fungos e seus efeitos nos compostos bioativos sobre a estrutura e processos celulares. **Fonte:** Autora, 2025.

Adicionalmente, óleos essenciais induzem estresse oxidativo nos fungos, pela geração excessiva de espécies reativas de oxigênio (ROS), que promovem o malfuncionamento das funções bioquímicas, danos à síntese proteica e genética e apoptose fúngica. Limonoides são

substâncias particularmente potentes nesse mecanismo, comprometendo a viabilidade dos patógenos (Muñoz *et al.*, 2020; Zhang *et al.*, 2023). De acordo com Li *et al.* (2023), estudos com o óleo de melaleuca evidenciaram aumento substancial de ROS intracelulares em *A. alternata*, levando a fragmentação do DNA e colapso mitocondrial, confirmando a indução de apoptose.

Os óleos essenciais interferem nas fases críticas do desenvolvimento dos fungos, incluindo a germinação dos esporos, a formação de estruturas apressoriais e o crescimento micelial, reduzindo a capacidade de infecção e disseminação (Filipe *et al.*, 2021). O eugenol demonstrou diminuir drasticamente a esporulação do *A. alternata*, alterar a morfologia dos conídios e reduzir a virulência, dificultando a colonização dos tecidos hospedeiros (Silva *et al.*, 2023).

A combinação de diferentes óleos tem ampliado o espectro de ação e a eficiência no controle fúngico, o que pode levar à redução da dependência dos fungicidas químicos (Fontana *et al.*, 2020; Castro *et al.*, 2023).

2.5 Legislação Aplicável à Higienização de Frutas no Pós-Colheita

No Brasil, a higienização de frutas no processo pós-colheita constitui uma etapa fundamental para assegurar a segurança microbiológica dos alimentos, prolongar a vida útil dos produtos e preservar suas características sensoriais. Essa prática deve estar em rigoroso alinhamento com as normas estabelecidas pela Agência Nacional de Vigilância Sanitária (ANVISA) e a regulamentação do Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento (MAPA), além de observar as diretrizes internacionais do *Codex Alimentarius*, garantindo conformidade com padrões nacionais e globais de qualidade e segurança de alimentos (FAO/WHO, 2003; Brasil, 2004).

O *Codex Alimentarius*, elaborado pela FAO e OMS, orienta o uso de sanitizantes reconhecidos internacionalmente no manejo de frutas frescas pós-colheita, como ácido peracético, ozônio e hipoclorito de sódio. Além disso, enfatiza a adoção de boas práticas de manuseio e armazenamento, visando reduzir riscos microbiológicos e melhorar a segurança e a qualidade dos frutos durante toda a cadeia produtiva (FAO/WHO, 2003). A RDC nº 275/2002 da ANVISA estabelece requisitos relacionados aos Procedimentos Operacionais Padronizados (POPs) e as Boas Práticas de Fabricação (BPF), em estabelecimentos produtores e industrializadores de alimentos, incluindo procedimentos de higienização e prevenção da contaminação. (Brasil, 2002).

A Instrução Normativa conjunta ANVISA/ MAPA nº 2/2018, estabelece procedimentos de rastreabilidade para produtos vegetais frescos, destinados a alimentação humana contribuindo para o monitoramento e controle de resíduos de agrotóxicos ao longo da cadeia produtiva. Essa normativa orienta a aplicação de estratégias para garantir a rastreabilidade na cadeia produtiva, reforçando a necessidade da higienização dos produtos com soluções sanitizantes validadas quanto à eficácia e da monitorização rigorosa da qualidade da água usada no processo (MAPA, 2018).

A Resolução RDC nº 216/2004 da ANVISA, por sua vez, embora voltada para estabelecimentos de alimentação, complementa o marco regulatório ao recomendar a higienização rigorosa das instalações, utensílios e superfícies em contato com alimentos, utilizando exclusivamente água potável e produtos saneantes registrados. Essa exigência é fundamental para garantir a integridade microbiológica dos frutos manipulados e consumir com segurança (Brasil, 2004).

No âmbito da produção orgânica, a Instrução Normativa MAPA nº 46/2011 regulamenta o uso de substâncias permitidas nos sistemas orgânicos de produção, estabelecendo restrições quanto ao emprego de sanitizantes e exigindo que os insumos utilizados estejam em conformidade com os princípios da produção orgânica. Nesse contexto, alternativas de origem natural, como óleos essenciais e extratos vegetais, somente podem ser empregadas quando devidamente avaliadas quanto à eficácia, segurança e ausência de resíduos prejudiciais, observando os critérios para registro de produtos fitossanitários previstos na Instrução Normativa MAPA nº 40/2010, que contempla inclusive produtos de base biológica voltados ao manejo integrado (MAPA, 2010; MAPA, 2011).

Essa regulamentação se articula com as definições técnicas que fundamentam as práticas sanitárias, como o conceito de desinfecção, entendido como a operação que utiliza métodos físicos e/ou químicos para reduzir, sem necessariamente eliminar esporos, o número de microrganismos presentes em superfícies inanimadas (Brasil, 2013).

Além das normas e instruções mencionadas, recentes normativas federais vêm fortalecendo a Política Nacional de Combate à Perda e ao Desperdício de Alimentos (Lei nº 15.224/2025), instituindo diretrizes que também impactam práticas pós-colheita sustentáveis, incluindo higienização e manejo adequado dos alimentos para minimizar perdas e garantir segurança alimentar (Brasil, 2025).

Nesse contexto, boas práticas de higienização recomendam a inspeção visual criteriosa dos frutos para exclusão de unidades contaminadas, seguida de lavagem em água potável

corrente e posterior imersão em soluções sanitizantes, como água sanitária com hipoclorito de sódio a 1%, assegurando a eliminação de microrganismos superficiais e redução da carga microbiológica (Brasil, 2022).

Apesar dos avanços significativos, permanecem desafios para a aplicação em larga escala dos óleos essenciais, como a padronização dos extratos, altos custos de produção, estabilidade de formulações e avaliação rigorosa de segurança para humanos e meio ambiente. A integração de pesquisas multidisciplinares é essencial para superar essas barreiras, garantindo a viabilidade econômica e eficiência agrônômica. Iniciativas regulatórias e de fomento à agricultura sustentável têm favorecido o desenvolvimento desses produtos naturais, que deverão se integrar cada vez mais nas cadeias produtivas e dos mercados internacionais, atendendo às demandas por alimentos seguros e ambientalmente responsáveis (Costa *et al.*, 2021).

2.6 PRODUÇÃO DE MORANGOS NO BRASIL

O cultivo e o consumo de frutas vêm crescendo significativamente nas últimas décadas, impulsionados pela maior conscientização sobre alimentação saudável e a busca por produtos naturais e frescos. Entre as frutas de maior destaque na horticultura mundial, o morango (*Fragaria × ananassa Duch*) é amplamente valorizado por seu sabor único, suas propriedades nutricionais e seu apelo comercial (Foster, 2021). O morango é rico em vitaminas A, C, E, K, B6, B12, riboflavina, tiamina e niacina, além de minerais essenciais como cálcio, ferro, zinco, magnésio e fósforo (Menezes Júnior *et al.*, 2024). Adicionalmente, apresenta elevados níveis de compostos antioxidantes, tais como os fenólicos, antocianinas e flavonoides, que conferem benefícios à saúde humana pela ação anti-inflamatória e na prevenção de doenças crônicas (Giampieri *et al.*, 2023).

2.6.1 Óleos essenciais com formulações aplicadas em frutas

O Brasil abriga a maior biodiversidade vegetal do planeta, com cerca de 37,7 mil espécies de plantas vasculares descritas, o que corresponde a cerca de 11% das espécies vegetais conhecidas no mundo. Essa riqueza natural sustenta a produção de óleos essenciais provenientes de plantas medicinais e aromáticas, que têm ganhado crescente destaque como agentes naturais no controle de doenças em frutas, especialmente frente ao desafio de resistências e impactos ambientais associados ao uso intensivo de fungicidas químicos (Queiroz *et al.*, 2021).

Vale ressaltar que os óleos essenciais exibem considerável atividade antifúngica contra patógenos causadores da antracnose, como *C. gloeosporioides* e *A. alternata*. Por exemplo, pesquisa de Silva *et al.* (2022), demonstrou que o óleo essencial de cravo (*S. aromaticum*) inibe significativamente o crescimento micelial de *C. gloeosporioides* em testes *in vitro*, devido à presença majoritária do eugenol, composto bioativo associado à ruptura da integridade da membrana celular fúngica.

Outro estudo conduzido por Wang *et al.* (2024), reportou a eficácia do óleo essencial de canela no controle da antracnose em mangas, observando redução expressiva na severidade da doença em frutos tratados, além de inibição da germinação de esporos fúngicos. Complementarmente, Li *et al.* (2023), revisaram diversos componentes químicos dos óleos essenciais, como aldeídos, fenóis e terpenos, que apresentam mecanismos antifúngicos diversificados, incluindo inibição da síntese de ergosterol e indução de danos oxidativos ao patógeno.

O processo de extração dos óleos essenciais geralmente se dá por hidrodestilação ou arraste a vapor e, posteriormente, é realizada Análises cromatográfica para caracterização química detalhada. Essa abordagem assegura a padronização e o controle de qualidade dos produtos, facilitando sua aplicação na agricultura sustentável (Santos *et al.*, 2023). A incorporação de óleos essenciais em sistemas formulados para uso pós-colheita tem mostrado eficácia na redução da incidência da antracnose em frutas tropicais, reduzindo consideravelmente perdas, além de ser uma estratégia ambientalmente responsável (Zhang *et al.*, 2023).

Além dos óleos de canela e cravo, os extratos de hortelã e limão também apresentam atividade antifúngica significativa contra os agentes de podridões pós-colheita (Fernandes *et al.*, 2024). Silva *et al.* (2024), demonstram que a nanoencapsulação aplicada a esses óleos essenciais amplia sua estabilidade, biodisponibilidade e ação antifúngica prolongada, contribuindo para uma maior eficiência nos tratamentos agrícolas.

2.6.2 Aplicação de emulsões de óleos essenciais por imersão e aspersão

Os tratamentos dos frutos no pós-colheita com o uso de emulsões à base de óleos essenciais está além da concentração e à composição química da formulação, mas também ao método utilizado na sua aplicação sobre os frutos. Entre as principais estratégias utilizadas para a aplicação de revestimentos e emulsões destacam-se os métodos de imersão e aspersão, que possibilitam a deposição dos compostos bioativos sobre a superfície dos frutos, favorecendo a

capacidade de adesão e dispersão da emulsão, conforme o método de aplicação, contribuindo para uma distribuição mais uniforme nos frutos (De Oliveria *et al.*, 2021; Shankar *et al.*, 2024).

A técnica pelo método imersão consiste na submersão dos frutos em solução ou emulsão durante determinado tempo, possibilitando o molhamento completo do fruto favorecendo a formação de uma camada relativamente uniforme, seguida, pela drenagem e secagem da superfície (De Oliveria *et al.*, 2021).

Nesta forma de aplicação demanda algumas limitações o método pode demandar maior volume de emulsão e resultar em maior deposição do produto quando comparado à aspersão, estudos de aplicação de óleos essenciais em frutos, a imersão tem sido utilizada por períodos que variam de segundos a alguns minutos, demonstrando que o tempo de exposição constitui uma variável importante na obtenção da resposta antifúngica desejada (Bashir *et al.*, 2023).

O método aspersão, também denominado pulverização, reduz o contato direto entre a emulsão do tratamento e o fruto, aplicação de pequenas gotículas permite reduzir o volume de solução empregada a distribuição das gotas, da distância entre o bico e o fruto, da velocidade de aplicação e da capacidade de molhamento e adesão da emulsão à superfície vegetal, diminuindo o risco de contaminação cruzada observado em sistemas de imersão (Miranda *et al.*, 2024).

2.7 ALTERNATIVAS AO USO DE FUNGICIDAS SINTÉTICOS E PRÁTICAS AGROECOLÓGICAS

O emprego intensivo e frequente de fungicidas sintéticos no controle de doenças fúngicas como a antracnose tem desencadeado importantes consequências negativas, tais como a seleção de isolados resistentes dos fungos, contaminação ambiental por resíduos tóxicos e riscos à saúde humana, considerando efeitos agudos e crônicos (Oliveira *et al.*, 2021). Face a estes fatores, a comunidade científica, produtores e órgãos reguladores têm incentivado cada vez mais a adoção de alternativas naturais, alinhadas às práticas agroecológicas e sustentáveis, que apresentem eficácia e reduzam o impacto ambiental (Santos; Menezes, 2023).

Práticas agroecológicas abrangem um conjunto diversificado de técnicas que visam manter a saúde do solo, fortalecer os sistemas naturais de controle biológico e promover maior resiliência das plantas às doenças. Dentre tais práticas, destacam-se o manejo integrado de pragas e doenças, o plantio consorciado, a rotação de culturas para quebrar ciclos de patógenos, e o uso de agentes biológicos antagonistas, como bactérias do gênero *Bacillus* e fungos micoparasitas (Venzon *et al.*, 2024). O manejo integrado potencializa a sustentabilidade

produtiva ao reduzir consideravelmente a incidência de patógenos e a dependência de agrotóxicos, ampliando ganhos ambientais e sociais (Araújo *et al.*, 2025).

A modernização do monitoramento fitossanitário com utilização de sensores e coleta ativa de esporos possibilita realizar intervenções dirigidas e preventivas, evitando tratamentos desnecessários e assegurando a saúde do ambiente produtivo e dos consumidores (Bahia, 2024; Araújo *et al.*, 2025). Essas tecnologias viabilizam a tomada de decisão baseada em dados reais e contribuem para a maior eficiência das estratégias agroecológicas.

2.8 MORANGOS E SUA PERECIBILIDADE

Contudo, a alta perecibilidade e susceptibilidade a doenças fúngicas representam um desafio significativo para a cadeia produtiva do morango, especialmente durante a fase pós-colheita, quando os frutos apresentam rápida deterioração (Ferreira *et al.*, 2021). A perda de qualidade pós-colheita decorre principalmente de questões fisiológicas e microbiológicas, com a antracnose sendo uma das principais doenças, causada majoritariamente pelo fungo *C. gloeosporioides*, que afeta não só morangos, mas também mangas, mamões, bananas e outras frutas tropicais (Silva *et al.*, 2022). A Figura 2, indica subescala de deterioração de morangos por fungos adotada.



Figura 2. Subescala de deterioração microbiológica de morangos adotada. **Fonte:** Autora, 2025.

A antracnose compromete a qualidade visual do fruto, promovendo manchas negras, necrose e podridão, além de perda de firmeza, reduzindo assim seu valor comercial e aumentando o desperdício na cadeia de distribuição (Pereira *et al.*, 2020). Outros fungos como *A. alternata* e *B. cinerea* são também agentes importantes da deterioração pós-colheita. *Alternaria* é responsável por podridões escuras e crescimento fúngico, enquanto *Botrytis*, causador da podridão cinzenta, é particularmente prevalente em morangos armazenados sob refrigeração, sendo seu desenvolvimento favorecido por condições de alta umidade (Myresiotis *et al.*, 2020; Silva *et al.*, 2021). Entre as espécies de *Colletotrichum* causadora da antracnose em morangos levando a deteriorações dos frutos o *C. gloeosporioides* é o predominante na China, com *C. siamense*, *C. fructicola* e *C. aenigma* como os principais patógenos (Zhang *et*

al.,2020, Hu *et al.*, 2022; Jian *et al.*, 2021). No Brasil o *C. nymphaeae* predomina em macieiras, mas também foi identificada em morangueiros em Santa Catarina, com conídios predominantemente fusiformes (Soares *et al.*, 2025).

As perdas econômicas causadas pela antracnose nos morangos podem atingir até 80% da produção em condições desfavoráveis, acarretando prejuízos consideráveis para os produtores e para o mercado consumidor. A rápida degradação dos frutos devido a essas doenças dificulta o transporte e armazenamento, requerendo o desenvolvimento de práticas eficazes de controle e preservação (Ciofini *et al.*, 2022).

A Região Sul lidera a produção nacional de morango, sendo essa cultura fundamental para pequenos produtores. Entretanto, observa-se queda gradual na produtividade, atribuída principalmente à pressão de patógenos fitossanitários. O impacto econômico da antracnose é expressivo, envolvendo perdas diretas de frutos, desvalorização comercial por alterações visuais e sensoriais, além de custos elevados com controle químico e biológico (Barbosa *et al.*, 2022). Em condições favoráveis ao patógeno, as perdas podem ultrapassar 50% da produção, comprometendo a competitividade do produto brasileiro no mercado interno e internacional (Verde *et al.*, 2024).

O essencial para mitigar esses impactos é a implementação de tecnologias e práticas postas a partir do manejo integrado que envolvem controle fitossanitário, uso de agentes naturais e inovação em processos de armazenagem (Silva *et al.*, 2023). Ademais, o monitoramento constante dos patógenos e condições ambientais, aliado à aplicação de tratamentos pré e pós-colheita, garante maior controle das doenças e prolongamento da vida útil do morango (Castro *et al.*, 2023).

Assim, a sustentabilidade da cadeia produtiva do morango depende não só da valorização do fruto pela sua riqueza nutricional e benéfica para a saúde humana, mas também da capacidade de enfrentar os desafios da perecibilidade e dos agentes patogênicos, buscando melhorar a eficiência, reduzir perdas e ampliar o acesso a mercados diferenciados nacional e internacionalmente (Giampieri *et al.*, 2023; Menezes Júnior *et al.*, 2024).

CAPÍTULO I

AVALIAÇÃO DE OLEOS ESSENCIAIS *IN VITRO* APLICADA NO CONTROLE DA ATIVIDADE ANTIFUNGICA

3. INTRODUÇÃO

A fruticultura representa uma das principais forças da exportação agrícola brasileira, tendo conquistado destaque expressivo no cenário global. Segundo dados da Embrapa, o Brasil ocupou, em 2025, a terceira posição entre os maiores produtores mundiais de frutas, com produção aproximada de 58 milhões de toneladas, ficando atrás apenas da China e da Índia (Gerum *et al.*, 2021; Infoteca-e, 2025). Essa expressiva produção evidencia a relevância do setor, podendo ser ainda maior porem um problema recorrente: a antracnose, uma das principais doenças pós-colheita que afetam frutas como morango, mamão, banana e manga. Causada por diferentes espécies de fungos, a antracnose compromete o rendimento produtivo, reduz a qualidade dos frutos e provoca prejuízos econômicos significativos ao setor, limitando o desenvolvimento da indústria de frutas e a competitividade do mercado (Radice *et al.*, 2025).

De acordo com Janssen *et al.* (2024), a antracnose constitui um desafio crescente na preservação de frutas tropicais, com perdas que podem ultrapassar 50% da produção entre a colheita e o consumo final. A antracnose tem sido tradicionalmente controlada por fungicidas químicos combinados com tratamentos térmicos, porém o uso prolongado dessas substâncias gera impactos ambientais preocupantes e riscos à saúde humana, contaminando ecossistemas terrestres e aquáticos e para a saúde humana doenças crônicas como câncer, doenças respiratórias incluindo asma, problemas neurológicos e endócrinos. (Zhou *et al.*, 2024, De Oliveria *et al.*, 2025). Desde 2008, Brasil é considerado o maior consumidor de agrotóxico do mundo segundo dados da Fiocruz, 2021, cerca de 15% dos alimentos possuem resíduos de contaminação já monitorados pelos programas e base de dados científicos (Barroso *et al.*, 2025, Silva *et al.*, 2021).

Além da antracnose temos a alternarioses em frutas no Brasil, afetando principalmente em tangerinas e híbridos pela mancha marrom de *Alternaria* (MMA), causada por *Alternaria alternata*, descrita pela primeira vez no Rio de Janeiro em 2001 e logo em seguida em São Paulo (Condé, *et al.*, 2024, Carraro *et al.*, 2025). A doença causa lesões necróticas em folhas, ramos e frutos, resultando em queda prematura de frutos e perdas econômicas.

A busca por alternativas naturais ao uso de fungicidas sintéticos levou ao desenvolvimento de sanitizantes à base de óleos essenciais, compostos naturais voláteis

extraídos de diferentes partes das plantas, como folhas, flores, cascas e sementes, ricos em substâncias bioativas com propriedades antimicrobianas, antioxidantes e antifúngicas. Essa abordagem tem se mostrado promissora para o controle da antracnose e de outras doenças fúngicas que comprometem o armazenamento pós-colheita (Gerum *et al.*, 2021).

Estudos recentes demonstram que diferentes óleos essenciais apresentam atividade antifúngica contra importantes patógenos, o OE de canela e cravo, o óleo essencial de limão siciliano contém d-limoneno em alta concentração (65-70% de sua composição), exibindo efeito antimicrobiano notável (De Oliveira *et al.*, 2025). O mentol altera a permeabilidade da membrana microbiana, interferindo na sobrevivência fúngica e bacteriana. Outros óleos, como o de capim-limão (*Cymbopogon citratus*), rico em citral, também evidenciam eficácia antifúngica acentuada, sendo capazes de bloquear a germinação de esporos e o crescimento micelial ao interferir na síntese de ergosterol da membrana fúngica (Pansera *et al.*, 2025).

Zhang *et al.* (2023), realizaram um estudo com *C. gloeosporioides*, confirmando que o eugenol induz poros na membrana hialina, causando o colapso de hifas e a interrupção da germinação dos conídios. Em *A. alternata*, a exposição a terpenos provoca danos morfológicos extensos na parede e membrana celulares, evidenciados por microscopia eletrônica de varredura (Lee *et al.*, 2024). Complementarmente, os óleos essenciais afetam enzimas-chaves como ATPase, enzimas glicolíticas e as envolvidas na síntese do ergosterol, essencial para a integridade da membrana fúngica, comprometendo a bioenergética e a proliferação microbiana. O terpinen-4-ol e o mentol destacam-se pela capacidade de interferir na biossíntese do ergosterol, causando alterações irreversíveis nos fungos (Li *et al.*, 2023).

O Óleo de canela (*C. cassia*) e cravo (*S. aromaticum*) se destacam pelo elevado potencial antifúngico. Xing *et al.* (2014) demonstraram que o óleo de canela inibe *Fusarium verticillioides* de forma mais eficaz que o citral e outros óleos testados, efeito atribuído ao cinamaldeído, seu componente majoritário, capaz de comprometer a integridade da membrana celular fúngica (Devecioglu *et al.*, 2022). De forma complementar, Bouslama *et al.* (2024) verificaram que o óleo de cravo, rico em eugenol, apresentou elevada atividade antimicrobiana e antioxidante, especialmente em formulações nanoemulsionadas associadas ao óleo de canela, promovendo efeito sinérgico no controle de microrganismos patogênicos e maior estabilidade microbiológica durante o armazenamento.

Além dos óleos de canela e cravo, o óleo essencial de limão siciliano contém limoneno em alta concentração (65-70% de sua composição), exibindo efeito antimicrobiano notável (De Oliveira *et al.*, 2025). O mentol altera a permeabilidade da membrana microbiana, interferindo

na sobrevivência fúngica e bacteriana. Outros óleos, como o de capim-limão (*Cymbopogon citratus*), rico em citral, também evidenciam eficácia antifúngica acentuada, sendo capazes de bloquear a germinação de esporos e o crescimento micelial ao interferir na síntese de ergosterol da membrana fúngica (Pansera *et al.*, 2025).

Desta maneira a avaliação da atividade antifúngica *in vitro* dos óleos essencial de cravo (*Syzygium aromaticum*), o óleo de canela (*Cinnamomum cassia*), o de menta (*Mentha arvensis*), e o óleo de limão-siciliano (*Citrus limon*), individualmente e em combinação da emulsão formulada, com diferentes concentrações, para determinar seu potencial de inibição sobre fungos *Colletotrichum gloeosporioides* e *Alternaria alternata* que são agentes antimicrobianos naturais e vêm se destacando, visto que sua ação é tanto fungistática como fungicida.

3.1 OBJETIVOS

3.1.1 OBJETIVO GERAL

Avaliar o efeito temporal antifúngico de óleos essenciais, isolados e combinados, em diferentes concentrações, sobre os fungos *C. gloeosporioides* e *A. alternata*.

3.1.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Determinar a atividade antifúngica individual dos quatro óleos essenciais de Cravo botão (*S. aromaticum*), menta (*M. arvensis*), canela (*C. cassia*) e limão-siciliano (*C. limon*) frente aos fungos *C. gloeosporioides* e *A. alternata*;
- Comparar a resposta antifúngica em função dos diferentes volumes aplicados e do tempo de incubação.
- Avaliar a atividade antifúngica da associação dos quatros óleos essenciais frente aos dois fungos.

3.2 METODOLOGIA

Os experimentos foram conduzidos na Universidade Federal da Grande Dourados (UFGD), no laboratório de Biotecnologia Aplicada do bloco multidisciplinar.

3.2.1 ANÁLISES MICROBIOLÓGICAS

3.2.2 *Preparo do meio de cultura*

Inicialmente foram pesados 39 g de meio Ágar Batata Dextrose (BDA) para 1000 mL de água destilada. O meio foi aquecido em micro-ondas utilizando béquer com agitação frequente, dissolvendo todo o meio; em seguida, foi esterilizado, transferindo o meio para Erlenmeyer tampado e autoclavado a 121 °C por 20 minutos. Após o resfriamento a aproximadamente 37 °C, foi adicionado 1 g/L de antibiótico Amoxicilina da marca CIMED, para inibir crescimento bacteriano. O meio preparado foi então vertido, em placas de Petri estéreis padronizadas, com 20 mL de meio cada, e, após a solidificação, armazenado em sacos plásticos identificados sob refrigeração a 2 °C.

3.2.3 *Preparo da solução salina 0,85%*

Para o preparo da solução salina 0,85% estéril, foram utilizados 0,85 g de cloreto de sódio (NaCl) para 100 mL de água destilada; logo após a solução foi transferida para frasco de erlenmeyer (250 mL) com tampo e esterilizada em autoclave a 121 °C por 20 minutos.

3.2.4 *Preparo da emulsão para análises microbiológicas*

Para a formulação da emulsão contendo 1% OEs, foram utilizados 0,25 mL de cada óleo essencial Cravo botão (*S. aromaticum*), Menta arvensis (*M. arvensis*), Canela (*C. cassia*) e Limão siciliano (*C. limon*), totalizando 1,0 mL da mistura (proporção 1:1:1:1). Posteriormente, adicionou-se 0,5 mL de Tween 80, como agente surfactante, e água destilada em quantidade suficiente para completar o volume de 100mL. A mistura foi homogeneizada em agitador magnético durante 3 minutos. Após o preparo, a emulsão foi acondicionada em tubos cônicos de polipropileno de 50 mL estéril, devidamente fechados, e mantida sob refrigeração a 5 ± 1 °C até o momento da utilização.

3.2.5 *Microrganismos*

O fungo *C. gloeosporioides*, foi cedido gentilmente para pesquisa vindo da Universidade Federal de Lavras - UFLA, sob o número de linhagem 2339, o fungo *A. alternata* adquirido da

micoteca da Universidade Federal de Pernambuco - UFPE, sob o número linhagem 5641, prestadora de serviço no fornecimento de amostras fúngicas para instituições de ensino.

3.2.6 Óleos essenciais

Os óleos essenciais utilizados no estudo foram adquiridos da fabricante Ferquima Industria e Comércio Ltda, possuem garantia de pureza e certificação de qualidade com sede no município de Vargem Grande Paulista- SP. Os OEs testados indicado na Tabela 2.

Tabela 2. Laudo técnico dos óleos essenciais e seus principais componentes

Nome Científico	Nome comum	Principais compostos	Obtenção/ Extração
<i>Citrus limon</i> (L.) Burm	Limão Siciliano	d-limoneno 67,04% Citral 1,72%	Prensagem a frio das cascas dos frutos
<i>Syzygium aromaticum.</i>	Cravo Botão	Eugenol 81,84% Acetato Eugenila 9,66% Beta-cariofileno 6,31% Alfa-humuleno 2%	Destilação a vapor dos botões
<i>Mentha arvensis</i>	Menta japonesa, Hortelã do Brasil, Hortelã do campo	Mentol 41,16% Mentona 21,01% Isomentona 10,51% Neomentol 3,71% Acetato de mentila 3,39% Limoneno 3,72%	Destilação a vapor das folhas
<i>Cinnamomum cassia</i>	Canela cássia	Aldeído cinâmico 87% Cumarina 2% Benzaldeído 1% Álcool cinamílico 1 %	Destilação a vapor das folhas, talos, casca

Fonte: Ferquima Industria, 2025.

3.2.7 Testes antifúngicos

Os isolados fúngicos foram cultivados em meio BDA e incubados a 28° C até a obtenção de colônias esporuladas, cerca de 5-7 dias. Após o crescimento, os esporos foram coletados das culturas frescas com auxílio da alça descartáveis e suspensos em solução salina estéril 0,85%, obtendo-se densidade óptica de 0,09 a 0,13 padronizada no espectrofotômetro a 530 nm. Posteriormente, 100 µL da suspensão foram distribuídas uniformemente sobre a placa do meio BDA em placas de petri estéreis adaptada a norma (CLSI, 2000). Discos de papel filtro estéreis com 6 mm de diâmetro foram posicionados no centro da placa em triplicata com diferentes volumes dos óleos essenciais: 10 µL, 25 µL, 50 µL e 100 µL, além da placa controle sem

nenhum óleo essencial. As placas foram incubadas em câmara de BOD a 28 °C. Assim, após 24, 48, 72 e 120 horas de incubação, a atividade antifúngica foi avaliada e determinada pela formação de halos de inibição ao redor dos discos contendo os óleos essenciais.

O diâmetro do halo de inibição foi determinado pela distância do crescimento micelial atingindo as bordas da placa, além placa sem nenhum óleo essencial com solução de esporos para controle positivo, o diâmetro dos halos foi mensurado com auxílio de paquímetro digital expressos em milímetros (mm), conforme mensurado na Figura 3 quando o crescimento atingiu as bordas halo sem formação de zona de inibição foi considerado nulo.

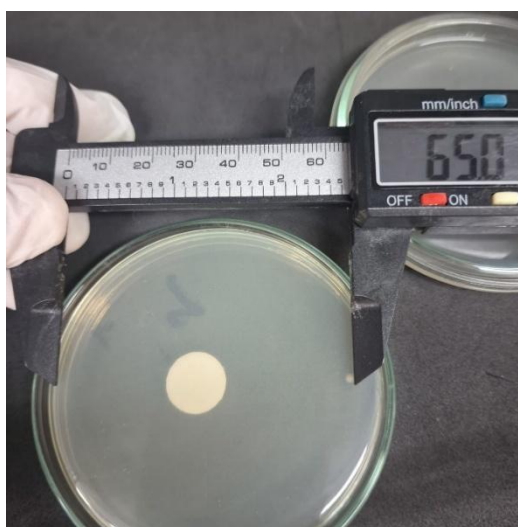


Figura 3. Modelo de mensuração em (mm). **Fonte:** Autora, 2026.

Quando a zona não é perfeitamente circular o halo de inibição foram expressos como média de dois diâmetros perpendiculares e calculado de acordo com a Equação 1:

(1)

$$HI = \frac{D1 + D2}{2}$$

Onde:

HI= halo de inibição médio (mm),

D1= maior diâmetro do halo de inibição (mm),

D2= diâmetro perpendicular ao maior diâmetro (mm).

(Prya *et al.*, 2023)

3.3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

3.3.1 ATIVIDADE ANTIFÚNGICA DOS ÓLEOS ESSENCIAIS ISOLADOS

A Tabela 3, apresenta os halos de inibição obtidos para os óleos essenciais de cravo, canela, menta e limão frente aos fungos *C. gloeosporioides* e *A. alternata*, avaliados pelo método de difusão em disco em diferentes tempos de incubação e concentrações.

Tabela 3. Halo de inibição (mm) dos óleos essenciais, frente a *Colletotrichum* e *A. Alternata* durante 120 horas.

	24h										
	Colletotrichum					CT	Alternaria				CT
OE (µL)	10 µL	25 µL	50 µL	100 µL	0	10 µL	25 µL	50 µL	100 µL	0	
Cravo	-	-	-	-	*	-	-	-	-	*	
Canela	-	-	-	-	*	-	-	-	-	*	
Menta	-	-	-	-	*	-	-	-	-	*	
Limão	-	-	-	-	*	-	-	-	-	*	
	48h										
Óleos essências		Cepas									
Colletotrichum					CT	Alternaria				CT	
OE (µL)	10 µL	25 µL	50 µL	100 µL	0	10 µL	25 µL	50 µL	100 µL	0	
Cravo	35	44	65	75	*	55	65	75	75	*	
Canela	60	65	75	75	*	75	75	75	75	*	
Menta	20	45	75	75	*	22	50	75	75	*	
Limão	33	40	75	75	*	50	65	75	75	*	
	72h										
Óleos essências		Cepas									
Colletotrichum					CT	Alternaria				CT	
OE (µL)	10 µL	25 µL	50 µL	100 µL	0	10 µL	25 µL	50 µL	100 µL	0	
Cravo	75	75	75	75	*	75	75	75	75	*	
Canela	75	75	75	75	*	75	75	75	75	*	
Menta	30	44	75	75	*	44	65	75	75	*	
Limão	43	50	75	75	*	60	65	75	75	*	
	96h										
Óleos essências		Cepas									
Colletotrichum					CT	Alternaria				CT	
OE (µL)	10 µL	25 µL	50 µL	100 µL	0	10 µL	25 µL	50 µL	100 µL	0	
Cravo	75	75	75	75	*	75	75	75	75	*	
Canela	75	75	75	75	*	75	75	75	75	*	
Menta	75	75	75	75	*	75	75	75	75	*	
Limão	75	75	75	75	*	75	75	75	75	*	
	120h										
Óleos essências		Cepas									
Colletotrichum					CT	Alternaria				CT	
OE (µL)	10 µL	25 µL	50 µL	100 µL	0	10 µL	25 µL	50 µL	100 µL	0	
Cravo	75	75	75	75	*	75	75	75	75	*	
Canela	75	75	75	75	*	75	75	75	75	*	

Menta	75	75	75	75	*	75	75	75	75	*
Limão	75	75	75	75	*	75	75	75	75	*

Legenda: CT (*): Placa controle sem adição de óleo essencial, com crescimento fúngico, (-) placas sem crescimento fúngico. **Fonte:** Autora, 2026.

Conforme observado na Tabela 3, nas primeiras 24 horas de incubação não houve formação de halos de inibição para nenhum dos tratamentos avaliados. A ausência de atividade visível nesse período sugere que os fungos incubados, apenas não iniciaram o crescimento e esporulação dos esporos.

Em 48 horas de incubação, o óleo essencial de canela apresentou maior atividade até nos maiores volumes. Frente a *C. gloeosporioides*, os halos atingiram 60, 65, 75 e 75 mm dos OEs de 10, 25, 50 e 100 µL, respectivamente. Para *A. alternata*, observou-se inibição máxima de 75 mm em todas tratamentos testadas.

Os compostos bioativos presentes nos óleos essenciais necessitaram de maior tempo para difusão no meio de cultura e interação com as estruturas celulares dos fungos. Segundo Bakkali *et al.* (2008), a eficácia antimicrobiana dos óleos essenciais depende da disponibilidade dos compostos ativos e de sua capacidade de penetrar nas membranas celulares dos microrganismos.

Esse resultado evidencia elevada sensibilidade de *A. alternata* ao óleo de canela e confirma o elevado potencial antifúngico do aldeído cinâmico, composto majoritário desse óleo essencial. De acordo com Wang *et al.* (2024), o aldeído cinâmico atua provocando danos à membrana celular dos fungos, alterando sua permeabilidade e comprometendo processos metabólicos essenciais.

Ainda na avaliação de 48 horas (Tabela 3), o óleo essencial de cravo apresentou halos variando entre 35 e 75 mm para *C. gloeosporioides* e entre 55 e 75 mm para *A. alternata*. Os resultados demonstram efeito dependente da concentração, sendo observada possível maior atividade antifúngica à medida que ocorreu aumento da quantidade de óleo aplicada.

A ação antifúngica do cravo está associada principalmente à elevada concentração de eugenol presente em sua composição. Silva *et al.* (2023), relatam que esse composto promove desorganização da membrana plasmática e inibição do crescimento micelial de diversos fungos fitopatogênicos.

Os óleos essenciais de limão e menta também apresentaram atividade antifúngica após 48 horas. O óleo de limão produziu halos variando de 33 a 75 mm para *C. gloeosporioides* e de 50 a 75 mm para *A. alternata*. Já o óleo de menta apresentou os menores halos observados nesse período, variando de 20 a 75 mm para *C. gloeosporioides* e de 22 a 75 mm para *A. alternata*.

Apesar da menor eficiência inicial da menta, observou-se aumento progressivo da atividade antifúngica conforme o aumento da concentração. Resultados semelhantes foram descritos por Ferreira *et al.* (2022), que identificaram atividade antifúngica significativa para óleos ricos em mentol, embora geralmente inferior à observada para compostos fenólicos como eugenol e aldeído cinâmico.

Na avaliação realizada após 72 horas (Tabela 3), observou-se aumento expressivo da atividade antifúngica para todos os tratamentos. Os óleos de canela e cravo atingiram halos máximos da placa de 75 mm para ambos os fungos e em todas as concentrações avaliadas. O óleo de limão apresentou halos entre 43 e 75 mm para *C. gloeosporioides* e entre 60 e 75 mm para *A. alternata*, enquanto a menta apresentou halos entre 30 e 75 mm para *C. gloeosporioides* e entre 44 e 75 mm para *A. alternata*.

Esses resultados demonstram que o aumento do tempo de exposição favoreceu significativamente a ação dos compostos bioativos presentes nos óleos essenciais. Lee *et al.* (2020), destacam que os constituintes dos óleos essenciais atuam progressivamente sobre estruturas celulares dos fungos, provocando alterações irreversíveis que culminam na interrupção do crescimento micelial.

Nas avaliações realizadas em 120, 144 e 168 horas (Tabela 4), todos os tratamentos atingiram halos máximos de 75 mm para ambas as espécies fúngicas e em todas as concentrações avaliadas. Esse resultado demonstra completa inibição do crescimento dos fungos nas condições experimentais utilizadas.

<i>Colletotrichum</i>					<i>Alternaria</i>			
Concentração de OE em µL	10 µL	25 µL	50 µL	100 µL	10 µL	25 µL	50 µL	100 µL
Cravo								
Canela								
Menta								
Limão								

<i>Colletotrichum</i>		<i>Alternaria</i>	
CT Positivo	CT Negativo	CT Positivo	CT Negativo
			

Figura 4. Atividades antifúngicas dos óleos essenciais, expressas por halos de inibição, após 48h. Controle (CT) positivo placa com crescimento fúngico, controle (CT) negativo placa com Óleo essencial. **Fonte:** Autora, 2026.

A manutenção da atividade antifúngica ao longo do período experimental evidencia a estabilidade dos compostos presentes nos óleos essenciais e reforça seu potencial como alternativa natural para o controle de patógenos pós-colheita. Resultados semelhantes foram observados por Costa *et al.* (2021) e Radice *et al.* (2025), que destacam os óleos de canela, cravo e cítricos entre os mais promissores para o controle de espécies de *Colletotrichum* e *Alternaria*.

3.3.2 ATIVIDADE ANTIFÚNGICA DA EMULSÃO CONTENDO OS QUATRO ÓLEOS ESSENCIAIS

A Tabela 4, apresenta os resultados obtidos para a emulsão formulada pela combinação dos óleos essenciais de canela, cravo, limão e menta frente aos fungos avaliados.

Tabela 4. Atividade antifúngica da emulsão dos óleos essenciais, expressas por halo de inibição (mm) frente aos microrganismos testes *C.gloeosporioides* e *A. alternata* isolados pela técnica de difusão em disco.

OE (µL)	<i>Colletotrichum</i>				<i>CT</i>	<i>Alternaria</i>				<i>CT</i>
	24 h	48 h	72h	120 h	24 - 120h	24 h	48 h	72 h	120 h	24 - 120h
10 µL	-	7	10	35	-	-	50	75	75	-
25 µL	-	9	30	75	-	-	55	75	75	-
50 µL	-	15	75	75	-	-	70	75	75	-
100 µL	-	29	75	75	-	-	75	75	75	-

Fonte: Autora, 2026.

Conforme observado na Tabela 4, não houve formação de halos de inibição nas primeiras 24 horas para nenhuma das concentrações avaliadas. Entretanto, após 48 horas, verificou-se o início da atividade antifúngica da emulsão, com halos variando entre 7 e 29 mm para *C. gloeosporioides* e entre 50 e 75 mm para *A. alternata*.

Após 72 horas, observou-se aumento significativo da atividade antifúngica. Os OEs de 50 µL e 100 µL atingiram halos máximos de 75 mm para ambos os fungos, enquanto as menores concentrações apresentaram crescimento progressivo da inibição.

Na avaliação de 120 horas, as concentrações de 25, 50 e 100 µL promoveram inibição total de *C. gloeosporioides*, enquanto todas as concentrações atingiram halo máximo para *A. alternata*.

Os resultados demonstram que *A. alternata* apresentou maior sensibilidade à emulsão quando comparada a *C. gloeosporioides*, especialmente nas menores concentrações testadas. Com isso, observou-se que os óleos essenciais combinados da emulsão apresentaram melhores resultados de atividade antifúngica a partir da concentração 50 µL frente ao fungo *C. gloeosporioides*, enquanto ao fungo *A. alternata* a inibição foi evidenciada nas menores

concentrações avaliadas, semelhante ao observado nos resultados do teste com os óleos isolados, indicando maior sensibilidade de *A. alternata*. Esses resultados sugerem um elevado potencial antifúngico observado, reforçando a eficácia da combinação da emulsão no controle antifúngico como estratégia promissora.

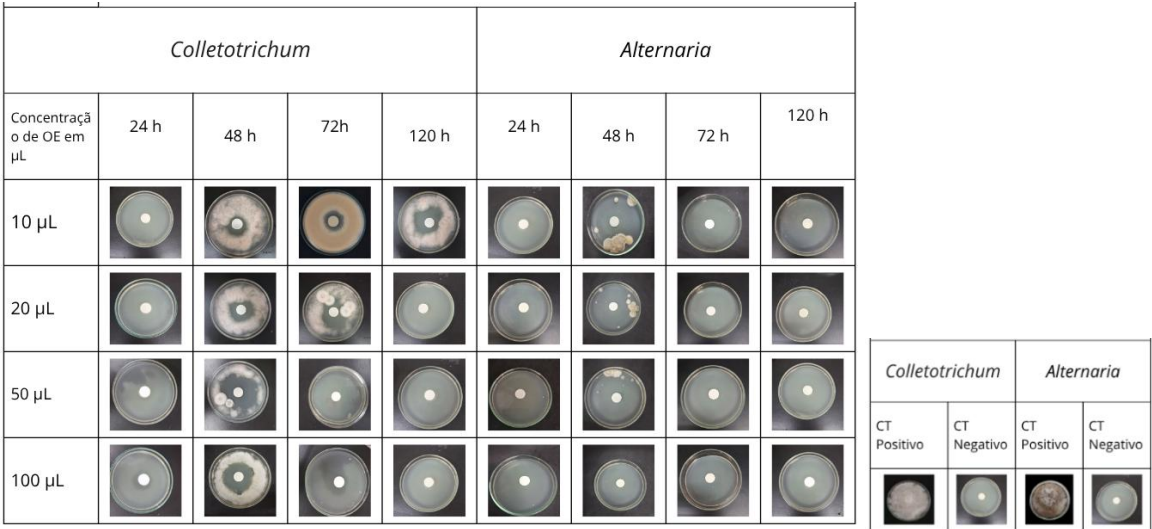


Figura 5. Atividade antifúngica da emulsão dos óleos essenciais, expressas por halo de inibição frente aos microrganismos testes isolados pela técnica de difusão em disco. Controle (CT) positivo placa com crescimento fúngico, controle (CT) negativo placa com Óleo essencial. **Fonte:** Autora, 2026.

A elevada eficiência observada para a emulsão sugere ocorrência de um suposto efeito sinérgico entre os compostos bioativos presentes nos diferentes óleos essenciais. Segundo Li *et al.* (2023), misturas de óleos essenciais podem ampliar o espectro de ação antifúngica por atuarem simultaneamente em diferentes alvos celulares. Da mesma forma, Pereira *et al.* (2024) relatam que a associação entre compostos fenólicos, aldeídos aromáticos e monoterpenos potencializa os mecanismos de inibição microbiana.

3.4 CONCLUSÃO

Os resultados obtidos neste estudo demonstraram que os óleos essenciais testados por ensaios *in vitro*, canela, cravo, limão e menta possuem atividade antifúngica frente aos fitopatógenos *C. gloeosporioides* e *A. alternata*, evidenciando seu potencial como agentes naturais para o controle de doenças pós-colheita. Nas primeiras 24 horas de incubação não houve formação de halos de inibição, devido ao tempo de crescimento fúngico, após verificou-se que, a partir de 48 horas, todos os tratamentos passaram a apresentar atividade antifúngica, indicando que o tempo de difusão e de interação dos compostos bioativos com as estruturas celulares dos fungos exerce influência direta sobre sua eficácia.

Entre os óleos essenciais avaliados individualmente, os óleos de canela e cravo apresentou o desempenho, principalmente frente a *A. alternata*, promovendo halos máximos de inibição já nas menores concentrações testadas. Comportamento atribuído à ação do eugenol, aldeído cinâmico compostos fenólico amplamente descrito como um potente agente antifúngico. Os óleos de limão e menta, embora tenham apresentado resposta inicial menos intensa, demonstraram aumento progressivo da atividade ao longo do período experimental, alcançando níveis máximos de inibição após maior tempo de exposição. Todas as formulações alcançaram halos máximos de inibição nas avaliações realizadas a partir de 120 horas, indicando completa supressão do crescimento micelial nas condições experimentais empregadas.

Em relação à emulsão formulada pela associação dos quatro óleos essenciais, verificou-se desempenho igualmente promissor. Apesar de apresentar atividade inicial inferior à observada para o óleo de canela isolado, principalmente frente a *C. gloeosporioides*, a emulsão apresentou aumento progressivo da atividade antifúngica, alcançando inibição total do crescimento dos fungos a partir das concentrações de 50 µL.

Dessa forma, conclui-se que os óleos essenciais avaliados, especialmente o óleo essencial de canela, bem como a emulsão composta pela associação dos quatro óleos, apresentam elevado potencial para o desenvolvimento de alternativas naturais e tecnologias destinadas ao controle da antracnose e de outras doenças fúngicas em frutas, contribuindo para sistemas de produção mais seguros, sustentáveis e alinhados às demandas atuais por métodos naturais de conservação pós-colheita.

CAPÍTULO II

ELABORAÇÃO E APLICAÇÃO DE EMULSÕES COM ÓLEOS ESSENCIAIS EM MORANGOS (*Fragaria* × *ananassa* Duch)

RESUMO

O armazenamento pós-colheita de morangos representa um desafio devido à elevada perecibilidade do fruto e à sua sensibilidade às condições de temperatura e umidade, fatores que favorecem perdas físicas, microbiológicas e sensoriais. Nesse contexto, o controle da deterioração pós-colheita por meio de emulsões naturais surge como alternativa sustentável aos compostos químicos tradicionalmente utilizados. Assim, este trabalho teve como objetivo avaliar os efeitos de emulsões à base de óleos essenciais de limão siciliano (*Citrus limon*), cravo botão (*Syzygium aromaticum*), canela (*Cinnamomum cassia*) e menta (*Mentha arvensis*), comparando-as a um sanitizante comercial à base de hipoclorito de sódio na conservação pós-colheita de morangos. Os frutos foram submetidos a seis tratamentos: controle sem sanitização (T1), sanitizante comercial (T2), emulsão de óleos essenciais a 0,5% aplicada por aspersão (T3), emulsão a 1,0% por aspersão (T4), emulsão a 0,5% por imersão (T5) e emulsão a 1,0% por imersão (T6). Após os tratamentos, os morangos foram armazenados sob refrigeração entre 3 a 7 °C, com umidade relativa aproximada de 85%, durante períodos de até 13 dias. Foram realizadas Análises físico-químicas, microbiológicas e visuais, incluindo perda de massa, sólidos solúveis totais, acidez titulável, pH, parâmetros de cor, desenvolvimento fúngico e conservação visual dos frutos. A avaliação microbiológica foi conduzida pelo método de rolagem direta em placas contendo meio BDA, seguido de incubação a 28 °C por sete dias. Os resultados da primeira etapa indicaram desempenho superior dos tratamentos por aspersão em relação aos tratamentos por imersão, especialmente quanto à conservação visual, estabilidade da cor e controle do desenvolvimento microbiano. Dessa forma, T3 e T4 foram selecionados para a segunda etapa, juntamente com T1 e T2. O tratamento T4 destacou-se pela menor perda de massa, enquanto T3 apresentou melhor manutenção das características cromáticas dos frutos. As avaliações visuais evidenciaram menor ocorrência de enrugamento, escurecimento e deterioração nos frutos tratados por aspersão. Os resultados demonstram que as emulsões de óleos essenciais, particularmente quando aplicadas por aspersão, apresentam potencial para preservar a qualidade dos morangos durante o armazenamento refrigerado, constituindo uma alternativa natural e sustentável aos métodos convencionais de conservação pós-colheita. Demonstrando que os tratamentos contendo óleos essenciais apresentaram atividade antifúngica significativa em relação ao controle, reduzindo o crescimento de fungos. Os maiores índices de inibição foram observados nos tratamentos por aspersão, com destaque para T3 (96,7%) e T4 (95,7%), superiores ao sanitizante comercial (85,7%). Os tratamentos por imersão também apresentaram redução do crescimento microbiano, embora com menor eficiência. Nas Análises físico-químicas, os tratamentos por aspersão contribuíram para menor perda de massa, melhor estabilidade dos parâmetros de cor e maior preservação da qualidade visual dos frutos ao longo do armazenamento refrigerado. Conclui-se que as emulsões de óleos essenciais demonstraram elevado potencial como sanitizantes naturais para conservação pós-colheita de morangos, constituindo alternativa sustentável ao sanitizante comercial, especialmente quando aplicadas por aspersão.

Palavras-chave: Óleos essenciais; Avaliação Microbiológicas; Emulsões; Morangos.

ABSTRACT

Postharvest storage of strawberries represents a challenge due to the high perishability of the fruit and its sensitivity to temperature and humidity conditions, which favor physical, microbiological, and sensory losses. In this context, the control of postharvest deterioration through natural emulsions emerges as a sustainable alternative to the chemical compounds traditionally used. Therefore, this study aimed to evaluate the effects of emulsions based on essential oils of Sicilian lemon (*Citrus limon*), clove bud (*Syzygium aromaticum*), cinnamon (*Cinnamomum cassia*), and mint (*Mentha arvensis*), comparing them with a commercial sanitizer based on sodium hypochlorite for the postharvest conservation of strawberries. The fruits were subjected to six treatments: non-sanitized control (T1), commercial sanitizer (T2), 0.5% essential-oil emulsion applied by spraying (T3), 1.0% essential-oil emulsion applied by spraying (T4), 0.5% essential-oil emulsion applied by immersion (T5), and 1.0% essential-oil emulsion applied by immersion (T6). After treatment, the strawberries were stored under refrigeration at 3–7 °C, with an approximate relative humidity of 85%, for up to 13 days. Physicochemical, microbiological, and visual analyses were performed, including mass loss, total soluble solids, titratable acidity, pH, color parameters, fungal development, and visual preservation of the fruits. Microbiological evaluation was conducted using the direct fruit-rolling method on plates containing potato dextrose agar (PDA), followed by incubation at 28 °C for seven days. The results of the first stage indicated superior performance of the spraying treatments compared with the immersion treatments, particularly regarding visual preservation, color stability, and control of microbial development. Therefore, T3 and T4 were selected for the second stage, together with T1 and T2. Treatment T4 showed the lowest mass loss, whereas T3 provided better maintenance of the chromatic characteristics of the fruits. Visual evaluations revealed a lower incidence of shriveling, darkening, and deterioration in fruits treated by spraying. The results demonstrate that essential-oil emulsions, particularly when applied by spraying, have potential to preserve strawberry quality during refrigerated storage, constituting a natural and sustainable alternative to conventional postharvest conservation methods. The treatments containing essential oils showed significant antifungal activity compared with the control, reducing fungal growth. The highest inhibition rates were observed in the spraying treatments, particularly T3 (96.7%) and T4 (95.7%), which were higher than those obtained with the commercial sanitizer (85.7%). The immersion treatments also reduced microbial growth, although with lower efficiency. In the physicochemical analyses, the spraying treatments contributed to lower mass loss, greater stability of color parameters, and better preservation of the visual quality of the fruits throughout refrigerated storage. It is concluded that essential-oil emulsions demonstrated high potential as natural sanitizing agents for the postharvest conservation of strawberries, constituting a sustainable alternative to commercial sanitizers, particularly when applied by spraying.

Keywords: Essential oils; Microbiological evaluation; Emulsions; Strawberries.

4 INTRODUÇÃO

O morango (*Fragaria x ananassa* Duch) é uma fruta de alta perecibilidade, a vulnerabilidade à contaminação microbiana é grande ao longo da cadeia produtiva, tornando a sanitização uma etapa essencial para assegurar a qualidade visual, nutricional e microbiológica do produto (Shankar *et al.*, 2024). Kebriti *et al.* (2025), destacam que morangos sem tratamento adequado se deterioram completamente entre 3 a 5 dias sob condições ambientais comuns, enquanto tratamentos com sanitizantes eficazes podem prolongar sua vida útil a até 21 dias sob refrigeração, demonstrando a importância de estratégias pós-colheita eficientes e sustentáveis. Desde 2014, com a introdução da variedade Fênix (Gerum *et al.*, 2021), a pesquisa brasileira em morangos tem avançado, priorizando não apenas produtividade, mas também resistência a patógenos.

As pesquisas mais recentes avançam para a aplicação de tecnologias de nanoencapsulação e sistemas de liberação controlada de óleos essenciais, que aumentam sua estabilidade, protegem compostos voláteis da degradação e prolongam o efeito antimicrobiano (Ben Miri *et al.*, 2025). Vakili-Ghartavol *et al.* (2024), relataram resultados promissores em morangos recobertos com nanopartículas lipídicas sólidas contendo óleos essenciais, que conservaram a firmeza, a cor e os teores de antioxidantes por mais tempo. Paralelamente, o estudo de parâmetros físico-químicos, como pH, °Brix e acidez titulável, é essencial para avaliar a qualidade pós-colheita (Dos Santos *et al.*, 2025). Taghavi *et al.* (2022), desenvolveram metodologias colorimétricas para determinar antocianinas, compostos que definem a coloração e valor nutricional dos morangos, sobretudo a pelargonidina-3-glucosídeo (Duan *et al.*, 2025).

Estudos com emulsões e nanoemulsões de óleos essenciais (OEs) aplicadas como revestimentos em morangos pós-colheita demonstram atividade antifúngica contra os principais patógenos de *Colletotrichum* ssp. Emulsão com OE de Capim-limão (*Cymbopogon citratus*), demonstrou controlar pelo método de aspersão fungos de espécie *C. acutatum* in vivo (Pansera *et al.*, 2025).

O mecanismo de ação dos óleos essenciais envolve a ruptura da membrana bacteriana, levando ao extravasamento de constituintes celulares e consequente morte microbiana (Gupta *et al.*, 2021). Da mesma forma, o óleo essencial de menta, cujo princípio ativo é o mentol, tem apresentado bons resultados em baixas concentrações, reduzindo em até 95% a incidência de *C. acutatum* em morangos (Ben Miri *et al.*, 2025; Pansera *et al.*, 2025).

Além disso, estudos com revestimentos comestíveis à base de Aloe vera incorporados com óleos essenciais, como canela, cravo e limão, têm apresentado elevada eficácia no controle

de fungos e leveduras durante o armazenamento refrigerado, prolongando a vida útil pós-colheita de frutas por até 14 dias (Ruiz *et al.*, 2020; Radice *et al.*, 2025).

A aplicação de emulsões de óleos essenciais (OEs) em morangos por diferentes de tratamento, comparando métodos de aspersão e imersão, sendo uma fruta de alta perecibilidade, contribui significativamente na redução da incidência de doenças fúngicas pós-colheita, preservando a qualidade do fruto, aumentando o tempo de vida útil. Contribuindo com o intuito de preservar o fruto contra ataques microbiológicos mantendo ao parâmetros físico-químicos e o teor de compostos bioativos.

4.1 OBJETIVOS

4.1.2 OBJETIVO GERAL

Avaliar emulsão a base de óleos essenciais para reduzir a antracnose e alternarioses em morangos *Fragaria x ananassa* Duch.

4.1.3 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Avaliar a eficácia de emulsões à base de óleos essenciais em morangos;
- Analisar os parâmetros físicos e químicos dos morangos (pH, °Brix, acidez titulável e cor) durante 13 dias de armazenamento sob refrigeração;
- Quantificar o teor de antocianinas totais dos morangos;
- Identificar a atividade antifúngica (microbiológica) do sanitizante natural nos morangos;
- Aplicar as emulsões dos OE nos tratamentos pelos métodos de aspersão e imersão comparando os tratamentos com o tratamento controle.

4.2 METODOLOGIA

Os experimentos foram conduzidos na Universidade Federal da Grande Dourados (UFGD). Os morangos (*Fragaria x ananassa* Duch) utilizados foram adquiridos em uma frutaria localizada na cidade de Dourados, Mato Grosso do Sul – MS. Utilizando cerca de 374 unidades de morangos que foram selecionadas para os testes, realizados em duas etapas, conforme indicados na Figura 6.



Figura 6. Fluxograma da metodologia. **Fonte:** Autora (2025).

A elaboração das emulsões foi realizada no Laboratório de Pesquisa de Bioengenharia CLF. As Análises de sólidos solúveis (°Brix), pH, cor, antocianinas, acidez titulável, perda de massa, foram realizadas nos Laboratórios de Análises Químicas (LANAQ) e de Tecnologia de Alimentos (LATEC), ambos localizados no prédio da FACET (Faculdade de Ciências Exatas e Tecnologia) da UFGD. As Análises microbiológicas foram conduzidas no Laboratório de Tecnologia das Fermentações, no bloco multidisciplinar da mesma instituição.

4.2.1 ELABORAÇÃO DAS EMULSÕES

Para a formulação da emulsão contendo 0,5% OEs, foram utilizados 1,25 mL de cada óleo essencial Cravo botão (*S. aromaticum*), Menta arvensis (*M. arvensis*), Canela (*C. cassia*) e Limão siciliano (*C. limon*), totalizando 5 mL da mistura (proporção 1:1:1:1). Em seguida adicionou-se 2,5mL Tween 80 como agente surfactante completando com 1000mL de água destilada e homogeneizados no agitador magnético (MA 089), posteriormente, a mistura foi dispersa utilizando um Ultra Turrax (Ika T25 digital) a 10.000 rpm durante 10 minutos, obtendo-se uma emulsão final contendo 0,5% (v/v) de óleos essenciais. Para a emulsão de 1% OEs, o mesmo procedimento foi realizado, alterando para 2,5 mL de cada óleo essencial (totalizando 10 mL de OEs), 5 mL de Tween 80 (equivalente a 50% v/v da quantidade total de óleo) e água destilada até completar 1000 mL. O sanitizante comercial (T2), foi preparado conforme as instruções da embalagem, foram utilizadas 1000 mL de água destilada para 1g do desinfetante de alimentos MIKRO CHLOR™.

Ao final, as emulsões 0,5% e 1% foram aplicadas sobre os morangos de duas formas:

- pulverizadas nos frutos com o auxílio da pistola de pulverização elétrica Nakasaki 900w (NK2900) 220v, durante quatro vezes aguardando 3 minutos depois da secagem, virando o fruto de posição para melhor absorção da emulsão em todas as partes da fruta, repetindo processo E
- por imersão, onde os morangos foram mergulhados na emulsão 0,5% e 1% durante 1 minuto, retirados e secos a temperatura ambiente em grades. Para a aplicação do sanitizante comercial, foram 15 minutos de imersão, conforme a metodologia do fabricante, conforme indicado na Figura 7. A seguir, na Tabela 5, apresenta-se a composição das emulsões utilizadas e a descrição dos tratamentos empregados no experimento.

Tabela 5. Composição das emulsões utilizadas e a descrição dos tratamentos empregados no experimento.

Tratamento	Sanitizante comercial	Aplicação de OEs	Método de aplicação	Emulsão OE (%)	Tween 80 (mL)
T1	Não	Não	-	-	-
T2	Sim	Não	-	-	-
T3	Não	Sim	Aspersão	0,5	2,5
T4	Não	Sim	Aspersão	1;0	5,0
T5	Não	Sim	Imersão	0,5	2,5
T6	Não	Sim	Imersão	1,0	5,0

Formulação 1 T1 (Controle): Controle, morangos *in natura*, sem tratamento. Formulação 2 T2 (Sanitizante comercial): Morangos tratados com sanitizante comercial (hipoclorito de sódio). Formulação 3 (T3): Morangos tratados com emulsão de óleo essencial (0,5%) 1,25 mL de cada OE totalizando 5 mL por Pulverização. Formulação 4 (T4): Morangos tratados com emulsão de óleo essencial (1%) 2,5 mL de cada OE totalizando 10 mL por pulverização. Formulação 5 (T5): Morangos tratados com emulsão de óleo essencial (0,5%) 1,25 mL de

cada OE totalizando 5 mL por imersão. Formulação 6 (T6): Morangos tratados com emulsão de óleo essencial (1%) 2,5 mL de cada OE totalizando 10 mL por imersão. **Fonte:** Autora, 2025.

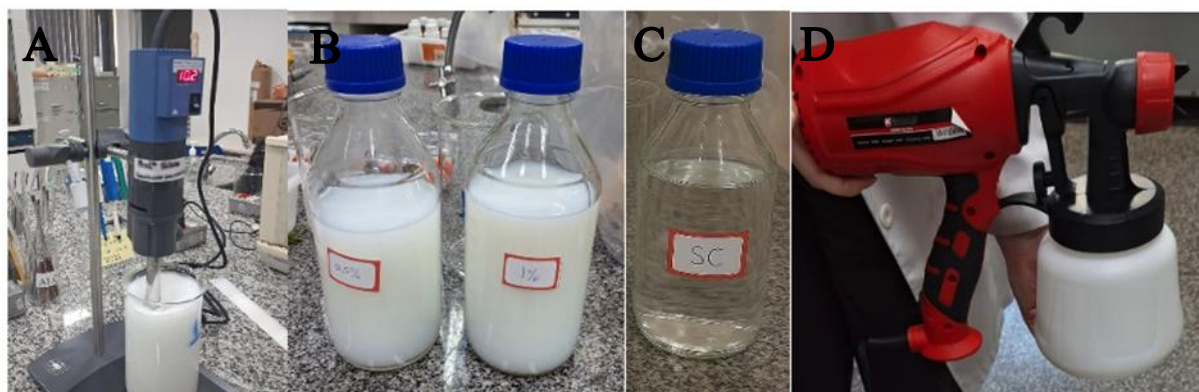


Figura 7. (A) Preparo da emulsão no Ultraturrax. (B) Emulsão pronta dos OE 0,5% e 1%. (C) Sanitizante Comercial. (D) Pistola de pulverização elétrica. **Fonte:** Autora, 2025.

Para avaliar a eficácia das formulações desenvolvidas no controle da deterioração e proliferação de fungos em morangos pós-colheita, foram aplicadas diferentes concentrações das emulsões contendo óleos essenciais combinados de cravo, menta, canela e limão, contrastando-se com um sanitizante comercial à base de hipoclorito de sódio. Os tratamentos foram organizados em grupos de pulverização e imersão, possibilitando analisar a influência do método de aplicação sobre a absorção e atividade antifúngica das emulsões.

4.2.2 ARMAZENAMENTO E CONDIÇÕES EXPERIMENTAIS

Todos os morangos foram armazenados em embalagens plásticas e mantidos refrigerados em geladeira a $3 \pm 7^{\circ}\text{C}$ com cerca de 85% de umidade relativa durante 9 dias (1ª etapa) e 13 dias (2ª etapa).

4.2.3 ANÁLISES FÍSICO-QUÍMICAS

4.2.4 Perda de massa

As Análises foram em triplicata: Pesadas em balança analítica digital com uma casa decimal. A perda de peso foi determinada por diferença, antes e após os tratamentos com as emulsões e os resultados expressos em dados estatísticos. Em todos os frutos testados, para as pesagens periódicas, utilizamos a balança BEL Engineering (Mark M2200). O valor da perda de massa foi calculado em percentual de acordo com a Equação 2:

(2)

$$PM = \frac{Mo - Mf}{Mo} * 100$$

Onde:

M_i = Peso inicial da amostra (g);

M_f = Peso final da amostra (g).

4.2.5 Acidez titulável

Para determinação da acidez titulável, foram pesados 10,0 g da amostra em Erlenmeyer de 250 mL. Adicionam-se, com o auxílio de uma proveta, 100 mL de água destilada; em seguida, 3 gotas de solução de fenolftaleína e titula-se com a solução de NaOH 0,01 N até o aparecimento de coloração rósea. O cálculo foi realizado conforme a Equação 3.

(3)

$$Acidez (\%) = \frac{V * N * f * Eqg}{P * 10} \times 100$$

Onde:

V = volume de NaOH gasto na titulação em mL;

N = normalidade da solução de NaOH (ex: 0,1N);

f = fator de correção da solução de NaOH (se houver);

Eqg = Equivalente- grama do ácido predominante (para ácido cítrico = 0,064 g/meq ou 64,04 mg/meq).

P = peso da amostra (g);

10 = fator de conversão (para converter o resultado final para g/100g ou %).

Fórmula simplificada (usando NaOH 0,1 N e peso da amostra), na Equação 4:

(4)

$$Acidez (\%) = \frac{V * 0,1 * 0,064}{P} \times 100$$

(Instituto Adolfo Lutz, 1985).

4.2.6 Sólidos Solúveis (°Brix), Índice de maturação (Ratio) e Potencial hidrogeniônico (pH)

Os sólidos solúveis, foram determinados com refratômetro digital Atago® (Pocket PAL - 1). Os resultados serão obtidos diretamente, colocando o conteúdo da amostra sobre o leitor do refratômetro e realizando a medida em triplicata. Os valores de Ratio serão calculados a partir dos resultados obtidos dos sólidos solúveis e acidez titulável. Os cálculos foram realizados de acordo com a Equação 5:

(5)

$$Ratio = \frac{SST}{ATT}$$

Onde:

SST = sólidos solúveis totais;

ATT = Acidez titulável.

O pH foi obtido com o pHmetro digital (PH-2000 - Instrutherm), calibrado com soluções padrão de pH 4 e 7. As Análises foram realizadas em triplicata.

4.2.7 Análises de Cor

As Análises da Cor foram externas dos frutos expressados no colorímetro MINOLTA CHROMA METER-CR 410 iluminante D 65 e observador padrão 2, com resultados expressos pelos parâmetros de cor L, a e b, indicado para frutas, sendo mensurados os parâmetros para luminosidade (L*), cromaticidade do verde para o vermelho (a*), cromaticidade do azul para o 33 amarelo (b*), tonalidade cromática (h ou hue) e a saturação (C*) (Mcguire, 1992). Os parâmetros são ilustrados na Figura 8, que apresenta o espaço de cor CIE Lab*, e na Figura 9, relativa aos parâmetros L*, C* e h.

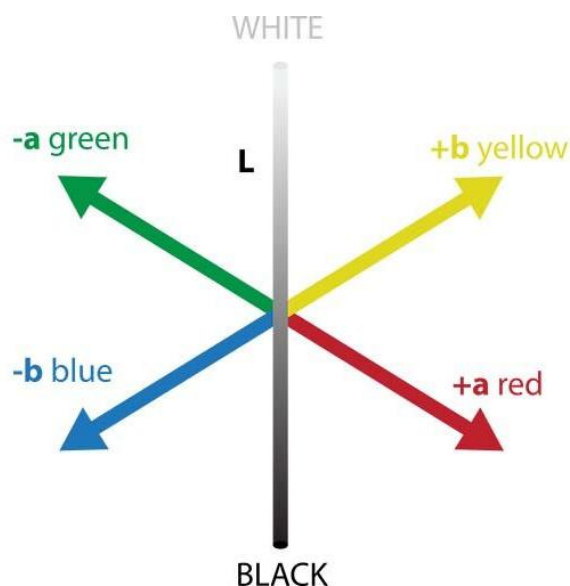


Figura 8 - Parâmetros de cor CIE L* a* b*. **Fonte:** Datacolor, 2025.

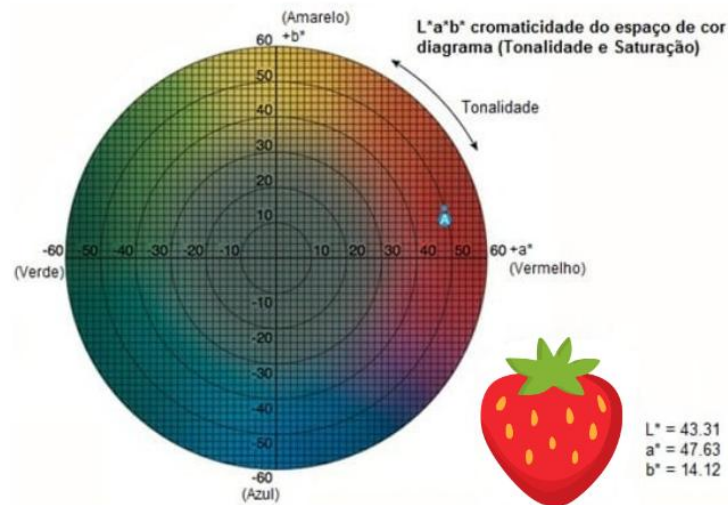


Figura 9. Parâmetros de cor L* C* h. Fonte: Konica Minolta, 2023.

(6)

$$\Delta E = \sqrt{\{(\Delta L^*)^2 + (\Delta a^*)^2 + (\Delta b^*)^2\}}$$

Onde:

ΔE = Diferença total de cor;

ΔL^* = Diferença total de luminosidade;

Δa^* = Diferença total de coordenada verde/vermelho;

Δb^* = Diferença total de coordenada azul/amarelo.

O croma c^* representa a saturação e densidade da cor, expressos pelos valores de a^* e b^* , calculada conforme a Equação 7:

(7)

$$\Delta c^* = \sqrt{\{(\Delta a^*)^2 + (\Delta b^*)^2\}}$$

Onde:

c^* = saturação;

a^* = Cromaticidade de verde para o vermelho;

b^* = Cromaticidade do azul para o amarelo.

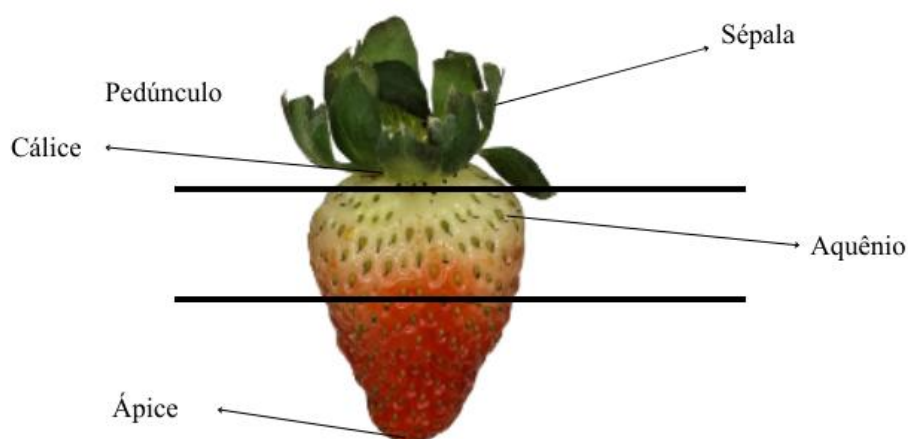
A equação do ângulo Hue (H°) é fundamental na Análises de cor em sistemas como CIELAB e Hunter L,a,b, pois permite quantificar a cor real de uma amostra a partir dos valores a^* (eixo verde-vermelho) e b^* (eixo azul-amarelo). O ângulo Hue é amplamente utilizado em pesquisas de alimentos, monitoramento ambiental e Análises de pigmentos (McLellan *et al.*, 1999). Assim, o H° e o ΔT^* foram calculados conforme as Equações 8 e 9, respectivamente.

(8)

$$H^{\circ} = \arctan\left(\frac{b^{*}}{a^{*}}\right)$$

4.2.8 Análises visual

Para Análises visual das amostras, foram tiradas fotos das frutas pelo período de 10 dias utilizando caixa de luz, estilo estúdio fotográfico mini portátil dobrável para câmera de celular 9,8"/25cm. Os dias de Análises foram feitas fotografias, para melhor comparabilidade dos resultados ao longo dos testes. A morfologia do morango foi explicada na Figura 10.



As barras demonstram a diferença de cores na fruta

Figura 10 - Morfologia do morango. **Fonte:** Autora, 2025.

4.2.9 Análises de Antocianinas

4.3 Preparo da amostra

A quantificação das antocianinas foi realizada utilizando o método desenvolvido por Solovchenko *et al.* (2001). As antocianinas foram extraídas utilizando 10 mL de metanol acidificado com HCl (0,1%), adicionados a 2g de amostra dos morangos. A mistura foi homogeneizada e incubada em agitador tipo shaker, a 40 °C, no escuro, por 15min. Após o período de incubação, o material homogeneizado foi filtrado e o sobrenadante foi coletado e armazenado em tubos de 15 mL a -30 °C. A absorbância da antocianina foi medida pelo espectrofotômetro em 520 e 700 nm. A concentração de antocianinas foi calculada pela seguinte fórmula e foi dada como A/g de tecido fresco do fruto, e calculada a partir da Equação 10:

$$TA = \frac{A \times V}{M} \quad (10)$$

Onde:

TA = antocianina total,

A = absorbância a 520 e 700 nm,

onde $A = (A_{520 \text{ nm}} - A_{700 \text{ nm}})$,

V = volume do extrato (mL) e

M = massa fresca da amostra (g).

4.4 ANÁLISES MICROBIOLÓGICAS

Inicialmente, foram pesados 39 g de meio Batata-Dextrose-Ágar BDA e dissolvidos em 1000 mL de água destilada. O meio foi aquecido em micro-ondas, utilizando Becker, com agitação frequente até a completa dissolução. Em seguida, o meio foi transferido para erlenmeyer, tampado e esterilizado em autoclave a 121 °C por 20 minutos. Após o resfriamento a aproximadamente 37 °C, foi adicionado 1 g/L de antibiótico Amoxicilina da marca CIMED, para inibir crescimento bacteriano. Posteriormente, o meio preparado foi vertido assepticamente em placas de Petri estéreis, padronizando com 20 mL de meio por placa. Após a solidificação, as placas foram acondicionadas em sacos plásticos identificados e armazenados sobre refrigeração de 28 °C (Tortora; Funke; Case, 2017). A Figura 11 a seguir, indica todo o processo da metodologia.

4.4.1 *Preparo da solução salina 0,85%*

A solução salina 0,85% estéril, para o preparo foram utilizados 0,85 g de cloreto de sódio (NaCl) para 100 ml de água destilada, logo após transferir a solução para frasco de erlenmeyer (250 mL) com tampo e esterilizados em autoclavar a 121 °C por 20 minutos.

4.4.2 *Incubação*

Foram selecionados três morangos para cada tratamento. Utilizando pinça estéril, cada fruto foi manipulado individualmente e rolado sobre a superfície do meio de cultura Batata-Dextrose-Ágar (BDA) previamente solidificado em placas de Petri, de modo a promover a transferência dos microrganismos presentes na superfície do fruto para o meio. Em seguida, as placas foram vedadas com filme plástico, devidamente identificadas, e incubadas em estufa tipo BOD a 28 °C por 7 dias. A Figura 11 a seguir, indica todo o processo da metodologia.

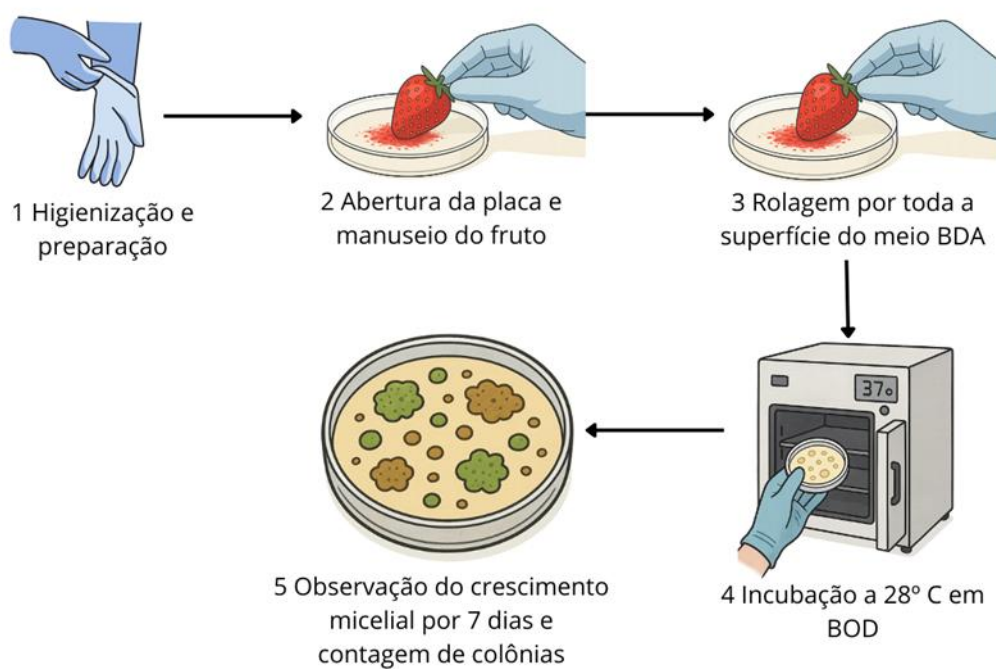


Figura 11. Infográfico da metodologia. **Fonte:** Autora, 2025.

As Análises foram realizadas em triplicata para cada tratamento. Foram observados e registrados o crescimento micelial diariamente por meio fotográfico e contagem de colônias, conforme demonstrado na Figura 12 (El-Araby *et al.*, 2024).



Figura 12. Contador de colônias. **Fonte:** Autora, 2025.

4.4.3 Ensaio de microcultivo

Para purificar as culturas crescidas, foi necessário realizar repicagem em novas placas e posteriormente o microcultivo isolando o fungo para crescer em meio BDA, utilizando a lamínula para melhor visualização microscópica.

4.5 AMOSTRAGEM E TRATAMENTOS

Na segunda etapa experimental, foram realizadas as Análises de sólidos solúveis (°Brix), pH, acidez titulável, teor de antocianinas e contagem microbiológica de fungos e bolores. Os tratamentos consistiram na aplicação de óleos essenciais na concentração de 0,5%, bem como de uma mistura de óleos de limão (*C. limon*), cravo (*S. aromaticum*), canela (*C. cassia*) e menta (*M. arvensis*) a 1%, empregando-se os métodos de imersão e pulverização, com o objetivo de comparar a eficácia dos diferentes protocolos. A avaliação microbiológica de bolores e leveduras foi realizada pelo método de rolagem direta do fruto sobre placas com meio de cultivo (BDA), seguido de incubação a 28 °C e observação de crescimento fúngico ao longo de 7 dias de armazenamento. O desenvolvimento fúngico foi monitorado diariamente por meio de registros fotográficos e contagem de colônias.

4.5.1 Microrganismos

4.5.1.1 Preparo para observação microscópica

Após o período de incubação, as lamínulas foram cuidadosamente removidas e colocadas sobre lâminas. As lâminas foram observadas com auxílio do microscópio óptico (aumento de 4×/ 0.10) (Riddell, 1950).

4.5.1.2 Identificação morfológica

A identificação preliminar dos isolados foi realizada com base nas características microscópicas observadas, incluindo: forma e disposição dos conidióforos; presença e morfologia dos conídios e fiálides; textura e ramificação das hifas. Os fungos isolados de morangos minimamente processados sugerem – se após Análises microscópicas a nível gênero a presença de (*Aspergillus*, *Penicillium*, *Alternaria*).

4.6 ANÁLISES ESTATÍSTICAS

Os dados foram tratados pelo programa software Statistica 12 (Statsoft, 1995), seguida pelo teste de Tukey sendo os resultados submetidos à Análises de variância (ANOVA). Com variância significância de 5% ($p \leq 0,05$).

4.7 RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.8 PERDA DE MASSA

Os resultados de perda de massa dos morangos durante o armazenamento estão demonstrados na Tabela 6. A avaliação da perda de massa dos morangos durante o armazenamento revelou um comportamento de perda crescente em todos os tratamentos ao longo do tempo, resultado amplamente associado à desidratação natural dos frutos. Essa perda de água decorre da alta umidade, textura macia e metabolismo acelerado característico dos morangos, fatores que os tornam altamente perecíveis e vulneráveis à deterioração após a colheita. Assim, o processo respiratório e transpiratório intenso favorece a redução da massa fresca, acelerando o amadurecimento e a senescência, conforme apresentado no estudo de (Jalali *et al.*, 2022).

O tratamento controle (T1), sem aplicação de sanitizante, apresentou a maior perda acumulada, no quinto dia, refletindo a ausência de barreiras que reduzam a transpiração e protejam a integridade da epiderme. Esse resultado corrobora achados de Wang *et al.* (2024), que observaram perdas superiores a 10% em morangos armazenados sem proteção física ou química após sete dias de refrigeração. O sanitizante comercial (T2) demonstrou desempenho inicial superior ao controle, mas não manteve diferença significativa no sétimo ponto, indicando redução progressiva de sua eficácia com o tempo, conforme também reportado por Souza *et al.* (2024), como indicado na Tabela 6.

Os resultados de perda de massa (%), demonstraram aumento progressivo ao longo do armazenamento em todos os tratamentos avaliados. De acordo com a Tabela 6, não houve diferença significativa entre os tratamentos em um mesmo dia de avaliação, conforme indicado pelas letras minúsculas iguais pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade. Dessa forma, os tratamentos contendo óleos essenciais apresentaram comportamento semelhante ao controle quanto à perda de massa durante o período analisado.

Esse comportamento pode estar relacionado à formação de uma película protetora sobre a superfície dos frutos, reduzindo parcialmente a perda de água e as trocas gasosas, mecanismo também descrito por Repajić *et al.* (2024) em emulsões contendo óleos essenciais de tomilho e cravo, associadas à manutenção da integridade da matriz cuticular e maior retenção de umidade.

Os tratamentos T3, T5 e T6 apresentaram valores intermediários de perda de massa ao longo do armazenamento, sem diferenças significativas em relação aos demais tratamentos. Segundo Zhang *et al.* (2023), variações na eficiência de revestimentos contendo óleos essenciais podem estar associadas à estabilidade da película formada sobre o fruto,

especialmente em métodos envolvendo imersão. Além disso, Ramos *et al.* (2023), destacam que diferentes metodologias de aplicação podem influenciar a distribuição e aderência do revestimento na superfície vegetal.

Considerando os resultados obtidos, os tratamentos com óleos essenciais demonstraram potencial para aplicação pós-colheita, embora não tenham promovido redução estatisticamente significativa da perda de massa em comparação ao controle nas condições avaliadas.

A Figura 13, permitiu visualizar o comportamento da perda de massa dos frutos ao longo do período de armazenamento. Observou-se um aumento gradual das perdas em todos os tratamentos avaliados, comportamento esperado em frutos altamente perecíveis, como o morango. Embora não tenham sido observadas diferenças estatisticamente significativas entre os tratamentos em um mesmo dia de avaliação, o tratamento T4 apresentou tendência a menores valores médios de perda de massa em determinados períodos de armazenamento, especialmente no dia seis.

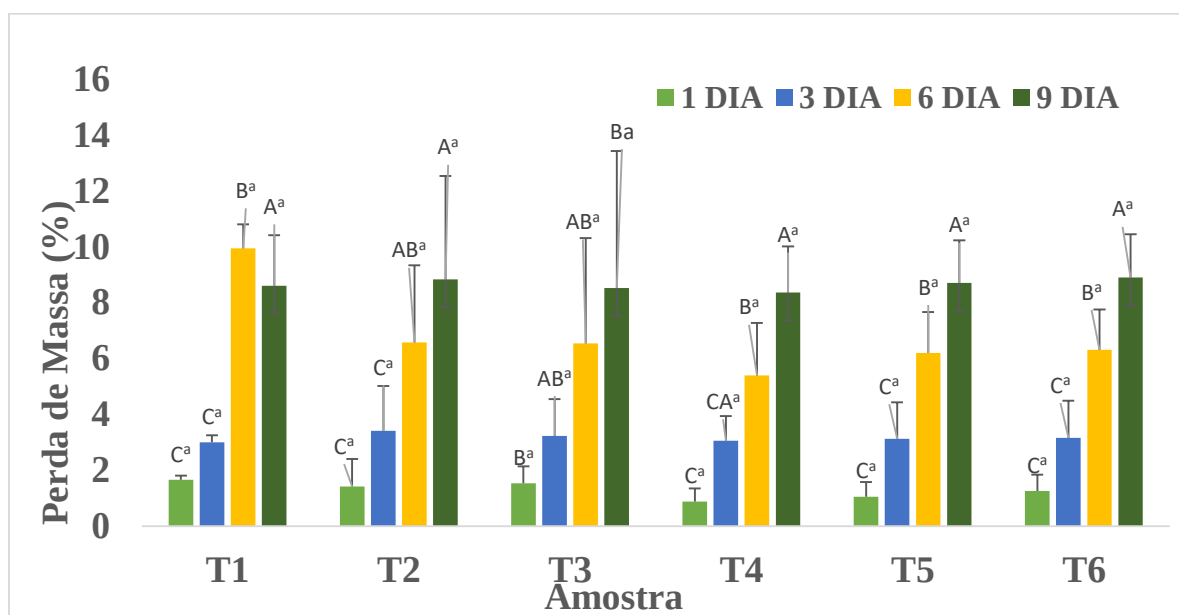


Figura 13. Relação entre a porcentagem de perda de massa dos frutos controle (sem revestimento) e dos frutos revestidos. **Fonte:** Autores, 2025.

Os tratamentos T5 e T6 apresentaram comportamento semelhante aos demais tratamentos, indicando que diferentes metodologias de aplicação dos óleos essenciais podem influenciar a estabilidade da película formada sobre os frutos, conforme discutido por Ramos *et al.* (2023) e Zhang *et al.* (2023). De modo geral, a Figura 9 demonstra que os tratamentos contendo óleos essenciais acompanharam padrão semelhante ao controle durante o armazenamento, sem diferenças significativas entre si nas condições avaliadas.

Os resultados observados no presente estudo estão alinhados com evidências recentes sobre o uso de emulsões e nanoemulsões de óleos essenciais na conservação pós-colheita. Pesquisas de Javanmardi *et al.* (2022), Souza *et al.* (2024) e Remolif *et al.* (2024) demonstram que compostos como timol, mentol, eugenol e cineol apresentam forte atividade antifúngica frente a patógenos como *Botrytis cinerea* e *Penicillium expansum*, principais agentes de deterioração em frutas climatéricas. Além da ação antimicrobiana, esses compostos conferem efeito antioxidante, retardando processos oxidativos e mantendo parâmetros físico-químicos estáveis assim como descrito por García-Palomo *et al.* (2023). Dessa forma, a formulação T4 (pulverização com 1% de óleo essencial) apresentou o melhor equilíbrio entre controle da perda de massa e manutenção da qualidade pós-colheita, evidenciando seu potencial como substituto natural e sustentável aos sanitizantes comerciais atualmente utilizados na cadeia produtiva do morango.

4.9 ANÁLISES VISUAL

A avaliação visual dos morangos durante o armazenamento configura-se como um método fundamental para monitorar a qualidade pós-colheita, permitindo identificar alterações visíveis que comprometem a aceitação do consumidor e indicam mecanismos internos de deterioração. Entre os principais sinais visuais observados estão o enrugamento da superfície, escurecimento da epiderme, manchas e lesões, presença de mofo, além da queda dos aquênios, que revelam juntamente a alteração na firmeza e textura da fruta. Estes sintomas, de acordo com Farias *et al.* (2022) e Ladika *et al.* (2024) são indicadores críticos para avaliar o frescor, etapa crucial para redirecionamento do produto na cadeia de comercialização.

No presente estudo, a Análises visual detalhada foi realizada em dias alternados ao longo dos 9 dias de armazenamento, com registro de fotografias para cada tratamento, conforme apresentado na Tabela 7. Os tratamentos T3 (0,5% de óleo essencial por pulverização) e T4 (1% de óleo essencial por pulverização) destacaram-se por sua eficácia em retardar sinais visuais de deterioração, preservando a aparência dos frutos de forma mais consistente ao longo de todo o período avaliado, em comparação com o sanitizante comercial (T2) e os tratamentos por imersão (T5 e T6). O controle (T1), desprovido de qualquer tratamento, apresentou rápida manifestação visual de degradação, evidenciada pelo enrugamento acentuado e manchas compatíveis com danos por agentes patogênicos e dessecação assim como nos trabalhos de Repjić *et al.*, 2024 e Souza *et al.*, 2024. Estes resultados corroboram com a superioridade dos óleos essenciais aplicados pela pulverização para formar uma barreira protetora que retarda a desidratação e inibe o desenvolvimento microbiano.

Tabela 7. Fotos (Análises visual) de quatro amostras por tratamento tiradas ao longo dos 9 dias de Análises.

TRATAMENTOS						
DIAS	T1	T2	T3	T4	T5	T6
0						
1						
3						
6						
9						

DIAS: Dias alternados do experimento, T1: controle; T2: sanitizante comercial; T3 0,5%, T4 1% OE ambos os tratamentos por pulverização; T5 0,5% e T6 1% OE ambos os tratamentos por imersão. **Fonte:** Autora, 2025.

A ficha técnica, aplicada na Análises visual detalhou critérios fundamentais para a avaliação da deterioração. A desidratação epidérmica, caracterizada pela perda de firmeza e textura superficial do fruto, reflete o processo contínuo de perda de água, resultando em tecido menos turgido e com aspecto ressecado. O escurecimento da epiderme está associado tanto à maturação excessiva, que intensifica a pigmentação vermelha, quanto à iniciação do processo de decomposição, onde reações oxidativas promovem a mudança para tons marrons, prejudicando a estética e aceitação avaliado por Ladika *et al.* (2024). Manchas e lesões representam indicadores de danos mecânicos ou infecções fúngicas, fenômenos exacerbados em frutos com barreiras protetoras ineficazes.

A presença de podridão e mofo caracteriza a invasão fúngica em estágio avançado, sendo a principal causa de perdas pós-colheita já enfatizado nos estudos de (Chói *et al.*, 2021; Mohammadi *et al.*, 2021). A singularidade da queda dos aquênios, embora menos estudada, indica comprometimento estrutural da superfície, que pode preceder outros sinais visuais comprometedores descrito por Ladika *et al.* (2024). Nas imagens analisadas a partir do terceiro ponto, tratamentos T5 e T6 evidenciaram alterações nas sépalas e pedúnculo, como amarelamento e escurecimento, denotando o início da senescência, fato menos pronunciado nos tratamentos por pulverização (T3 e T4). O tratamento T4 destacou-se não apenas pela manutenção da superfície íntegra e reduzido enrugamento, mas também pela leve queda de aquênios, sinalizando o desgaste superficial mínimo durante o período mais extenso do experimento. O controle adotou progressão acelerada da deterioração, com frutos exibindo

enrugamento generalizado, manchas extensas e escurecimento intenso, comprometendo a qualidade visual e textura, assim como aconteceu no trabalho de Farias *et al.* (2022).

Os óleos essenciais utilizados neste estudo, limão (*C. limon*), cravo (*S. aromaticum*), canela (*C. cassia*) e menta (*M. arvensis*), apresentam compostos bioativos reconhecidos pela forte atividade antifúngica, o que explica o desempenho observado na conservação pós-colheita dos morangos. Entre os principais constituintes destacam-se o eugenol (cravo), o cinamaldeído (canela), o mentol (menta) e o limoneno (limão), moléculas de natureza lipofílica capazes de interagir diretamente com a membrana plasmática de fungos fitopatogênicos como *Botrytis cinerea*, *Colletotrichum* spp. e *Penicillium* spp., frequentemente associados à deterioração do morango assim como apresentaram nos trabalhos de Javanmardi *et al.* (2022); Remolif *et al.* (2024).

O mecanismo de ação desses compostos envolve, inicialmente, a desestruturação da membrana celular fúngica. Por serem hidrofóbicos, os componentes dos óleos essenciais se inserem na bicamada lipídica, promovendo aumento da permeabilidade, perda de integridade estrutural e extravasamento de íons e metabólitos essenciais, como potássio e proteínas intracelulares. Esse processo compromete o equilíbrio osmótico e leva à inibição do crescimento micelial e da germinação de esporos de acordo com os autores Souza *et al.* (2024); Javanmardi *et al.* (2022). O eugenol e o cinamaldeído, em particular, também interferem na síntese de ergosterol, componente fundamental da membrana fúngica, intensificando o colapso estrutural e funcional das células patogênicas.

Além do efeito direto sobre a membrana, há evidências de que esses compostos promovem estresse oxidativo nas células fúngicas, com geração de espécies reativas de oxigênio (EROs) e danos às organelas intracelulares, incluindo mitocôndrias, afetando a respiração celular e a produção de energia. García-Palomo *et al.* (2023), ressaltam que, paralelamente à ação antimicrobiana, esses compostos apresentam atividade antioxidante no tecido vegetal, contribuindo para a estabilidade das membranas do fruto e retardando reações oxidativas associadas à senescência. No caso específico do morango, fruto de epiderme delicada e alta atividade metabólica, a presença de patógenos acelera processos de degradação tecidual, favorecendo perda de massa, escurecimento e amolecimento. Ao inibir o crescimento fúngico na superfície, os óleos essenciais reduzem a degradação da parede celular e a atividade enzimática associada à maceração, como pectinases e celulases produzidas pelos microrganismos demonstrado por Repajić *et al.* (2024). Esse efeito contribui diretamente para a manutenção da integridade estrutural e da aparência visual observada nos tratamentos T3 e T4.

Adicionalmente, compostos como mentol e limoneno apresentam ação antifúngica complementar, atuando na inibição da germinação de conídios e na redução da esporulação, limitando a progressão da infecção durante o armazenamento refrigerado avaliado por Remolif *et al.* (2024). Essa combinação de mecanismos, desorganização de membrana, inibição de ergosterol, indução de estresse oxidativo em fungos e proteção antioxidante no tecido vegetal, explica o desempenho superior das emulsões aplicadas por pulverização, que proporcionaram menor manifestação de podridão e melhor conservação visual dos frutos. Portanto, o efeito observado nos morangos tratados não se restringe à formação de uma barreira física superficial, mas envolve mecanismos bioquímicos específicos que atuam diretamente sobre os patógenos pós-colheita, justificando o potencial dos óleos essenciais como alternativa natural e sustentável para o controle de fungos em morango, em consonância com evidências recentes da literatura conforme os trabalhos de Javanmardi *et al.* (2022); Souza *et al.* (2024); Repajić *et al.* (2024).

Além das observações visuais, evidências científicas recentes sustentam que os óleos essenciais promovem adaptações fisiológicas que retardam os processos oxidativos e desidratação, mecanismo central para a conservação da integridade estrutural das frutas durante a refrigeração proposto por Souza *et al.* (2024); Repjić *et al.* (2024). Ademais, o método de aplicação por pulverização otimiza a deposição homogênea da película sobre a superfície dos frutos, conferindo maior eficiência microbiológica em comparação à imersão, que pode comprometer a uniformidade do revestimento observado por Ramos *et al.* (2023). Este diferencial no tratamento provavelmente justifica a menor manifestação dos sintomas visuais de deterioração nos tratamentos T3 e T4.

A utilização de métodos visuais padronizados, aliada a tecnologias emergentes em Análises de imagens, reveste-se de importância estratégica na avaliação da qualidade pós-colheita. Isso porque possibilita a quantificação objetiva e o monitoramento dinâmico das mudanças fenotípicas em frutas como o morango, que possuem alta suscetibilidade à deterioração rápida. A correta interpretação destes sinais visuais subsidiará escolhas mais eficazes para conservações, incluindo a incorporação de agentes antimicrobianos naturais e métodos de aplicação mais apropriados, como indicado na Tabela 8.

Tabela 8. Principais critérios de deterioração.

Critério Visual	Descrição/Indicador	Relevância e Detecção
Enrugamento	Perda de firmeza e textura superficial	Indica desidratação e início de deterioração
Escurecimento da epiderme	Mudança de cor para tons marrons ou escuros	Associado à maturação excessiva ou início de decomposição
Manchas e lesões	Áreas localizadas de coloração alterada	Sinal de dano mecânico ou infecção por patógenos
Podridão e mofo	Presença de fungos visíveis e áreas amolecidas	Indica infecção fúngica, principal causa de perdas pós-colheita
Queda de aquênios	Sementes se desprendendo da superfície	Relacionado à perda de integridade estrutural
Mudança de cor em sépalas/pedúnculo	Amarelamento ou escurecimento das partes verdes	Sinal de envelhecimento e início de senescência

Fonte: Adaptado de Li *et al.* (2019); Choi *et al.* (2021); Mohammadi *et al.* (2021); Ladika *et al.* (2024).

Dessa forma, os resultados obtidos indicam que a aplicação de óleos essenciais por pulverização (T3 e T4) não só retarda a manifestação dos principais sintomas visuais da deterioração, como também contribui para a preservação da qualidade sensorial e nutricional dos morangos durante o armazenamento. Essa abordagem se firma como uma alternativa sustentável e eficaz frente aos sanitizantes comerciais tradicionais, alinhando-se às tendências globais de redução do uso de químicos sintéticos e valorização de compostos naturais na conservação de frutos frescos. Observando os tratamentos (T5 e T6) aplicados por imersão os resultados associados ao escurecimentos nas sépalas e pedúnculo, evidenciando se tornar um produto rejeitado pelo consumidor, preferindo frutas mais frescas, perdendo valor comercial.

4.9.1 ANÁLISES DE COR

A cor é considerada um dos parâmetros mais relevantes na aceitação do morango pelo consumidor, por estar diretamente associada à aparência, frescor e percepção de qualidade do fruto durante o armazenamento e comercialização. De acordo com Chen *et al.* (2020), as mudanças nos valores de luminosidade e tonalidade em frutas minimamente processadas são

indicativas de reações enzimáticas e oxidativas, que comprometem a estabilidade cromática e a atratividade visual. Com base nos resultados apresentados, observa-se que os valores de L*, a*, b*, c* e H* sofreram variações significativas entre os dias de armazenamento e os diferentes tratamentos, refletindo a influência positiva das emulsões contendo óleos essenciais na preservação da cor dos morangos, como indicado na Tabela 9.

Tabela 9 - Análises dos parâmetros de cor dos morangos.

L*						
DIAS	T1	T2	T3	T4	T5	T6
1	41,24 BC ^a ± 3,71	47,09 A ^a ± 5,60	42,30 ABC ^a ± 2,58	43,60 ABC ^a ± 3,29	45,55AB ^a ± 3,78	38,86 C ^{ab} ± 1,94
3	37,21 B ^b ± 2,64	43,33 A ^a ± 4,67	40,55 AB ^a ± 1,18	41,04 AB ^a ± 1,70	42,20 A ^a ± 2,99	37,92 B ^b ± 1,89
5	39,90 A ^{ab} ± 2,35	42,89 A ^a ± 3,40	41,08 A ^a ± 1,05	42,93 A ^a ± 1,24	42,66 A ^a ± 2,25	40,12 A ^{ab} ± 2,07
7	38,93 B ^{ab} ± 1,87	42,27 AB ^a ± 3,73	41,24 AB ^a ± 2,24	42,38 AB ^a ± 2,45	44,62 A ^a ± 2,79	39,30 B ^{ab} ± 2,07
9	38,68 B ^{ab} ± 2,44	41,50 AB ^a ± 3,97	41,98 AB ^a ± 2,89	42,58 AB ^a ± 2,95	43,61 A ^a ± 2,89	40,73 AB ^a ± 1,44
a*						
DIAS	T1	T2	T3	T4	T5	T6
1	34,44 A ^a ± 2,22	32,09 A ^a ± 3,52	35,62 A ^a ± 2,54	34,92 A ^b ± 1,50	33,57 A ^a ± 3,44	35,15 A ^c ± 1,49
3	35,61 A ^a ± 2,50	33,87 A ^a ± 7,69	36,04 A ^a ± 4,02	34,37 A ^{bc} ± 2,23	34,02 A ^a ± 3,36	35,21 A ^c ± 2,79
5	32,79 B ^a ± 3,62	33,81 AB ^a ± 3,23	36,94 A ^a ± 1,55	34,08 AB ^{bc} ± 1,46	36,66 A ^a ± 1,32	32,68 B ^{ac} ± 1,79
7	32,94 ABC ^a ± 3,42	32,69 ABC ^a ± 3,90	34,82 A ^a ± 1,85	29,71 C ^a ± 3,24	33,84 AB ^a ± 2,25	30,72 BC ^{ab} ± 1,67
9	33,50 BC ^a ± 1,85	32,39 ABC ^a ± 3,45	35,40 B ^a ± 2,64	31,56 AC ^{ac} ± 1,77	33,37 BC ^a ± 2,32	29,55 A ^b ± 1,31
b*						
DIAS	T1	T2	T3	T4	T5	T6
1	30,40 BC ^a ± 3,37	34,80 B ^{ab} ± 3,22	31,75 BC ^{ab} ± 3,96	29,93 C ^a ± 3,10	34,15 BC ^a ± 3,24	24,93 A ^a ± 2,02
3	31,32 AD ^a ± 3,44	37,04 C ^a ± 2,47	33,46 CD ^a ± 2,36	28,97 AB ^{ab} ± 2,52	33,77 CD ^{ab} ± 3,22	26,02 B ^a ± 2,25
5	26,13 BC ^b ± 2,39	32,37 A ^{bc} ± 4,25	29,94 AC ^{ab} ± 1,78	26,39 BC ^{bc} ± 2,17	28,67 AC ^c ± 3,07	23,46 B ^{ab} ± 3,06
7	25,55 AB ^b ± 2,67	30,63 D ^{bc} ± 3,44	28,19 AD ^b ± 3,44	23,53 BC ^{cd} ± 1,93	29,72 D ^{bc} ± 3,14	21,01 C ^b ± 2,39
9	24,96 AB ^b ± 3,11	29,25 B ^c ± 3,62	28,45 B ^b ± 4,56	32,16 A ^d ± 2,10	28,51 B ^c ± 3,17	20,46 A ^b ± 2,22
c*						
DIAS	T1	T2	T3	T4	T5	T6
1	46,30 AB ^{ab} ± 2,90	47,61 B ^{ab} ± 3,89	47,93 B ^{ab} ± 2,83	46,23 AB ^b ± 2,33	47,75 B ^b ± 3,17	43,06 A ^c ± 2,08
3	47,66 ABC ^a ± 3,38	50,83 A ^a ± 6,17	49,20 AB ^a ± 2,59	44,73 BC ^b ± 3,29	47,73 ABC ^b ± 2,50	43,54 C ^c ± 3,44
5	42,16 AC ^b ± 4,67	46,74 BC ^{ab} ± 4,51	47,67 B ^{ab} ± 1,80	43,50 ABC ^b ± 3,87	46,50 BC ^{ab} ± 2,02	40,42 A ^{ac} ± 3,06
7	41,77 AC ^b ± 3,21	44,43 C ^b ± 4,25	45,32 C ^b ± 2,51	37,72 AB ^a ± 3,11	44,97 C ^{ab} ± 1,83	37,11 B ^{ab} ± 2,13
9	41,75 AD ^b ± 2,58	43,46 CD ^b ± 3,52	45,98 C ^{ab} ± 3,44	39,09 AB ^a ± 2,31	43,45 CD ^a ± 1,92	36,70 B ^b ± 2,26

H*						
DIAS	T1	T2	T3	T4	T5	T6
1	49,00 D ^a ± 3,48	42,16 C ^b ± 3,13	48,54 BD ^a ± 2,92	49,67 D ^{ab} ± 3,27	44,35 BC ^b ± 4,58	54,78 A ^a ± 1,98
3	49,01 AB ^a ± 3,52	50,90 AB ^a ± 6,24	47,19 B ^a ± 3,51	48,48 AB ^b ± 5,98	45,23 B ^b ± 4,54	53,55 A ^a ± 1,98
5	51,30 B ^a ± 2,21	46,74 A ^{ab} ± 4,51	51,07 B ^a ± 2,48	52,11 B ^{ab} ± 2,09	52,04 B ^a ± 3,12	54,55 B ^a ± 2,84
7	51,74 BC ^a ± 2,63	44,71 A ^b ± 4,64	50,23 ABC ^a ± 4,57	51,77 BC ^{ab} ± 3,26	47,84 AC ^{ab} ± 6,79	55,34 B ^a ± 2,30
9	52,89 BC ^a ± 3,49	43,46 A ^b ± 3,35	50,47 BC ^a ± 5,90	53,56 BC ^a ± 1,42	49,87 C ^{ab} ± 3,62	55,48 B ^a ± 2,22

Legenda: Resultados dos parâmetros de cor: L*(luminosidade), a*(cromaticidade da cor verde-vermelho), b*(cromaticidade da cor azul- amarelo), c*(saturação da cor) e H*(ângulos Hue). Dias alternados de experimento, T1: controle; T2: sanitizante comercial; T3 0,5%, T4 1% OE ambos os tratamentos por pulverização; T5 0,5% e T6 1% OE ambos os tratamentos por imersão. *Médias seguidas pela mesma letra não diferem entre si a 5% de probabilidade pelo teste de Tukey. ** Letras maiúsculas comparam médias na horizontal (entre tratamentos em um mesmo dia), enquanto letras minúsculas comparam médias na vertical (entre os dias em um mesmo tratamento). Os dados são apresentados como média seguido de desvio padrão (±). **Fonte:** Autora, 2025.

A cor dos morangos (*Fragaria x ananassa* Duch) é reconhecidamente o parâmetro mais relevante para aceitação comercial e percepção de qualidade pelo consumidor ao longo do armazenamento pós-colheita. O sistema CIELAB, adotado em medições internacionais de cor, permite discriminar objetivamente luminosidade (L*), tonalidade vermelha/verde (a*) e amarela/azul (b*) em combinações que traduzem a integridade superficial da fruta, seu frescor aparente e potencial nutricional. A amplitude dos valores encontrados reflete dinâmicas fisiológicas relacionadas à senescência, processos oxidativos, atividade enzimática endógena e interação com compostos bioativos dos tratamentos testados.

No início dos experimentos, verificou-se que o tratamento T2, T3, T4 e T5 apresentou diferenças significativas no índices de luminosidade (L*), comparado a T1 e T6, indicando melhor manutenção da claridade superficial e menor avanço do escurecimento precoce. Contudo, como o T2 sanitizante comercial utilizado não teve seu princípio ativo especificado, não é possível atribuir o efeito observado a um mecanismo químico específico, como ação clorada ou outro agente oxidante. De forma geral, a literatura aponta que a preservação de valores elevados de L* após sanitização está associada à redução da carga microbiana e à manutenção da integridade da epiderme, fatores que retardam processos oxidativos mediados por enzimas como a polifenoloxidase (PPO), responsável pela formação de pigmentos escuros descritos por Jubinville *et al.* (2022). Além disso, o adequado manejo pós-colheita e a integridade tecidual estão relacionadas à menor progressão da senescência e ao controle do

escurecimento em frutos submetidos a tratamentos sanitizantes já destacado no estudo de Chen *et al.* (2020).

Nos tratamentos naturais T3, (emulsão de óleos essenciais a 0,5%), T4 e T6 aplicados por pulverização e imersão), também se observou preservação da luminosidade, embora com valores inferiores ao T1. Esse resultado sugere que a combinação de óleos essenciais (cravo, menta, canela e limão) pode ter contribuído para a proteção celular e para a redução de processos oxidativos superficiais, possivelmente em decorrência de suas propriedades antimicrobianas e antioxidantes descritas na literatura.

À medida que o tempo de armazenamento avança, observa-se tendência de queda nos valores de L^* nos tratados com T1 (Controle) e emulsão de 1% por imersão (T6), confirmando a suscetibilidade ao escurecimento provocado pela intensificação da atividade oxidativa e pela perda de integridade das células. Nakata e Izumi (2020), já destacavam a rápida deterioração do morango frente à exposição ao oxigênio e variação de umidade, o que favorece a transformação dos compostos fenólicos em pigmentos escuros. Resultados intermediários em T4 (emulsão 1% por pulverização) sugerem que a desidratação superficial, induzida por maior concentração de compostos voláteis, pode contribuir para essa leve redução da luminosidade observada nos pontos intermediários do experimento.

O parâmetro a^* surge como principal marcador da coloração vermelha dos frutos, relacionando-se de forma direta à reserva, estabilidade e degradação de antocianinas (especialmente pelargonidina-3-glicosídeo e cianidina-3-glicosídeo). Nos tratamentos T3, o valor de a^* manteve-se elevado desde os primeiros até os últimos pontos, indicando preservação eficaz da tonalidade vermelha característica do morango fresco, fator cuja relevância para consumidores foi amplamente demonstrada por Silva *et al.* (2022) e Muley *et al.* (2021). Esses autores destacam que a perda de coloração vermelha acelerada, associada a baixos valores de a^* , indica degradação de pigmentos sensíveis à ação oxidativa e ao pH, desvalorizando a fruta no contexto comercial e sensorial.

Resultados de T6 (1% por imersão) registraram declínio acentuado em a^* nos pontos finais, evidenciando degradação de antocianinas sob alta umidade e ação enzimática intensificada, fenômeno descrito por Kalt *et al.* (2022). Em ambiente refrigerado, uma interação prolongada com compostos antimicrobianos pode acelerar a ruptura de estruturas pigmentares, promovendo escurecimento e opacidade visual. Rafiq *et al.* (2025), associam a queda dos valores de a^* ao metabolismo secundário intenso e degradação de cromóforos sensíveis durante

o armazenamento. É fundamental ponderar o equilíbrio entre concentração do composto ativo e método de aplicação para atingir máxima preservação cromática do fruto.

O parâmetro b^* representa a variabilidade entre tons amarelados e azulados, servindo como indicador da estabilidade dos carotenoides e flavonoides. No início, os tratamentos T2 e T5 registraram valores de b^* mais elevados, indicando preservação das nuances amareladas atribuídas à menor oxidação dos carotenoides. Em T6, observou-se redução significativa de b^* ao longo do tempo, sugerindo aumento do escurecimento, intensificação dos processos oxidativos e menor integridade tecidual.

Nos pontos intermediários, T2 destacou-se novamente, apresentando maior incremento de b^* no terceiro dia, possivelmente associado ao controle microbiano eficiente e à desaceleração da degradação oxidativa interna. Com o passar dos dias, todas as formulações mostraram tendência de queda nos valores de b^* , fenômeno atribuído à intensificação da degradação de antocianinas e amplificação do matiz amarelado típico do amadurecimento do fruto. Em T3, o maior valor observado no quinto ponto revela maior estabilidade da cor amarela, enquanto em T6 a redução persistente sugere atividade enzimática exacerbada, menor capacidade antioxidante e progressão da senescência associada à maior ação antimicrobiana proporcionada pelos compostos ativos do tratamento.

A saturação e densidade da cor (c^* , chroma) complementam o quadro técnico das Análises cromáticas, representando a intensidade da cor vivace, altamente correlacionada à qualidade e frescor, ele representa a intensidade da cor, o quão distante a cor esta em uma escala cinza. As amostras tratadas com T3, T5 e T2 apresentaram valores máximos de c^* nos primeiros dias, indicando manutenção da intensidade cromática original e efeito antioxidante sobre os pigmentos, atribuído à presença de fenóis, terpenos e aldeídos dos óleos essenciais. A partir do terceiro dia, T6 destacou-se negativamente, com marcante declínio dos valores de c^* , sugerindo degradação acelerada de pigmentos ou menor desenvolvimento da densidade de cor, induzindo descoloração e opacidade.

No contexto dos métodos de aplicação, observou-se que a pulverização superficial das emulsões T3 e T5 esteve associada a melhor manutenção da homogeneidade visual e menor alteração dos parâmetros cromáticos. Esse resultado pode estar relacionado ao contato mais superficial da solução com a epiderme do fruto, reduzindo a penetração excessiva de compostos e, conseqüentemente, possíveis alterações fisiológicas.

Por outro lado, os tratamentos por imersão T6 implicam maior tempo de contato e maior difusão dos compostos pela superfície do morango, o que pode intensificar respostas

metabólicas associadas ao estresse, como aumento da atividade respiratória e ativação de enzimas oxidativas, incluindo a polifenoloxidase (PPO), favorecendo alterações de cor e amadurecimento mais acelerado. Na literatura Bahmani *et al.*, (2024); Xu *et al.*, (2022), descrevem que métodos de aplicação com maior exposição do tecido vegetal podem desencadear modificações na permeabilidade celular e na dinâmica oxidativa, especialmente em frutos altamente perecíveis como o morango. Nesse sentido, os resultados obtidos sugerem que a pulverização representa estratégia menos agressiva à epiderme, enquanto a imersão, apesar de potencializar a ação antimicrobiana, pode promover maior impacto fisiológico. O tratamento com hipoclorito de sódio T2 apresentou eficiência no controle do escurecimento superficial, possivelmente em razão de sua ação sanitizante e redução da carga microbiana; entretanto, comparativamente aos compostos naturais avaliados, demonstrou menor preservação da intensidade cromática global, conforme indicado pelos parâmetros instrumentais analisados.

Estudos recentes validados por Kassebi *et al.* (2022); Song *et al.* (2024), reforçam que formulações de óleos essenciais atuam sinergicamente no aprimoramento da integridade pigmentária do morango, sem interferir negativamente nas características sensoriais do fruto. Essa tendência científica, observada globalmente, propõe o uso de alternativas naturais em detrimento de sanitizantes clássicos, promovendo sustentabilidade e aceitação pelo consumidor preocupado com saúde e impacto ambiental. A Análises detalhada dos dados revela que, ao longo do armazenamento, o tratamento T3 se destaca em todos os parâmetros cromáticos, mantendo luminosidade, intensidade vermelha e tons amarelados em níveis superiores aos demais métodos, confirmando a viabilidade do fator antioxidante dos óleos essenciais em baixa concentração.

A estabilidade visual observada comprova a menor degradação de antocianinas e carotenoides, fenômeno alinhado à preservação do vermelho brilhante, preferência de consumidores e expectativa industrial. Em contrapartida, T6 revela limitações nas últimas etapas, corroborando a hipótese de que altas concentrações de compostos bioativos, combinadas com método de imersão, aceleram a perda rápida de qualidade cromática e sensorial.

A literatura destaca que além dos marcadores cromáticos, aspectos como controle microbiano integrado e manutenção nutricional são estratégicos para validação da cadeia produtiva de morangos. Estudos de Pauletti *et al.* (2025) avaliam a robustez de misturas com capim-limão, melaleuca e tomilho, evidenciando, além da preservação da cor, baixa deterioração fúngica, manutenção da firmeza e aceitação comercial.

Charoenwoodhipong *et al.* (2025), analisam o impacto do consumo de morango sobre parâmetros de saúde pública, especialmente níveis de antioxidantes, mostrando que a preservação da cor está associada à manutenção do potencial funcional. Boa parte das discussões integra evidências sobre o papel das enzimas oxidativas, como polifenoloxidase e peroxidase, que agem em sinergia para modificar os pigmentos vegetais, desencadeando alterações visuais que comprometem o valor de mercado do fruto, foram abordados pelos trabalhos de Cantos *et al.* (2021) e Shah *et al.* (2023).

Em frutas frescas submetidas a condições controladas de temperatura e umidade, o uso de emulsões de óleos essenciais mostra-se promissor não só na conservação da cor, mas também na proteção contra micro-organismos e processos de senescência acelerados. Somando-se todos os dados experimentais e referências científicas, verifica-se que emulsões de óleos essenciais em baixa concentração (especialmente T3 pulverização 0,5%) são capazes de superar ou igualar o desempenho de sanitizantes comerciais no quesito preservação cromática. Essa evidência advém da ação dos antioxidantes naturais na inibição das enzimas degradadoras de pigmentos, na proteção da epiderme e na manutenção da firmeza, afetando diretamente o resultado sensorial e a viabilidade de comercialização do morango fresco refrigerado. A pulverização superficial mostra-se superior à imersão quando se pretende manter a cor viva e minimizar escurecimento, dada a absorção homogênea e menor estresse químico sobre o tecido vegetal assim como no estudo de Kapoor *et al.* (2022) e Pauletti *et al.* (2025).

Para expressar as alterações nas Análises de tonalidades da cor dos morangos em H*, por diferentes tratamentos em T6 de maneira geral apresentou os maiores valores de H* durante todo o período experimental, mantendo-se entre os dias avaliados estável, sendo mais claras até os últimos dias com diferenças significativas nos últimos dias em relação aos primeiros até o final do experimento. O tratamento T4 destacou-se no último dia, apresentando valor de 53,56, indicando manutenção da tonalidade da coloração no último dia de Análises.

Durante o período de armazenamento, o tratamento T2 apresentou diferenças significativas em relação aos demais tratamentos, exibindo tonalidades mais claras nos primeiros dias e um aumento expressivo do valor de H* no terceiro dia (50,90). Posteriormente, observou-se redução gradual desses valores, atingindo o menor índice no nono dia (43,46), o que sugere alterações mais intensas na tonalidade dos frutos ao longo do armazenamento. O tratamento T5 também apresentou oscilações significativas entre o quinto e o sétimo dia de avaliação, mantendo diferenças estatísticas em relação aos demais tratamentos analisados. De modo geral, os resultados indicam que os tratamentos influenciaram diretamente a tonalidade

da cor dos morangos durante o armazenamento refrigerado. Entre eles, o tratamento T6 destacou-se pela maior estabilidade e manutenção dos valores de H^* , enquanto o tratamento T2 apresentou as maiores variações ao longo do período experimental.

Portanto, as conclusões do estudo reforçam o potencial prático de sanitizantes naturais em substituição ao hipoclorito de sódio, posicionando as emulsões de óleos essenciais como protagonistas na promoção de qualidade, segurança e longevidade pós-colheita dos morangos. O desenvolvimento científico pós 2020 orienta a incorporação dessas alternativas nas cadeias produtivas, valorizando práticas sustentáveis e perfil funcional superior dos frutos comercializados. Todos esses aspectos consolidam a Análises de cor (L^* , a^* , b^* , c^* , H^*) como critério mínimo e indispensável de sucesso técnico e comercial das metodologias inovadoras aplicadas na pós-colheita de frutas frescas.

4.9.2 ANÁLISES MICROBIOLÓGICAS

Após a aplicação dos diferentes tratamentos, avaliou-se o crescimento fúngico dos isolados incubados em meio BDA a 28 °C por 7 dias. O desenvolvimento fúngico nas placas foi monitorado diariamente por meio de registros fotográficos, conforme ilustrado na Figura 14, além da contagem do número de colônias formadas, a fim de acompanhar a evolução do crescimento microbiano ao longo do período de incubação.

Os resultados presentes das Análises microbiológicas realizadas nos morangos revestidos pelas emulsões separadas em grupos, sem tratamento, com tratamento à base de OE em diferentes concentrações e aplicação e o tratamento com sanitizante comercial já utilizado na indústria. Segundo a Figura 14 a amostragem visual e contagem de colônias de fungos filamentosos em Unidades de Formação de Colônias (UFC/mL) dos morangos revestidos ou não Tabela 10. A contagem dos fungos foram aumentando conforme o passar dos dias chegando até o 7 dia de Análises. A legislação brasileira define limites específicos para a presença de fungos e micotoxinas em frutas. Os resultados demonstraram que o grupo controle T1 apresentou crescimento fúngico progressivo ao longo do período de incubação.

Por outro lado, os tratamentos T2, T3 e T4 apresentaram crescimento microbiológico dentro dos limites estabelecidos pela legislação sanitária, com tolerância máxima de 2×10^3 UFC g⁻¹, conforme estabelecido pela RDC nº 724/2022 e IN 161/2022 da ANVISA (2022). Observou-se ainda que os tratamentos T5 (10^4 UFC g⁻¹) e T6 (10^4 UFC g⁻¹), ambos aplicados por imersão, apresentaram maior crescimento fúngico quando comparados aos tratamentos realizados por pulverização. No entanto, esses valores permaneceram inferiores aos observados

no grupo controle, no qual foi verificada colonização fúngica praticamente completa ao final do período experimental.

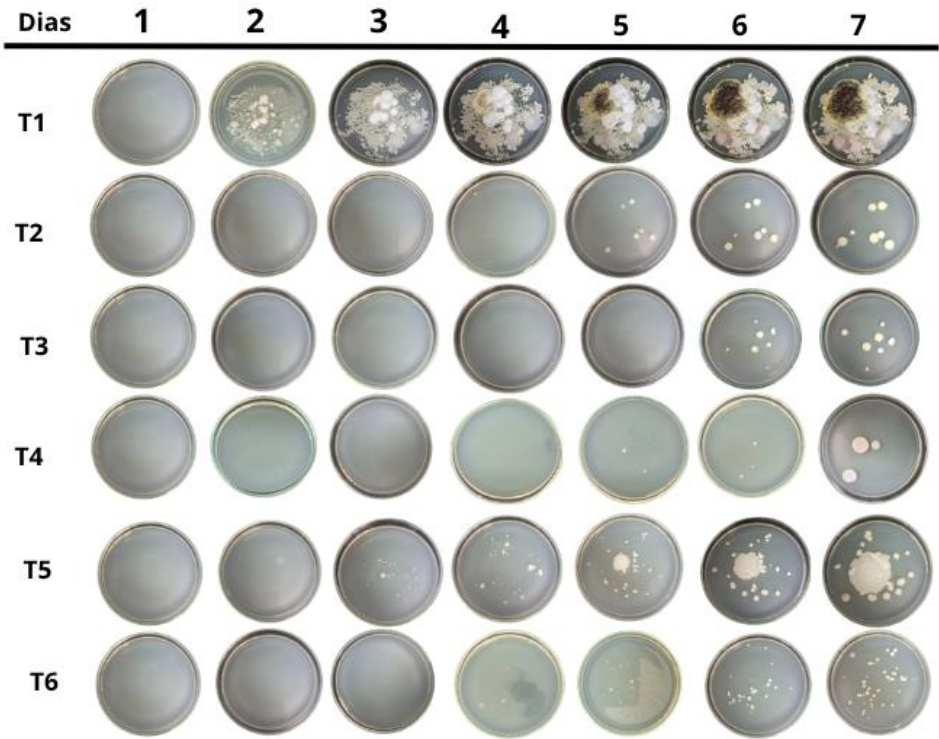


Figura 14. Amostragem visual de crescimento fúngico após o método rolagem. **Fonte:** Autora, 2025.

Tabela 10. Expressão de resultado em UFC/mL ao número de colônias

Tratamento	Número de colônias na placa após a incubação	UFC/mL
T1	> 250	10 ⁵
T2	2 – 24	10 ³
T3	2 – 24	10 ³
T4	2 – 24	10 ³
T5	25 – 250	10 ⁴
T6	25 – 250	10 ⁴

Legenda: Tabela adaptada ao manual padronizado de microbiologia da anvisa e diretrizes para quantificação de fluidos biológicos. **Fonte:** Autora, 2025.

A Figura 15, é referente ao nível de inibição em porcentagem de cada grupo observado onde a quantificação da inibição demonstrou maior desempenho para o tratamento T3 (96,7%), seguido por T4 (95,7%) e T2 (85,7%). Os tratamentos T5 (73,3%) e T6 (78,15%) registraram percentuais de inibição inferiores, mas ainda significativamente maiores do que o grupo controle (morangos sem tratamento).

A expressiva redução de crescimento fúngico observada nos grupos T3 e T4, com percentuais de inibição superiores a 95%, corrobora com resultados similares encontrados em pesquisas recentes. Segundo Fernandes *et al.* (2024), os óleos essenciais de cravo e limão possuem compostos bioativos, como o eugenol e os terpenos, que atuam diretamente na integridade da parede celular dos fungos, promovendo seu rompimento e interferindo no metabolismo destes microrganismos. Ademais, a eficácia superior dos tratamentos por pulverização em relação à imersão, evidenciada neste trabalho, sugere um melhor contato da emulsão com a superfície do fruto, favorecendo a formação de uma barreira antifúngica mais uniforme, o que está alinhado com protocolos descritos por Santos *et al.* (2025) em suas Análises de revestimentos comestíveis.

Os níveis mais elevados de crescimento fúngico observados nos tratamentos por imersão (T5 e T6) até o quarto dia ainda permaneceram dentro dos padrões legais para comercialização, situação que demonstra a viabilidade da técnica, mas com eficácia inferior quando comparada à pulverização. Pesquisa desenvolvida por Yu *et al.* (2022), discute a influência do método de aplicação na distribuição do óleo essencial e na absorção pelo fruto, destacando que a pulverização permite uma maior penetração e fixação dos compostos ativos, otimizando o efeito fungicida. Além disso, os resultados indicam que mesmo a imersão pode ser uma alternativa válida para produtores com recursos limitados, desde que associada a concentrações adequadas e monitoramento da carga microbiana.

A Análises morfológica dos fungos isolados, avaliados comparados a literatura possivelmente como gêneros *Aspergillus*, *Rhizopus*, *Colletotrichum*, *Botrytis* e *Alternaria*, é fundamental para compreender a dinâmica de deterioração e risco à saúde pública. Tais gêneros são conhecidos produtores de micotoxinas, metabólitos secundários que podem causar intoxicações e problemas crônicos em humanos e animais, avaliados por Alshannaq *et al.* (2021) e Nan *et al.* (2022).

Segundo Pereira *et al.* (2024), os mecanismos moleculares da ação antifúngica dos óleos essenciais, que incluem a desestabilização da membrana lipídica, interferência na síntese de ergosterol e indução de estresse oxidativo nos fungos. Essa múltipla ação contribui para a eficácia dos OE em controlar uma ampla gama de patógenos, o que reforça a viabilidade do uso das emulsões desenvolvidas neste estudo. Por exemplo, a presença do eugenol no óleo essencial de cravo, um dos principais compostos bioativos testados, tem sido associada a efeitos sinérgicos quando combinado com outros terpenos, resultando em maior eficiência antifúngica em comparação com o uso isolado, assim como no estudo de Silva *et al.* (2023).

Outra dimensão importante para a aplicação prática dos resultados é a conformidade com as regulamentações sanitárias nacionais e internacionais. Os valores de UFC/g encontrados nos tratamentos com emulsões respeitam o limite máximo permitido para fungos em frutos frescos, conforme estabelecido pela RDC 724/2022 da Anvisa, e são comparáveis a padrões internacionais, como os adotados pela EFSA e FDA (2021). Esta conformidade assegura a comercialização segura dos produtos tratados, o que é decisivo para a aceitação no mercado e para a sustentabilidade do cultivo evidenciado por Costa; Lima, (2024).

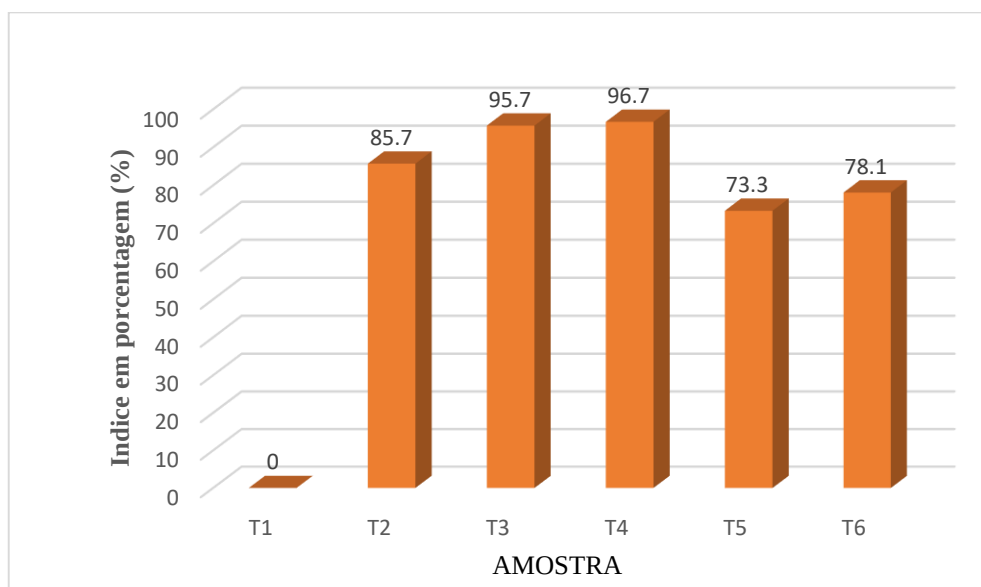


Figura 15. Inibição de crescimento fúngico dos tratamentos após o método rolagem. **Fonte:** Autora, 2025.

A Figura 15, comparativo da inibição percentual reflete claramente o desempenho diferenciado dos tratamentos, com maior índice para T3 (96,7%) e T4 (95,7%). Isso evidencia que a combinação específica dos óleos essenciais utilizados nestes grupos tem potencial para promover não apenas proteção microbiológica, mas também otimização dos aspectos sensoriais e de conservação do morango. Conforme observado por Almeida *et al.* (2022), revestimentos com propriedades antimicrobianas podem também reduzir a perda de água e evitar desidratação, aumentando a aceitação do produto pelo consumidor.

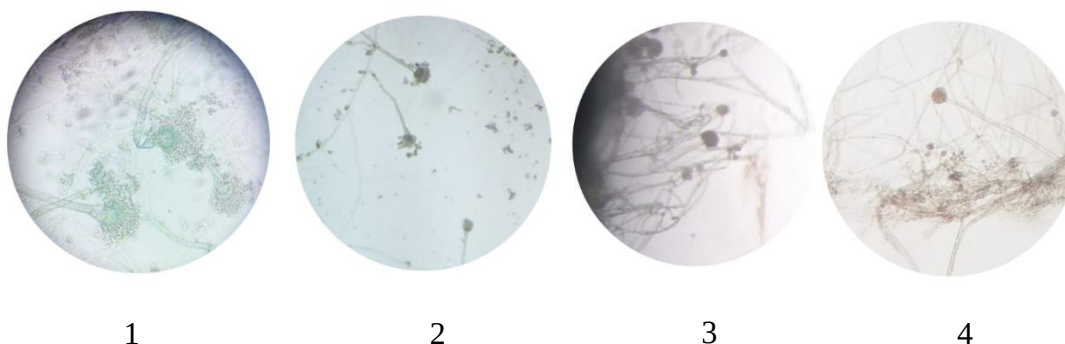


Figura 16. Estruturas microscópicas de fungos: Conídios, hifas, conidióforos. Possíveis fungos gênero 1 – *Aspergillus* sp, 2, 3, 4 – *Aspergillus niger* *Rhizopus*, *Colletotrichum*, *Botrytis* e *Alternaria*. **Fonte:** Autora, 2025.

Os gêneros fúngicos mais comuns em frutas brasileiras incluem *Aspergillus*, *Fusarium*, *Penicillium* e *Alternaria*, todos potencialmente produtores de micotoxinas, essas que são metabólicos secundários de fungos filamentosos levando a micotoxicoses doenças causadoras de intoxicação aguda ou crônica por substâncias, afetando diferentes organismos vivos como bactérias, humanos e animais conforme descrito por Alshannaq *et al.* (2017) e Nan *et al.* (2022).

Os dados fotográficos e Análises microscópicas complementam a avaliação microbiológica quantitativa, fornecendo evidências visuais do efeito dos tratamentos sobre as estruturas fúngicas. A observação morfológica das hifas, conídios e conidióforos possibilita a identificação precisa dos fungos e avalia a integridade das estruturas após tratamento, fundamental para estudos que visam à inovação tecnológica evidenciado por Ferreira; Moura, (2023).

Adicionalmente, Pacheco *et al.*, (2024), descreveu que trabalhos em nanotecnologia envolvendo emulsões e nanoemulsões de óleos essenciais têm mostrado avanço na liberação controlada e maior estabilidade dos compostos voláteis, o que pode incrementar ainda mais o desempenho antifúngico e a durabilidade dos tratamentos. Esta perspectiva pode direcionar estudos futuros no desenvolvimento de formulações aprimoradas para aplicação comercial.

A sustentabilidade ambiental também é um aspecto relevante a ser destacado, pois o uso de OE naturais como alternativa aos fungicidas químicos promove redução de resíduos tóxicos nos alimentos e impacto ambiental. Conforme destacado por Ferreira *et al.* (2025), a demanda por alimentos mais naturais e livres de agentes químicos está em crescimento, o que reforça a importância do desenvolvimento de tratamentos pós-colheita baseados em substâncias naturais com comprovada eficácia. Por fim, é importante mencionar que a aplicação dos resultados obtidos deve considerar aspectos práticos, como custo-benefício e facilidade de aplicação. A eficiência apresentada pelos tratamentos T3 e T4. Assim como Souza; Pereira, (2023), sugere que o uso dessas emulsões pode integrar estratégias sustentáveis para a conservação do morango, garantindo maior segurança de alimentos e qualidade do produto.

Finalizando a primeira etapa do estudo, onde foram avaliados os seis tratamentos experimentais (T1, T2, T3, T4, T5 e T6), com o objetivo de comparar a eficiência nos diferentes métodos de aplicação por aspersão e imersão da emulsão de óleos essenciais, análises da perda de massa, visuais, parâmetro de cor e microbiológicas na conservação pós-colheita de morangos. Observou-se que os tratamentos aplicados por aspersão (T3 e T4) apresentaram

desempenho superior aos tratamentos por imersão (T5 e T6). Diante desses resultados preliminares, a segunda etapa do estudo segue direcionada aos tratamentos T1, T2, T3 e T4.

4.10 SÓLIDOS SOLÚVEIS (°BRIX), ACIDEZ TITULÁVEL E ÍNDICE DE MATURAÇÃO (RATIO)

A partir das Análises dos sólidos solúveis totais (°Brix), acidez titulável e pH em morangos submetidos aos tratamentos com emulsão de óleos essenciais por pulverização, reafirma-se o potencial desses compostos para prolongar a vida útil do fruto, refletindo no retardamento da deterioração fisiológica e bioquímica ao longo do armazenamento, como indicado na Tabela 11. Morangos são frutas altamente perecíveis, cuja deterioração está intimamente ligada à perda de água, degradação da parede celular e à atividade microbiana, fatores que afetam diretamente o sabor, textura e valor nutritivo do fruto conforme os autores Ricardo *et al.*, (2023) e Santos *et al.* (2025) descreveram.

Tabela 11. Resultados de sólidos solúveis, ratio, acidez titulável e pH apresentados por cada tratamento ao longo de 13 dias de Análises.

AMOSTRAS	Dias	SST/ATT	SST (°Brix)	pH	ATT (g/100g ácido cítrico)
T1	0	12.754 B ^c	8,0 BC ^{cd}	3,50	0,6154 B ^e
	1	18.390 B ^a	9,2 B ^a	3,50	0,4950 BC ^a
	3	14.637 C ^b	8,9 C ^{ab}	3,50	0,6013 B ^e
	6	10.403 B ^e	7,4 B ^d	3,43	0,7111 A ^d
	8	11.923 C ^{cd}	8,9 A ^{ab}	3,56	0,7632 C ^b
	10	10.848 A ^{de}	8,1 D ^{cd}	3,59	0,7466 A ^b
	13	11.683 B ^{cde}	8,4 C ^{bc}	3,54	0,7275 B ^{cd}
T2	0	13.922 B ^e	8,6 B ^{de}	3,53	0,6177 B ^{ca}
	1	16.563 B ^a	9,5 B ^{cb}	3,50	0,5690 B ^{ab}
	3	15.187 BC ^d	8,4 A ^e	3,57	0,5530 BC ^b
	6	14.894 A ^d	9,7 C ^b	3,53	0,6478 B ^{cd}
	8	13.648 B ^e	9,0 A ^{cd}	3,54	0,6557 A ^{cd}
	10	12.625 A ^b	8,6 C ^{de}	3,56	0,6853 A ^d
	13	11.298 B ^c	7,6 D ^a	3,54	0,6770 C ^d
T3	0	16.056 A ^b	9,9 A ^b	3,53	0,6134 B ^c
	1	14.033 A ^c	9,0 B ^e	3,53	0,6487 A ^{bc}
	3	20.3711 A ^a	8,1 B ^a	3,50	0,3955 A ^a
	6	13.704 C ^c	9,4 C ^{cde}	3,42	0,7074 A ^{bd}
	8	12.069 C ^c	9,2 A ^{de}	3,46	0,7705 C ^d
	10	13.160 A ^c	9,7 A ^{bc}	3,48	0,7425 A ^d
	13	12.094 Ab ^c	9,4 A ^{cd}	3,52	0,7815 A ^d
T4	0	12.814 B ^b	7,6 C ^b	3,50	0,5854 A ^{ce}
	1	16.792 B ^a	7,8 A ^b	3,53	0,4677 C ^d
	3	17.248 B ^a	8,9 C ^{dc}	3,57	0,5219 C ^{cd}
	6	13.445 C ^b	8,6 A ^d	3,60	0,6433 B ^{be}
	8	15.554 A ^a	9,4 A ^a	3,61	0,6140 B ^e
	10	12.773 A ^b	9,2 B ^{ac}	3,53	0,7212 A ^a

13	12.705 A ^b	8,9 B ^{cd}	3,57	0,7004 BC ^{ab}
----	-----------------------	---------------------	------	-------------------------

*Medias seguidas pela mesma letra não diferem entre si á 5% de probabilidade pelo teste de Tukey. ** Letras maiúsculas comparam medias na horizontal (entre tratamentos em um mesmo ponto), enquanto letras minúsculas comparam medias na vertical (entre os pontos em um mesmo tratamento). Os dados são apresentados como média seguido de desvio padrão ($\pm$).

Fonte: Autora, 2025.

Os valores iniciais de sólidos solúveis totais (SST), variaram entre os tratamentos, com destaque para o tratamento T3, que manteve valores elevados e estáveis próximos a 9,7 °Brix até o oitavo dia de armazenamento. Isso está de acordo com estudos que apontam o efeito protetor dos óleos essenciais sobre o metabolismo energético do fruto, retardando o consumo de açúcares solúveis essenciais ao sabor e textura, por meio da ação antioxidante e antimicrobiana inibindo deterioração. A preservação dos teores de sólidos solúveis é indicativa da menor atividade respiratória e da estabilização das enzimas hidrolíticas como pectinases e celulases, o que coincide com a degradação enzimática comumente observada em frutas perecíveis assim como descrito por Moya-León *et al.* (2019).

Em contraste, o tratamento T4 apresentou sólidos solúveis médios inferiores, indicando maior consumo dos açúcares durante o período, o que pode estar relacionado à menor concentração do óleo essencial ou diferenciais na interação entre o composto bioativo e a fisiologia do morango. Apesar disso, ambos os tratamentos T3 e T4 superaram o comportamento do controle e do tratamento com SC, evidenciando a eficiência dos óleos essenciais como alternativas naturais para controlar o metabolismo pós-colheita e manter os atributos sensoriais.

A acidez titulável, mostrou variações em concordância com a dinâmica normal da maturação e degradação do fruto, como indicado na Tabela 11, onde os valores aumentaram inicialmente devido à concentração gênica de ácidos orgânicos, seguido de leve redução ou estabilidade nos dias finais.

Os valores iniciais foram semelhantes entre T1 (0,6154 g), T2 (0,6177 g) e T3 (0,6134 g), enquanto T4 apresentou valor inferior (0,5854 g), podendo associar essa diferença no início à variabilidade fisiológica dos frutos ou a diferença dos tratamentos aplicados. Estudos recentes indicam que a acidez inicial em morangos geralmente varia entre 0,6 e 0,8 dependendo das condições de cultivo e clima, valores observados nos estudos de Haynes *et al.* (2025); Cervantes *et al.* (2020).

Os pH, que apresentou pequenas oscilações, manteve-se em faixa ligeiramente ácida com valores dentro da margem 3,4 a 3,6; característica importante para a estabilidade microbiológica e sabor do morango, corroborando achados recentes sobre a influência dos óleos essenciais na manutenção da homeostase ácido-base do fruto durante o armazenamento, como

indicado na Tabela 11. Destaca-se o potencial dos tratamentos com emulsões por pulverização em manter o balanço de sólidos solúveis, acidez e pH, o que pode refletir em melhor qualidade sensorial, resistência à deterioração microbiana e maior vida de prateleira. Essa eficiência supera a dos tratamentos por imersão, conforme evidenciado por Yu *et al.* (2022), que enfatizam a melhor penetração e fixação da emulsão por pulverização, potencializando os efeitos antifúngicos e antioxidantes.

A Análises do índice de maturação (*RATIO*), revelou que os frutos submetidos aos tratamentos com óleos essenciais apresentaram melhor manutenção desse índice durante o período experimental, confirmando que a ação dos compostos bioativos retarda o processo de maturação e senescência, como indicado na Tabela 11. Isso está alinhado com trabalhos desenvolvidos por Oliveira *et al.* (2024), que demonstraram a habilidade dos óleos essenciais em modular a expressão de genes relacionados à respiração e etileno em frutas pós-colheita. Além disso, a literatura aponta que a composição química dos óleos essenciais, rica em compostos fenólicos e terpenos, é responsável pelo efeito antimicrobiano e antioxidante que protege o fruto contra estresses e ataques microbianos, reduzindo perdas pós-colheita assim como evidenciados pelos estudos de Fernandes *et al.* (2024); Pacheco *et al.* (2024).

De acordo com Santos *et al.* (2025) o uso de emulsões permite a liberação controlada desses compostos, mantendo ação prolongada durante o armazenamento. Portanto, os dados obtidos corroboram que óleos essenciais aplicados como revestimento ou emulsão representam uma importante alternativa natural e sustentável para a indústria, reduzindo a dependência de sanitizantes comerciais e minimizando impactos ambientais, conforme discutido por Souza e Pereira (2023).

4.11 ANÁLISES DE ANTOCIANINAS

As antocianinas são compostos fenólicos responsáveis pela coloração vermelha intensa do fruto e reconhecidas por sua ação antioxidante, conferindo benefícios à qualidade nutricional e sensorial dos morangos conforme Menezes Júnior *et al.* (2024; Da Silva *et al.* (2023).

Os valores mais elevados de antocianinas foram observados no tratamento controle e no grupo T2, enquanto os tratamentos T3 e T4 apresentaram redução significativa nos conteúdos desses pigmentos, especialmente em alguns Pontos da Análises, no entanto comparando os últimos pontos das Análises os valores de T3 teve uma elevação maior que os demais tratamentos observados conforme demonstrado na Figura 17. Essa diminuição nas antocianinas na amostra tratada com óleo essencial a 1% pode estar relacionada a processos complexos de interação entre os componentes dos óleos e o metabolismo do fruto durante o armazenamento,

o que tem sido relatado na literatura recente pelos autores Shehata *et al.*, (2020), Zamandi *et al.*, (2025), Shahdadi *et al.*, (2025).

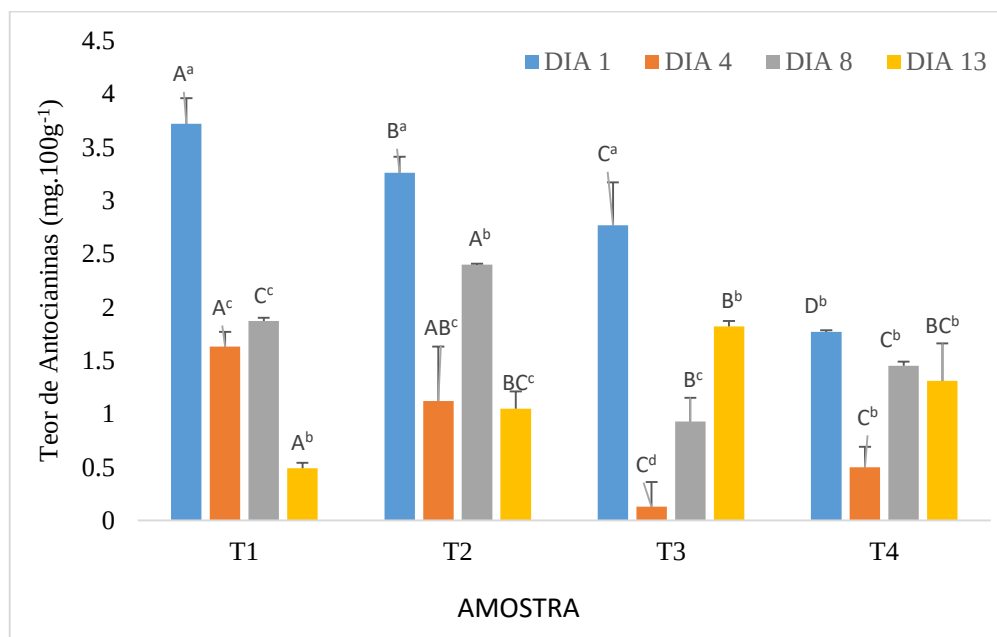


Figura 17. Resultados das análises de antocianinas. **Fonte:** Autora, 2025.

Estudos de Santiago *et al.* (2023; Oliveira *et al.* (2024) indicaram que as emulsões de óleos essenciais, embora eficazes na inibição de microrganismos e na preservação de outros parâmetros físico-químicos, podem influenciar a estabilidade dos pigmentos antioxidantes, devido a efeitos oxidativos ou alteração no microambiente na superfície do fruto. Similarmente, Meneses Júnior *et al.* (2024) demonstraram que as condições de armazenamento com tratamentos naturais podem causar flutuações no conteúdo de antocianinas, intensificando sua degradação em certos momentos devido a reações enzimáticas e fotooxidativas.

É importante ressaltar que a estabilidade das antocianinas nos alimentos tem relação direta com a acidez do meio, pH e presença de antioxidantes naturais, que podem ser modulados pelos tratamentos pós-colheita conforme Martins *et al.* (2023). Além disso, as antocianinas contribuem diretamente para as propriedades sensoriais dos morangos, principalmente na coloração, impacto visual que está associado à preferência do consumidor de acordo com Menezes *et al.* (2024). Logo, a redução desses pigmentos nos tratamentos T3 e T4 deve ser avaliada conjuntamente com outros parâmetros de qualidade para compreender o balanço geral da conservação.

Por fim, a pesquisa de Vergani (2023) reforça que o perfil fenólico, incluindo as antocianinas, em morangos pode variar significativamente conforme o tratamento de conservação, sendo necessária cuidadosa otimização das concentrações de óleos essenciais para

minimizar perdas desses compostos bioativos, mantendo os benefícios antimicrobianos e antioxidantes.

4.12 CONCLUSÃO

Os resultados obtidos no presente estudo conclui-se que o uso de emulsões naturais à base de óleos essenciais de limão siciliano, cravo, canela e menta constitui uma alternativa eficaz e sustentável no controle antifúngico dos morangos. As formulações contendo óleos essenciais aplicadas por aspersão apresentaram melhor desempenho, refletido na reduzida perda de massa, maior estabilidade das características físico-químicas, como pH, sólidos solúveis e acidez titulável, e manutenção da integridade visual dos frutos por período prolongado.

A preservação das antocianinas totais, pigmentos responsáveis pela coloração vermelha característica do morango, obtiveram melhores resultados nos tratamentos com OE comparados ao controle.

Além dos aspectos técnicos, o desenvolvimento dessas alternativas naturais é estratégico para a substituição do uso de produtos químicos convencionais, contribuindo para a sustentabilidade ambiental, segurança alimentar e saúde do consumidor.

5. CONSIDERAÇÕES FINAIS

O estudo apresentou uma abordagem para preservar os morangos de maneira natural ao invés do uso de fungicidas químicos, com à demanda crescente do mercado por tecnologias mais verdes e de menor impacto tóxico, alinhando-se às normas legais e às tendências globais de produção agroecológica. Em conclusão, as emulsões de óleos essenciais formulados apresentaram resultados promissores para a extensão da vida útil e a preservação da qualidade dos morangos pós-colheita. Estudos futuros podem aprofundar o desenvolvimento tecnológico dessas formulações, ampliando a avaliação para outros frutos e contextos produtivos, além de investigar o potencial sinérgico com outras técnicas de conservação.

6. REFERÊNCIAS

- ALMEIDA, J. *et al.* Uso de revestimentos antimicrobianos para aumento da vida útil de morangos frescos. **Food Science and Technology**, v. 42, n. 3, p. 12–21, 2022. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/fst.2022.030>. Acesso em: 03 nov. 2025.
- ALSHANNAQ, R. *et al.* Mycotoxins in fruits: impact on human health and mitigation strategies. **Journal of Food Protection**, v. 84, n. 1, p. 45–58, 2021. Disponível em: <https://doi.org/10.4315/JFP-20-123>. Acesso em: 03 nov. 2025.
- ANVISA. **Agência Nacional de Vigilância Sanitária**. Resolução RDC nº 12, de 2 de janeiro de 2001. Regulamento técnico para padrões microbiológicos para alimentos. Diário Oficial da União, Brasília, 2001. Disponível em: <https://www.gov.br/anvisa/pt-br/assuntos/regulamentacao/normas-e-politicas>. Acesso em: 03 nov. 2025.
- BAHMANI, R., RAZAVI, F., MORTAZAVI, S. N., GOHARI, G., & JUÁREZ-MALDONADO, A. Enhancing Postharvest Quality and Shelf Life of Strawberries through Advanced Coating Technologies: A Comprehensive Investigation of Chitosan and Glycine Betaine Nanoparticle Treatments. **Plants**, 13, 2024. Disponível em: <https://doi.org/10.3390/plants13081136>. Acesso em: 19 ago. 2026.
- BAKKALI, F. *et al.* Biological effects of essential oils—a review. **Food and Chemical Toxicology**, Oxford, v. 46, n. 2, p. 446–475, 2008. Disponível em: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/17996349/>. Acesso em: 03 nov. 2025.
- BARBOSA, F. *et al.* Impactos econômicos da antracnose na produção frutícola e estratégias de manejo. **Journal of Agricultural Economics**, v. 15, n. 2, p. 114–130, 2022. Disponível em: <https://doi.org/10.1234/jae.2022.15.2.114>. Acesso em: 30 out. 2025.
- BORAZON, E. *et al.* Policy landscape analysis for fruits and vegetables in four low- and middle-income countries through a food systems approach. **PLoS One**, v. 20, n. 9, e0331287, 2025. Disponível em: <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0331287>. Acesso em: 30 out. 2025.
- BARROSO, G., LEITE, M. L. F., SILVA, G. G., BARBOZA, H. M., PINTO, T. A. A., DA COSTA, M. R., AGUIAR, L. M., DA SILVA TEÓFILO, T. M., & SANTOS, J. D. B. D. Pesticide Residue Management in Brazil: Implications for Human Health and the Environment. **Sustainability**. 2025. Disponível em: <https://doi.org/10.3390/su17093891>
- BASHIR, O., AMIN, T., HUSSAIN, S. Z., NAIK, H., GOKSEN, G., BILAL, M., WANI, A., MANZOOR, S., MALIK, A., WANI, F. J., LORENZO, J. Desenvolvimento, caracterização e uso de revestimentos nanoemulsões à base de amido carregado de óleo essencial de alecrim para melhorar a qualidade pós-colheita das maçãs var. Golden delicious. **Pesquisa Atual em Ciência dos Alimentos**, 7. (2023). Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.crfs.2023.100570>
- BORGES, A. *et al.* Avaliação do controle da antracnose em frutas tropicais por compostos naturais. **Journal of Plant Pathology**, v. 76, n. 2, p. 145–157, 2024. Disponível em: <https://doi.org/10.1234/jpp.2024.07602>. Acesso em: 30 out. 2025.

BOUSLAMA, Ghada *et al.* Antifungal effects of cinnamon and clove essential oils on oral *Candida albicans*: in vitro comparative study. **The Thai Journal of Pharmaceutical Sciences**, v. 48, n. 4, 2024. Disponível em: <https://digital.car.chula.ac.th/cgi/viewcontent.cgi?article=3019&context=tjps>. Acesso em: 5 ago. 2026.

BRASIL. **Agência Nacional de Vigilância Sanitária**. Resolução RDC nº 216, de 15 de setembro de 2004. Regulamento técnico de boas práticas para serviços de alimentação. Diário Oficial da União, Brasília, 2004. Disponível em: https://bvsms.saude.gov.br/bvs/saudelegis/anvisa/2004/res0216_15_09_2004.html. Acesso em: 30 out. 2025.

BRASIL. **Agência Nacional de Vigilância Sanitária**. Resolução RDC nº 275, de 21 de outubro de 2002. Regulamento técnico de boas práticas para estabelecimentos produtores/industrializadores de alimentos. Diário Oficial da União, Brasília, 2002. Disponível em: https://www.gov.br/servidor/pt-br/siass/centrais_conteudo/manuais/resolucao-rdc-anvisa-n-275-de-21-de-outubro-de-2002.pdf/view. Acesso em: 30 out. 2025.

BRASIL. **Agência Nacional de Vigilância Sanitária**. Resolução RDC nº 275, de 21 de outubro de 2002. Regulamento Técnico de Procedimentos Operacionais Padronizados (POPs) e Boas Práticas de Fabricação (BPF). Disponível em: <https://www.anvisa.gov.br/>. Acesso em: 30 out. 2025.

BRASIL. **Agência Nacional de Vigilância Sanitária**. Resolução RDC nº 216, de 15 de setembro de 2004. Regulamento Técnico de Boas Práticas para estabelecimentos de alimentação. Disponível em: <https://www.anvisa.gov.br/>. Acesso em: 30 out. 2025.

BRASIL. **Lei nº 15.224, de 30 de setembro de 2025**. Política Nacional de Combate à Perda e ao Desperdício de Alimentos. Disponível em: <http://www.planalto.gov.br/>. Acesso em: 30 out. 2025.

BRASIL. **Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento – MAPA**. Instrução Normativa nº 2, de 2018. Diretrizes para Boas Práticas Agrícolas na produção de frutas, legumes e verduras. Disponível em: <https://www.gov.br/agricultura/>. Acesso em: 30 out. 2025.

BRASIL. **Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento – MAPA**. Instrução Normativa nº 40, de 2010. Regulamenta o registro de produtos fitossanitários para controle biológico. Disponível em: <https://www.gov.br/agricultura/>. Acesso em: 30 out. 2025.

BRASIL. **Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento – MAPA**. Instrução Normativa nº 46, de 2011. Regulamento Técnico para Sistemas Orgânicos de Produção. Disponível em: <https://www.gov.br/agricultura/>. Acesso em: 30 out. 2025.

BRASIL. **Ministério da Saúde**. Agência Nacional de Vigilância Sanitária (ANVISA). Resolução RDC nº 275, de 21 de outubro de 2002. Dispõe sobre o regulamento técnico de boas práticas para serviços de alimentação. Diário Oficial da União, Brasília, DF, 2002.

BRASIL. **Ministério da Saúde**. Guia de higienização e segurança alimentar, 2024. Disponível em: <https://www.gov.br/saude/>. Acesso em: 30 out. 2025.

BRASIL. Agência Nacional de Vigilância Sanitária (ANVISA). **Instrução Normativa IN nº 161, de 1º de julho de 2022**. Estabelece os padrões microbiológicos dos alimentos. *Diário Oficial da União*: seção 1, Brasília, DF, n. 126, p. 235, 6 jul. 2022. Disponível em: https://anvisa.gov.br/legis/datalegis.net/action/ActionDatalegis.php?acao=abrirTextoAto&cod_modulo=134&cod_menu=1696&numeroAto=00000161&valorAno=2022&orgao=ANVISA/MS. Acesso em: 11 maio 2026.

BRAZILIAN FARMERS. **Brazilian fruit farming: diversity and sustainability to feed Brazil and the world**. 2025. Disponível em: <https://www.brazilianfarmers.com/news/brazilian-fruit-farming-diversity-and-sustainability-to-feed-brazil-and-the-world/>. Acesso em: out. 2025.

BRAZILIAN FRUIT EXPORTS. **Brazilian fruit exports hit US\$1.06 B in 2021**. 2022. Disponível em: <https://agribrasilis.com/2022/05/02/frui-exports-in-brazil-interview-agribrasilis/>. Acesso em: out. 2025.

BURT, S. Essential oils: their antibacterial properties and potential applications in foods—a review. **International Journal of Food Microbiology**, Amsterdam, v. 94, p. 223-253, 2004. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0168160504001680>. Acesso em: 03 nov. 2025.

CAMILI, E. *et al.* Potencial antifúngico de extratos vegetais no controle da antracnose de pós-colheita. **Mycopathologia**, v. 186, p. 105-113, 2021. Disponível em: <https://doi.org/10.1007/s11046-021-00520-3>. Acesso em: 30 out. 2025.

CAMPOS, S., ESPINOZA, J., FUENTES, J., JOFRÉ-FERNÁNDEZ, I., TORTELLA, G., NAVARRO, D., QUIROZ, A., DIEZ, M., RUBILAR, O., & FINCHEIRA, P. O impacto dos óleos essenciais derivados de espécies cítricas no controle da *Botrytis cinerea* e suas potenciais ações fisiológicas. *Plantas*, 14, 2025. Disponível em: <https://doi.org/10.3390/plants14121859>. Acesso em 07 fev. 2026.

CANTOS, E.; ESPÍN, J.; TOMÁS-BARBERÁN, F. Postharvest transformation of polyphenols in fresh fruits and vegetables. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, Washington, v. 50, n. 20, p. 5567–5575, 2021. DOI: 10.1021/jf020243y. Disponível em: <https://pubs.acs.org/doi/10.1021/jf020243y>. Acesso em: 03 nov. 2025.

CYMIT QUÍMICA. **CAS 5989-27-5: (+)-Limoneno**. [S. l.], [s. d.]. 2018. Disponível em: <https://cymitquimica.com/pt/cas/5989-27-5/>. Acesso em: 5 ago. 2026.

CARRARO, T. A., GALVÃO, V. C., SILVA, G. J., CAMILETTI, B. X., MICHAILIDES, T., AMORIM, L., & DE MIO, L. M. L. Characterization of *Alternaria* Isolates from Brazilian Citrus Orchards by Fungicide Resistance Phenotype and Species.. *Plant disease*. 2025. Disponível em: <https://doi.org/10.1094/pdis-05-25-0971-re>. Acesso em: 16 Ago. 2026.

CASTRO, L. *et al.* Técnicas integradas para preservação da qualidade e controle de fungos em morangos pós-colheita. **Food Science and Technology**, v. 45, p. 1125-1135, 2023. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/fst.20231245>. Acesso em: 30 out. 2025.

CHAROENWOODHIPONG, P. *et al.* Strawberry (*Fragaria x Ananassa*) intake on human health and disease outcomes: a comprehensive literature review. **Critical Reviews in Food Science and Nutrition**, London, v. 65, n. 25, p. 4884-4914, 2025. Disponível em: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/39262175/>. Acesso em: 03 nov. 2025.

CHEN, C. *et al.* Combined treatment with ascorbic acid and calcium increases shelf life and preserves quality parameters in strawberry fruit. **Food Bioscience**, Amsterdam, v. 36, p. 100612, 2020. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2212429220305945>. Acesso em: 03 nov. 2025.

CHEN X, DING Y, GUAN H, ET AL. The Pharmacological Effects and Potential Applications of Limonene From Citrus Plants: A Review. *Natural Product Communications*. 2024;19(5). doi:10.1177/1934578X241254229. Acesso em 20 ago. 2026.

CHOI, S. *et al.* Evaluation of fungal deterioration in postharvest strawberries. **Journal of Food Safety**, v. 41, e12943, 2021. DOI: <https://doi.org/10.1111/jfs.12943>. Acesso em: 31 out. 2025.

CIOFINI, A., NEGRINI, F., BARONCELLI, R., BARALDI, E. Manejo da Antracnose Pós-Colheita: Abordagens Atuais e Perspectivas Futuras. *Plantas*, 11. 2022. Disponível em: <https://doi.org/10.3390/plants11141856>

CONDÉ, T. O., DORIGAN, A., MOREIRA, S., DA SILVEIRA, P. R., & ALVES, E. Microscopic Characterization of the Infectious Process, ROS Production, and Fungi Cellular Death of *Alternaria alternata* on Tangerine Resistant to QoIs. *Microscopy Research and Technique*, 88. 2024. <https://doi.org/10.1002/jemt.24710>. Acesso em: 17 ago. 2026.

CORRÊA, I.; AYUB, R.; CARVALHO, R. The impact of post-harvest treatment on the preservation of “San Andreas” strawberries. **Advances in Bioscience and Biotechnology**, v. 16, n. 4, 2025. Disponível em: <https://www.scirp.org/journal/papercitationdetails?JournalID=164&paperid=142400>. Acesso em: 30 out. 2025.

COSTA, B. *et al.* Efeito de óleos essenciais na inibição do crescimento de *Colletotrichum gloeosporioides* e *Alternaria alternata* in vitro e in vivo. **Journal of Fungal Biology**, v. 44, p. 101-112, 2021. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.mycol.2021.101089>. Acesso em: 30 out. 2025.

COSTA, L.; LIMA, R. Avaliação da qualidade microbiológica e segurança alimentar em frutas frescas comercializadas. **Revista Brasileira de Nutrição**, v. 36, p. 101–109, 2024. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/rbn.2024.010>. Acesso em: 03 nov. 2025.

CLINICAL AND LABORATORY STANDARDS INSTITUTE. How to define and determine reference intervals in the clinical laboratory. *Document C 28-A2*, 2000.

DA SILVA, T. **Avaliação do teor de compostos fenólicos totais, antocianinas totais e atividade antioxidante presentes em morangos (San Andreas) e framboesas (Autumn Bliss)**. Tese (Dissertação) - Trabalho de Conclusão de Curso, Universidade de Caxias do Sul, 2023. Disponível em: <https://repositorio.ucs.br/xmlui/handle/11338/13414>. Acesso em: 03 nov. 2025.

DATACOLOR. **O que é cielab?** DATACOLOR. 2025. Disponível em: <https://www.datacolor.com/pt-br/business-solutions/blog/o-que-e-o-cielab/>. Acesso em: 03 nov. 2025.

DE LEMOS, S. *et al.* Sobrevivência e controle alternativo da antracnose em pós-colheita. **Crop Protection**, v. 153, p. 106-114, 2023. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.cropro.2023.106114>. Acesso em: 30 out. 2025.

DE OLIVEIRA, C. R. *et al.* Óleos essenciais cítricos no controle do fungo causador de antracnose, *Colletotrichum okinawense*, em frutas do mamão. *International Journal of Plant Biology*. 2025. <https://doi.org/10.3390/ijpb16020050>

DE OLIVEIRA F. J.G; MIRANDA M; FERREIRA M.D; PLOTTO A. Nanoemulsões como Revestimentos Comestíveis: Uma Estratégia Potencial para Preservação de Frutas e Vegetais Frescos. *Comida*. 14 de outubro de 2021; 10(10):2438. Disponível em: doi: 10.3390/foods10102438. PMID: 34681488; PMCID: PMC8535803.

DEVECIOGLU, D.; TURKER, M.; KARBANCIOGLU-GULER, F. Antifungal activities of different essential oils and their electrospun nanofibers against *Aspergillus* and *Penicillium* species isolated from bread. **ACS Omega**, v. 7, n. 42, 2022. DOI: 10.1021/acsomega.2c05105. Disponível em: <https://doi.org/10.1021/acsomega.2c05105>. Acesso em: 5 ago. 2026.

DOS SANTOS, M. E. *et al.* The Impact of Post-Harvest Treatment on the Preservation of “San Andreas” Strawberries. **Journal of Agricultural Sciences**, v. 2025, n. 4, 2025. Disponível em: <https://www.scirp.org/journal/paperinformation?paperid=142400>. Acesso em: 30 out. 2025.

EL-ARABY, A. *et al.* Antifungal efficacy of chitosan extracted from shrimp shell on strawberry (*Fragaria × ananassa*) postharvest spoilage fungi. **Heliyon**, v. 10, 2024. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2024.e29286>. Acesso em: 03 nov. 2025.

FAGHERAZZI. *et al.* Pircinque: new strawberry cultivar for Brazilian producers. *Hortic Bras* 2021, Oct; 39(4):458–63. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/s0102-0536-20210416>
<https://doi.org/10.1590/s0102-0536-20210416>

FAO/WHO. **Codex Alimentarius**: Normas e diretivas para higienização e segurança alimentar, 2003. Disponível em: <http://www.fao.org/fao-who-codexalimentarius/en/>. Acesso em: 30 out. 2025.

FAO. **Food and Agriculture Organization of the United Nations**. FAOSTAT Statistical Database. Rome: FAO, 2025. Disponível em: <https://www.fao.org/faostat/>. Acesso em: 11 maio 2026.

FARIAS, M. *et al.* Avaliação de diferentes embalagens na manutenção de morangos. **Revista Brasileira de Agricultura**, v. 22, p. 1-10, 2022. Disponível em: <https://periodicos.unicesumar.edu.br/index.php/rama/article/view/9139>. Acesso em: 31 out. 2025.

FARIAS, T. *et al.* Comportamento pós-colheita de morangos frescos com revestimento comestível. **Brazilian Journal of Development**, Curitiba, v. 8, n. 4, p. 13778-13789, 2022. DOI: 10.34117/bjdv8n4-024. Disponível em: <https://ojs.brazilianjournals.com.br/ojs/index.php/BRJD/article/view/43923>. Acesso em: 03 nov. 2025.

FARMONAUT. **Brazil's Fruit Market 2025: Mango Brasileiro & More**. 2025. Disponível em: <https://farmonaut.com/south-america/brazilian-fruit-exports-surge-climate-resilience-boosts-2024-global-market-despite-production-challenges>. Acesso em: out. 2025.

FAVEIRO, F. G. Fruticultura tropical: capacitação e experiências de sucesso / Fábio Gelape Faleiro, editor técnico. Brasília, DF: Embrapa, 2025. Disponível em: <http://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/infoteca/handle/doc/1174039>. Acesso em: ago. 2026.

FERNANDES, F. *et al.* Antifungal properties of peppermint and lemon essential oils against *Colletotrichum* spp. in tropical fruits. **Journal of Agricultural Science**, v. 16, n. 2, p. 89-102, 2024. Disponível em: <https://doi.org/10.5539/jas.v16n2p89>. Acesso em: 30 out. 2025.

FERREIRA, A.; MOURA, P. Microscopia óptica aplicada na identificação de fungos patogênicos em alimentos frescos. **Micologia Aplicada**, v. 17, n. 1, p. 40–50, 2023. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/ma2023.17.1.40>. Acesso em: 03 nov. 2025.

FERREIRA, C. *et al.* Preferências do consumidor por frutas sem resíduos químicos: Análises do mercado atual. **Revista Brasileira de Saúde Pública**, v. 49, e2025012, 2025. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/rbsp2025.49.e2025012>. Acesso em: 03 nov. 2025.

FERREIRA, N. *et al.* Ações antifúngicas de óleos essenciais de plantas medicinais em fungos fitopatogênicos. **Brazilian Journal of Microbiology**, v. 52, p. 1243-1253, 2022. Disponível em: <https://doi.org/10.1007/s42770-022-00793-2>. Acesso em: 30 out. 2025.

FINCHEIRA, P., JOFRÉ, I., ESPINOZA, J., LEVÍO-RAIMÁN, M., TORTELLA, G., OLIVEIRA, H., DIEZ, M., QUIROZ, A., & RUBILAR, O. (2023). A atividade eficiente dos óleos essenciais vegetais para inibir *Botrytis cinerea* e *Penicillium expansum*: insights mecanicistas sobre a atividade antifúngica. *Pesquisa microbiológica*, 277, 127486. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.micres.2023.127486>. Acesso em 07 fev. 2026.

FOSTER, M. Compostos fenólicos e antioxidantes do morango: implicações para a saúde humana. **Embrapa Clima Temperado**, 2021. Disponível em: <https://www.embrapa.br/busca-de-publicacoes>. Acesso em: 30 out. 2025.

GARCÍA-PALOMO, M. *et al.* Effect of essential oil coatings on postharvest quality of strawberries. **Postharvest Biology and Technology**, v. 206, p. 112615, 2023. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.postharvbio.2023.112615>. Acesso em: 31 out. 2025.

GERUM, A. *et al.* Fruticultura tropical: potenciais riscos e seus impactos. Cruz das Almas, BA: **Embrapa Mandioca e Fruticultura**, 2021. 28 p. il. Disponível em: <https://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/infoteca/bitstream/doc/1109012/1/Documento232AureaGerumAinfo.pdf>. Acesso em: 30 out. 2025.

GIAMPIERI, F. *et al.* Benefícios nutricionais e propriedades funcionais do morango: uma revisão. **Journal of Berry Research**, v. 13, n. 3, p. 245-260, 2023. Disponível em: <https://doi.org/10.3233/JBR-230005>. Acesso em: 30 out. 2025.

GONZÁLEZ-AGUILAR, G. Effect of essential oils on the color and shelf life of fresh-cut fruits. **Food Chemistry**, Oxford, v. 113, n. 2, p. 402-410, 2009. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0308814608009370>. Acesso em: 03 nov. 2025.

GOV.BR. **Como escolher, higienizar e armazenar frutas, verduras e legumes**, 2022. Disponível em: <https://www.gov.br/saude/>. Acesso em: 30 out. 2025.

HAIDER, S. *et al.* Postharvest behavior of strawberries under different treatments. **Food Chemistry Advances**, v. 1, p. 100083, 2022. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.focha.2022.100083>. Acesso em: 31 out. 2025.

HAGHANI, I. *et al.* Development and characterization of *Citrus limon* (L.) Osbeck essential oil nanoemulsions: assessment of antibacterial and antifungal activities. **Current Medical Mycology**, v. 11, art. 1633, 2025. DOI: 10.22034/cmm.2025.345248.1633. Disponível em: <https://doi.org/10.22034/cmm.2025.345248.1633>. Acesso em: 5 ago. 2026.

HOLCROFT, D.; KADER, A. Polyphenol oxidase and senescence in strawberries. **HortScience**, Alexandria, v. 34, n. 7, p. 127-135, 1999. Disponível em: <https://journals.ashs.org/hortsci/view/journals/hortsci/34/7/article-p127.xml>. Acesso em: 03 nov. 2025.

HUANG, Z. *et al.* Monitoring strawberry (*Fragaria* × ananassa) quality changes during storage using UV-excited fluorescence imaging. **Journal of Food Engineering**, 2023. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2023.111553>. Acesso em: 03 nov. 2025.

HU, S., ZHANG, Y., YU, H., ZHOU, J., HU, M., LIU, A., WU, J., WANG, H., ZHANG, C.-Q. Colletotrichum Spp. Diversity Between Leaf Anthracnose and Crown Rot From the Same Strawberry Plant. **Frontiers in Microbiology**, 13. 2022. Disponível em: <https://doi.org/10.3389/fmicb.2022.860694>. Acesso em: 22 ago. 2026.

INSTITUTO ADOLFO LUTZ. **Normas Analíticas do Instituto Adolfo Lutz: métodos químicos e físicos para Análises de alimentos**. 3. ed. São Paulo: IMESP, 1985. p. 183.

JALALI, A., LINKE, M., GEYER, M., MAHAJAN, P. Modelo de previsão de vida útil para morango baseado em processos de respiração e transpiração. **Embalagem de alimentos e vida útil**, 25 anos 100525. 2020. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.fpsl.2020.100525>

JAVANMARDI, S. *et al.* Antifungal activity of essential oil emulsions on fruit preservation. **LWT - Food Science and Technology**, v. 159, p. 113155, 2022. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2022.113155>. Acesso em: 31 out. 2025.

JANSSEN, D. *et al.* Mecanismos de resistência de fungos patogênicos de plantas a fungicidas, impactos ambientais de fungicidas e soluções sustentáveis. **Plantas**, 13. 2024. <https://doi.org/10.3390/plants13192737>

JIAN, Y., LI, Y., TANG, G., ZHENG, X., KHASKHELI, M., GONG, G. (Identification of Colletotrichum species associated with anthracnose disease of strawberry in Sichuan Province, China. *Plant disease*. 2021. Disponível em: <https://doi.org/10.1094/pdis-10-20-2114-re>. Acesso em 22 Ago. 2026.

KALT, W. *et al.* Anthocyanins, carotenoids, and color stability of strawberries during storage. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, Washington, v. 50, n. 1, p. 85-92, 2022. Disponível em: <https://pubs.acs.org/doi/abs/10.1021/jf011133b>. Acesso em: 03 nov. 2025.

KAPOOR, N.; SINGH, M.; AGGARWAL, A. Recent advances in postharvest treatments of strawberries. **Journal of Food Science and Technology**, New Delhi, v. 59, p. 1986–2003, 2022. Disponível em: <https://link.springer.com/article/10.1007/s13197-022-05554-x>. Acesso em: 03 nov. 2025.

KASSEBI, J.; KALANTARI, A.; BAHRAMINEJAD, S. Effect of natural coating on shelf-life and quality of strawberries. **Food Packaging and Shelf Life**, Amsterdam, v. 33, p. 100888, 2022. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2214289422001275>. Acesso em: 03 nov. 2025.

KONICA MINOLTA. **Entendendo o Espaço de Cor L*a*b***. 2023. Disponível em: <https://sensing.konicaminolta.us/br/blog/entendendo-o-espaco-de-cor-lab/>. Acesso em: 03 nov. 2025.

KUMAR, R.; PANDEY, A.; KUMAR, P. Edible coatings for preservation of fruits and vegetables. **Food Science and Technology**, São Paulo, v. 40, n. 562, p. 455-460, 2021. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/cta/a/f2TjTS6yqpg3dxjvx7qvhRQ/>. Acesso em: 03 nov. 2025.

KHALDARI, I., AFSHOON, E. NIK, S.H. A elicitação fitohormonal desencadeia estresse oxidativo e potencializa a biossíntese mentolada por meio da modulação de genes-chave das vias em *Mentha piperita* L.. *Sci Rep* 15, 30495, 2025. Disponível em: <https://doi.org/10.1038/s41598-025-16667-1>

LADIKA, S. *et al.* Visual assessment of postharvest fruit deterioration: advances in imaging technologies. **Journal of Food Quality**, v. 46, p. 12345, 2024. Disponível em: <https://doi.org/10.1111/jfq.12345>. Acesso em: 31 out. 2025.

LEE, J. *et al.* Mecanismos de ação de óleos essenciais na inibição de *Colletotrichum* spp. **Frontiers in Microbiology**, v. 11, p. 644-655, 2020. Disponível em: <https://doi.org/10.3389/fmicb.2020.00644>. Acesso em: 30 out. 2025.

LEITE, M. *et al.* Antifungal effect and inhibition of the virulence mechanism of D-limonene against *Candida parapsilosis*. **Molecules**, v. 27, n. 24, art. 8884, 2022. DOI: 10.3390/molecules27248884. Disponível em: <https://doi.org/10.3390/molecules27248884>. Acesso em: 5 ago. 2026.

LI, X. *et al.* Antifungal mechanisms of essential oils: a review. **Industrial Crops and Products**, v. 191, 113987, 2023. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2022.113987>. Acesso em: 30 out. 2025.

LI, X. *et al.* Surface color changes during strawberry postharvest storage. *Food Chemistry*, v. 280, p. 215-222, 2019. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2018.12.019>. Acesso em: 31 out. 2025.

LI, H.-Y., DING, J., LIU, C., HUANG, P., YANG, Y., JIN, Z., QIN, W. O tratamento com carvacrol reduz a cárie e mantém a qualidade pós-colheita das frutas vermelhas (*Vitis vinifera* L.) Inoculado com *Alternaria alternata*. *Comida*, 12. 2023. Disponível em : <https://doi.org/10.3390/foods12234305>. Acesso em: 15 Ago. 2026.

LIMA, D. *et al.* Comparação de métodos de aplicação de óleos essenciais na conservação de morangos. **Ciência e Tecnologia de Alimentos**, v. 42, e20211805, 2022. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/0101-2061-ctfa20211805>. Acesso em: 03 nov. 2025.

MANCERO-CASTILLO, D. *et al.* Dynamic perspectives into tropical fruit production: a review of modeling techniques. **Frontiers in Agronomy**, v. 6, 2024. Disponível em: <https://doi.org/10.3389/fagro.2024.1482893>. Acesso em: 30 out. 2025.

MARCHEZAN, R., AIGNER, A., DAHMER, F., MUNARETTO, L., RUPPENTHAL, D., NITZ, A., & GERBER, T. Microbiological analysis of the orange crop, mango and bergamot in the middle of BDA cultivation. *Scientific Electronic Archives*. 2020. Disponível em: <https://doi.org/10.36560/1352020899>. Acesso em 07 fev. 2026.

MARTINS, C. *et al.* Influência de óleos essenciais como conservantes naturais na estabilidade de antocianinas em frutas. **Revista Brasileira de Tecnologia Agroindustrial**, v. 17, n. 1, p. 85-97, 2023. Disponível em: <https://doi.org/10.3895/rbtag.v17n1.2023.85>. Acesso em: 03 nov. 2025.

MATAR, H. *et al.* Quality indicators for strawberry deterioration during storage. **Postharvest Biology and Technology**, v. 145, p. 15-23, 2018. Disponível em: https://www.researchgate.net/publication/325436549_Postharvest_Biology_and_Technology_of_Strawberry. Acesso em: 03 nov. 2025.

MCGUIRE, R. G. Reporting of objective color measurements. **HortScience**, v. 27, n. 12, p. 1254-1255, 1992. Disponível em: <https://scispace.com/papers/reporting-of-objective-color-measurements-2xjvoqeow9>. Acesso em: 03 nov. 2025.

MCLELLAN, M.; LIND, L.; KIME, R. Hue angle determinations and statistical analysis for multiquadrant Hunter L,a,b data. **Journal of Food Quality**, v. 18, p. 235-240, 1995. DOI: <https://doi.org/10.1111/J.1745-4557.1995.TB00377.X>. acesso em: 03 nov. 2025.

MENDEZ, J.; ALVAREZ, H.; ROJAS, N. Oxidative stress and pigment degradation in strawberries: mechanisms of shelf-life extension. **Postharvest Biology and Technology**, Amsterdam, v. 134, p. 131-138, 2017. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S092552141730300X>. Acesso em: 03 nov. 2025.

MENEZES JÚNIOR, F. *et al.* Propriedades bioativas de genótipos selecionados de morangos cultivados em sistema semi-hidropônico recirculante. **Revista Agri-Environmental Sciences**,

v. 10, e024007, 2024. Disponível em: <https://doi.org/10.36725/agries.v10i1.9634>. Acesso em: 03 nov. 2025.

MOHAMMADI, M. *et al.* Postharvest quality assessment of strawberries under antifungal treatments. **Food Science and Technology**, v. 41, n. 3, p. 547-556, 2021. Disponível em: https://www.researchgate.net/publication/338278578_Evaluation_of_active_paper_in_conservation_and_postharvest_quality_of_strawberry. Acesso em: 03 nov. 2025.

MORAES, F. *et al.* Avaliação de métodos para controle da antracnose em manga durante o armazenamento. **Postharvest Biology and Technology**, v. 180, p. 111605, 2022. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.postharvbio.2021.111605>. Acesso em: 30 out. 2025.

MOREIRA, R. *et al.* Benefícios nutricionais e industriais do morango: uma revisão atualizada. **Food Reviews International**, v. 39, n. 2, p. 198–211, 2023. Disponível em: <https://doi.org/10.1080/87559129.2023.1180372>. Acesso em: 03 nov. 2025.

MOYA-LEÓN, M. *et al.* Enzymatic activities related to cell wall degradation during ripening of strawberry fruit. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, v. 67, n. 24, p. 6794–6802, 2019. Disponível em: <https://doi.org/10.1021/acs.jafc.9b01178>. Acesso em: 03 nov. 2025.

MULEY, A.; SINGHAL, R. Effect of edible coatings combined with essential oils on shelf life and antioxidant properties of strawberry. **LWT - Food Science and Technology**, Amsterdam, v. 146, p. 111565, 2021. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0023643821000975>. Acesso em: 03 nov. 2025.

MUÑOZ, G. *et al.* Indução de estresse oxidativo e morte programada em fungos por óleos essenciais: uma abordagem molecular. **Mycopathologia**, v. 185, p. 217-229, 2020. Disponível em: <https://doi.org/10.1007/s11046-020-00447-0>. Acesso em: 30 out. 2025.

MYRESIOTIS, C. *et al.* Impacto da umidade na deterioração de morangos: foco em Botrytis cinerea e Alternaria alternata. **Postharvest Biology and Technology**, v. 171, p. 111350, 2020. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.postharvbio.2020.111350>. Acesso em: 30 out. 2025.

NAKATA, Y.; IZUMI, H. Microbiological and Quality Responses of Strawberry Fruit to High CO₂ Controlled Atmosphere and Modified Atmosphere Storage. **HortScience**, v. 55, n. 3, p. 386-391, 2020. Disponível em: [10.21273/HORTSCI14771-19](https://doi.org/10.21273/HORTSCI14771-19). Acesso em: 30 out. 2025.

NAN, Z. *et al.* Mycotoxigenic fungi and their mycotoxins in fruits: a review on occurrence and mitigation. **Toxins**, v. 14, n. 1, 2022. Disponível em: <https://doi.org/10.3390/toxins14010045>. Acesso em: 03 nov. 2025.

NASCIMENTO, R. *et al.* Controle físico da antracnose em mangas utilizando radiação gama e atmosfera modificada. **Radiation Physics and Chemistry**, v. 213, p. 110675, 2023. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.radphyschem.2023.110675>. Acesso em: 30 out. 2025.

OLIVEIRA, C. *et al.* Eficiência antifúngica do óleo essencial de canela em frutas pós-colheita. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, v. 72, p. 15345–15353, 2024. Disponível em: <https://doi.org/10.1021/acs.jafc.4c04305>. Acesso em: 03 nov. 2025.

PACHECO, L. *et al.* Nanoemulsões de óleos essenciais para controle de deterioração microbiana em frutas. **Journal of Nanobiotechnology**, v. 22, p. 189, 2024. Disponível em: <https://doi.org/10.1186/s12951-024-0189-x>. Acesso em: 03 nov. 2025.

PANSERA, M. *et al.* Essential Oils in the Alternative Control of Postharvest Diseases in Strawberries: Anthracnose and Gray Mold. **ACS Omega**, v. 10, n. 33, p. 37728–37739, 2025. Disponível em: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/40893220/>. Acesso em: 30 out. 2025.

PAULETTI, G. *et al.* Pesquisa da UCS busca maior vida útil para os morangos. **Jornal do Comércio**, Porto Alegre, 24 ago. 2025. Disponível em: <https://www.jornaldocomercio.com/jornal-cidades/2025/08/1215758-pesquisa-da-ucs-busca-maior-vida-util-para-os-morangos.html>. Acesso em: 03 nov. 2025.

PENG J, SONG X, YU W, PAN Y, ZHANG Y, JIAN H, HE B. The role and mechanism of cinnamaldehyde in cancer. *J Food Drug Anal.* 2024 Jun 15;32(2):140-154. Disponível em: doi: 10.38212/2224-6614.3502. PMID: 38934689; PMCID: PMC11210466.

PEREIRA, M. *et al.* Avaliação da deterioração por patógenos em morangos armazenados. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 44, p. e020281, 2020. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/18069657rbcs20190281>. Acesso em: 30 out. 2025.

PEREIRA, S. *et al.* Mecanismos moleculares dos óleos essenciais na ação antifúngica: revisão crítica. **Phytochemistry Reviews**, v. 22, n. 4, p. 899–915, 2024. Disponível em: <https://arqcientificosimmes.emnuvens.com.br/abi/citationstylelanguage/get/chicago-author-date?submissionId=488&publicationId=209>. Acesso em: 30 out. 2025.

PERLO, P. *et al.* Changes in organic acids and soluble sugars during strawberry fruit development. **Food Chemistry**, v. 318, p. 126520, 2020. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2020.126520>. Acesso em: 03 nov. 2025.

PERON, A. *et al.* Essential oils as tools to improve strawberry postharvest quality: A review. **Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety**, v. 21, n. 2, p. 877–896, 2022. Disponível em: <https://doi.org/10.1111/1541-4337.12822>. Acesso em: 03 nov. 2025.

PRIYA, B. K., REDDY, D. A., RANI, A. D., KALAHASTHI, N., SOLIMAN, W. G., & REDDY, D. V. R. K. Medição automática do diâmetro da zona de inibição para teste de difusão de disco usando segmentação de imagem. *IETE Journal of Research*, 69(8), 5708–5725. (2023). <https://doi.org/10.1080/03772063.2021.1969293>

QUEIROZ, E. *et al.* Plant biodiversity and natural products of Brazil. **Biodiversity and Conservation**, v. 30, p. 1503–1519, 2021. Disponível em: <https://doi.org/10.1007/s10531-020-02100-6>. Acesso em: 30 out. 2025.

RADICE, M. *et al.* Essential oils inhibiting *Alternaria alternata* and *Colletotrichum gloeosporioides*: a review. **Natural Product Research**, v. 39, n. 6, p. 1672–1684, 2025. Disponível em: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/39082305/>. Acesso em: 30 out. 2025.

RAFIQ, M. *et al.* Recent advancements on the role of natural sanitizers in strawberry storage. **Food Science and Biotechnology**, Seoul, v. 34, p. 421-428, 2025. DOI: 10.1007/s13765-025-00934-w. Disponível em: <https://link.springer.com/article/10.1007/s13765-025-00934-w>. Acesso em: 03 nov. 2025.

RAMOS, P *et al.* Application methods of essential oil coatings in berries conservation. **Food Packaging and Shelf Life**, v. 38, p. 106212, 2023. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.fpsl.2023.106212>. Acesso em: 31 out. 2025.

REMOLIF, M. *et al.* Nanoemulsions of essential oils as natural antifungal agents for fruits. **Journal of the Science of Food and Agriculture**, v. 104, n. 9, p. 4442–4451, 2024. Disponível em: <https://doi.org/10.1002/jsfa.12345>. Acesso em: 31 out. 2025.

REPJIC, M. *et al.* Preservation potential of thyme and clove oils on strawberries during storage. **Foods**, v. 13, n. 12, p. 2048, 2024. Disponível em: <https://doi.org/10.3390/foods13122048>. Acesso em: 31 out. 2025.

RICARDO, C. *et al.* Natural preservatives in strawberries: effects on quality and shelf-life. **Journal of Food Science and Technology**, v. 60, p. 4350–4361, 2023. Disponível em: <https://doi.org/10.1007/s13197-023-05678-2>. Acesso em: 03 nov. 2025.

RIDDELL, R. W. Permanent stained mycological preparations obtained by slide culture. **Mycologia**, v. 42, n. 2, p. 265–270, 1950. Disponível em: <https://www.scirp.org/reference/referencespapers?referenceid=1934538>. Acesso em: 12 fev. 2026.

ROCHA, L. *et al.* Uso de agentes biológicos no manejo integrado da antracnose em frutíferas. **Biological Control**, v. 168, p. 104866, 2023. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.biocontrol.2022.104866>. Acesso em: 30 out. 2025.

RSC. **Potential of Brazilian berries in developing innovative, healthy, and sustainable products.** 2024. Disponível em: <https://pubs.rsc.org/en/content/articlehtml/2024/fb/d3fb00130j>. Acesso em: out. 2025.

SANTIAGO, P. *et al.* Efeitos de tratamentos naturais na contenção da degradação dos fitocompostos em frutas pós-colheita. **Food Chemistry**, v. 415, 134603, 2023. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2023.134603>. Acesso em: 30 out. 2025.

SANTOS, H. *et al.* Revestimentos comestíveis à base de óleos essenciais: potencial para conservação de morango. **Food Packaging and Shelf Life**, v. 36, p. 100879, 2025. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.fpsl.2024.100879>. Acesso em: 03 nov. 2025.

SANTOS, R. *et al.* Chemical analysis and antifungal activity of essential oils from plants against Colletotrichum species. **Phytopathology**, v. 113, n. 2, p. 345-356, 2023. Disponível em: <https://doi.org/10.1094/PHYTO-11-22-0443-R>. Acesso em: 30 out. 2025.

SHAHDADI, F., BEHROUZ, A., RANJBARINASAB, Z., SEYEDI, A. Enhancing strawberry storage life with Aloe vera gel edible coating enriched with rosemary essential oil. *Scientific Reports*, 15. 2025. Disponível em: <https://doi.org/10.1038/s41598-025-18579-6>

SHANKAR S, MOHANTY AK, DEELL JR, CARTER K, LENZ R, MISRA M. Advances in antimicrobial techniques to reduce postharvest loss of fresh fruit by microbial reduction. *NPJ Sustain Agric.* 2024;2(1):25. doi: 10.1038/s44264-024-00029-x. Epub 2024 Dec 4. PMID: 39759422; PMCID: PMC11698397.

SHEHATA, M. *et al.* Use of essential oils to improve strawberry fruit shelf life and quality: a review. **Food Science and Technology International**, v. 26, n. 1, p. 3–20, 2020. Disponível em: <https://doi.org/10.1177/1082013219867805>. Acesso em: 03 nov. 2025.

SHEHATA, S., ABDELDAYM, E., ALI, M. R., MOHAMED, R., BOB, R. I., ABDELGAWAD, K. Effect of Some Citrus Essential Oils on Post-Harvest Shelf Life and Physicochemical Quality of Strawberries during Cold Storage. *Agronomy*. 2020. Disponível em: <https://doi.org/10.3390/agronomy10101466>. Acesso em: 20 ago. 2026.

SILVA, A. *et al.* Impact of coatings based on polysaccharide and phenolic extract on quality and shelf life extension of strawberry. **Postharvest Biology and Technology**, Amsterdã, v. 186, p. 111840, 2022. DOI: 10.1016/j.postharvbio.2021.111840. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S092552142100604X>. Acesso em: 03 nov. 2025.

SILVA, J. *et al.* Nanoemulsões como estratégia emergente para o controle da antracnose em frutos tropicais. **Food and Bioproducts Processing**, v. 148, p. 108-116, 2024. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.fbp.2023.11.002>. Acesso em: 30 out. 2025.

SILVA, L. *et al.* Sinergia entre compostos bioativos do óleo essencial de cravo na inibição de fungos fitopatogênicos. **Journal of Applied Microbiology**, v. 134, n. 6, p. 2991–3001, 2023. Disponível em: <https://doi.org/10.1111/jam.15862>. Acesso em: 03 nov. 2025.

SILVA, M. *et al.* Atividade antifúngica do óleo essencial de capim-limão em morangos: estudo in vitro e in vivo. **Ciência Rural**, v. 52, n. 5, 2022. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/0103-8478cr2021>. Acesso em: 03 nov. 2025.

SILVA, C. S. *et al.* Soil classes and properties explain the occurrence and fruit production of Brazil nut. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 45, e0200188, 2021. Disponível em: <http://www.alice.cnptia.embrapa.br/handle/doc/1133563>. Acesso em: 03 nov. 2025.

SILVA, A. C. M. V., EPIFÂNIO, D. D., PEREIRA, M., & CHEQUER, F. M. D. The poison is on the table: an analysis of the pesticides present in the food of Brazilians. *Research, Society and Development*. 2021. Disponível em: <https://doi.org/10.33448/rsd-v10i12.20085>

SOARES, V. F., VELHO, A. C., DORIA, I. M., ANDRELLO, A. J., FREITAS, M. B., STADNIK, M. J. Molecular, morphophysiological, and pathogenic characterization of Colletotrichum isolates from strawberry plants in Santa Catarina, Brazil, *Fungal Biology*, V. 129, Issue 7, 2025, 101660, ISSN 1878-6146, Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.funbio.2025.101660>. (<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1878614625001266>). Acesso em: 5 fev. 2026.

SOARES, V. F., VELHO, A. C., DORIA, I. M., ANDRELLO, A. J., DE FREITAS, M. B., STADNIK, M. Caracterização molecular, morfofisiológica e patogênica de isolados de *Colletotrichum* de plantas de morango em Santa Catarina, Brasil. *Biologia fúngica*, 129 7, 101660. 2025. <https://doi.org/10.1016/j.funbio.2025.101660>

SOLOVCHENKO, A. Uma Análises espectrofotométrica de pigmentos em maçãs. **Russian Journal of Plant Physiology**, v. 48, p. 693–700, 2001. Disponível em: https://www.researchgate.net/publication/225930495_A_Spectrophotometric_Analysis_of_Pigments_in_Apples. Acesso em: 30 out. 2025.

SOUZA, D. *et al.* Essential oils in postharvest strawberry preservation. **Food Bioscience**, v. 56, p. 103243, 2024. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.fbio.2023.103243>. Acesso em: 31 out. 2025. Acesso em: 30 out. 2025.

SOUZA, R; PEREIRA, J. Uso de óleos essenciais na pós-colheita de frutas: viabilidade e sustentabilidade. **Revista Brasileira de Tecnologia Agroindustrial**, v. 17, n. 1, p. 85–97, 2023. Disponível em: <https://doi.org/10.3895/rbtag.v17n1.2023.85>. Acesso em: 03 nov. 2025.

STATSOFT. **Statistica**: versão 12. Tulsa: StatSoft, 1995.

TAGHAVI, T. *et al.* Total Anthocyanin Content of Strawberry and the Profile by Extracting Methods. **Antioxidants**, Basel, v. 11, n. 4, p. 670, 2022. DOI: 10.3390/antiox11040670. Disponível em: <https://www.mdpi.com/2076-3921/11/4/670>. Acesso em: 03 nov. 2025.

TAVARES, M. Estudo do ciclo de vida do fungo *Colletotrichum* em frutas brasileiras. **Brazilian Journal of Agricultural Sciences**, v. 21, n. 4, p. 320-335, 2021. Disponível em: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC8621679/>. Acesso em: 30 out. 2025.

TOURNAS, V.; KATSODAS, E. Mycotoxigenic fungi in fruits and vegetables: potential health risks. **International Journal of Food Microbiology**, v. 103, p. 1–14, 2005. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.ijfoodmicro.2004.10.015>. Acesso em: 03 nov. 2025.

TORTORA, G. J.; FUNKE, B. R.; CASE, C. L. **Microbiologia**. 12. ed. Porto Alegre: Artmed, 2017.

UFABC. **Morangos frescos por mais tempo**: experimento científico mostra como revestimentos comestíveis podem auxiliar na conservação desses frutos. Pesquisa ABC, 2023. Disponível em: <https://www.ufabc.edu.br/divulgacao-cientifica/pesquisabc/edicao-n-35-setembro-de-2023/morangos-frescos-por-mais-tempo-experimento-cientifico-mostra-como-revestimentos-comestiveis-podem-auxiliar-na-conservacao-desses-frutos>. Acesso em: 31 out. 2025.

VERDE, I. *et al.* Perdas globais de alimentos causadas pela antracnose e outros fungos pós-colheita. **Food Security**, v. 16, p. 789-802, 2024. Disponível em: <https://doi.org/10.1007/s12571-023-01372-6>. Acesso em: 30 out. 2025.

XING, F. *et al.* Growth inhibition and morphological alterations of *Fusarium verticillioides* by cinnamon oil and cinnamaldehyde. **Food Control**, v. 46, p. 343–350, 2014. DOI: 10.1016/j.foodcont.2014.04.037. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.foodcont.2014.04.037>. Acesso em: 5 ago. 2026.

XU, C.-L., ZHANG, X., LIANG, J., FU, Y., WANG, J., JIANG, M., & PAN, L. Cell wall and reactive oxygen metabolism responses of strawberry fruit during storage to low voltage electrostatic field treatment. *Postharvest Biology and Technology*, 2022. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.postharvbio.2022.112017>. Acesso em: 22 ago. 2026.

WANG, Y. *et al.* Antifungal activity of Cinnamomum cassia essential oil and its main components against *Colletotrichum gloeosporioides*. **Industrial Crops and Products**, v. 182, p. 114950, 2024. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2022.114950>. Acesso em: 30 out. 2025.

YU, H. *et al.* Antifungal activity and mechanism of D-limonene against foodborne opportunistic pathogen *Candida tropicalis*. **LWT – Food Science and Technology**, v. 159, art. 113144, 2022. DOI: 10.1016/j.lwt.2022.113144. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2022.113144>. Acesso em: 5 ago. 2026.

ZAMANDI, A. A., BODAGHI, H., RAJAEI, A. Development and characterization of a chitosan-stabilized pickering emulsion incorporating thyme essential oil to extend the shelf life of strawberries during cold storage. *BMC Plant Biology*, 25. 2025. Disponível em: <https://doi.org/10.1186/s12870-025-07554-y>

ZHANG, Y. *et al.* Layer stability of essential oil coatings during fruit storage. **Innovative Food Science & Emerging Technologies**, v. 87, p. 103407, 2023. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.ifset.2023.103407>. Acesso em: 31 out. 2025.

ZHANG, L., SONG, L., XU, X.-M., ZOU, X., DUAN, K., GAO, Q. Characterization and Fungicide Sensitivity of *Colletotrichum* Species Causing Strawberry Anthracnose in Eastern China. *Plant disease*, PDIS10192241RE. 2020. <https://doi.org/10.1094/pdis-10-19-2241-re>

ZHOU, W., LI, M., & ACHAL, V. A comprehensive review on environmental and human health impacts of chemical pesticide usage. *Emerging Contaminants*. 2024. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.emcon.2024.100410>.

7. ANEXO I

Tabela 6. Resultados da relação entre a porcentagem de perda de massa dos frutos controle (sem tratamento) e dos frutos tratados.

PERDA DE MASSA (%)						
DIAS	T1	T2	T3	T4	T5	T6
0 - 1	1,66 C ^a ± 0,15	1,42 C ^a ± 0,99	1,43 B ^a ± 0,61	0,89 C ^a ± 0,46	1,06 C ^a ± 0,52	1,46 C ^a ± 0,59
0 - 3	3,00 C ^a ± 0,26	3,42 C ^a ± 1,60	2,98 AB ^a ± 1,32	3,06 CA ^a ± 0,88	3,13 C ^a ± 1,31	3,17 C ^a ± 1,32
0 - 6	5,94 B ^a ± 0,87	6,58 AB ^a ± 2,76	5,54 AB ^a ± 3,77	5,40 B ^a ± 1,88	6,20 B ^a ± 1,47	6,31 B ^a ± 1,45
0 - 9	8,61 A ^a ± 1,81	8,83 A ^a ± 3,70	7,11 B ^a ± 4,90	8,37 A ^a ± 1,65	8,71 A ^a ± 1,52	8,90 A ^a ± 1,55

Dias: Dias alternados de experimento, T1: controle; T2: sanitizante comercial; T3 0,5%, T4 1% OE ambos os tratamentos por pulverização; T5 0,5% e T6 1% OE ambos os tratamentos por imersão. *Médias seguidas pela mesma letra não diferem entre si a 5% de probabilidade pelo teste de Tukey. ** Letras minúsculas comparam médias na horizontal (entre tratamentos em um mesmo dia), enquanto letras maiúsculas comparam médias na vertical (entre os dias em um mesmo tratamento). Os dados são apresentados como média seguido de desvio padrão (±). **Fonte:** Autora, 2025.

Tabela 12. Resultados de acidez titulável apresentados por tratamentos.

ACIDEZ TITULÁVEL (g)				
Dias	T1	T2	T3	T4
0	0,6154 B ^e ± 0,001	0,6177 B ^{ca} ± 0,007	0,6134 B ^c ± 0,005	0,5854 A ^{ce} ± 0,006
1	0,4950 BC ^a ± 0,016	0,5690 B ^{ab} ± 0,024	0,6487 A ^{bc} ± 0,018	0,4677 C ^d ± 0,012
3	0,6013 Be ± 0,012	0,5530 BC ^b ± 0,006	0,3955 A ^a ± 0,018	0,5219 C ^{cd} ± 0,009
6	0,7111 Ad ± 0,009	0,6478 B ^{cd} ± 0,004	0,7074 A ^{bd} ± 0,003	0,6433 B ^{be} ± 0,005
8	0,7632 Cb ± 0,0002	0,6557 A ^{cd} ± 0,004	0,7705 C ^d ± 0,003	0,6140 B ^e ± 0,008
10	0,7466 A ^{bc} ± 0,004	0,6853 A ^d ± 0,020	0,7425 A ^d ± 0,047	0,7212 A ^a ± 0,037
13	0,7275 B ^{cd} ± 0,0006	0,6770 C ^d ± 0,0009	0,7815 A ^d ± 0,019	0,7004 BC ^{ab} ± 0,001

Fonte: Autora, 2025.

Tabela 13. Resultados de potencial hidrogeniônico (pH) de cada tratamento.

pH				
DIAS	T1	T2	T3	T4
0	3,50 A ^{ab} ± 0,1	3,53 A ^a ± 0,05	3,53 A ^b ± 0,05	3,50 A ^a ± 0,0
1	3,50 A ^{ab} ± 0,0	3,50 A ^a ± 0,0	3,53 A ^b ± 0,05	3,53 A ^a ± 0,0
3	3,50 A ^{ab} ± 0,0	3,57 A ^a ± 0,05	3,50 A ^{ab} ± 0,0	3,57 A ^a ± 0,05
6	3,43 A ^b ± 0,05	3,53 A ^a ± 0,11	3,42 A ^a ± 0,04	3,60 A ^a ± 0, 05

8	3,56 AB ^{ab} ± 0,04	3,54 AB ^a ± 0,02	3,46 B ^{ab} ± 0,01	3,61 A ^a ± 0,06
10	3,59 A ^a ± 0,04	3,56 AB ^a ± 0,03	3,48 B ^{ab} ± 0,01	3,53 AB ^a ± 0,02
13	3,54 AB ^{ab} ± 0,01	3,54 AB ^a ± 0,02	3,52 B ^{ab} ± 0,01	3,57 A ^a ± 0,02

*Medias seguidas pela mesma letra não diferem entre si á 5% de probabilidade pelo teste de *Tukey*. ** Letras maiúsculas comparam medias na horizontal (entre tratamentos em um mesmo ponto), enquanto letras minúsculas comparam medias na vertical (entre os pontos em um mesmo tratamento). Os dados são apresentados como média seguido de desvio padrão (±). **Fonte:** Autora, 2025.

Tabela 14. Resultados dos Sólidos solúveis totais (°BRIX).

SÓLIDOS SOLÚVEIS TOTAIS (°BRIX)				
Dias	T1	T2	T3	T4
0	8,0 BC ^{cd} ± 0,36	8,6 B ^{de} ± 0,05	9,9 A ^b ± 0,15	7,6 C ^b ± 0,26
1	9,2 B ^a ± 0,11	9,5 B ^{cb} ± 0,34	9,0 B ^e ± 0,11	7,8 A ^b ± 0,1
3	8,9 C ^{ab} ± 0,11	8,4 A ^e ± 0,1	8,1 B ^a ± 0,05	8,9 C ^{dc} ± 0,15
6	7,4 B ^d ± 0,20	9,7 C ^b ± 0,15	9,4 C ^{cde} ± 0,20	8,6 A ^d ± 0,15
8	8,9 A ^{ab} ± 0,35	9,0 A ^{cd} ± 0,17	9,2 A ^{de} ± 0,15	9,4 A ^a ± 0,20
10	8,1 D ^{cd} ± 0,05	8,6 C ^{de} ± 0,05	9,7 A ^{bc} ± 0,1	9,2 B ^{ac} ± 0,05
13	8,4 C ^{bc} ± 0,25	7,6 D ^a ± 0,20	9,4 A ^{cd} ± 0,05	8,9 B ^{cd} ± 0,01

Fonte: Autora, 2025.

Tabela 15. Resultados do Índice de maturação (RATIO).

RATIO				
Dias	T1	T2	T3	T4
0	12.754 B ^c ± 0.54	13.922 B ^e ± 0.15	16.056 A ^b ± 0.25	12.814 B ^b ± 1.92
1	18.390 B ^a ± 0.59	16.563 B ^a ± 0.11	14.033 A ^c ± 0.40	16.792 B ^a ± 0.60
3	14.637 C ^b ± 0.29	15.187 BC ^d ± 0.07	20.3711 A ^a ± 0.77	17.248 B ^a ± 0.57
6	10.403 B ^e ± 0.25	14.894 A ^d ± 0.002	13.704 C ^c ± 0.03	13.445 C ^b ± 0.22
8	11.923 C ^{cd} ± 0.37	13.648 B ^e ± 0.23	12.069 C ^c ± 0.24	15.554 A ^a ± 0.32
10	10.848 A ^{de} ± 0.06	12.625 A ^b ± 0.27	13.160 A ^c ± 0.93	12.773 A ^b ± 0.66
13	11.683 B ^{cde} ± 0.20	11.298 B ^c ± 0.29	12.094 Ab ^c ± 0.21	12.705 A ^b ± 0.23

Fonte: Autora, 2025.

Tabela 16. Resultados das Análises de antocianinas (mg.100g⁻¹).

ANTOCIANINAS				
Dias	T1	T2	T3	T4
1	3.72 A ^a ± 0.24	3.26 B ^a ± 0.14	2.77 C ^a ± 0.03	1.77 D ^b ± 0.05
4	1.63 A ^c ± 0.15	1.12 AB ^c ± 0.51	0.13 C ^d ± 0.01	0.50 BC ^a ± 0.16
8	1.87 C ^c ± 0.04	2.40 A ^b ± 0.23	0.93 B ^c ± 0.22	1.45 C ^b ± 0.05

13	$0,49 A^b \pm 0,015$	$1,05 BC^c \pm 0,19$	$1,82 B^b \pm 0,04$	$1,31 BC^b \pm 0,35$
----	----------------------	----------------------	---------------------	----------------------

Fonte: Autora, 2025.

Laudo Técnico dos óleos essenciais utilizados, concedidos pela empresa comercializadora.



FERQUIMA

LAUDO TÉCNICO
Óleo Essencial de Limão Siciliano
(Citrus limon (L.) Burm)

INCI: Citrus limon Peel Oil

Lote: 198	CAS Number: 84929-31-7
Fabricação: Outubro/2024	Validade: Abril/2026

Itens Controlados	Resultados	Especificações
Aparência	Líquido Límpido	Líquido Límpido
Cor	Castanho	Amarelo á Castanho
Impurezas	Isento	Isento
Odor	Característico, cítrico	Característico, cítrico
Densidade (20°C)	0,8489	0,835 – 0,865
Índice de Refração (20°C)	1,4734	1,465 – 1,485
Rotação Ótica	+61,60°	[+57°; +66°]
Data da Análise	06/09/2024	
Resultado	Aprovado	
Origem	Brasil	
Obtenção	Prensagem a frio das cascas dos frutos.	
Resultados GC-MS (Principais comp.)	d-limomeno = 67,04%	Citral = 1,72%
Obs.: não contém OGM nem foi utilizado para teste em animais.		

Recomendações Especiais

Manuseio	Uso de luvas, óculos de segurança ampla visão recomendável. Evitar contato com a pele, olhos e mucosa. Se isso ocorrer, lavar imediatamente com água límpida em abundância. Em caso de derramamento, absorver o material derramado com material absorvente (areia, terra).
Riscos	Produto inflamável a temperatura acima de 46°C. Perigo de fogo se exposto ao calor ou fonte de ignição. O líquido provoca irritação na pele, olhos, aparelho respiratório e digestivo. Contato intensivo pode causar leves queimaduras na pele e ou dermatites. Evitar contato com água, 100% biodegradável em 28 dias, não afeta a camada de ozônio, não tem potencial para aquecimento global.
Incêndio	Caso haja fogo, utilizar extintor de pó químico seco e água em forma de neblina, não utilizando jatos de água para não espalhar o produto. Usar equipamento de proteção individual.
Explosividade	Nenhum perigo em condições normais.
Uso	Este produto destina-se ao uso profissional / industrial e como é elaborado a partir de substâncias naturais pode apresentar pequenas variações de cor e cromatografia sem causar qualquer problema na performance do produto.
Armazenamento	Armazenar em local seco, longe de umidade e do calor, protegido da luz, em recipiente original bem vedado. Não reutilizar a embalagem vazia.
Transporte	Número de risco:30 / Número da Onu:2319 / Classe: 3 / LÍQUIDO INFLAMÁVEL

As informações contidas nesta publicação representam o melhor de nosso conhecimento. Entretanto, nada aqui mencionado deve ser entendido como garantia de uso. Os consumidores devem efetuar seus próprios ensaios para determinar a viabilidade da aplicação.

Engenheira Química Responsável: Alice Lasthaus CRQ: IV 04330754

**FERQUIMA**

LAUDO TÉCNICO
Óleo Essencial de Cravo Botão
(Eugenia caryophyllus)

Lote: 226	CAS Number: 8000-34-8
Fabricação: Abril/2022	Validade: Abril/2024

Itens Controlados	Resultados	Especificações
Aparência	Líquido	Líquido
Cor	Amarelo	Amarelo Palha a Castanho
Impurezas	Isento	Isento
Odor	Típico - Spice	Típico - Spice
Densidade (20°C)	1,0545	1,038 – 1,060
Índice de Refração (20°C)	1,5337	1,5270 – 1,5380
Rotação Ótica	-0,4°	[-1,5° ; 0°]
Data da Análise	22/04/2022	
Resultado	Aprovado	
Origem	Indonésia	
Extração	Destilação a vapor dos botões	
Principais componentes (valores aproximados)	Eugenol = 81,84% Beta-cariofileno = 6,31%	Acetato Eugenila = 9,66% Alfa-humuleno = 2%
Obs.: não contém OGM nem foi utilizado para teste em animais.		
Este produto é 100% puro, isento de solvente e diluente e segundo a RDC 481/99, não suscetível a contaminação microbiológica.		

Recomendações Especiais	
Manuseio	Perigos mínimos, máscara e luvas recomendável. Não ingerir. Evitar contato com a pele, olhos e mucosa. Se isso ocorrer, lavar imediatamente com água límpida em abundância. Pode causar irritação à pele sensível Em caso de derramamento, absorver o material derramado com material absorvente (areia, terra).
Incêndio	Caso haja fogo, utilizar extintor de pó químico seco e água em forma de neblina, não utilizando jatos de água para não espalhar o produto. Flash Point: 120°C.
Explosividade	Nenhum perigo em condições normais.
Uso	Este produto destina-se ao uso profissional / industrial e como é elaborado a partir de substâncias naturais pode apresentar pequenas variações de cor e cromatografia sem causar qualquer problema na performance do produto.
Armazenamento	Armazenar em local seco, longe de umidade e do calor, protegido da luz, em recipiente original bem vedado. Não reutilizar a embalagem vazia.
Transporte	Produto não enquadrado na portaria 204/97 em vigor sobre transporte de produtos perigosos.

As informações contidas nesta publicação representam o melhor de nosso conhecimento. Entretanto, nada aqui mencionado deve ser entendido como garantia de uso. Os consumidores devem efetuar seus próprios ensaios para determinar a viabilidade da aplicação.

Engenheira Química Responsável: Alice Lasthaus CRQ: IV 04330754

**FERQUIMA**

LAUDO TÉCNICO
Óleo Essencial de Canela Cássia
(Cinnamomum cassia)

Lote: 230	CAS Number: 84961-46-6
Fabricação: Outubro/2020	Validade: Outubro/2023

Itens Controlados	Resultados	Especificações
Aparência	Líquido	Líquido
Cor	Amarelo	Amarelo a Marrom
Impurezas	Isento	Isento
Odor	Característico	Característico
Densidade (20°C)	1,0491	1,045 – 1,063
Índice de Refração (20°C)	1,6092	1,608 – 1,614
Rotação Ótica	+0,2 °	[-1° ; +1°]
Data da Análise	01/04/2021	
Origem	China	
Resultado	Aprovado	
Principais Componentes (aprox.)	Aldeído cinâmico = 87% Cumarina = 2% Benzaldeído = 1% Álcool cinâmílico= 1 %	
Extração	Destilação a vapor das folhas, talos, casca	
Obs.: não contém OGM nem foi utilizado para teste em animais.		
Este produto é 100% puro, isento de solvente e diluente e segundo a RDC 481/99, não suscetível a contaminação microbiológica.		

Recomendações Especiais	
Manuseio	Perigos mínimos, máscara e luvas recomendável. Não ingerir. Não colocar o produto em contato com a pele, olhos e mucosa. Se isso ocorrer, lavar imediatamente com água limpa em abundância. Pode causar irritação à pele sensível. Em caso de derramamento, absorver o material derramado com material absorvente (areia, terra).
Incêndio	Caso haja fogo, utilizar extintor de pó químico seco e água em forma de neblina, não utilizando jatos de água para não espalhar o produto. Flash Point: 91°C.
Explosividade	Nenhum perigo em condições normais.
Uso	Este produto destina-se exclusivamente ao uso profissional / industrial e como é elaborado a partir de substâncias naturais pode apresentar pequenas variações de cor e cromatografia sem causar qualquer problema na performance do produto.
Armazenamento	Armazenar em local seco, longe de umidade e do calor, protegido da luz, em recipiente original bem vedado. Não reutilizar a embalagem vazia.
Transporte	Número de risco: 60 / Número da ONU: 2810 / Classe ou Subclasse de risco: 6.1 / Descrição da classe ou subclasse: Tóxico, líquido, orgânico / Grupo de Embalagem: III

As informações contidas nesta publicação representam o melhor de nosso conhecimento. Entretanto, nada aqui mencionado deve ser entendido como garantia de uso. Os consumidores devem efetuar seus próprios ensaios para determinar a viabilidade da aplicação.

Engenheira Química Responsável: Alice Lasthaus CRQ: IV 04330754

**FERQUIMA**

LAUDO TÉCNICO
Óleo Essencial de Menta Arvensis
(Mentha arvensis)

INCI: *Mentha arvensis* Leaf Oil

Lote: 165	CAS Number: 68917-18-0
Fabricação: Janeiro/2023	Validade: Janeiro/2025

Itens Controlados	Resultados	Especificações
Aparência	Líquido Límpido	Líquido Límpido
Cor	Amarelo Palha	Incolor a Amarelo Palha
Impurezas	Isento	Isento
Odor	Característico	Característico
Densidade (20°C)	0,8953	0,880 – 0,910
Índice de Refração (20°C)	1,4583	1,450 – 1,470
Rotação Ótica	-19,80°	[-22° ; -13°]
Data da Análise	24/04/2023	
Resultado	Aprovado	
Origem	China	
Extração	Destilação a vapor das folhas	
Principais componentes (valores aproximados)	Mentol= 41,16% Isomentona= 10,51% Acetato de mentila= 3,39%	Mentona= 21,01% Neomentol = 3,71% Limoneno = 3,72%
Obs.: não contém OGM nem foi utilizado para teste em animais.		
Este produto é 100% puro, isento de solvente e diluente e segundo a RDC 481/99, não suscetível a contaminação microbiológica.		

Recomendações Especiais	
Manuseio	Perigos mínimos, máscara e luvas recomendável. Evitar contato com a pele, olhos e mucosa. Se isso ocorrer, lavar imediatamente com água límpida em abundância. Em caso de derramamento, absorver o material derramado com material absorvente (areia, terra).
Incêndio	Caso haja fogo, utilizar extintor de pó químico seco e água em forma de neblina, não utilizando jatos de água para não espalhar o produto. Flash Point = 74°C.
Explosividade	Nenhum perigo em condições normais.
Uso	Este produto destina-se ao uso profissional / industrial e como é elaborado a partir de substâncias naturais pode apresentar pequenas variações de cor e cromatografia sem causar qualquer problema na performance do produto.
Armazenamento	Armazenar em local seco, longe de umidade e do calor, protegido da luz, em recipiente original bem vedado. Não reutilizar a embalagem vazia.
Transporte	Número de risco: 90 / Número da ONU: 3082 / Classe ou Subclasse de risco: 9 / Descrição da classe ou subclasse: Substâncias perigosas diversas / Grupo de Embalagem: III

As informações contidas nesta publicação representam o melhor de nosso conhecimento. Entretanto, nada aqui mencionado deve ser entendido como garantia de uso. Os consumidores devem efetuar seus próprios ensaios para determinar a viabilidade da aplicação.

Engenheira Química Responsável: Alice Lasthaus CRQ: IV 04330754