

RESSALVA

Atendendo solicitação da autora, o texto completo desta **Tese** será disponibilizado somente a partir de 31/07/2022.

**Universidade Estadual Paulista
“Júlio de Mesquita Filho”**

Faculdade de Ciências Farmacêuticas

**Antifungal activity of extracts and essential oil
of ginger in nanostructured carnauba wax
coatings to postharvest conservation of
tangerine and papaya**

Marcela Miranda

Tese apresentada ao Programa de Pós-graduação em Alimentos e Nutrição para obtenção do título de Doutor em Alimentos e Nutrição.

Área de Concentração: Ciência de Alimentos.

Orientador: Prof. Dr. Marcos David Ferreira

Coorientador: Prof. Dr. Odílio Benedito
Garrido de Assis

Araraquara
2020

Atividade Antifúngica de Extratos e Óleo Essencial de Gengibre em Revestimentos Nanoestruturados de Cera de Carnaúba na Conservação Pós-colheita de Tangerina e Mamão

Marcela Miranda

Tese apresentada ao Programa de Pós-graduação em Alimentos e Nutrição para obtenção do título de Doutor em Alimentos e Nutrição.

Área de Concentração: Ciência de Alimentos.

Orientador: Prof. Dr. Marcos David Ferreira
Coorientador: Prof. Dr. Odílio Benedito Garrido de Assis

Araraquara
2020

M672a Miranda, Marcela.
Atividade Antifúngica de Extratos e Óleo Essencial de Gengibre em Revestimentos Nanoestruturados de Cera de Carnaúba na Conservação Pós-colheita de Tangerina e Mamão / Marcela Miranda. – Araraquara: [S.n.], 2020.
195 f. : il.

Tese (Doutorado) – Universidade Estadual Paulista. "Júlio de Mesquita Filho". Faculdade de Ciências Farmacêuticas. Programa de Pós Graduação em Alimentos e Nutrição. Área de Concentração em Ciência dos Alimentos.

Orientador: Marcos David Ferreira.

Coorientador: Odílio Benedito Garrido de Assis.

1. Óleo essencial. 2. Nanoemulsão. 3. Cera de carnaúba. 4. Qualidade da fruta. 5. Sensorial. 6. Voláteis de aroma. I. Ferreira, Marco David, orient. II. Assis, Odílio Benedito Garrido de, coorient. III. Título.

Diretoria do Serviço Técnico de Biblioteca e Documentação - Faculdade de Ciências Farmacêuticas
UNESP - Campus de Araraquara

CAPES: 33004030055P6

Esta ficha não pode ser modificada

Atividade Antifúngica de Extratos e Óleo Essencial de Gengibre em Revestimentos Nanoestruturados de Cera de Carnaúba na Conservação Pós-colheita de Tangerina e Mamão

Marcela Miranda

unesp  **UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA**
CÂMPUS DE ARARAQUARA

FACULDADE DE CIÊNCIAS FARMACÊUTICAS

ATA DA DEFESA PÚBLICA DA TESE DE DOUTORADO DE MARCELA MIRANDA, DISCENTE DO PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ALIMENTOS E NUTRIÇÃO, DA FACULDADE DE CIÊNCIAS FARMACÊUTICAS DO CÂMPUS DE ARARAQUARA-UNESP.

Aos trinta e um dias do mês de julho de 2020, às 14 horas, reuniu-se, virtualmente, a Comissão Examinadora da Defesa Pública, composta pelos seguintes Professores Doutores: Marcos David Ferreira (Orientador) da Embrapa-Instrumentação, Lucimeire Pilon da Embrapa-Hortaliças, Poliana Cristina Spricigo do Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz da Universidade de São Paulo, Marilene de Mori Morselli Ribeiro do Tanquímica - QGP Química Ltda. e Milena Martelli Tosi do Faculdade de Zootecnia e Engenharia de Alimentos da Universidade de São Paulo, sob a presidência do primeiro, a fim de proceder a arguição pública da TESE DE DOUTORADO DE Marcela Miranda, intitulada "Avaliação da Atividade Antifúngica de Extratos de Gengibre e Efeito de Revestimentos Nanoestruturados na Conservação Pós-colheita de Tangerina e Mamão". Os membros participaram da defesa de tese por meio de vídeo-conferência, atendendo o comunicado PROPG de 23 de março de 2020 e o Comunicado 05 - Comitê Unesp Covid-19 de 22 de março de 2020. Após a exposição, a discente foi arguida virtualmente pelos membros da Comissão Examinadora, tendo a candidata recebido o conceito final: __ **APROVADA** __. Registre-se, que nesta ata, não constarão as assinaturas dos membros da Comissão Examinadora participantes por meio de vídeo-conferência. Serão anexados a esta ata, pareceres circunstanciados dos membros participantes por vídeo-conferência, enviados por e-mail. Nada mais havendo, foi lavrada a presente ata, que após lida e aprovada, foi assinada pelo presidente da Comissão.

Marcos David Ferreira (Orientador)



Lucimeire Pilon(parecer anexo)

Membro participante por vídeo-conferência

Poliana Cristina Spricigo(parecer anexo)

Membro participante por vídeo-conferência

Marilene De Mori Morselli Ribeiro(parecer anexo)

Membro participante por vídeo-conferência

Milena Martelli Tosi (parecer anexo)

Membro participante por vídeo-conferência

**Dedico à minha família e aos benfeitores que cruzaram meu caminho
durante o doutoramento.**

Agradecimentos

À Fundação Amparo à Pesquisa do Estado de São Paulo – FAPESP, pela bolsa no país e de estágio no exterior concedida, processos 2016/23419-5 e 2018/10657-0, respectivamente.

À Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior – CAPES, pela bolsa no país e de estágio no exterior concedida, Código de Financiamento 001 e processo PDSE20161106582, respectivamente.

Ao professor Dr. Marcos David Ferreira pela orientação ao longo de todo o doutorado.

Ao professor Dr. Odílio Benedito Garrido de Assis pela confiança, amizade e coorientação.

À Dra. Elizabeth Baldwin pela supervisão do estágio no exterior.

À Dra. Anne Plotto e Dr. Jinhe Bai pela co-supervisão do estágio no exterior.

Aos analistas, bolsistas e estagiários da Embrapa Instrumentação pelo apoio durante a realização dos experimentos. Em especial: Joana, Silvine, Adriana, Viviane, Milene, Guilherme, Marina e Karla.

Aos técnicos e aos pós-doutorandos do Departamento de Agricultura dos Estados Unidos (USDA) pelo apoio durante a realização dos experimentos. Em especial: Elena, Holly, Nancy, David, Chris, Ana e Xiuxiu.

À Faculdade de Ciências Farmacêuticas - UNESP.

À Embrapa Instrumentação, ao USDA e a QGP- Tanquímica pela utilização da infraestrutura laboratorial.

Obrigada!

Resumo

Objetivo: O objetivo deste estudo foi avaliar a atividade antifúngica de extratos alcoólicos de gengibre e de óleos essenciais, contra fitopatógenos pós-colheita, de forma isolada ou associada à nanoemulsão de cera de carnaúba na conservação da qualidade e redução da deterioração natural ou induzida em tangerinas e mamões. Formulações com nanoemulsão de cera de carnaúba e suas associações com hidroxipropil metilcelulose (HPMC), como agente adjuvante na formação de filme, e com a incorporação de óleo essencial de gengibre (GEO), foram aplicadas como revestimento protetor e avaliadas sob diversas condições de armazenamento. **Metodologia:** Extratos alcoólicos (GEs) e óleos essenciais (GEOs) foram extraídos de rizomas de gengibre. A atividade antifúngica desses compostos foi avaliada contra *P. digitatum*, *P. expansum*, *F. solani* e *A. alternata* in condições *in vitro*. Dois experimentos foram realizados com tangerinas ('Nova' mandarins). Estas frutas foram revestidas com microemulsões de goma laca (*shellac*) e cera carnaúba, e também com formulações nanoparticuladas (nanoemulsões) e comparadas com frutos não revestidos após 7 dias de armazenamento a 20 °C. Os revestimentos também foram testados em tangerinas 'Unique' armazenadas por 14 dias a 10 °C, seguido por um período de simulação de comercialização (7 dias a 20 °C). A avaliação da qualidade dos frutos incluiu perda de peso, brilho, sólidos solúveis, acidez titulável, pH, ratio, CO₂ e O₂ interno, etanol, teste sensorial e de brilho após 7 dias a 20 °C. Para ensaios pós-colheita com mamões, as formulações filmogênicas foram preparadas nas concentrações de 9% e 18% de nanoemulsão de cera de carnaúba. HPMC foi usado como revestimento controle inerte, a GEO (a 3% v/v), testado como composto ativo contra infestações por fungos. Os frutos foram armazenados e avaliados em dois experimentos separados. O primeiro, realizado após 6 dias a 22 °C e 9 dias a 13 °C, seguidos por 5 dias à temperatura ambiente para simular as condições de comercialização. No segundo ensaio, mamões foram armazenados por 5 dias a 22 °C e 10 dias a 16 °C antes da condição de comercialização simulada, que foi de 3 dias a 22 °C. Análises pós-colheita e ação protetora na redução da severidade de doenças naturais e disseminação de fungos em amostras inoculadas com *C. gloeosporioides* e análise sensorial foram conduzidas. **Resultados:** Os GEOs apresentaram uma maior efetividade que os GEs e em concentrações inibitórias mínimas (MIC), menores para os óleos que as medidas para os extratos alcoólicos. Os GEs não apresentaram ação fungicida contra os fungos avaliados (MCF) na maior concentração testada (6%) em meio líquido. Na condição *in vitro*, os GEOs apresentaram uma melhor atividade antifúngica que os GEs, sendo mais apropriado para incorporação em revestimentos no controle de doenças pós-colheita. GEOs nos ensaios em *in vitro* apresentaram uma melhor atividade que os testes conduzidos em *in vivo*. O fungo *P. digitatum* apresentou maior sensibilidade aos compostos de gengibre (com menor concentração inibitória mínima), seguido por *A. alternata*, *F. solani* e *P. expansum* (para os quais foram necessários maiores concentrações das amostras para que ocorra a inibição do crescimento micelial). Para tangerinas, revestimentos com microemulsão e nanoemulsão de cera de carnaúba resultaram na menor perda de peso em comparação ao controle e *shellac*. Não houve diferenças nas medidas de brilho para a 'Nova', no entanto,

os frutos revestidos com *shellac* tiveram a maior classificação de brilho no teste visual. Todavia, para 'Unique', inicialmente, a cobertura de *shellac* resultou no maior brilho, entretanto no final do armazenamento, a nanoemulsão reteve o maior brilho comparativamente, embora não diferente da microemulsão. Os teores de CO₂ e etanol aumentaram e de O₂ diminuiu internamente durante o armazenamento para todos os tratamentos. Os maiores níveis de CO₂ e etanol foram verificados para *shellac* juntamente com menor O₂, indicando fermentação, sem diferenças entre os demais tratamentos. *Shellac* e a microemulsão também alteraram o perfil dos compostos voláteis, porém mais que os frutos do controle ou a nanoemulsão, especialmente para 'Unique'. Em relação aos ensaios com mamões, todos os revestimentos forneceram alguma proteção, com variações nos efeitos decorrentes das condições de armazenamento e das composições das formulações. Sob armazenamento refrigerado, a maioria das análises não resultou em diferenças significativas entre as amostras. Sob temperatura ambiente e após condições simuladas de mercado, as diferenças tornam-se mais evidentes. As coberturas com nanoemulsão foram capazes de manter melhor a qualidade do mamão sobre as condições de armazenamento e mercado. Foram registradas maiores reduções na perda de firmeza, alterações de cor e taxa de respiração, atuando positivamente no atraso da maturação. Não foram relatadas alterações nos atributos como doçura, acidez, *papaya flavour* ou presença de sabores estranhos relacionados à fermentação interna, devido à cobertura, nos testes sensoriais. O GEO apresentou efeito na redução de doenças na superfície do mamão, principalmente quando associado à carnaúba, embora nenhuma ação tenha sido observada na inibição do crescimento de *C. gloeosporioides* após a inoculação. **Conclusão:** Os GEOs mostraram ser os agentes mais indicados para serem empregados no controle pós-colheita de fungos, por exibirem uma maior atividade antifúngica que as encontradas nos extratos alcoólicos. A combinação de nanoemulsão e GEO em revestimentos foram mais eficazes nos experimentos *in vitro* do que *in vivo*. Para os ensaios de tangerinas, as emulsões de carnaúba resultaram em uma menor perda de água, conferiram brilho e causaram menor produção de etanol do que o *shellac* com a nanoemulsão exibindo maior brilho após refrigeração. Menores também foram as modificações da atmosfera interna e do perfil de voláteis e, conseqüentemente, preservou o sabor comparado a microemulsão. As coberturas com nanoemulsões de cera de carnaúba foram mais adequadas na proteção e na manutenção da qualidade dos mamões em condições de armazenamento e de mercado. A incorporação de GEO nos revestimentos promoveu a redução de doenças nos mamões, principalmente quando combinado com a nanoemulsão de cera de carnaúba.

Palavras-chave: óleo essencial; nanoemulsão; cera de carnaúba; qualidade da fruta; sensorial; voláteis de aroma.

Abstract

Objective: The aim of the present study was the evaluation of the antifungal activity of ginger alcoholic extracts and essential oils against common post-harvest phytopathogens, as isolated compounds or in association to carnauba wax nanoemulsion. In coating format these composites are able to preserve quality and slow down natural or induced decay on tangerines and papayas. Formulation based in carnauba wax nanoemulsions and their association with hydroxypropyl methylcellulose (HPMC), as a neutral film forming adjuvant, and ginger essential oil (GEO) incorporation, were applied as protective coatings and evaluated under several conditions of storage. **Methodology:** Alcoholic extracts (GEs) and essential oils (GEOs) were extracted from ginger rhizomes. Antifungal activities of GEs and GEOs were evaluated *in vitro* against *P. digitatum*, *P. expansum*, *F. solani* and *A. alternata*. Two experiments were performed with citrus (Nova' mandarins). These fruits were coated with shellac and carnauba microemulsions, as well as nanoparticulated carnauba (nanoemulsions) and compared with uncoated control fruits after 7 days storage at 20 °C. Coatings were also tested on 'Unique' tangors stored for 14 days at 10 °C followed by a simulated marketing period of 7 days at 20 °C. Fruit quality evaluation included weight loss, gloss, soluble solids (SS), titratable acidity (TA), pH, SS/TA ratio, internal CO₂ and O₂, ethanol, and a sensory shine rank test after storage at 20°C for 7 days. For papaya postharvest assays, the formulation was prepared in a concentration of 9% and 18% (w/v) carnauba wax nanoemulsion. HPMC was used as inert coating control and GEO (at 3% v/v) tested as active compounds against fungal infestation. The fruits were stored and evaluated in two separate experiments. The first conducted after 6 days at 22 °C and 9 days at 13 °C followed by 5 days at room temperature to simulate marketing conditions. In the second assay papayas were stored for 5 days at 22 °C, and 10 days at 16 °C before simulated marketing condition of 3 days at 22 °C. Post-harvest analyzes and protective action towards reducing natural diseases severity and inhibit of fungal spread on samples inoculated with *C. gloeosporioides*, were performed along with sensory evaluations. **Results:** GEOs showed a more effectiveness than GEs and at minimum inhibitory concentration (MIC) lower for oils than those measured to alcoholic extracts. The GEs did not show minimum fungicidal concentration (MCF) against the tested fungi even at the highest concentration tested (6%) in broth medium. GEOs on *in vitro* conditions showed a better antifungal activity than GEs, indicating that they are more appropriate for incorporation into edible coatings, aiming phytopathogenic postharvest microorganism's control. When *in vitro* assessment, the GEO showed a better antifungal activity than the *in vivo* conducted tests. The *P. digitatum* fungus was the most sensible to ginger compounds (with lower MIC), followed by *A. alternata*, *F. solani* and *P. expansum*, in this order. These required higher concentrations to attain mycelial inhibition. For tangerines, conventional and nanoemulsion carnauba wax resulted in inferior weight loss compared to control and shellac. There were no differences for gloss measurements for 'Nova' mandarins, however, shellac-coated fruit ranked highest for shine in visual sensory assessment. For 'Unique' tangors, initially, the shellac coating promoted the highest gloss (shine), but at the end of storage, the nanoemulsion exhibited the highest gloss measurement,

although not different from the microemulsion. CO₂ and ethanol generally increased and O₂ decreased internally during storage for all treatments. The highest levels of CO₂ and ethanol were measured in shellac treated samples along with the lowest O₂, indicating internal fermentation, with no differences among the other treatments. Shellac and the carnauba microemulsion also altered the volatile profile more intensely than control or nanoemulsion coating, especially for 'Unique' tangors. For papaya, all coatings provided some protection, with variations on the effects due to storage conditions and between formulations compositions. Under cold storage, most of analyzes did not resulted in any statistically significant differences among samples. At room temperature and after simulated market conditions the differences become more evident. The nanoemulsions were able to a better maintaining of papaya quality over storage and market conditions. Higher reductions on loss of firmness, color alterations and respiration rate were recorded, with positive action in delaying maturity. No changes in attributes as sweetness, sourness, papaya flavor or the presence of off-flavors related to internal fermentation were reported in the sensory test. The GEO presented some effect in reducing natural diseases on papaya skin, particularly when associated with carnauba, although no action was observed in inhibiting *C. gloeosporioides* fungal growth after inoculation.

Conclusion: GEOs proved to be the most indicated for use as active agents for application in post-harvest fungal control since, in general, they exhibited higher antifungal activity than the alcoholic extracts. The combination of nanoemulsion and GEO into a coating was more effective *in vitro* experiment than *in vivo*. For tangerine assays among the coatings tested, the carnauba emulsions resulted in lesser water loss, imparted more sustainable shine, and caused less ethanol production than did shellac. The carnauba nanoemulsion coatings also exhibited higher shine and fewer modifications of the atmosphere and volatiles profile, and consequently assuring a better flavor compared to the microemulsion. Papayas coated with carnauba wax nanoemulsions had the quality preserved over storage and market conditions. The incorporations of GEO into coatings, promoted a reduction of natural diseases on papaya skin, mainly when combined with carnauba.

Key-words: essential oil; nanoemulsion; carnauba wax; fruit quality; sensory; aroma volatile.

Sumário

	Página
Resumo	iii
Abstract	v
Introdução expandida	9
Capítulo 1. Antifungal evaluation of extracts and essential oil from ginger (<i>Zingiber officinale Roscoe</i>), in association to carnauba nanoemulsions, as protective postharvest coatings on tangerines	27
Introduction	30
Material and methods	32
Results and discussion	40
Conclusion	59
Reference	61
Capítulo 2. Antifungal activity of <i>Zingiber officinale Roscoe</i> (ginger) oil and extracts, associated with carnauba wax nanoemulsions, on fungal control of harvest papaya.	68
Introduction	69
Material and methods	70
Results and discussion	73
Conclusion	76
Literature cited	77
Capítulo 3. Effect of shellac and carnauba wax micro- and nanoemulsion coatings on post-harvest quality of citrus.	79
Introduction	82
Material and methods	84
Results and discussion	90
Literature cited	106
Capítulo 4. Effect of incorporation ginger essential oil in carnauba nanoemulsion coatings on papaya: evaluation of quality and post-harvest fruit decay.	111
Introduction	114
Material and methods	116

Results and discussion	126
Conclusion	160
Reference	162
Considerações Finais	171
Referências	172
Apêndices	186

Introdução expandida

A produção de alimentos no mundo em 2018 gerou cerca de 4.4 bilhões de toneladas somando grãos e cereais; 1 bilhão de toneladas de hortaliças; 867,8 milhões de toneladas de frutas e 152,4 milhões de toneladas de citros (1). O Brasil, entre 2018 e 2019, produziu cerca de 240 milhões de toneladas de grãos, 41,5 milhões de toneladas de frutas e o setor agropecuário contribui com 21,1% do PIB e 20% da força de trabalho (2).

Em 2018 o valor bruto da produção brasileira foi da ordem de US\$ 164,23 bilhões e a exportação do agronegócio brasileiro de US\$ 101,6 bilhões, sendo assim um dos principais produtores e exportadores agrícolas mundiais (o maior exportador global de soja, café, suco de laranja, etanol de cana-de-açúcar, carne bovina e de frango). Terceiro maior produtor de frutas, depois da China e Índia, o Brasil consome internamente aproximadamente 97% de sua produção frutícola e apenas 3% é destinada ao mercado externo, envolvendo cerca de 6 milhões de trabalhadores de modo direto e indireto (2).

Estes dados evidenciam a grande produção mundial e brasileira de alimentos. O avanço das tecnologias propiciou o aumento da produtividade, todavia, as perdas e desperdício de frutas e hortaliças se acumulam no mundo todo nas etapas de produção, pós-colheita, processamento, distribuição e consumo (3).

Em escala mundial, cerca de um terço dos alimentos são inutilizados. Se essa perda fosse reduzida pela metade poder-se-ia alimentar mais de 1 bilhão de pessoas (4).

Ruviaro et al. (4) analisaram em artigo de revisão sistemática, com 431 artigos das bases científicas Google Acadêmico, Scielo e Capes periódicos, a temática de perdas e desperdício de alimentos no Brasil. Os autores concluíram que há poucos estudos que quantificam o desperdício e as perdas. As pesquisas em sua maioria se concentram nas fases de distribuição e consumo e nas fases anteriores (produção, pós-colheita e armazenamento, processamento), e os estudos na área ainda são incipientes. As perdas pós-colheita brasileiras em processamento e transporte são fortemente dependentes do produto, tamanho da cadeia e logística. Os pesquisadores ressaltam que as estatísticas de perdas em termos de produção de alimentos ainda são incipientes e que as estimativas internacionais, como as realizadas pela FAO (3) não consideram publicações em português, idioma no qual a grande parte das publicações sobre o assunto ainda são redigidas no Brasil (4).

Dal'Magro e Talamini (5), em estudo brasileiro de estimativa da magnitude das perdas e desperdício de alimentos, identificou uma média anual de 82,2 mil toneladas entre os anos de 2007 e 2013, representando cerca de 427 kg/habitante/ano. O volume perdido e/ou desperdiçado representou cerca de 42% da oferta média de alimentos do país para o período analisado.

As causas para tais perdas são diversas, e entre elas as principais são inexistência ou quebra da cadeia do frio, manuseio intensivo, embalagens inadequadas, longos períodos de exposição no varejo, falta de treinamento de pessoal, necessidade de melhoria de técnicas de colheita,

educação e conscientização dos consumidores finais (6, 7, 3). Prevenir estas perdas deve ser prioridade, bem como incluir intervenções sobre os sistemas de produção e consumo de alimentos, para que tais sejam mais eficientes (5)

Desta forma, a aplicação de revestimentos comestíveis e/ou protetores destaca-se como uma tecnologia alternativa na conservação pós-colheita que pode auxiliar na redução das perdas de frutas e hortaliças (8, 7). Os revestimentos comestíveis atuam como barreira entre o produto e seu entorno além de apresentar, em alguns casos, atividade antimicrobiana, favorável à manutenção da qualidade do fruto (9, 7), beneficiando toda a cadeia produtiva, desde o produtor até o consumidor final.

Revestimentos a base de lipídeos fornecem uma boa barreira à perda de água, mas em geral requerem solventes agressivos para formação de um filme. Por sua vez, polissacarídeos apresentam uma melhor característica para formação de coberturas, porém apresentam baixa eficiência de barreira à umidade. Desta forma, a combinação de dois grupos – lipídeos e polissacarídeos – gerando revestimentos compósitos, podem trazer benefícios importantes para as propriedades de uma cobertura (10, 7).

Revestimentos comestíveis e protetivos têm sido objeto de interesse de diversos estudos focados em aumentar a estabilidade de alimentos, diminuir perdas e alimentos e a quantidade de resíduos gerada pelo descarte de embalagens plásticas (9, 11, 12). De modo geral, as vantagens do uso de revestimentos formados na superfície de frutas e hortaliças é que estes podem gerar películas muito finas que auxiliam na manutenção das

propriedades sensoriais. Adicionalmente podem agregar partículas e compostos com propriedades bactericida, fungicida, além de melhorar a estabilidade mecânica da superfície (13).

De maneira geral, duas classes de revestimentos podem ser observadas: hidrofóbicas ou hidrofílicas. As coberturas hidrofóbicas são geralmente à base de proteínas ou lipídeos e são mais eficientes como barreiras a gases e a umidade (14). Lipídeos possuem baixa solubilidade em água, sendo, portanto, solúveis em solventes não-polares (15).

Por sua vez os revestimentos hidrofílicos são caracterizados por conter predominantemente grupos polares como as hidroxilas e grupos amino em sua estrutura, os quais são favoráveis ao rearranjo de moléculas de água ao seu entorno (16). Apresentam boa solubilidade em meio aquoso, auxiliando a dispersão do soluto, favorecendo a de filmes mais homogêneos. Alguns exemplos são os polissacarídeos, como a celulose, hidroxipropil metilcelulose, quitina, goma xantana, pectina, carboximetilcelulose, quitosana, alginato, aloe vera (8, 17).

A cera de carnaúba, na forma de emulsão de tamanho micrométrico, tem sido bastante utilizada na formação de coberturas hidrofóbicas. As emulsões de cera de carnaúba, podem ser comercialmente encontradas sob diversas denominações e nomes fantasia e estão disponíveis em diferentes concentrações (9, 15). Estas emulsões tem sido utilizadas puras ou misturadas com outras ceras e resinas para melhorar o brilho e atingir a permeabilidade desejada (9, 18). Todavia, a formação de revestimentos a base deste composto, na forma de nanoemulsões, não foi ainda

exaustivamente estudada se comparado a outros revestimentos a base de polissacarídeos (19, 20, 17). Em estudo de Miranda (19), foi demonstrado o potencial da aplicação de nanoemulsão de cera de carnaúba na formação de coberturas na conservação pós-colheita de tomates de mesa.

Copernifera Cerifera é a palmeira da qual se extrai a cera de carnaúba de suas folhas, e esta tem sido aplicada em frutas desde 1930 com o objetivo de diminuir a perda de água, reduzir a abrasão entre a superfície dos frutos, proteger em relação a incidência de doenças pós-colheita e controlar a composição gasosa interna dos frutos (21). Esta cera tem composição complexa tendo como principais componentes ésteres, diésteres, álcoois e combinações de hidrocarbonetos. Os conteúdos de ésteres destacam-se como compostos majoritários e pode chegar a 85% sendo ácidos graxos de cadeia longa ligados a álcoois graxos de cadeia longa (22).

A cera de carnaúba é uma cera dura, quebradiça, com alto ponto de fusão (entre 83 e 86°C) e é classificada de acordo a sua cor e qualidade pela instrução normativa SARC Nº 10 (11 de dezembro de 2002). Reconhecida como substância GRAS do inglês *Generally Recognized as Safe* (geralmente reconhecida como segura) pelo *Food and Drug Administration* (23) e pela Agência Nacional de Vigilância Sanitária (ANVISA) na Resolução da Diretoria Colegiada (RDC) de 8 de junho de 2013 (24) esta cera tem sido avaliada em diversas estudos na conservação de frutas e hortaliças, como tomate (19, 25), mangas (26); maçãs (27); tangerinas (28); mamões (29, 30); pepinos (31) entre outras.

Silva et al. (26) em estudo avaliando a conservação pós-colheita de diferentes recobrimentos em manga 'Tommy Atkins', observaram vantagem na utilização de recobrimentos a base de carnaúba na manutenção da qualidade dos frutos durante armazenamento. Os revestimentos com ou sem adição 1% de triclosano ou 0,1% de ácido sórbico mostraram atividade antimicrobiana contra bactérias mesófilas, bolores e leveduras comparado a mangas revestidas somente com cera.

O hidroxipropil metilcelulose (HPMC), é um polissacarídeo de caráter hidrofílico derivado da celulose e utilizado principalmente na indústria farmacêutica (32, 33), com potencial de uso associado ou não a outros compostos para aplicações como revestimento comestível. O HPMC é um hidrocolóide, solúvel em água, com boas características filmogênicas e tem sido utilizado em uma variedade de alimentos como barreira ao oxigênio (10).

Por sua vez, Navarro-Tarazaga et al. (34) destacam que o HPMC proporciona a formação de filmes flexíveis, sem odor, sem adição de sabor, solúveis em água, com baixa permeação para oxigênio e aromas diversos. Todavia, por serem hidrofílicos, não são tão efetivos como barreira à umidade.

A utilização de cera de abelha em associação com HPMC aplicados como revestimento comestível em ameixas, em diferentes concentrações, reduziu a resistência mecânica e barreira ao oxigênio e melhorou a barreira a perda de água (34). Resultados semelhantes foram obtidos com a associação de HPMC, com outros compostos (cera de abelha e goma-laca),

juntamente com a aplicação de antifúngicos em laranjas ‘Valencia’ (35) e tangerinas (36), demonstrando o potencial de utilização dessas combinações como revestimentos protetores em frutas.

Perez- Gago et al. (37) avaliaram a conservação pós-colheita de tangerinas com a utilização de revestimentos comestíveis de base lipídica, cera de abelha, carnaúba e goma-laca em diferentes proporções associadas ao polissacarídeo HPMC. Foi observado que frutos revestidos com baixos teores de lipídeos (20%) proporcionaram menores concentrações de O₂ e elevados teores de etanol, quando comparados aqueles com altos teores de lipídeos (60%), indicando a possibilidade de uma relação com a baixa permeabilidade do HPMC e espessura da camada de cobertura devido à elevada viscosidade das emulsões.

Adicionalmente, os óleos essenciais produzidos por plantas são complexas misturas de compostos voláteis provenientes do metabolismo secundário das plantas, conhecidos pelo seu controle de fungos fitopatógenos (38), e tem ganhado grande visibilidade na conservação de alimentos por suas propriedades antimicrobianas.

Estudos relatam propriedades antimicrobianas de óleos essenciais (OE) aplicados a alimentos diversos, como leite, carne, frutas, hortaliças, etc. OE e vários dos seus componentes individuais, apresentam atividade contra patógenos de alimentos (39, 40).

Sridhar et al. (41), relatam propriedades antifúngicas do óleo essencial de gengibre frente aos fitopatógenos *Alternaria alternata*, *Aspergillus flavus* e *Penicillium sp.* em testes *in vitro*. Kouame et al. (42),

verificaram inibição do crescimento micelial de *Colletotrichum gloeosporioides* inoculado em mangas tratadas com óleo essencial de gengibre.

Oliveira et al. (43) em experimento *in vitro* e *in vivo* com óleos essenciais de *Eucalyptus staigeriana*, *Lippia sidoides* e *Pimenta pseudocaryophyllus* contra *Rhizopus stolonife* relataram boa atividade antifúngica destes óleos na pós-colheita de morangos. Revestimentos com carboximetilcelulose associados ao óleo de *L. sidoides* demonstraram ação preventiva e curativa quanto a infecção por *R. stolonife*. Redução significativa na severidade da doença, em especial quando tratados de modo curativo também foi observado.

Camilo et al. (40) reportaram em ensaio, com óleos essenciais de gengibre e açafrão, eficácia destes contra o crescimento de *S. aureus* e *E. coli*, com valores de concentração inibitória mínima (CIM) $\geq 213,3 \mu\text{g/mL}$ e $85,3 \mu\text{g/mL}$, respectivamente para óleo de gengibre e MIC $\geq 1024 \mu\text{g/mL}$ para ambas as bactérias testada com óleo de açafrão. Os autores encontraram neral (22,9%), zingibereno (15,5%) e geranial (14,9%) como compostos majoritários do óleo de gengibre.

Cutrim et al. (44) avaliaram a atividade antimicrobiana de óleos essenciais de gengibre e alecrim e seus extratos hidroalcóolicos (etanol 70%) e reportaram que o óleo essencial de gengibre apresentou melhor atividade antimicrobiana comparado com o de alecrim. As concentrações inibitórias mínimas (MIC) para *Escherichia coli* (ATCC 25922) e *Staphylococcus aureus* (ATCC 25923), foram de 1000 e $200 \mu\text{g. mL}^{-1}$ para o

óleo de gengibre, já para o extrato hidroalcóolico as concentrações foram de 80,000 µg. mL⁻¹.

O gengibre (*Zingiber officinale*) tem sido estudado, principalmente nos países asiáticos, para diversas aplicações médicas em função de seus compostos fenólicos ativos (44, 45) e compostos antioxidantes (46). Vários estudos indicam o potencial de uso de extratos desse rizoma na redução de infestações por micro-organismos em alimentos (47,48) e, conseqüentemente, com potencial emprego em revestimentos comestíveis (49, 50).

Sa-Nguanpuag et al. (48) relatam a capacidade de compostos químicos extraídos do óleo de gengibre inibir o crescimento microbiano em estudos *in vitro* e *in vivo*. Foi observada a inibição de crescimento para *Bacillus subtilis*, *Bacillus natto*, *Pseudomonas aeruginosa*, *Rhodotulora sp*, *Samonella newport*, *Samonella enteritidis* e *Fusarium sp*. Todavia, não foi evidenciado efeito inibitório em *Escherichia coli*, *Campylobactor coli* e *Campylobacter jejuni*. Os autores concluíram que o óleo essencial de gengibre pode ser utilizado na redução do crescimento microbiano em mamão verde ralado, com potencial uso para outros produtos.

Nikolić et al. (47) em estudo referente a ação antibacteriana do extrato etanólico de gengibre em estudos *in vitro*, confirmaram a eficiência no controle de bactérias gram-positiva, em especial *Staphylococcus aureus*. Entre os extratos e óleos essenciais, o de gengibre tem sido largamente utilizado na área de saúde humana (45), e apesar de apresentar grande potencial de uso em recobrimentos comestíveis, tem sido pouco estudado.

Atarés et al. (49, 50), realizaram estudo para avaliação da preparação de emulsões formuladas pela combinação de isolado de proteína de soja com dois óleos essenciais (canela e gengibre). Os filmes com óleo de gengibre foram menos resistentes e menos propensos a elongação do que os de canela. Essa interação proporcionou uma melhor integração do óleo na matriz proteica na formação dos filmes, gerando superfícies menos rugosas, à medida que o teor de óleo aumentou.

Revestimentos comestíveis podem afetar o sabor e o perfil de compostos voláteis em frutas não climatéricas (51), como frutas cítricas e climatéricas, como em maçãs e mangas (52, 53).

A produção mundial de tangerinas, mandarinas, clementinas e satsuma em 2018-2019 foi de 32,0 milhões de toneladas segundo USDA-FAS (54). China é o maior produtor de tangerinas (22,0 milhões de toneladas) e também o segundo produtor de laranja de mesa do mundo, com 7,2 milhões de toneladas. O maior produtor de laranjas é Brasil, com 19,4 milhões de toneladas (1).

Para frutas não climatéricas, como laranjas e tangerinas, os revestimentos podem reduzir a atividade respiratória e a perda de água. Entretanto, uma permeabilidade inadequada à gases atmosféricos de revestimentos para citros pode criar sabores indesejáveis (55), sendo necessário o uso de revestimentos com barreiras efetivas, uma vez que grande parte da produção de citros é revestida com ceras para proporcionar brilho e reduzir a perda de água e encolhimento de frutas (18, 28, 56).

As tangerinas são um grupo diverso de citros, como satsumas e clementinas, atraentes para os consumidores, porque são fáceis de descascar e consumir em comparação com as laranjas comuns (57). As tangerinas têm um tempo de armazenamento menor que as laranjas. A qualidade do sabor da tangerina geralmente diminui rapidamente após a colheita e pode estar associado a um acúmulo interno de metabólitos anaeróbicos devido à redução da disponibilidade de oxigênio no tecido da fruta com altos valores de CO₂ interno, etanol, acetaldeído (55, 57, 58, 52). A propensão a um maior acúmulo de metabólitos anaeróbicos em comparação às laranjas pode estar associada à uma menor permeabilidade da casca às trocas gasosas e à uma maior atividade da enzima álcool-desidrogenase no suco das tangerinas (55, 59, 57).

Estudos indicam que tangerinas respondem produzindo etileno quando o suporte de oxigênio é insuficiente (59) e este etileno pode elevar a produção de aromas e sabores desagradáveis (60), diminuindo a qualidade de sabor.

Tietel et al. (28) atribuíram a deterioração do sabor ao revestimento de tangerinas e uma ligeira diminuição da acidez e sugeriram que o enceramento reduziu o sabor típico de tangerinas e aumentou a sensação de sabores indesejáveis para tangerinas da cultivar 'Mor'. Os autores realizaram este estudo com cera comercial Tag e Zivdar da Safepack Products Ltd., empregadas para revestir citros (28).

Alguns aromas voláteis estão associados a uma percepção de sabores desagradáveis que podem aumentar, especialmente os

relacionados ao etanol e ao acetato de etila. Portanto, autores recomendam o uso de revestimentos com alta permeabilidade à oxigênio, mesmo que às custas da redução do brilho (61,62). Consequentemente, os revestimentos comestíveis devem ser utilizados adequadamente, uma vez que o principal objetivo da qualidade pós-colheita é contribuir para manter a qualidade e reduzir as perdas.

Laranjas e tangerinas contêm cerca de 90% de água e nutrientes, sendo facilmente expostas a doenças pós-colheita. Para citros, *Penicillium digitatum* e *Penicillium italicum* causadores do mofo verde e azul, respectivamente, podem resultar em perda pós-colheita. Vários métodos ao longo dos anos têm sido empregados para o controle da doença, de modo a minimizar a contaminação de frutas no campo ou na embalagem e aplicação de tratamentos físicos e químicos, como fungicidas artificiais, para prevenir ou reduzir a infecção por fitopatógenos (63, 64, 65). No entanto, alguns fatores, como resistência ao uso de fungicidas, regulamentação restritiva e conscientização dos consumidores (65), levaram à pesquisas de estratégias mais seguras e amigáveis para o controle de podridões e doenças (64).

Nesse sentido, estudos empregando estratégias alternativas têm sido conduzidos, como a exposição a radiação UV para reduzir a colonização por *Penicillium digitatum* em tangerinas 'Fallglo' (64). Outra estratégia é a introdução de óleos essenciais na matriz polimérica dos revestimentos, para diminuir a taxa de difusão e a exposição de compostos antimicrobianos na superfície da fruta, onde a contaminação geralmente ocorre por um período mais longo (66).

Won e Min (67) estudaram revestimentos de cera de carnaúba combinados com extrato de sementes de toranjas (1:1) e óleo de orégano (2:1) em tangerinas *Citrus unshiu* Marc. e avaliaram a qualidade pós-colheita. Os dois revestimentos reduziram em 23% e 25%, respectivamente, o índice de incidência de *P. italicum* na superfície das tangerinas, quando comparado com frutos não revestidos. Complementarmente, os revestimentos foram capazes de reduzir a perda de água e diminuir a taxa respiratória dos frutos.

Os óleos essenciais (OE) também podem reduzir a difusão de O₂ através do filme, gerando uma maior concentração interna de CO₂ principalmente devido à baixa difusão de gases decorrente do revestimento, como resultado da natureza lipofílica dos OEs. A combinação de revestimentos comestíveis a óleos essenciais, pode ser mais eficaz na criação de condições favoráveis ao prolongamento da vida pós-colheita dos produtos hortícolas, mantendo a qualidade geral das frutas, os compostos nutricionais e a aceitação do produto pelos consumidores (68)

Adicionalmente as tangerinas, entre os produtos de maiores perdas pós-colheita, temos o mamão (*Carica papaya* L.) que é uma das frutas tropicais de maior consumo e economicamente importante em países tropicais e subtropicais, sendo consumida mundialmente como fruta fresca ou processada. As características desejáveis de qualidade estão relacionadas com o amadurecimento que envolve vários processos bioquímicos que convertem o fruto em comestível, doce, macio e aromático (69). Todavia, o mamão consiste em um fruto climatérico altamente

perecível, com altas porcentagens de perdas pós-colheita, principalmente devido a contaminações por micro-organismos, desordens fisiológicas, danos físicos e manuseio inadequado (70, 71).

O Brasil ocupa a segunda posição entre os cinco maiores produtores de mamão, sendo eles Índia, Brasil, México, Indonésia e República Dominicana (1). A produção brasileira no ano de 2018 foi em torno de 1,1 milhão de toneladas (1) e a exportação deste fruto tem aumentado anualmente, atingindo 43,3 mil toneladas em 2019 (72). O mamão é cultivado em todo o território brasileiro, sendo os maiores produtores em 2018 os estados do Espírito Santo, Bahia, Ceará, Rio Grande do Norte e Minas Gerais, responsáveis por cerca de 90% da produção nacional (73).

De modo mais geral, as perdas pós-colheita de mamão são estimadas entre 30 a 60% em países desenvolvidos e em desenvolvimento (74), sendo que a incidência de fitopatógenos podem causar perdas pós-colheita, de até 75% dos mamões na fase de comercialização (38, 75). Nestes contextos, o desenvolvimento de tecnologias que minimizem perdas e promovam a manutenção da qualidade, podem representar significativos lucros em todos os segmentos da cadeia produtiva.

De acordo com Ventura et al. (76), de modo geral, as perdas por ação microbiana da produção são majoritariamente atribuídas aos fungos *Phytophthora spp.*, *Phoma caricae-papayae*, *Asperisporium caricae*, *Oidium caricae* e *Colletotrichum spp.*

No Brasil, a antracnose em mamões tem sido associada com *Colletotrichum acutatum* (77), *Colletotrichum brevisporum* (78) e

Colletotrichum karstii (79). Adicionalmente, *Colletotrichum truncatum* foi reportado por Dos Santos Vieira et al. (80) pela primeira vez no Brasil, em mamões oriundos de Porto Seguro, Bahia, espécie esta que já tem sido reportada incidência de antracnose no México e em Trindade e Tobago.

Dantas et al. (81) avaliaram doenças fúngicas de ocorrência pós-colheita em mamões comercializados na central de abastecimento de Recife e verificaram grande diversidade de doenças em mamões. Neste estudo, a podridão peduncular causada por *Colletotrichum gloeosporioides* obteve frequência média de 39,7% de ocorrência dentre os patógenos, seguidos de antracnose (20,32%); mancha chocolate (10,5%) e podridão por *Fusarium spp* com 5,6% das incidências. Outros autores apontam *Fusarium spp* sendo o gênero de maior ocorrência no Brasil (82).

Com o objetivo de minimizar as perdas vários tratamentos como com água quente, embalagem em atmosfera modificada, irradiação gama tem sido utilizados na condição pós-colheita para manutenção da qualidade do mamão, incluindo a aplicação de revestimentos protetores (83, 30, 84).

A aplicação de revestimento a base de goma arábica (10%), combinada com óleo de gengibre (2%) e extrato (1,5%) foram avaliados para manutenção da qualidade e controle de antracnose em mamão 'Eksoitika II' armazenados a 12 °C e 80% UR. Revestimentos combinado com óleo de gengibre mostraram inibir significativamente a germinação de esporos (93%). Adicionalmente o revestimento atrasou o amadurecimento e teve efeito fungicida para mamões (83).

Ohashi et al. (30) avaliaram mamões 'Golden' revestidos com emulsão de cera de carnaúba em baixas concentrações (2,4 e 4,8%) e verificaram retardo no amadurecimento, redução de perda de peso e diminuição de incidência de podridões para a menor concentração testada.

Bosquez-Molina et al. (85) estudaram o efeito antifúngico *in vitro* e *in vivo* de óleos essenciais de tomilho e de limão mexicano contra *Colletotrichum gloeosporioides* e *Rhizopus stolonifer* e incorporação destes óleos em revestimentos a base de goma de mesquite (*Prosopis spp*) para conservação pós-colheita de mamões. Os autores reportaram redução entre 40 e 50% de podridões causadas pelos fungos quando os mamões foram imersos nos óleos. Revestimentos de goma mesquite combinados com os óleos de tomilho e limão mexicano a 0,1 e 0,5 %, respectivamente, foram capazes de reduzir em 100% a incidência de *C. gloeosporioides*. Óleo de tomilho mostrou-se extremamente eficiente, com CIM de 0.060% para ambos os fungos. No estudo, os autores concluíram que o óleo de tomilho se mostrou mais eficiente, além de aumentar a vida pós-colheita dos frutos.

A combinação de extratos e óleos essenciais com outras matrizes lipídicas e/ou poliméricas, como já comentado, pode ser uma alternativa para adequar e melhorar as propriedades finais de um filme. Permite aliar características e propriedades que podem proporcionar um acréscimo na ação do revestimento, melhorando propriedades físicas, químicas, mecânicas e antimicrobiana.

Neste contexto, o objetivo do presente trabalho foi de avaliar a atividade de extratos e óleos essenciais de rizoma de gengibre (*Zingiber*

officinale) visando aplicações como potenciais antifúngicos naturais, e associa-los ao desenvolvimento de revestimentos protetores nanoestruturados, tendo por base formulações de nanoemulsão de cera de carnaúba e do polissacarídeo HPMC. As avaliações da capacidade protetora dessas coberturas foram conduzidas na conservação pós-colheita de tangerinas e mamões, sob diversas condições de armazenamento. Na Figura 1 está apresentado o esquema geral da organização dos capítulos.

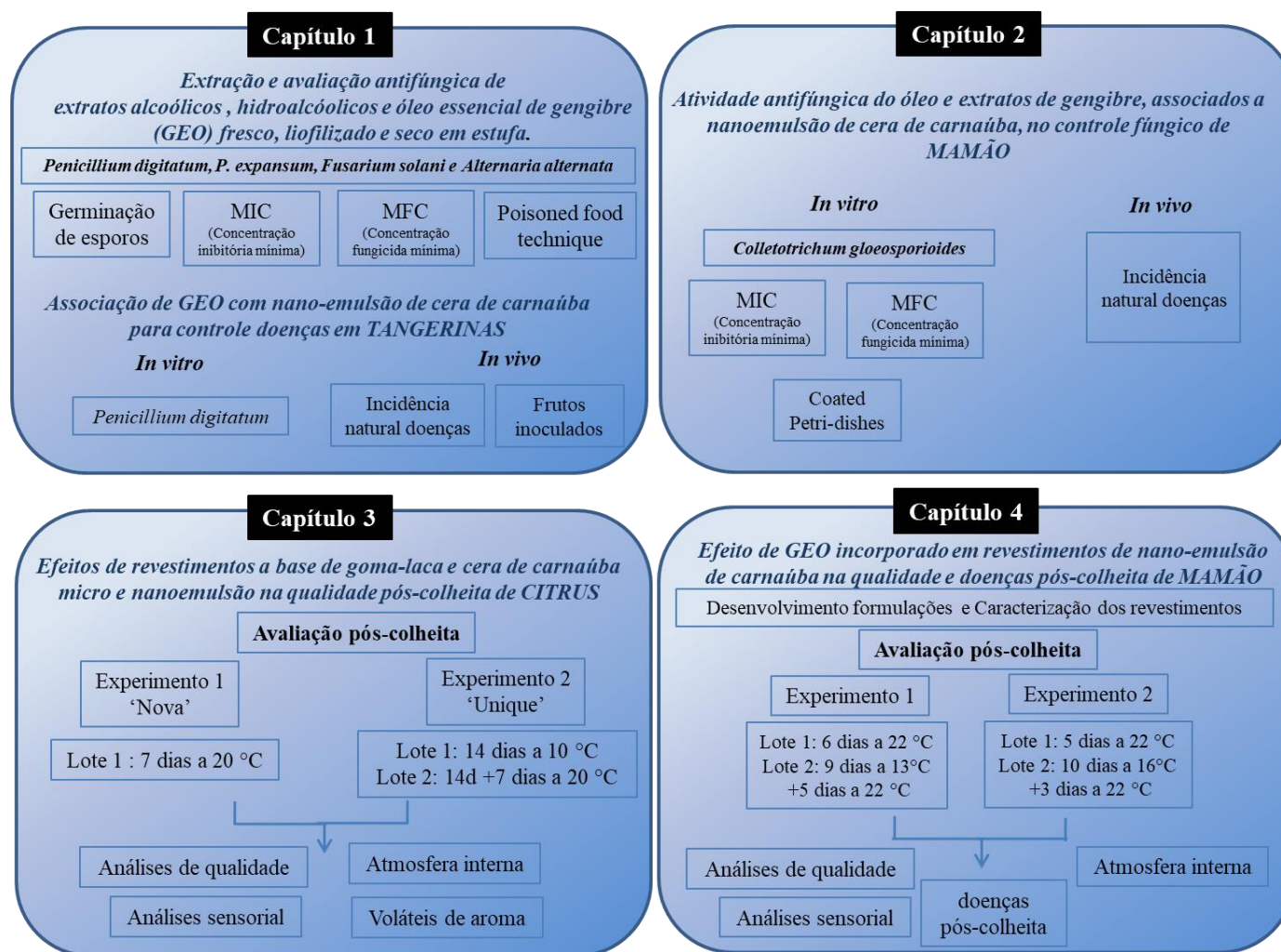


Figura 1. Esquema geral da composição dos capítulos.

Considerações Finais

Os óleos de gengibre resultaram em maior atividade antifúngica que os extratos, sendo os mais indicados para serem empregados no controle de fungos associados a revestimentos. A combinação de nanoemulsão e GEO, em revestimentos protetores, foi mais eficaz em experimentos *in vitro* que *in vivo*.

A incorporação de GEO nos revestimentos promoveu a redução de doenças naturais, quando combinado com a nanoemulsão de cera de carnaúba. A nanoemulsão de carnaúba resultou em maior conservação da qualidade pós-colheita e do sabor das tangerinas nas condições experimentais utilizadas. As coberturas com nanoemulsões de cera de carnaúba foram mais adequadas na proteção e na manutenção da qualidade pós-colheita dos mamões em condições de armazenamento e de mercado.

Os resultados mostraram que a aplicação de nanoemulsão, isolada ou combinada com HPMC e GEO, tem ação na manutenção da qualidade de tangerinas e mamões.

Referências

1. Food and Agriculture Organization of the United Nations. FAO-Faostat. 2020. Disponível em: <http://www.fao.org/faostat/en/#data/QC>
2. Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. Embrapa 2019 - Embrapa em números / Embrapa, Secretaria Geral, Gerência de Comunicação e Informação. – Brasília, DF, 2019. 140 p. Disponível em: www.embrapa.br
3. Gustavsson J, Cederberg CH, Sonesson U, Van-Otterdijk R, Meybeck A. Global Food Losses and Food Waste: Extent, Causes and Prevention. FAO, Rome. 2011.
4. Ruviaro, C F, Borges A, Farinha M, Bernardo LM, Moraes HB, Leis C M & Domingues CF. Food losses and wastes in brazil: a systematic review. Desenvolvimento Socioeconômico em Debate. 2020;6(1):78–90.
5. Dal'Magro GP & Talamini E. Estimating the magnitude of the food loss and waste generated in Brazil. Waste Manag. Res. 2019;37(7):706–716.
6. Food and Agriculture Organization of the United Nations. FAO-The State of Food and Agriculture 2019. Moving forward on food loss and waste reduction. Rome. Licence: CC BY-NC-SA 3.0 IGO2019. Disponível em: <http://www.fao.org/state-of-food-agriculture/2019/en/>
7. Assis OBG, Britto D. Revisão: coberturas comestíveis protetoras em frutas: fundamentos e aplicações. Braz. J. Food Technol. 2014;17(2):87–97.

8. Suriati L, Mangku IGP & Rudianta IN. The characteristics of Aloe vera gel as an edible coating. In IOP Conf. Ser.: Earth Environ. Sci. 2018;1755–1315.
9. De Freitas CAS, de Sousa PHM, Soares DJ, da Silva, JYG, Benjamin SR & Guedes MIF. Carnauba wax uses in food—A review. Food Chem. 2019;291:38–48.
10. Osório FA, Molina P; Matiacevicha S, Enrionea J, Skurtysa O. Characteristics of hydroxy propyl methyl cellulose (HPMC) based edible film developed for blueberry coatings. Procedia Food Sci. 2011;1:287–293.
11. González-Estrada R, Blancas-Benítez F, Velázquez-Estrada RM, Montaña-Leyva B, Ramos-Guerrero A, Aguirre-Güitrón L, et al. Alternative eco-friendly methods in the control of post-harvest decay of tropical and subtropical fruits. In Modern Fruit Industry. Intech Open. 2019. p.1–22.
12. Tharanathan, R. N. Biodegradable films and composite coatings: past, present and future. Trends Food Sci Tech. 2003;14(3):p.71–78.
13. Baldwin EA, Nisperos-Carriedo M, Baker R. Edible Coatings for Lightly Processed Fruits and Vegetables. Hortic. Sci. 1995;30:35–38.
14. Hardenburg RE. Wax and related coatings for horticultural products: A bibliography. Washington: U.S. Dept. of Agriculture, Agricultural Research Service. 1967 Dec;15:51–55.

15. Assis et al. Aplicação de ceras em frutas e hortaliças. In: Colheita e Beneficiamento de Frutas e Hortaliças. Ferreira, M. D. (Org.) – São Carlos: Embrapa Instrumentação Agropecuária. 2008, p.144.
16. Assis OBG, Silva VL. Caracterização estrutural e da capacidade de absorção de água em filmes finos de quitosana processados em diversas concentrações. *Polímeros*. 2003;13(4):223–228.
17. Britto D, Assis OBG. Synthesis and mechanical properties of quaternary salts of chitosan-based films for food application. *Int. J. Biol. Macromol*. 2007;41(2): 198–203.
18. Luangtana-Anan M, Limmatvapirat S. Shellac-Based Coating Polymer for Agricultural Applications. New York. In: *Polymers for Agri-Food Applications*, T. Gutiérrez, editors. New York: Springer publishing Co; 2019. p.487–524.
19. Miranda M. Revestimento nanoestruturado de cera de carnaúba na manutenção da qualidade pós-colheita de tomates. [Dissertação Mestrado] - São Carlos: Centro de Ciências Exatas e Tecnologia, Universidade Federal de São Carlos; 2015. 103f.
20. de Moura MR, Aouada FA, Avena-Bustillos RJ, McHugh TH, Krochta JM & Mattoso LH. Improved barrier and mechanical properties of novel hydroxypropyl methylcellulose edible films with chitosan/tripolyphosphate nanoparticles. *J. Food Eng*. 2009;92(4):448–453.

21. Lin D, Zhao Y. Innovations in the development and application of edible coatings for fresh and minimally processed fruits and vegetables. *Compr. Rev. Food Sci. Food Saf.* 2007;6(3):60–75.
22. Vandenburg LE, Wilder EA. The structural constituents of carnauba wax. *J. Am. Oil Chem. Soc.* 1970;47(12):514–518.
23. Food and Drugs Administration. FDA. Chapter I- federal food, drug, and cosmetic act, part 184, direct food substances affirmed as generally recognized as safe, Sec. 184.1978 – Carnauba wax., Code of Federal Regulations Title 21, vol.3, 2018). Disponível em: <https://www.accessdata.fda.gov/scripts/cdrh/cfdocs/cfrcfr/CFRSearch.cfm?fr=184.1978>.
24. Agência Nacional de Vigilância Sanitária. ANVISA. Resolução da Diretoria Colegiada – RDC Nº 8, de 06 de março de 2013. Aditivos frutas e vegetais. 2013. Disponível em: http://portal.anvisa.gov.br/documents/10181/3352026/RDC_08_2013_COMP.pdf/ea34430b-4774-450c-bcc8-73919315b132.
25. Chiumarelli M, Ferreira MD. Qualidade pós-colheita de tomates ‘Débora’ com utilização de diferentes coberturas comestíveis e temperaturas de armazenamento. *Hort. Bras.* 2006;24(3):381–385.
26. SILVA JB. Revestimento comestível para manga (*Mangifera Indica*, L.) à base de cera de carnaúba com antimicrobianos. [Dissertação de Mestrado]. Fortaleza: Ciência e Tecnologia de Alimentos, Universidade Federal do Ceará. 2009. 69f.

27. Jo WS, Song HY, Song NB, Lee JH, Min SC, Song KB. Quality and microbial safety of 'Fuji' apples coated with carnauba-shellac wax containing lemongrass oil. *LWT-Food Sci. Technol.* 2014;55(2):490–497.
28. Tietel Z, Bar E, Lewinsohn E, Feldmesser E, Fallik E, Porat, R. Effects of wax coatings and postharvest storage on sensory quality and aroma volatile composition of 'Mor' mandarins. *J. Sci Food Agr.* 2010;90(6):995–1007.
29. Miranda M, Gozalbo AM, Sun X, Plotto A, Bai, J, Assis OGB, Ferreira, M., Baldwin EA. Effect of mono and bilayers of carnauba wax based nano-emulsion and HPMC coatings on post-harvest quality of 'Redtainung' papaya. *Proceedings of Embrapa Instrumentação-Artigo em Anais de Congresso (ALICE)*, São Paulo, Brazil, 2019 Dec,3–5.
30. Ohashi TL, Pilon L, Spricigo PC, Miranda M, Corrêa DS, Ferreira, MD. Postharvest quality of 'golden' papayas (*Carica papaya* L.) coated with carnauba wax nanoemulsions. *Rev. Iber. Tecnología Postcosecha.* 2015;16(2):199–209.
31. Gutiérrez-Pacheco MM, Ortega-Ramírez LA, Silva-Espinoza BA, Cruz-Valenzuela MR, González-Aguilar G A, Lizardi-Mendoza J, et al. Individual and Combined Coatings of Chitosan and Carnauba Wax with Oregano Essential Oil to Avoid Water Loss and Microbial Decay of Fresh Cucumber. *Coatings.* 2020;10(7):614.

32. Guimarães GG, Katsuki GI, Zanardo ND, Ribeiro DA, Cavalcanti OA. Avaliação da pectina-HPMC no processo de revestimento por compressão. I - Estudo da propriedade de intumescimento em núcleos revestidos. *Rev. Bras. Ciênc. Farm.* 2008;44(1):133–141.
33. Lopes CM, Lobo JMS, Costa P. Formas farmacêuticas de liberação modificada: polímeros hidrofílicos. *Rev. Bras. Ciênc. Farm.* 2005;41(2):143–154.
34. Navarro-Tarazaga ML, Massa A, Pérez-Gago MB. Effect of beeswax content on hydroxypropyl methylcellulose-based edible film properties and postharvest quality of coated plums (cv. Angeleno). *LWT-Food Sci. Technol.* 2011;44:2328–2334.
35. Valencia-Chamorro SA, Pérez-Gago MB, Del Río MA, Palou L. Effect of antifungal hydroxypropyl methylcellulose (HPMC)–lipid edible composite coatings on postharvest decay development and quality attributes of cold-stored ‘Valencia’ oranges. *Postharvest Biol. Technol.* 2009;54:72–79.
36. Valencia-Chamorro SA, Palou L, Del Río MA, Pérez-Gago MB. Performance of hydroxypropyl methylcellulose (HPMC)-lipid edible coatings with antifungal food additives during cold storage of ‘Clemenules’ mandarins. *Int. J. Food Sci. Technol.* 2011;44:2342–2348.
37. Pérez-Gago MB, Rojas C, Del Rio MA. Effect of Lipid Type and Amount of Edible Hydroxypropyl Methylcellulose-lipid Composite

- Coatings Used to Protect Postharvest Quality of Mandarins cv. Fortune. J. Food Sci. 2002;67(8):2903–2910.
38. Bautista-Baños S, Sivakumar D, Bello-Pérez A, Villanueva-Arce R, Hernández-López M. A review of the management alternatives for controlling fungi on papaya fruit during the postharvest supply chain. Crop Protection. 2013;49:8–20.
 39. Bakkali F, Averbeck S, Averbeck D, Idaomar M. Biological effects of essential oils—a review. Food Chem. Toxicol. 2008;46(2):446–475.
 40. Camilo CJ, de Carvalho NKG, Nonato CDFA, Leite DOD, Dantas, AR, Pereira RC, et al. Chemical composition and in vitro biological activities of the essential oils of the rhizomes of *Zingiber officinale* Roscoe and *Curcuma longa* L. (Zingiberaceae). Braz. J. Dev. 2020;6(4),17766–17772.
 41. Sridhar SR, Rajagopal RV, Rajavel R, Masilamani S, Narasimhan S. Antifungal Activity of Some Essential Oils. J. Agric. Food Chem. 2003;51:7596–7599.
 42. Kouame KG, Kouassi KN, Kassi FM, Bolou BBA, Tuo S, Kanko C Kone D. Antifungal activity of essential oils extracted from *Monodora Myristica* (Gaertn), *Ocimum Gratissimum* L. and *Zingiber Officinalis* Roscoe on post-harvest anthracnose of mango fruit (*Mangifera indica* L.) variety Kent in Côte D'Ivoire. Int. J. Sci. 2015;4:8–18.

43. Oliveira J, Parisi MCM, Baggio JS, Silva PPM, Paviani B, Spoto MHF, Gloria EM. Control of *Rhizopus stolonifer* in strawberries by the combination of essential oil with carboxymethylcellulose. *Int. J. Food Microbiol.* 2019;292:50–158.
44. Cutrim, ESM, Teles AM, Mouchrek AN, Mouchrek Filho VE, Everton GO. Evaluation of Antimicrobial and Antioxidant Activity of Essential Oils and Hydroalcoholic Extracts of *Zingiber officinale* (Ginger) and *Rosmarinus officinalis* (Rosemary). *Rev. Virtual Quim.* 2019;11(1):22.
45. Rahmani AH, Shabrmi FMA, Aly SM. Active ingredients of ginger as potential candidates in the prevention and treatment of diseases via modulation of biological activities. *Int J Physiol Pathophysiol Pharmacol.* 2014;6(2):125–136.
46. Aeschbach R, Löliger J, Scott BC, Murcia A, Butler J, Halliwell B, Aruoma OI. Antioxidant actions of thymol, carvacrol, 6-gingerol, zingerone and hydroxytyrosol. *Food Chem. Toxicol.* 1994;32(1),31–36.
47. Nikolić M, Vasić S, Đurđević J, Stefanović O, Čomić L. (2014). Antibacterial and anti-biofilm activity of ginger (*Zingiber officinale* (Roscoe)) ethanolic extract. *Kragujevac J. Sci.* 2014;36:129-136.
48. Sa-Nguanpuag K, Kanlayanarat S, Srilaong V, Tanprasert K, Techavuthiporn C. Ginger (*Zingiber officinale*) oil as an antimicrobial agent for minimally processed produce: a case study in shredded green papaya. *Int. J. Agric. Biol.* 2011;13:895–901.

49. Atarés L, Bonilla J, Chiralt A. Characterization of sodium caseinate-based edible films incorporated with cinnamon or ginger essential oils. *J. Food Eng.* 2010;100:678–687.
50. Atarés L, de Jesús C, Talens P, Chiralt A. Characterization of SPI-based edible films incorporated with cinnamon or ginger essential oils. *J. Food Eng.* 2010;99:384–391.
51. El-Hadi MA, Zhang FJ, Wu FF, Zhou CH, Tao J. Advances in fruit aroma volatile research. *Molecules.* 2013;18:8200–8229.
52. Cohen E, Shalom Y, Rosenberger I. Postharvest ethanol buildup and off-flavor in 'Murcott' tangerine fruit. *J. Am. Soc. Hort. Sci.* 1990;115:775–778.
53. Saftner RA, Conway WS, & Sams CE. Postharvest calcium infiltration alone and combined with surface coating treatments influence volatile levels, respiration, ethylene production, and internal atmospheres of 'Golden Delicious' apples. *J. Am. Soc. Hort. Sci.* 1999;124(5):553–558.
54. United States Department of Agriculture - Foreign Agricultural Service. USDA FAS. 2020. Citrus: World market and Trade. Disponible em: <https://apps.fas.usda.gov/psdonline/circulars/citrus.pdf>
55. Hagenmaier RD. The flavor of mandarin hybrids with different coatings. *Postharvest Biol. Tec.* 2002;24(1):79–87.
56. Hagenmaier R.D, Shaw PE. Permeability of shellac coatings to gases and water vapor. *J. Agric. Foo Chem.* 1991;39:825–829.

57. Obenland D, Collin S, Mackey B, Sievert J & Arpaia ML. Storage temperature and time influences sensory quality of mandarins by altering soluble solids, acidity and aroma volatile composition. *Postharvest Biol. Tec.* 2011;59(2):187–193.
58. Hagenmaier RD, Baker RA. Wax Microemulsions and Emulsions as Citrus Coatings. *J. Agric. Food Chem.* 1994;42(4):899–902.
59. Shi, J.X., Porat, R., Goren, R., Goldschmidt, E.E. Physiological responses of ‘Murcott’ mandarins and ‘Star Ruby’ grapefruit to anaerobic stress conditions and their relation to fruit taste, quality and emission of off-flavor volatiles. *Postharvest Biol. Technol.* 2005; 38:99–105.
60. Mc Glasson WB, Eaks IL. A role for ethylene in the development of wastage and off-flavors in stored ‘Valencia’ oranges. *Hortic. Sci.* 1972;7:80–81.
61. Porat R, Weiss B, Cohen L, Daus A, Biton A. Effects of polyethylene wax content and composition on taste, quality, and emission of off-flavor volatiles in ‘Mor’ mandarins. *Postharvest Biol. Tec.* 2005;38(3):262–268.
62. Hagenmaier R.D. Evaluation of polyethylene-candelilla coating for ‘Valencia’ oranges. *Postharvest Biol. Technol.* 2000; 19:147–154.
63. Chen J, Shen Y, Chen C, Wan C. Inhibition of key citrus postharvest fungal strains by plant extracts *in vitro* and *in vivo*: A review. *Plants.* 2019;8(2):26.

64. Alferez F, Liao HL, Burns JK. Blue light alters infection by *Penicillium digitatum* in tangerines. *Postharvest Biol. Tec.* 2012;63(1),11–15.
65. Smilanick JL, Mansour MF, Gabler FM, Goodwine WR. The effectiveness of pyrimethanil to inhibit germination of *Penicillium digitatum* and to control citrus green mold after harvest. *Postharvest Biol. Tec.* 2006;42(1):75–85.
66. Sanchez-Gonzales L, Vargas M, Gonzalez-MARTínez C, Chiralt A, Chafer M. Use of essential oils in bioactive edible coatings. *Food Eng.* 2011;3(1):16.
67. Won MY, Min SC. Coating satsuma mandarin using grapefruit seed extract–incorporated carnauba wax for its preservation. *Food Sci Biotechl.* 2018;27(6),1649–1658.
68. Sivakumar D, Bautista-Baños S. A review on the use of essential oils for postharvest decay control and maintenance of fruit quality during storage. *Crop Protection.* 2014; 64:27–37.
69. Singh SP. Papaya (*Caricapapaya L.*). UK. In: Yahia, E.M. editor. *Postharvest biology and technology of tropical and subtropical fruits: mangosteen to white sapote.* UK: Woodhead Publishing Limited; 2011. p. 86–124.
70. Sankat CK, Maharaj R. Chapter 7. Papaya. In: Mitra SK, editor. *Postharvest physiology and storage of tropical and subtropical fruits.* UK: CAB International.1997. p.423.

71. López-Gómez R, Cabrera-Ponce JL, Saucedo-Arias LJ, Carreto-Montoya L, Villanueva-Arce R, Díaz-Perez JC, et al. Ripening in papaya fruit is altered by ACC oxidase cosuppression. *Transgenic Res.* 2009;18:89–97.
72. Companhia Nacional de Abastecimento. CONAB. Boletim Hortigranjeiro. 2020 Jan;6(1):58–64.
73. Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. Embrapa. 2020. Produção brasileira de mamão em 2018. Embrapa mandioca e fruticultura. Disponível em: http://www.cnpmf.embrapa.br/Base_de_Dados/index_pdf/dados/brasil/mamao/b1_mamao.pdf
74. Food and Agriculture Organization of the United Nations. FAO. The Statistics Division of the FAO. Available in: <http://www.fao.org/faostat/en/#search/papaya>
75. Paull RE, Nishijima W, Reyes M, Cavaletto C. Postharvest handling and losses during marketing of papaya (*Carica papaya* L.). *Postharvest Biol. Tec.* 1997;11(3):165–179.
76. Ventura JA, Costa H, da Silva Tatagiba J. Papaya diseases and integrated control. In *Diseases of Fruits and Vegetables: Volume II*. Dordrecht: Springer; 2004. p 201–268.
77. Peres NA, Kuramae EE, Dias MS, de Souza NL. Identification and characterization of *Colletotrichum* spp. affecting fruit after harvest in Brazil. *J. Phytopathol.* 2002;150(3):128–134.

78. Vieira WAS, Nascimento RJ, Michereff SJ, Hyde KD, Câmara MPS. First report of papaya fruit anthracnose caused by *Colletotrichum brevisporum* in Brazil. Plant Dis. 2013;97(12), 1659–1659.
79. Damm U, Woudenberg JHC, Cannon PF, Crous PW. *Colletotrichum* species with curved conidia from herbaceous hosts. Fungal Divers. 2009;39:45.
80. Dos Santos Viera WA, dos Santos Nunes A, Veloso JS, Machado, AR, Balbino VQ, da Silva AC, et al. *Colletotrichum truncatum* causing anthracnose on papaya fruit (*Carica papaya*) in Brazil. Australas. Plant Dis. Notes. 2020;15(1),1–3.
81. Dantas SAF, Oliveira SMA, Michereff SJ, Nascimento LC, Gurgel LMS, Pessoa WRLS. Doenças fúngicas pós-colheita em mamões e laranjas comercializados na Central de Abastecimento do Recife. Fitopatol. Bras. 2003;28:528–533.
82. Peres AP, Machado JC, Chitarra AB, Lima LCO. Perfil enzimático de fungos associados à podridão peduncular do mamão. Ciência Agropecuária. 2000;24:295–299.
83. Ali A, Hei GK, Keat YW. Efficacy of ginger oil and extract combined with gum arabic on anthracnose and quality of papaya fruit during cold storage. J. Food Sci Technol. 2016;53:1435–1444.
84. Singh, P. Advances in control of post-harvest diseases of papaya fruit-a Review. Agric. Rev. 2010;31(3),194–202.

85. Bosquez-Molina E, Ronquillo-de Jesús E, Bautista-Baños S, Verde-Calvo JR, Morales-López J. Inhibitory effect of essential oils against *Colletotrichum gloeosporioides* and *Rhizopus stolonifer* in stored papaya fruit and their possible application in coatings. *Postharvest Biol. Tec.* 2010;57(2):132–137.