



PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ALIMENTOS E NUTRIÇÃO – PPGAN
UNIVERSIDADE FEDERAL DO ESTADO DO RIO DE JANEIRO - UNIRIO
CENTRO DE CIÊNCIAS BIOLÓGICAS E SAÚDE - CCBS

ROBERTA VIEIRA DE SOUSA

**EFEITO DA APLICAÇÃO DE EMULSÃO *PICKERING* DE ÓLEO
ESSENCIAL DE TANGERINA ESTABILIZADA POR PECTINA EM
FILMES DE MESOCARPO DE BABAÇU: EMBALAGENS
BIODEGRADÁVEIS E ATIVAS**

Rio de Janeiro

2024

Roberta Vieira de Sousa

**EFEITO DA APLICAÇÃO DE EMULSÃO *PICKERING* DE ÓLEO
ESSENCIAL DE TANGERINA ESTABILIZADA POR PECTINA EM
FILMES DE MESOCARPO DE BABAÇU: EMBALAGENS
BIODEGRADÁVEIS E ATIVAS**

Dissertação de Mestrado apresentada ao Programa de Pós Graduação em Alimentos e Nutrição (PPGAN) da Universidade Federal do Estado do Rio de Janeiro (UNIRIO), como parte dos requisitos necessários à obtenção do título de Mestre em Alimentos e Nutrição.

Orientadora: Prof^a. Dr^a. Ana Elizabeth Cavalcante Fai

Coorientador: Prof. Dr. Anderson Junger Teodoro

Coorientador: Dr^a. Patrícia Marques de Farias

Rio de Janeiro

2024

V 725

Vieira de Sousa, Roberta
Efeito da aplicação de emulsão Pickering de óleo
essencial de tangerina estabilizada por pectina em filmes
de mesocarpo de babaçu: embalagens biodegradáveis e ativas
/ Roberta Vieira de Sousa. -- Rio de Janeiro, 2024.
103

Orientadora: Ana Elizabeth Cavalcante Fai.
Coorientador: Anderson Junger Teodoro ; Patrícia
Marques de Farias.
Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal do Estado
do Rio de Janeiro, Programa de Pós-Graduação em Alimentos e

1. Filme biodegradável. 2. Embalagens de alimentos. 3.
Emulsão Pickering. I. Cavalcante Fai, Ana Elizabeth ,
orient. II. Junger Teodoro, Anderson , coorient. III.
Farias, Patricia Marques de, coorient. IV. Título.

Roberta Vieira de Sousa

**EFEITO DA APLICAÇÃO DE EMULSÃO PICKERING DE ÓLEO
ESSENCIAL DE TANGERINA ESTABILIZADA POR PECTINA EM
FILMES DE MESOCARPO DE BABAÇU: EMBALAGENS
BIODEGRADÁVEIS E ATIVAS**

Dissertação de Mestrado apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Alimentos e Nutrição (PPGAN) da Universidade Federal do Estado do Rio de Janeiro (UNIRIO), como requisito para obtenção do título de Mestre em Alimentos e Nutrição.

Aprovado em:

BANCA EXAMINADORA

Prof^a. Dr^a. Ana Elizabeth Cavalcante Fai
Universidade do Estado do Rio de Janeiro – UERJ
Programa de Pós Graduação em Alimentos e Nutrição – PPGAN/UNIRIO

Prof. Dr. Otniel Freitas Silva
Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária – EMBRAPA
Programa de Pós Graduação em Alimentos e Nutrição – PPGAN/UNIRIO

Prof^a. Dr^a. Bianca Chierigato Maniglia
Universidade de São Paulo – USP

Rio de Janeiro

2024

Dedico este trabalho à Deus e a minha mãe, que com a sua fé inabalável nunca mediu esforços para que eu chegasse até aqui.

AGRADECIMENTOS

Agradeço sobretudo a Deus, pelo seu infinito amor e misericórdia, sem Sua destra mão me sustentando, jamais conseguiria chegar até aqui. Por sua a benção, coragem, disposição, proteção, saúde, por todas as oportunidades que me proporcionou e por permitir a realização e conclusão de mais uma etapa em minha vida, obrigada Deus por tanto.

A minha mãe Maria Margarida Vieira de Sousa, que me ensinou o valor do estudo e por nunca ter medido esforços para me dar a melhor formação possível. Por sua benevolência, dedicação, compreensão, incentivo e assim, dando-me o apoio incontestável participando desta conquista.

A minha irmã Ana Paula Vieira de Sousa, pelo incentivo a busca pela vida acadêmica, por sua alegria contagiante, eternas risadas e bom humor.

A minha querida orientadora e Prof^a. Dr^a. Ana Elizabeth Cavalcante Fai pela colaboração técnica e dedicação que tornaram possível a conclusão deste estudo. Mas, principalmente pela receptividade e compreensão ao aceitar me orientar e acolher essa proposta de estudo. Pelo exemplo de generosidade e profissionalismo, cujos ensinamentos são e serão de grande valia para minha vida acadêmica e profissional. Quero que saibas que te admiro muito.

A querida doutoranda Julia Rabelo Vaz Matheus, sempre presente durante a construção deste estudo, dedicando sua atenção, conhecimentos e sua sabedoria sendo minha “coorientadora”. Meu sincero carinho e admiração pela grande pessoa e profissional que é.

Agradeço a Deus por sua graça e misericórdia que através do Prof. Dr. Anderson Junger Teodoro me apresentou a professora Beth; e a Dr^a. Patrícia Marques de Farias em trazer à sua memória a ideia de estudar e produzir emulsões *Pickering* sendo assim, instrumentos de Deus. “Até aqui nos ajudou o Senhor” (1 Samuel 7:12). Deus seja louvado!

Prof. Dr. Ricardo Felipe Alves Moreira, agradeço pela gentileza e atenção em todos os momentos que precisei de sua orientação e conhecimentos.

Prof^a. Dr^a. Silvia Maria Baêta Cavalcanti (PPGMPA, Proppi, UFF), a grande incentivadora do meu ingresso no mundo da pesquisa, por acreditar na minha capacidade, pelo seu apoio e eterna amizade, sou infinitamente grata.

Prof^a. Dr^a. Regina Maria Cavalcanti Pilotto Domingues (IMPPG, UFRJ), um exemplo de profissionalismo e admiração. Suas sábias palavras nos momentos difíceis e incertos dessa jornada, foram determinantes no fortalecimento da minha vida acadêmica, obriga por sua amizade, apoio e orientação.

A amiga Prof^ª. Dr^ª. Renata Cavalcanti Carnevale, Maria Inez Baêta Cavalcanti Carnevale e Francesco Carnevale obrigada pelo carinho, apoio, por estarem sempre dispostos a ajudar e superar os momentos difíceis e pela alegria compartilhada por tantos anos.

Ao prof. Carlos Henrique Ribeiro Cavalcanti (*in memoriam*) e a prof^ª. Magnolia Siano Baeta Cavalcanti que sempre foram grandes exemplos para mim.

Prof. D

r. Marcos Vieira da Silva (IFFAR), à sua generosidade, cordialidade e imprescindível suporte técnico, muito obrigada.

A todos os membros da igreja que sempre me ajudaram em oração e sem a qual seria impossível concluir esta etapa da minha vida, obrigada pelas constantes orações.

Ao prof. Rogê Portela, Sidney Portela, Janio Portela, Adriana Silva e Rosanira Silva obrigada pela amizade e por todo o suporte fornecido. Cujas compreensões juntamente com o apoio prestado possibilitaram a conquista desse título.

À mestrandia Maria Eduarda Flores Trindade, sou grata por sua paciência, ajuda nos experimentos com seu conhecimento prático, contribuições técnicas e principalmente pelo seu acolhimento no meu retorno a um laboratório.

Camila Marcolongo Gomes Cortat, Carollyne Maragoni Santos, João Paulo Gonçalves Ferreira, Julia Rabelo Vaz Matheus, Letícia de Oliveira Gonçalves, Renata Nascimento Matoso Souto e Thalita Ferreira de Freitas obrigada pelas risadas, apoio e conhecimento que foi compartilhado dentro e fora do laboratório, foram essenciais. Com vocês todo esse caminho se tornou mais leve e prazeroso.

Ao corpo docente do Programa de Pós-graduação em Alimentos e Nutrição da Universidade Federal do Estado do Rio de Janeiro pelo conhecimento repassado.

Às instituições de apoio à pesquisa: CAPES e CNPq.

E, finalmente, a todos aqueles que direta ou indiretamente contribuíram para minha formação e elaboração deste estudo, de tal modo, que o nome de Jesus Cristo foi edificado e glorificado.

“Retém a instrução e não a largues: guarda-a, porque ela é tua vida.”

Provérbios 4:13

“Bem-aventurado aquele que tem o Deus de Jacó por seu auxílio, e cuja esperança está posta no Senhor seu Deus.”

Salmos 146:5

RESUMO

A produção massiva de embalagens plásticas de polímeros petroquímicos não biodegradáveis e os problemas com sua gestão após o uso contribuem para a poluição ambiental. Uma alternativa promissora, viável e sustentável aos materiais convencionais é o desenvolvimento de filmes biodegradáveis a partir de polímeros naturais, uma vez que podem ser reincorporadas ao meio ambiente em um curto espaço de tempo e ambientalmente amigáveis. A oportunidade de proporcionar novas destinações ao resíduo da tangerina e do babaçu traz consigo a possibilidade de geração de produtos com maior valor agregado e que apresentam benefícios bioativos, tais como a produção de novas embalagens ativas. Assim, o objetivo deste estudo foi desenvolver e caracterizar filmes biodegradáveis e ativos de emulsão *Pickering* (EP) incorporadas de óleo essencial de tangerina (*Citrus reticulata* Blanco). Pectina cítrica com alto grau de metoxilação foi utilizada como partícula sólida para estabilizar a EP nas proporções de 10%, 12% e 14% (p/v), que foram posteriormente incorporadas à solução formadora filmogênica de mesocarpo de babaçu, resultando em três diferentes filmes obtidos por *casting*: BM-PE10, MB-PE12 e BM-PE14. As EP desenvolvidas permaneceram estáveis por até 180 dias a 25 e 4 °C e foram caracterizadas como macroemulsões que apresentaram tendência a formar bolhas maiores no sistema quanto maior a concentração de OE. A emulsão preparada com 10% de OE foi mais homogênea em termos de dimensões e apresentou atividade antibacteriana contra microrganismos patogênicos de alimentos, mesmo nesta baixa concentração de OE. Todos os filmes apresentaram proteção UVA (400-320 nm), UVB (320-275 nm) e UVC (275-200 nm), potencial antioxidante e atividade antimicrobiana. Eles foram caracterizados pela inibição do crescimento de bactérias gram-negativas (*Campylobacter jejuni*, *Pseudomonas aeruginosa*) e gram-positivas (*Listeria monocytogenes*). Os filmes foram submetidos a um teste de biodegradação em água doce e cerca de 70% foram degradados em 14 dias. O filme com 10% de PE foi biodegradado em solo sob condições de compostagem em menos de 60 dias. Neste estudo, se avaliou também a toxicidade do solo onde o filme foi biodegradado não se mostrou tóxico à germinação de sementes de *Vigna unguiculata*, mas houve tendência à redução da taxa e velocidade de germinação, bem como diferenças no crescimento radicular das sementes aéreas das plantas desenvolvidas. Os filmes de mesocarpo de babaçu incorporados com EP se apresentam como uma opção viável e sustentável para o desenvolvimento de embalagens de alimentos sensíveis à luz.

Palavras-chave: embalagens *smart*; materiais de base biológica; filme à base de polissacarídeo; biodegradabilidade; fitotoxicidade

ABSTRACT

The mass production of plastic packaging from non-biodegradable petrochemical polymers and the problems associated with its disposal after use contribute to environmental pollution. A promising, viable and sustainable alternative to man-made materials is the development of biodegradable films made from natural polymers, as they can be returned to the environment in a short time and are not associated with the production of other pollutants. The possibility of finding new destinations for the disposal of tangerine and babassu brings with it the possibility of creating products with greater added value that have bioactive benefits, such as the production of new active and environmentally friendly packaging. Therefore, the aim of this study was to develop and characterize biodegradable and active Pickering emulsion (PE) films incorporated with tangerine essential oil (*Citrus reticulata* Blanco). Citrus pectin with high degree of methoxylation was used as a solid particle to stabilize the PE in proportions of 10%, 12% and 14% (w/v), which were subsequently incorporated into the film forming solution of babassu mesocarp, resulting in three different films obtained by casting: BM-PE10, MB-PE12, and BM-PE14. The developed PE were stable for up to 180 days at 25 and 4°C and were characterized as macroemulsions that showed a tendency to form larger bubbles in the system the higher the EO concentration was. The emulsion prepared with 10% EO was more homogeneous in terms of dimensions and showed antibacterial activity against foodborne microorganisms even at this low EO concentration. All films provided significant UV protection, antioxidant potential and antimicrobial activity. They were characterized by the inhibition of growth of both gram-negative (*Campylobacter jejuni*, *Pseudomonas aeruginosa*) and gram-positive bacteria (*Listeria monocytogenes*). The films were subjected to a biodegradation test in fresh water and about 70% were degraded within 14 days. The film with 10% PE was successfully biodegraded in soil under composting conditions in less than 60 days. In this study, the soil in which the film was biodegraded did not prove to be toxic to the germination of *Vigna unguiculata* seeds, but there was a tendency for a reduction in germination rate and speed, as well as differences in root growth of the aerial part of the developed plants. PE-loaded babassu mesocarp films offer a viable, sustainable approach for light-sensitive food packaging.

Keywords: smart packaging; bio-based materials; polysaccharide-based film; biodegradable; phytotoxicity.

LISTA DE FIGURAS

Capítulo 1

- Figure 1.** Schematic overview of bibliometric data on adding Pickering emulsions based on essential oils in the formulation of sustainable films. 26
- Figure 2.** Schematic representation of particle stabilizers in Pickering emulsions. 34
- Figure 3.** Schematic representation of the benefits of food wrapping application of bio-based packaging with added essential oil through Pickering emulsion. 50

Capítulo 2

- Figure 1.** Water drop test to check the type of emulsion. Representative photographs of prepared emulsion droplets. Pickering emulsion dispersed in the water phase (a) and Pickering emulsion agglomerated in the oil phase (b). 80
- Figure 2.** Microscopic analysis of Pickering emulsions in 10, 12 and 14% of tangerine essential oil. 81
- Figure 3.** Light transmittance of the films. UV transmission rate (%) of babassu mesocarp films with the incorporation of Pickering emulsion of different concentrations of tangerine essential oil. 85
- Figure 4.** Images of the visual appearance of the of films based on babassu mesocarp with Pickering emulsion in different proportions of oil (a, b); scanning electron microscopy (SEM) images of surfaces (c) and fractures (d, e, f). 87
- Figure 5.** Biodegradability of babassu mesocarp films fabricated with 10% PE and three controls: control film without PE, a PVC film and cellulose. Visual changes of films buried in the soil recovered on days 7, 15, 30, 45, 60, 75 and 90. * means that the film, 91
- Figure 6.** Phytotoxicity tests. Image of *Vigna unguiculata* grown in soil with and without babassu mesocarp films in untreated commercial soil (UCS) and residue soil (RS). Residue soil is the composite soil remaining from the biodegradation test. 93
- Figure 7.** Visual aspect of the influence of babassu mesocarp films on the growth of *Vigna unguiculata* seeds in 14 days. 94

LISTA DE TABELAS

Capítulo 1

Table 1. Examples of major antimicrobial and antioxidant activity of selected EOs. **28**

Table 2. Influence of EOPE functionalization on sustainable food packaging's mechanical, physical, thermal, antimicrobial, and antioxidant properties. **39**

Capítulo 2

Table 1. Pickering emulsion composition and proportions. Erro! Indicador não definido.

Table 2. Characterization of tangerine peel essential oil Pickering emulsions. **70**

Table 3. Characterization of babassu mesocarp flour films incorporated with tangerine essential oil Pickering emulsions. **80**

Table 4. Influence of babassu mesocarp films with PE and with PE on *Vigna unguiculata* seeds germination and performance in 14 days. **94**

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

AGT	Average Germination Time
ABTS	Azinobis-3-ethylbenzothiazoline-6-sulfonic acid
BM	Babassu Mesocarp
CP	Citrus Pectin
DPPH	2,2-Diphenyl-1-picrylhydrazyl
EB	Elongation at Break
EO	Essential Oil
EOPE	Essential Oil Pickering Emulsions
FDA	Film-Forming Solution
FFS	Food and Drug Administration
FRAP	Ferric Reduction Antioxidant Power
GAE	Gallic Acid Equivalent
GRAS	Generally Recognized as Safe
% G	Germination Percentage
GSI	Germination Speed Index
HPMC	Hydroxypropyl methylcellulose
LPP	Low-Pressure Plasma
MH	Mueller-Hinton
O/W	Oil-in-Water
PE	Pickering Emulsion
PVC	Polyvinyl Chloride
RS	Residue Soil
TS	Tensile Strength
TVB-N	Total Volatile Base Nitrogen
UCS	Untreated Commercial Soil
W/O	Water-in-Oil
W/O/W	Water-in-Oil-in-Water
WoS	Web of Science
WPI	Whey Protein Isolate
WVP	Water Vapor Permeability
YM	Young's Modulus

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO GERAL	16
REFERÊNCIAS.....	19

CAPÍTULO 1

Bio-Based food packaging systems functionalized with essential oil via Pickering emulsion: Advantages, challenges and current applications

ABSTRACT	21
INTRODUCTION.....	22
Essential oils and their potential use for food safety and quality assurance	27
Pickering emulsions and particle stabilizers	33
Properties and applications of EOPE functionalized packaging	36
Legal requirements for the market entry of innovative packaging concepts containing PE....	51
CONCLUSION AND PERSPECTIVES	52
REFERENCES	54

CAPÍTULO 2

Babassu films with Pickering emulsion of tangerine essential oil: Bioactive, anti-UV, biodegradability attributes and phytotoxicity assessment

ABSTRACT	67
1. INTRODUCTION.....	68
2. MATERIALS AND METHODS	70
2.1 Materials.....	70
2.2 Citrus pectin gels and Pickering emulsion preparation.....	70
2.3 Pickering emulsions characterization.....	71
2.3.1 Drop Test	71
2.3.2 Emulsion stability index (EI).....	71
2.3.4 Particle size and microstructure	71
2.3.5 Antimicrobial activity.....	71
2.4 Development of babassu mesocarp film loaded with Pickering emulsion.....	72
2.5 Film characterization	73
2.5.1 Film thickness, density and mechanical properties.....	73
2.5.2 Moisture content, water solubility, water vapor permeability (WVP) and surface wettability	73
2.5.3 Colorimetric characterization, transparency assessment, and UV shielding ability	74
2.5.4 Visual aspect and microstructure	75
2.5.5 Bioactivity: antimicrobial, total phenolic content and antioxidant activity.....	75
2.5.6 Biodegradation rates in soil and freshwater.....	76

2.5.7 Phytotoxicity assessment on <i>Vigna unguiculata</i> seeds	77
3. RESULTS AND DISCUSSION	78
3.1 Pickering emulsions characterization.....	78
3.2 Film characterization	82
3.2.1 Film thickness, density and mechanical properties.....	82
3.2.2 Moisture content, water solubility, water vapor permeability (WVP) and surface wettability.....	84
3.2.3 Colorimetric characterization, transparency assessment, and UV shielding ability	84
3.2.4 Visual aspect and microstructure	86
3.2.5 Bioactivity: antimicrobial, total phenolic content and antioxidant activity.....	87
3.2.6 Biodegradation rates in soil and freshwater.....	89
3.2.7 Phytotoxicity assessment on <i>Vigna unguiculata</i> seeds	91
CONCLUSION	95
REFERENCES	96

CONSIDERAÇÕES FINAIS

CONCLUSÃO GERAL.....	103
-----------------------------	------------

1. INTRODUÇÃO GERAL

A ampla e intensiva utilização de plásticos convencionais e seus derivados têm impactos nocivos e permanentes no ecossistema global, uma vez esse tipo de material não atende a certos requisitos de sustentabilidade, como a biodegradabilidade. Após o descarte, os resíduos de plástico se degradam em pedaços menores, chamados de microplásticos os quais são responsáveis pela contaminação dos rios e oceanos (Mamusa *et al.*, 2021; Mo *et al.*, 2023) atingindo as espécies aquáticas nestes ambientes.

Como consequência dos impactos negativos causados no meio ambiente, surgiu uma demanda por tecnologias verdes voltadas ao desenvolvimento de materiais ecologicamente sustentáveis que possam substituir algumas aplicações dos plásticos convencionais, tal como as embalagens de uso único, contribuindo para um modelo econômico mais circular (Prakash *et al.*, 2018).

A economia circular é um conceito novo e representa um sistema econômico estruturado com os objetivos de redução do desperdício e consumo de recursos naturais. Assim, o uso de resíduos e subprodutos agroindustriais como matéria-prima para a produção de plásticos biodegradáveis traz oportunidades para práticas ecologicamente mais corretas contribuindo para os pilares de sustentabilidade ambiental, econômica e social (Ali *et al.*, 2022).

Desta forma, a identificação de novas matrizes poliméricas a partir de fontes biológicas e o desenvolvimento de novos processos faz-se necessário para uma transformação eficiente de resíduos agroindustriais em insumos para gerar novas embalagens biodegradáveis de alto valor agregado (Brito *et al.*, 2019; Cai *et al.*, 2020; Huang *et al.*, 2021; Zarate Vilet *et al.*, 2020).

De acordo com Brito *et al.* (2019), o desenvolvimento de revestimentos e filmes biodegradáveis, por exemplo, produzidos a partir de biopolímeros extraídos de resíduos alimentares, tem atraído significativa atenção da comunidade científica. Eles têm sido usados como estratégia sustentável para estender a vida de prateleira de produtos alimentícios, pois reduzem a perda de umidade e compostos voláteis, bem como as taxas respiratórias e a produção de etileno em vegetais.

Dentre diversos polímeros disponíveis na natureza, a pectina, um polissacarídeo naturalmente encontrado nas paredes celulares das plantas é considerado um subproduto da agroindústria, tem sido amplamente explorado como matriz polimérica no desenvolvimento de filmes para a aplicação em embalagens biodegradáveis por não apresentar toxicidade, ser

de baixo custo, de fácil obtenção e biodegradável (Almasi; Azizi; Amjadi, 2020; Mendes *et al.*; 2018; Nisar *et al.*; 2018).

Com o intuito de desenvolver filmes biodegradáveis mais estáveis e com capacidade bioativa, os óleos essenciais extraídos de plantas, reconhecidos por seu amplo espectro de atividades biológicas, têm recebido atenção para uso como agentes ativos em filmes ativos biodegradáveis. Isso se deve, especialmente, à segurança toxicológica e atividades antioxidantes e antimicrobianas simultâneas que estes óleos apresentam (Almasi; Azizi; Amjadi, 2020; Fasihi *et al.*, 2019).

No entanto, a incorporação de óleos essenciais às soluções filmogênicas pode apresentar alguns desafios, como por exemplo, pouca miscibilidade e/ou separação de fases durante o processo de formação de filme, interferindo e prejudicando as características físicas e mecânicas dos filmes desenvolvidos (Atarés; Chiralt, 2016).

Uma das estratégias para a incorporação dos óleos essenciais em filmes é a formação prévia de emulsões tipo *Pickering*. Essas emulsões foram descritas por Almasi, Azizi e Amjadi (2020) como emulsões estabilizadas por partículas sólidas na qual camadas espessas podem ser formadas na interface da fase óleo-água quando as partículas sólidas são adsorvidas, agindo como uma barreira física (Liu *et al.*, 2022).

Dependendo do grau de metoxilação, a pectina pode apresentar característica hidrofóbica, sendo capaz de interagir com moléculas polares e apolares. Dessa forma, além de matriz polimérica de filmes biodegradáveis, a pectina também pode ser usada como material de parede para encapsular os compostos bioativos, como óleos essenciais, por meio de diferentes métodos, como *spray drying*, coacervação e para formação de complexos poliméricos em emulsões *Pickering* (Slara *et al.*, 2019).

Logo, é importante ressaltar que o desenvolvimento de emulsões *Pickering* como estratégia de incorporação de óleos essenciais para aprimoramento das características físicas, mecânicas e bioativas de filmes biodegradáveis é uma tecnologia sustentável, de caráter inovador e está fundamentada nos princípios da economia circular. Sendo assim, o desenvolvimento de filmes à base de pectina adicionados de emulsões *Pickering* de óleo essencial de tangerina estabilizadas com pectina cítrica é uma alternativa promissora para aplicação como embalagens ativas de alimentos.

Nesse contexto, o objetivo deste trabalho foi desenvolver e caracterizar filmes ativos de mesocarpo de babaçu incorporados de emulsão *Pickering* estabilizadas por partículas sólidas de pectina cítrica e incorporadas de óleo essencial de tangerina.

A partir deste eixo temático principal, o presente estudo gerou 2 produções

científicas, que incluem um artigo de revisão e um artigo original. Dessa forma, esta dissertação está seccionada em 2 capítulos, sendo eles:

- **Capítulo 1:** artigo de revisão intitulado “**Bio-Based food packaging systems functionalized with essential oil via Pickering emulsion: Advantages, challenges and current applications**” submetido à revista *Food Engineering Reviews*, que teve como objetivo apresentar uma análise nova e abrangente sobre a incorporação de óleos essenciais em filmes de base biológica usando emulsões *Pickering*, explorando também, os quadros legais e regulamentares que regem a utilização de soluções de embalagem inovadoras, garantindo o cumprimento das normas de segurança acerca dos temas retratados neste trabalho e elucidando os assuntos abordados na seção subsequente;
- **Capítulo 2:** Artigo original de pesquisa intitulado “**Babassu films with Pickering emulsion of tangerine essential oil: Bioactive, anti-UV, biodegradability attributes and phytotoxicity assessment**”, que será submetido à revista *International Journal of Biological Macromolecules* que teve como objetivo produzir e avaliar a estabilidade, a atividade antioxidante e a antimicrobiana das emulsões *Pickering* e as propriedades mecânicas, físico-químicas, de barreira, colorimétricas, morfológicas, térmicas, capacidade antioxidante, antimicrobiana, biodegradabilidade (solo e água doce) e fototoxicidade dos filmes produzidos com essas emulsões.

REFERÊNCIAS

ALI, S.; ELSAMAHY, T.; ADEL, E.; ALTOHAMY, R.; KORNAROS, M.; RUIZ, H.; ZHAO, T.; LI, F.; SUN, J. **Biowastes for biodegradable bioplastics production and end-of-life scenarios in circular bioeconomy and biorefinery concept.** *Bioresource Technology*, v. 363, 2022.

ALMASI, H.; AZIZI, S.; AMJADI, S. **Development and characterization of pectin films activated by nanoemulsion and Pickering emulsion stabilized marjoram (*Origanum majorana* L.) essential oil.** *Food Hydrocolloids*, v. 99, 2020.

ATARÉS, L.; CHIRALT, A. **Essential oils as additives in biodegradable films and coatings for active food packaging.** *Trends Food Science & Technology*, v. 48, p. 51-62, 2016.

BRITO, T. B.; CARRAJOLA, J. F.; GONÇALVES, É. C. B. A.; MARTELLI TOSSI, M.; FERREIRA, M. S. L. **Fruit and vegetable residues flours with different granulometry range as raw material for pectin-enriched biodegradable film preparation.** *Food Research International*, v. 121, n. 1, p. 412-421, 2019.

CAI, Y.; TIAN, J.; WEI, Q.; OGAWA, Y. **Effect of particle size of pulverized citrus peel tissue on elution characteristics of intracellular substances as influenced by type of solvent.** *Food Hydrocolloids*, v. 100, n. 6, 2019.

FASIHI, H.; NOSHIRVANI, N.; HASHEMI, M.; FAZILATI, M.; SALAVATI, H.; COMA, V. **Antioxidant and antimicrobial properties of carbohydrate-based films enriched with cinnamon essential oil by Pickering emulsion method.** *Food Packaging and Shelf Life*, v. 19, p. 147-154, 2019.

HUANG, J.; LIAO, J.; QI, J.; JIANG, W.; YANG, X. **Structural and physicochemical properties of pectin-rich dietary fiber prepared from citrus peel.** *Food Hydrocolloids*, v. 110, 2021.

LIU, Y.; WENG, P.; LIU, Y.; WU, Z.; WANG, L.; LIU, L. **Citrus pectin research advances: Derived as a biomaterial in the construction and applications of micro/nano-delivery systems.** *Food Hydrocolloids*, v. 133, n. 9, 2022.

MAMUSA, M.; RESTA, C.; SOFRONIOU, C.; BAGLIONI, P. **Encapsulation of volatile compounds in liquid media: Fragrances, flavors, and essential oils in commercial formulations.** *Advances in Colloid and Interface Science*, v. 298, 2021.

MENDES, J. F.; MARTINS, J. T.; MANRICH, A.; SENA NETO, A. R.; PINHEIRO, A. C. M.; MATTOSO, L. H. C.; MARTINS, M. A. **Development and physical-chemical properties of pectin film reinforced with spent coffee grounds by continuous casting.** *Carbohydrate Polymers*, v. 210, p. 92-99, 2019.

MO, A.; ZHANG, Y.; GAO, W.; JIANG, J.; HE, D. **Environmental fate and impacts of biodegradable plastics in agricultural soil ecosystems.** *Applied Soil Ecology*, v. 181, part B, 2023.

PRAKASH, B.; KUJUR, A.; YADAV, A.; KUMAR, A.; SINGH, P.; DUBEY, N. K. **Nanoencapsulation: An efficient technology to boost the antimicrobial potential of plant essential oils in food system.** Food Control, v. 89, p. 1-11, 2018.

SLARA, A. R.; AHMAD, T.; AADIL, R. M.; SPOTTI, M. J.; BAKRY, A. M.; KHAN, I. M.; ZHAO, L.; RIAZ, T.; TONG, Q. **Pectin polymers as wall materials for the nano-encapsulation of bioactive compounds.** Trends in Food Science & Technology, v. 90, 2019.

ZARATE VILET, N.; GUÉ, E.; SERVENT, A.; DELALONDE, M.; WISNNIEWSKI, C. **Filtration-compression step as downstream process for flavonoids extraction from citrus peels: Performances and flavonoids dispersion state in the filtrate.** Food and Bioproducts Processing, v. 120, p. 104-113, 2020.

CONCLUSÃO GERAL

As emulsões *Pickering* desenvolvidas estabilizadas por pectina com OE de tangerina foram estáveis por até 180 dias em diferentes temperaturas e apresentam atividade antibacteriana para produzir filmes potencialmente ativos para aplicação em alimentos. Além disso, o OE de tangerina contém compostos que contribuíram para as características dos materiais resultantes. Dessa forma as emulsões mostraram-se adequadas para produzir filmes à base de farinha de mesocarpo de babaçu. Os filmes de farinha de mesocarpo de babaçu e incorporados de emulsões *Pickering* de OE de tangerina demonstraram propriedades de barreira ao vapor, boa resistência mecânica e excelente propriedade de bloqueio de luz dos filmes. A alta taxa de degradação no solo dos filmes o tornam um material altamente biodegradável. O teste de fitotoxicidade em escala laboratorial com *Vigna unguiculata* mostrou que não é suficiente estudar as propriedades de biodegradação de novas fontes poliméricas no solo. De acordo com essas informações, filmes biodegradáveis feitos a partir de farinha de mesocarpo de babaçu e incorporados de emulsões *Pickering* estabilizadas por pectina com OE de tangerina podem ser utilizados como fonte alternativa sustentável para aplicações no desenvolvimento de embalagens biodegradáveis para alimentos.