

UNIVERSIDADE VILA VELHA-ES
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM BIOTECNOLOGIA VEGETAL

MICHELE WAGEMACHER

**OBTENÇÃO E CARACTERIZAÇÃO DA FARINHA DE RESÍDUOS DO
PROCESSAMENTO DA LARANJA PARA O DESENVOLVIMENTO DE
EMBALAGEM BIODEGRADÁVEL PARA SEMENTES DE
HORTALIÇAS**

VILA VELHA
2025

MICHELE WAGEMACHER

**OBTENÇÃO E CARACTERIZAÇÃO DA FARINHA DE RESÍDUOS DO
PROCESSAMENTO DA LARANJA PARA O DESENVOLVIMENTO DE
EMBALAGEM BIODEGRADÁVEL PARA SEMENTES DE
HORTALIÇAS**

Dissertação apresentada à Universidade Vila Velha, como pré-requisito do Programa de Pós-graduação em Biotecnologia Vegetal, para a obtenção do grau de Mestra em Biotecnologia Vegetal.

VILA VELHA

2025

Catálogo na publicação elaborada pela Biblioteca Central / UVV-ES

W131o Wagemacher, Michele.
Obtenção e caracterização da farinha de resíduos do processamento da laranja para o desenvolvimento de embalagem biodegradável para Sementes de hortaliças / Michele Wagemacher. – 2025.
72 f. : il.

Orientadora: Christiane Mileib Vasconcelos.
Dissertação (mestrado em Biotecnologia vegetal) – Universidade Vila Velha, 2025.
Inclui bibliografias.

1. Biotecnologia vegetal. 2. Farinha com alimento. 3. Hortaliças - Sementes. I. Vasconcelos, Christiane Mileib. II. Universidade Vila Velha. III. Título.

CDD 660.603

MICHELE WAGEMACHER

**OBTENÇÃO E CARACTERIZAÇÃO DA FARINHA DE RESÍDUOS DO
PROCESSAMENTO DA LARANJA PARA O DESENVOLVIMENTO DE
EMBALAGEM BIODEGRADÁVEL PARA SEMENTES DE
HORTALIÇAS**

Dissertação apresentada à Universidade Vila Velha, como pré-requisito do Programa de Pós-graduação em Biotecnologia Vegetal, para a obtenção do grau de Mestra em Biotecnologia Vegetal.

Aprovada em 30 de julho de 2025.

Banca Examinadora:

Documento assinado digitalmente



JACKLINE FREITAS BRILHANTE DE SAO JOSE

Data: 04/11/2025 10:10:05-0300

Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Prof. Dra. Jackline Freitas Brilhante de São José - UFES

Documento assinado digitalmente



MILA MARQUES GAMBA

Data: 29/10/2025 16:31:37-0300

Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Prof. Dra. Mila Marques Gamba – IFES
Coorientadora

Documento assinado digitalmente



LUCIANA RODRIGUES DA CUNHA

Data: 30/10/2025 14:33:44-0300

Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Prof. Dra. Luciana Rodrigues da Cunha - UFOP

Documento assinado digitalmente



CHRISTIANE MILEIB VASCONCELOS

Data: 13/08/2025 15:47:54-0300

Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Prof. Dra. Christiane Mileib Vasconcelos – UVV
Orientadora

AGRADECIMENTOS

Agradeço, primeiramente, a Deus, por me sustentar em todos os momentos dessa caminhada, me fortalecendo nos dias difíceis e guiando cada passo com sabedoria e propósito.

Ao meu marido Juliano, meu parceiro incansável, que esteve ao meu lado em todos os momentos, oferecendo apoio, compreensão, amor e incentivo mesmo nas fases mais desafiadoras. Sem você, essa conquista não teria o mesmo significado. Ter você ao meu lado fez toda a diferença.

Aos meus pais, que mesmo sem terem tido a oportunidade de estudar, sempre me ensinaram com exemplos de força, dignidade e honestidade. Sei que talvez não compreendam totalmente o que significa fazer um mestrado, mas sei, com toda certeza, que sentem orgulho da minha conquista e isso é o que mais importa para mim.

À minha orientadora, Profa. Dra. Christiane, por toda a orientação, paciência, dedicação e por acreditar em mim e no meu trabalho. Sua confiança foi essencial para que eu pudesse crescer como pesquisadora e profissional.

À minha coorientadora Mila, pela generosidade, pelo apoio e pelas contribuições tão importantes durante esta caminhada.

À minha querida IC Samara, por ter seguido comigo durante todo o processo, contribuindo com seu olhar atento, sua disposição e companheirismo em cada etapa desta jornada.

À minha amiga Carolina, por ser porto seguro quando as tempestades pareceram grandes demais. Sua presença, escuta e apoio foram fundamentais para que eu não desistisse nos momentos mais difíceis. Gratidão por cada palavra, cada ajuda e por caminhar comigo.

Ao meu trabalho, por compreenderem a importância dessa etapa em minha vida acadêmica e profissional, e me concederem a liberação necessária para cursar o mestrado.

Aos colegas do LABIA, por toda a ajuda, troca de experiências e por estarem sempre dispostos a colaborar.

À todos os outros laboratórios pelo apoio e pela disponibilidade em sempre ajudar.

À FAPES, pelo apoio financeiro, essencial para a concretização deste projeto.

A todos que, direta ou indiretamente, contribuíram para a realização deste sonho, obrigada!

RESUMO

WAGEMACHER, Michele; M.Sc; Universidade Vila Velha – ES, julho de 2025. **Obtenção e caracterização da farinha de resíduos do processamento da laranja para o desenvolvimento de embalagem biodegradável para sementes de hortaliças**; Orientador: Christiane Mileib Vasconcelos e Coorientadora: Mila Marques Gamba.

Esta dissertação apresenta uma breve revisão sobre o potencial produtivo da laranja, os resíduos gerados durante o processamento industrial da fruta e as diferentes rotas tecnológicas investigadas para a valorização e o aproveitamento eficiente desses subprodutos em distintos contextos industriais. O estudo contextualiza, ainda, o cenário de crescente preocupação ambiental associado ao aumento da produção de embalagens plásticas, cujas projeções indicam que, até 2050, esse volume poderá ultrapassar 250 milhões de toneladas, intensificando a geração de resíduos no ambiente, especialmente nos solos, em grande parte em decorrência do uso intensivo desses materiais nas práticas agrícolas. Além disso, aborda a relevância do mercado de sementes para o Brasil e a importância das embalagens utilizadas em seu armazenamento, destacando os subprodutos do processamento industrial da laranja como uma alternativa promissora para o desenvolvimento de soluções sustentáveis, com ênfase na produção de embalagens biodegradáveis direcionadas ao setor agrícola. O primeiro artigo consiste na caracterização físico-química da farinha desenvolvida a partir dos resíduos sólidos gerados com o processamento industrial de laranja. O resíduo foi submetido à secagem para obtenção da farinha, seguida da realização de análises físico-químicas e da identificação de compostos bioativos. Os resultados demonstraram que a farinha apresentou teor de umidade dentro dos padrões estabelecidos pela ANVISA, bem como pH e acidez adequados. O perfil de compostos bioativos, com destaque para a presença de flavonoides como naringina e hesperidina, reforça seu valor funcional, apesar da redução do teor de ácido ascórbico em decorrência do tratamento térmico. O segundo artigo avaliou a influência da incorporação da farinha de resíduo de laranja no desenvolvimento de embalagem biodegradável para sementes de hortaliças. Foram analisadas as propriedades físicas, ópticas, mecânicas e a biodegradabilidade dos filmes com Farinha de Resíduo de Laranja (FRL). O estudo concluiu que o filme Controle teve menor umidade, mas se desintegrou no teste de absorção de água. O filme com FRL apresentou cor mais intensa e amarelada, atribuída aos pigmentos do resíduo de laranja. O filme com FRL apresentou menor transmitância de luz em todo o espectro avaliado, apresentando maior capacidade de barreira à luz comparado ao Controle que alcançou valores mais elevados. O filme com FRL apresentou maior resistência à tração, alongamento e elasticidade em comparação à embalagem comercial, indicando maior flexibilidade. Também apresentou resistência à perfuração semelhante à embalagem comercial e superior ao Controle. A avaliação da biodegradabilidade apresentou sinais visuais progressivos de biodegradação dos filmes Controle e FRL ao longo de 30 dias, enquanto a embalagem comercial manteve-se praticamente inalterada durante o mesmo tempo.

Palavras chaves: Agronegócio brasileiro; citricultura; resíduos industriais; sustentabilidade

ABSTRACT

WAGEMACHER, Michele; M.Sc.; Vila Velha University – ES, July 2025. **Production and characterization of flour obtained from orange processing residues for the development of biodegradable packaging for vegetable seeds**; Advisor: Christiane Mileib Vasconcelos and Co-advisor: Mila Marques Gamba.

This dissertation presents a brief review of the productive potential of oranges, the residues generated during the industrial processing of the fruit, and the different technological routes investigated for the valorization and efficient use of these by-products in distinct industrial contexts. The study also contextualizes the growing environmental concern associated with the increase in plastic packaging production, whose projections indicate that by 2050 this volume may exceed 250 million tons, intensifying the generation of waste in the environment, especially in soils, largely due to the intensive use of these materials in agricultural practices. In addition, it addresses the relevance of the seed market to Brazil and the importance of packaging used for seed storage, highlighting by-products from industrial orange processing as a promising alternative for the development of sustainable solutions, with an emphasis on the production of biodegradable packaging aimed at the agricultural sector. The first article consists of the physicochemical characterization of flour developed from the solid residues generated by industrial orange processing. The residue was subjected to drying to obtain the flour, followed by physicochemical analyses and the identification of bioactive compounds. The results demonstrated that the flour presented moisture content within the standards established by ANVISA, as well as adequate pH and acidity. The profile of bioactive compounds, with emphasis on the presence of flavonoids such as naringin and hesperidin, reinforces its functional value, despite the reduction in ascorbic acid content as a result of thermal treatment. The second article evaluated the influence of incorporating orange residue flour on the development of biodegradable packaging for vegetable seeds. The physical, optical, mechanical, and biodegradability properties of films containing Orange Residue Flour (ORF) were analyzed. The study concluded that the Control film had lower moisture content but disintegrated during the water absorption test. The film containing ORF showed a more intense and yellowish color, attributed to pigments from the orange residue. The ORF film exhibited lower light transmittance across the entire evaluated spectrum, showing greater light barrier capacity compared to the Control, which reached higher values. The ORF film also showed higher tensile strength, elongation, and elasticity compared to commercial packaging, indicating greater flexibility. It also presented puncture resistance similar to that of the commercial packaging and superior to the Control. Biodegradability evaluation showed progressive visual signs of biodegradation of both Control and ORF films over 30 days, while the commercial packaging remained practically unchanged over the same period.

Keywords: Brazilian agribusiness; citriculture; industrial residues; sustainability.

LISTA DE TABELAS

Tabela 1. Fatores de domínio experimental utilizados para determinação das condições de temperatura e tempo ideais aplicados durante a secagem do resíduo da laranja.

Tabela 2. Variáveis codificadas e reais das condições de temperatura e tempo aplicados durante a secagem do resíduo da laranja.

Tabela 3. Médias e desvio padrão (DP) das análises físico-químicas de caracterização da FRL.

Tabela 4. Média e desvio padrão (DP) do teor de naringina, hesperidina e ácido ascórbico da FRL.

Tabela 1. Média e desvio padrão do teor de umidade e capacidade de absorção de água dos filmes.

Tabela 2. Média e desvio padrão dos parâmetros de cor dos filmes controle e com FRL.

Tabela 3. Média e Desvio Padrão dos testes mecânicos: Resistência Máxima à Tração, alongamento na ruptura, Tensão máxima à perfuração e elasticidade do filme Controle, filme com FRL e da Embalagem Comercial.

Tabela 4. Temperatura mínima e máxima, umidade relativa do ar mínima e máxima, e precipitação pluviométrica.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Coloração dos resíduos de laranja obtidos nos diferentes ensaios do planejamento experimental.

Figura 2. Cromatograma da FRL para a análise dos flavonoides naringina e hesperidina a 280 nm (a) e ácido ascórbico (não detectado) a 250 nm (b).

Figura 3. Cromatograma da FRL para a análise de compostos fenólicos (280 nm).

Figura 4. Cromatograma da FRL para a análise de compostos fenólicos (325 nm).

Figura 1. Ensaio de absorção de água dos filmes controle (a) e FRL (b).

Figura 2. Coloração dos filmes Controle (a) e FRL (b).

Figura 3. Transmissão de luz através dos filmes Controle e com FRL.

Figura 4. Aspecto visual dos filmes Controle, FRL e da embalagem comercial, após diferentes períodos de exposição ao composto orgânico.

SUMÁRIO

LISTA DE TABELA

LISTA DE FIGURA

| | |
|--|----|
| 1. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA..... | 1 |
| 1.1 Laranja e seu potencial de produção | 1 |
| 1.2 Laranja e seus resíduos | 1 |
| 1.3 Embalagens..... | 4 |
| 1.4 Embalagens de sementes de hortaliças | 6 |
| 1.5 Embalagens biodegradáveis | 8 |
| 2. REVISÃO EM BANCOS DE DADOS DE PROPRIEDADE INTELECTUAL | 9 |
| 3. OBJETIVOS | 10 |
| 3.1 Objetivos geral | 10 |
| 3.2 Objetivos específicos | 10 |
| 4. REFERÊNCIAS | 11 |
| CAPÍTULO 1..... | 18 |
| RESUMO | 18 |
| INTRODUÇÃO..... | 19 |
| MÉTODOS..... | 20 |
| Delineamento experimental..... | 20 |
| Secagem do resíduo de laranja e obtenção da farinha | 21 |
| Caracterização da farinha do resíduo da laranja (FRL) | 21 |
| Determinação do teor de umidade e lipídios..... | 21 |
| Determinação do PH | 22 |
| Determinação da acidez total titulável..... | 22 |
| Determinação do teor de sólidos solúveis..... | 22 |
| Determinação das coordenadas de cor | 22 |
| Identificação de compostos bioativos..... | 22 |
| Análise estatística | 23 |
| RESULTADOS | 24 |
| Caracterização da FRL..... | 25 |
| Identificação de compostos bioativos na FRL..... | 25 |

| | |
|---|----|
| DISCUSSÃO | 27 |
| CONCLUSÃO | 31 |
| Agradecimentos | 32 |
| REFERÊNCIAS..... | 32 |
| CAPÍTULO 2 | 38 |
| RESUMO..... | 38 |
| ABSTRACT | 39 |
| 1. INTRODUÇÃO..... | 40 |
| 2. MATERIAIS E MÉTODOS | 41 |
| 2.1. Obtenção do filme com incorporação da FRL | 41 |
| 2.1.1. Delineamento experimental | 42 |
| 2.2. Teor de umidade e capacidade de absorção de água | 42 |
| 2.3. Propriedades ópticas | 43 |
| 2.3.1 Análise instrumental de cor dos filmes | 43 |
| 2.3.2. Transmissão de luz | 43 |
| 2.4. Propriedades mecânicas | 43 |
| 2.4.1. Teste de tração | 44 |
| 2.4.2. Teste de perfuração | 44 |
| 2.5. Avaliação qualitativa da biodegradabilidade | 45 |
| 3. ANÁLISE ESTATÍSTICA | 45 |
| 4. RESULTADOS E DISCUSSÃO | 46 |
| 4.1. Propriedades físicas | 46 |
| 4.2 Propriedade ópticas | 48 |
| 4.3 Propriedade mecânicas | 51 |
| 4.4 Avaliação da biodegradabilidade | 53 |
| 5. CONCLUSÃO | 57 |
| 6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS | 58 |

1. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

1.1 Laranja e seu potencial de produção

A citricultura configura-se como um dos segmentos mais relevantes do agronegócio brasileiro, destacando-se, sobretudo, pela expressiva produção de laranja, tanto em termos de área cultivada quanto de volume colhido. Essa atividade apresenta forte concentração geográfica no estado de São Paulo, responsável por aproximadamente 77,1% da produção nacional, seguido por Minas Gerais (6,0%), Paraná (3,9%), Bahia (3,7%), Sergipe (2,4%) e Rio Grande do Sul (2,1%). No contexto do consumo interno, a laranja ocupa a segunda posição entre as frutas mais consumidas no país, ficando atrás apenas da banana (Embrapa, 2023).

A expressividade da produção nacional não se limita ao consumo interno. Aproximadamente 30% da produção de laranja é destinada ao mercado, enquanto os 70% restantes são direcionados ao processamento industrial para a produção de suco. Nesse contexto, o protagonismo do Brasil no cenário global do suco de laranja é amplamente reconhecido, consolidando-se como o maior exportador mundial do produto. Essa importância se evidencia no fato de que cerca de 75% do volume total de suco de laranja comercializado internacionalmente provém do país (USDA, 2024).

Esse alto índice de industrialização, no entanto, acarreta a geração de uma expressiva quantidade de resíduos provenientes da fruta, os quais têm ganhado atenção crescente devido ao seu potencial de aproveitamento (Ayala et al., 2021; Suzuki et al., 2023). Portanto, conhecer a composição da laranja, é importante para entender o valor nutricional e o potencial de aproveitamento de seus subprodutos.

1.2 Laranja e seus resíduos

A laranja (*Citrus sinensis* L. Osbeck) é o fruto da laranjeira, árvore de porte médio pertencente à família Rutaceae, que pode atingir até 8 metros de altura. As laranjeiras são classificadas em dois grupos principais: doce e azeda. O formato, a coloração da casca e da polpa variam conforme a variedade, sendo comum a casca alaranjada e a polpa aquosa em tons que vão do amarelo-claro ao vermelho. As sementes apresentam formato arredondado e coloração verde esbranquiçada. Por serem frutas

cítricas não climatéricas, as laranjas não amadurecem após a colheita, devendo ser colhidas no ponto ideal para consumo (Matos, 2007; Brasil, 2015; Citrus BR, 2023).

A fruta é constituída pelo flavedo que é parte externa onde estão presentes os carotenoides responsáveis pela coloração alaranjada do fruto maduro. O mesocarpo ou albedo é caracterizado por uma camada interna branca e esponjosa. Juntos, o flavedo e o albedo formam o que se denomina a casca do fruto. As vesículas de suco são partes comestíveis e separadas por um material membranoso, que constitui o endocarpo e, abrigada no interior do pericarpo está a semente (Ferreira et al, 2019).

A compreensão dessa morfologia é importante para o entendimento da composição da laranja, uma vez que cada uma de suas estruturas contribui de forma distinta para o perfil nutricional do fruto. Nesse sentido, a laranja é predominantemente composta por água, representando cerca de 87% de sua composição, enquanto os restantes 13% consistem em uma variedade de compostos como minerais (cálcio, fósforo, magnésio, cobre e potássio), óleos essenciais, lipídios, proteínas, fibras (pectina, celulose, hemicelulose e lignina), ácidos orgânicos, compostos bioativos, açúcares solúveis e amido. Destaca-se como uma fonte abundante de vitamina C, além de conter vitamina A e do complexo B (Brasil, 2015; Richa *et. al*, 2023; Ortiz-Sanchez; Cardona Alzate; Solarte-Toro, 2024).

Diante dessa composição rica e diversificada, observa-se que grande parte dos constituintes nutricionais e funcionais da fruta também está presente nas partes não comestíveis, que geralmente são descartadas. Durante o processamento industrial da laranja, uma quantidade significativa de resíduos é gerada, correspondendo a aproximadamente 50% de cada fruta utilizada. Esses resíduos englobam frutas impróprias para utilização, casca, sementes e membrana (Calabrò, Paone, Komilis, 2018; Revathi et al., 2025).

Apesar do elevado volume e do potencial aproveitamento desses subprodutos, as estratégias tradicionalmente empregadas para o manejo dos resíduos cítricos ainda enfrentam diversos entraves. As técnicas convencionais de gestão de resíduos cítricos incluem desde formas de descarte, como a disposição em aterros sanitários, até tentativas de valorização, como a compostagem, a extração de pectina e o uso na alimentação animal. No entanto, essas abordagens mostram-se, em muitos casos, insuficientes, problemáticas ou economicamente pouco atrativas. A disposição em aterros, por exemplo, gera impactos ambientais significativos, como a emissão de gases de efeito estufa (metano e dióxido de carbono) e a produção de chorume. No

caso da alimentação animal, o aproveitamento dos resíduos cítricos enfrenta limitações relacionadas ao processo de desidratação, ao sabor amargo e ao baixo valor nutricional, o que desestimula seu uso. Já a compostagem, embora ambientalmente viável, demanda altos custos operacionais, e o composto resultante nem sempre desperta interesse no mercado local (Negro et al., 2017; Ortiz-Sanchez et al., 2023).

Por outro lado, os resíduos oriundos da laranja contêm uma variedade de compostos valiosos, incluindo pectina, celulose, hemicelulose, lignina, amido, proteínas, lipídios e uma gama de compostos bioativos como óleos essenciais, compostos fenólicos (flavonoides, ácidos fenólicos e cumarinas), carotenoides, ácidos orgânicos e vitaminas. Portanto, formas inovadoras de valorizar estes resíduos têm sido estudadas para reduzir os danos ambientais e promover a sustentabilidade (Yaradoddi et al., 2022; Carranza-Méndez et al., 2022; Saini et al., 2022; Ortiz-Sanchez; Alzate; Solarte-Toro, 2024).

A pectina é um polissacarídeo complexo que constitui um dos principais componentes da parede celular das plantas, oferecendo suporte estrutural aos tecidos vegetais. Ela é encontrada em maior concentração nas cascas de frutas cítricas e no bagaço de maçã, sendo que as cascas cítricas contêm entre 20% e 30% de pectina. Suas propriedades gelificantes, espessantes e emulsificantes fazem com que seja amplamente utilizada na indústria alimentícia, desempenhando papel fundamental na melhoria da textura e consistência de diversos produtos. Além de suas aplicações industriais, a pectina é valorizada como fonte de fibra alimentar, trazendo benefícios à saúde (Chen et al., 2020; Zioga, Chroni, Evageliou, 2022; Karim et al., 2022).

A celulose é um polissacarídeo estrutural que constitui aproximadamente metade da parede celular das plantas. Sua produção ocorre naturalmente nos vegetais, em processos biológicos que dependem da energia solar. Tanto a celulose quanto seus derivados têm recebido atenção crescente em diferentes áreas de pesquisa e aplicação industrial, sobretudo por se tratarem de materiais renováveis, não tóxicos, economicamente viáveis e biodegradáveis, além de apresentarem boas propriedades mecânicas, biocompatibilidade e facilidade de moldagem (Chen et al., 2023; da Silva Junior et al., 2024). Outro aspecto relevante é sua estabilidade térmica, que permite suportar altas temperaturas sem degradação significativa, e sua capacidade de atuar como barreira contra radiação ultravioleta (UV), absorvendo e dispersando os raios UV (Singh et al., 2023).

A hemicelulose é o segundo polímero natural mais abundante, correspondendo entre 20% e 30% do peso dos materiais lignocelulósicos. As cadeias poliméricas da hemicelulose são ramificadas e possuem uma estrutura amorfa, o que lhes confere uma solubilidade parcial ou total em água. Essa morfologia amorfa também facilita sua biodegradabilidade, uma característica que, juntamente com sua excelente reprodutibilidade e capacidade de formar barreiras contra o oxigênio, torna a hemicelulose uma candidata ideal para o desenvolvimento de materiais biodegradáveis e outras aplicações sustentáveis (Hu, 2020; Zhao, 2020).

A lignina é um polímero natural de estrutura polifenólica, amorfa e aromática. Sua rede tridimensional, composta por unidades de fenilpropano, possibilita seu uso como enchimento em filmes de polissacarídeos. Em conjunto com a hemicelulose, contribui para a flexibilidade e regula o teor de umidade. Também se destaca por sua funcionalidade, boa adesão, propriedades de adsorção e solução, biocompatibilidade e baixa toxicidade o que reforça seu potencial ambiental e industrial (Linan, 2024).

Considerando esse conjunto de compostos com propriedades relevantes presentes nos resíduos da laranja, diversas rotas tecnológicas têm sido exploradas para sua valorização, visando ao aproveitamento eficiente desses subprodutos em diferentes contextos industriais. No âmbito da indústria alimentícia, destacam-se a extração de pectina, polifenóis, óleos essenciais, fibras alimentares e corantes naturais. Paralelamente, esses resíduos têm sido aplicados no desenvolvimento de biocombustíveis e de materiais com propriedades biodegradáveis, o que evidencia sua versatilidade e potencial de aplicação em distintos setores produtivos (Cirrincione et al., 2024).

1.3 Embalagens

A embalagem surgiu com o uso de cascas de frutas como recipientes naturais e, ao longo da história, evoluiu para materiais como barro, folhas, palha e juta. Em 1815, foi criada a primeira lata de aço para armazenar mantimentos durante a guerra. Com o crescimento urbano e o afastamento das áreas rurais, as embalagens passaram por constantes inovações, incorporando diversos materiais para garantir o transporte e a conservação dos produtos até o consumidor final (ABRE, 2023).

Esse processo evolutivo tornou-se ainda mais significativo diante do aumento populacional e das exigências logísticas do mundo moderno. Em 2023, a população

global atingiu a marca de 8 bilhões de pessoas, que consomem diariamente diferentes produtos, desde alimentos, bebidas, produtos de cuidados e higiene pessoal, remédios e outros mais. Nesse contexto, as embalagens assumem um papel de importância ao possibilitar a entrega eficaz e segura desses produtos às pessoas, mesmo em longas distâncias. Dessa forma, as embalagens não apenas se transformaram em componentes integrantes, mas também essenciais para o sistema econômico contemporâneo da sociedade. É praticamente impossível imaginar o mundo atual sem a presença influente e vital das embalagens (José; Oliveira; Carvalho, 2021; ABRE, 2023).

Para atender a essa demanda crescente e diversificada, a escolha da embalagem adequada deve considerar uma série de critérios técnicos e funcionais que garantam a integridade do produto ao longo de toda a cadeia de suprimentos. Essa seleção envolve fatores como o ciclo de vida do produto, o processo de envase, o transporte, o armazenamento, a distribuição, a comercialização, o uso, o descarte e a reciclagem. Além desses aspectos logísticos, também são levados em conta elementos técnicos, estéticos, ambientais, mercadológicos, econômicos, bem como exigências legais e certificações específicas. Com base nessas considerações, a indústria determina o material mais apropriado, que pode abranger opções como vidro, aço, alumínio, plásticos, cartão, papelão ondulado, madeira e rafia (José; Oliveira; Carvalho, 2021; ABRE, 2023).

Entre as opções, destaca-se o plástico como um dos materiais mais utilizados pela indústria de embalagens, sobretudo por suas características técnicas e econômicas. A preferência da indústria pelo uso de plástico na produção de embalagens se deve às amplas possibilidades de aplicação desse material, aliadas ao baixo custo, leveza, alto desempenho e boa processabilidade (Sangroniz et al., 2019). Segundo dados da Associação Brasileira de Embalagem, apesar de uma leve redução nos últimos anos, os plásticos ainda detêm a maior fatia do valor da produção, representando 33,6% do total das embalagens fabricadas no país (ABRE, 2022). As previsões sugerem que, até 2050, a produção de embalagens plásticas deverá exceder 250 milhões de toneladas (Sangroniz et al., 2019).

No contexto do setor agrícola, a embalagem representa um desafio constante, dada sua importância para assegurar a integridade dos produtos desde o local de produção até o consumidor final. Embalagens bem projetadas contribuem significativamente para a manutenção da qualidade e da segurança dos alimentos, ampliando sua

durabilidade e reduzindo perdas após a colheita. Além da função de proteção, elas assumem papéis estratégicos ao facilitar a identificação do produto, otimizar os processos logísticos e transmitir informações relevantes ao longo da cadeia de suprimentos (Dhalsamant et al., 2025).

De acordo com a 29ª edição do *Foresight Brief*, relatório do Programa das Nações Unidas para o Meio Ambiente (UNEP), tem sido observado um aumento expressivo na quantidade de resíduos plásticos presentes nos solos, o que representa uma preocupação ambiental crescente. Grande parte desse problema está relacionada às práticas agrícolas, que utilizam amplamente materiais plásticos em suas rotinas produtivas. Entre os usos mais comuns estão os filmes de cobertura morta e, filmes e redes utilizados em túneis e estufas, sistemas de irrigação por meio de tubos e gotejadores, sacos e embalagens, filmes para silagem, frascos, revestimentos aplicados a fertilizantes, pesticidas e sementes, bem como mantas, protetores de frutas e plantas, redes, cordas, linhas, armadilhas e cercados (FAO, 2021; UNEP, 2022).

Tal problemática é agravada pelo descarte inadequado desses materiais de origem petroquímica, o que tem contribuído significativamente para sua crescente acumulação em aterros sanitários e no meio ambiente. Essa situação torna-se ainda mais crítica diante do elevado consumo e da composição química resistente desses polímeros, que lhes confere alta durabilidade e dificulta sua degradação natural. Estima-se que o tempo de decomposição de plásticos convencionais varie entre 100 e 400 anos (Lacerda et al., 2024).

1.4 Embalagem de sementes de hortaliças

A produção de hortaliças e de sementes de hortaliças no Brasil é uma atividade dinâmica e de grande importância socioeconômica, envolvendo desde o fornecimento de alimentos até a geração de emprego e renda. Essa prática é amplamente adotada por pequenos produtores, agricultura familiar, hortas comunitárias e cultivos domésticos. Segundo a FAO, o cultivo de hortaliças ocupa cerca de 89 milhões de hectares no mundo, com produção estimada em 1,4 bilhão de toneladas. O mercado de sementes de hortaliças, por sua vez, é global e estratégico, sendo essencial para garantir a qualidade das culturas e movimentando uma cadeia produtiva que abrange pesquisa, desenvolvimento e comercialização (Gratão e Arruda, 2024). Nesse sentido,

o armazenamento assume papel estratégico no planejamento e na execução do processo produtivo dessas sementes (Neto et al., 2013).

Diante da importância do armazenamento, a escolha da embalagem adequada torna-se fundamental e deve ser realizada com critérios rigorosos, evitando decisões precipitadas. Essa escolha envolve a consideração de diversos fatores, tais como as condições ambientais às quais as sementes estarão expostas até o momento da semeadura, o tipo de comercialização adotado, as propriedades mecânicas da embalagem e sua disponibilidade no mercado. Todos esses elementos impactam diretamente na eficiência do armazenamento e na preservação da qualidade fisiológica das sementes durante esse período (Carvalho e Nakagawa, 2000).

Dentro desse contexto, as embalagens utilizadas no armazenamento de sementes são classificadas com base em seu nível de permeabilidade, dividindo-se em três grupos principais: permeáveis, semipermeáveis e impermeáveis. Essa categorização é fundamental para compreender a durabilidade das sementes ao longo do armazenamento, uma vez que a troca de umidade com o ambiente varia conforme o tipo de embalagem empregada, influenciando diretamente na conservação da qualidade fisiológica das sementes (Azevedo et al., 2003).

Cada categoria de embalagem apresenta propriedades específicas que influenciam diretamente na conservação e proteção das sementes durante o armazenamento. As embalagens permeáveis, como sacos de tecido, papel ou plásticos perfurados, permitem livre troca de umidade com o ambiente e não oferecem barreira contra a ação de insetos, sendo recomendadas apenas para períodos curtos de armazenamento. As embalagens semipermeáveis, por sua vez, restringem a passagem de água líquida, mas ainda permitem a difusão de vapor d'água, oferecendo proteção intermediária. Já as embalagens impermeáveis, geralmente utilizadas para volumes reduzidos e embalagens seladas, são totalmente vedadas à troca de umidade com o meio externo. Essas são confeccionadas com materiais como filmes de polivinil, polietileno, celofane, poliéster, papel alumínio e embalagens herméticas, proporcionando maior proteção às sementes ao longo do tempo (Medeiros e Eira, 2006; Dadlani et al., 2023).

A qualidade das sementes desempenha um papel essencial para alcançar o desempenho produtivo desejado. Nesse contexto, o armazenamento adequado torna-se uma prática indispensável, pois permite preservar as características fisiológicas

das sementes, contribuindo para a manutenção da viabilidade e do vigor durante o intervalo entre a colheita e a próxima semeadura (Azevedo et al., 2003).

1.5 Embalagens biodegradáveis

Considerando a importância do material da embalagem para a conservação da qualidade das sementes, surge também a necessidade de refletir sobre o impacto ambiental associado ao uso de materiais convencionais. O crescente volume de resíduos de embalagens tradicionais, aliado aos desafios na gestão de resíduos e aos impactos ambientais e de saúde decorrentes da longevidade de muitos polímeros sintéticos, tem gerado preocupações globais. Nesse cenário, a busca por materiais alternativos mais sustentáveis é vital para viabilizar transformações tecnológicas tanto no processo de fabricação quanto no produto final (Shaikh; Yaqoob; Aggarwal, 2021).

A sustentabilidade envolve três pilares fundamentais: bem-estar humano, economia e meio ambiente. Essas dimensões contribuem para a promoção da equidade social e para a preservação da resiliência ecológica. Sob a ótica ecológica, garantir um ecossistema saudável é essencial e se relaciona, inclusive, com a escolha de materiais sustentáveis, como os utilizados em embalagens. A sustentabilidade dos materiais depende de múltiplos fatores, que abrangem desde aspectos econômicos e ambientais até considerações sobre funcionalidade, estética, ciclo de vida e impactos em diferentes escalas (Ibrahim et al., 2022).

Os polímeros biodegradáveis podem ser categorizados em três grupos: (i) Os sintéticos derivados de produtos químicos usando monômeros renováveis baseados em biomassa, como o ácido polilático (PLA), e biodegradáveis baseados em recursos fósseis, como o tereftalato de adipato de polibutileno (PBAT), poli (butileno succinato-co-butileno adipato) (PBSA), álcool polivinílico (PVA), ácido poliglicólico (PGA) e policaprolactona (PCL); (ii) outro grupo é de polímeros naturais provenientes de polissacarídeos (amido, celulose, quitosana ou quitina), lipídios (glicerídeos e ceras) e proteínas (colágeno, gelatina, caseína, soro de leite, proteína de soja, zeína, glúten de trigo, etc.); e por último (iii) o grupo dos poli(hidro)alcanoatos (PHAs); poli(hidro)butirato (PHB), poli(hidro)valerato (PHV), poli (3-poli(hidro)butirato-co-3-hidro)valerato (PHBV), e a celulose bacteriana. Dentre os três grupos, a mais utilizada é a do segundo, pois possuem atributos vantajosos, além da biodegradabilidade, como renovabilidade e abundância na natureza (Panou e Karabagias, 2023).

Assim, os subprodutos do processamento de suco de laranja representam uma oportunidade valiosa para o desenvolvimento de soluções sustentáveis, especialmente no contexto das embalagens biodegradáveis. Apesar dos avanços nas pesquisas relacionadas ao aproveitamento de resíduos cítricos, ainda são escassos os estudos que investiguem especificamente o uso desses resíduos na elaboração de embalagens biodegradáveis direcionadas ao setor agrícola. Tal lacuna evidencia a necessidade de investigações mais aprofundadas, que possam explorar o potencial desses subprodutos de forma integrada, contribuindo para a redução de impactos ambientais e para a inovação sustentável nesse segmento.

2. REVISÃO EM BANCOS DE PROPRIEDADE INTELECTUAL

Com o objetivo de identificar patentes existentes relacionadas à produção de filmes biodegradáveis a partir de resíduos de laranja para o acondicionamento de sementes, foi realizada uma busca em banco de dados. A pesquisa foi conduzida na plataforma especializada em propriedade intelectual Lens.org, utilizando diferentes combinações de palavras-chave em inglês, de forma a ampliar o número de resultados relevantes. As expressões empregadas foram:

- "orange residue AND biodegradable film";
- "orange peel AND biodegradable film";
- "orange peel AND biodegradable packaging";
- "orange residue AND biodegradable packaging";
- "orange peel AND biodegradable seed packaging";
- "orange peel AND seed packaging".

As buscas com os termos "orange residue AND biodegradable film", "orange residue AND biodegradable seed packaging" e "orange peel AND seed packaging" não identificaram pedido de patente. A combinação "orange peel AND biodegradable packaging" resultou em 11 documentos, porém nenhum relacionado ao uso de casca de laranja na composição dos filmes.

Por outro lado, a expressão "orange peel AND biodegradable film" levou à identificação de 19 documentos. No entanto, apenas três deles mencionaram, em seus resumos, o desenvolvimento de filmes biodegradáveis. Entre esses, dois tratam

da utilização de extrato de casca de laranja como componente funcional, enquanto o terceiro descreve um filme à base de lignina, sem ligação com o uso de resíduos de laranja. Os demais documentos foram considerados irrelevantes para os objetivos da pesquisa.

O pedido de patente CN 118307819 A, apresenta o desenvolvimento de um filme biodegradável com propriedades antioxidantes e bloqueio à radiação ultravioleta, utilizando pectina, carboximetilcelulose e extrato de casca de laranja. Os testes indicaram desempenho expressivo, com taxa de sequestro de radicais livres DPPH de até 68,23% e bloqueio completo das radiações UVA e UVB.

O segundo pedido analisado, CN 118878931 A, também emprega pectina, carboximetilcelulose e extrato de casca de laranja, com foco em propriedades hidrofóbicas e antioxidantes. O filme alcançou uma taxa de eliminação de radicais livres DPPH de 93,32% e apresentou ângulo de contato com a água de 121,68°, evidenciando alta hidrofobicidade.

Já o pedido US 2018/0079871 A1 trata da elaboração de filmes biodegradáveis a partir de derivados de lignina limpa, com propriedades aprimoradas. Apesar de abordar a produção de filmes sustentáveis, não há qualquer menção ao uso de casca de laranja na formulação.

Sendo assim, a inexistência de pedidos de patente relacionados à aplicação de resíduos de laranja na produção de filmes biodegradáveis voltados para embalagens de sementes evidencia o caráter inovador desta proposta. Tal abordagem destaca-se não apenas pela originalidade, mas também por seu potencial em oferecer uma solução sustentável para o reaproveitamento de resíduos gerados por indústrias e produções locais.

3. OBJETIVOS

3.1 Objetivo geral

Caracterizar a farinha proveniente dos resíduos do processamento da laranja, visando seu aproveitamento no desenvolvimento de uma embalagem biodegradável destinada ao acondicionamento de sementes de hortaliças.

3.2 Objetivos específicos

Objetivo A: Definir tempo e temperatura mais adequados para secagem do resíduo de laranja;

Objetivo B: Obter a farinha do resíduo de laranja (FRL) com tempo e temperatura de secagem definidos;

Objetivo C: Determinar as características físico-químicas (coordenadas de cor, pH, teor de sólidos solúveis totais e acidez total titulável) e identificar compostos bioativos da FRL;

Objetivo D: Desenvolver um filme com incorporação da FRL;

Objetivo E: Avaliar as propriedades físicas (teor de umidade e capacidade de absorção de água), ópticas (coordenadas de cor e transmissão de luz) e mecânicas (resistência à tração e resistência à perfuração) do filme com FRL;

Objetivo F: Avaliar a biodegradabilidade do filme com FRL em substrato.

4. REFERÊNCIAS

ABRE. **Associação Brasileira de Embalagens**. (2023). *Pessoas vivendo em centros urbanos, longe da produção*. <https://www.abre.org.br/>

Amaral, S. M. B., Bessa, M. J., Cavalcante, M. R. F., Freitas, F. N. F. de, Maia, M. B. V., Costa Júnior, R. A. da, & Damaceno, M. N. (2021). Resíduos de laranja no preparo de produtos alimentícios: Uma revisão. *Pesquisa, Sociedade e Desenvolvimento*, 10(6), e0910615373. <https://doi.org/10.33448/rsd-v10i6.15373>.

Ayala, J. R., Montero, G., Coronado, M. A., García, C., Curiel-Alvarez, M. A., León, J. A., Sagaste, C. A., & Montes, D. G. (2021). Characterization of Orange Peel Waste and Valorization to Obtain Reducing Sugars. *Molecules*, 26(5), 1348. <https://doi.org/10.3390/molecules26051348>.

Azevedo, M. R. de Q. A., Gouveia, J. P. G. de G., Trovão, D. M. de M., & Queiroga, V. de P. (2003). Influência das embalagens e condições de armazenamento no vigor de sementes de gergelim. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, 7(3), 519-524.

Brasil. Ministério da Saúde. Secretaria de Atenção à Saúde. Departamento de Atenção Básica. (2015). **Alimentos regionais brasileiros (2. ed.)**. Ministério da Saúde.

Calabrò, P. S., Paone, E., & Komilis, D. (2018). Strategies for the sustainable management of orange peel waste through anaerobic digestion. **Journal of Environmental Management**, 212, 462-468. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2018.02.039>.

Carranza-Méndez, R. C., Chávez-González, M. L., Sepúlveda-Torre, L., Aguilar, C. N., Govea-Salas, M., & Ramos-González, R. (2022). Production of single cell protein from orange peel residues by *Candida utilis*. **Biocatalysis and Agricultural Biotechnology**, 40, 102298. <https://doi.org/10.1016/j.bcab.2022.102298>.

Carvalho, N. M., & Nakagawa, J. (2000). **Sementes: ciência, tecnologia e produção**. FUNEP.

Chen, T.-T., Zhang, Z.-H., Wang, Z.-W., Chen, Z.-L., Ma, H., & Yan, J.-K. (2020). Effects of ultrasound modification at different frequency modes on physicochemical, structural, functional, and biological properties of citrus pectin. **Food Hydrocolloids**, 124, 107308.

Chen, Z., Aziz, T., Sun, H., et al. (2023). Advances and Applications of Cellulose Bio-Composites in Biodegradable Materials. **Journal of Polymers and the Environment**, 31, 2273–2284. <https://doi.org/10.1007/s10924-022-02561-8>.

Cirrinzione, F., Ferranti, P., Ferrara, A., & Romano, A. (2024). A critical evaluation on the valorization strategies to reduce and reuse orange waste in bakery industry. **Food Research International**, 187, 114422. <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2024.114422>.

Citrus BR. (2023). **A laranja**. Recuperado de <https://citrusbr.com/beneficios/a-laranja/>.

Da Silva Junior, C. J. G., de Medeiros, A. D. M., Cavalcanti, A. K. L. d. H., de Amorim, J. D. P., Durval, I. J. B., Cavalcanti, Y. d. F., Converti, A., Costa, A. F. d. S., & Saubbo, L. A. (2024). Towards Sustainable Packaging Using Microbial Cellulose and Sugarcane (*Saccharum officinarum* L.) Bagasse. **Materials**, 17(15), 3732. <https://www.mdpi.com/1996-1944/17/15/3732>.

Dadlani, M., Gupta, A., Sinha, S. N., & Kavali, R. (2023). Seed storage and packaging. In M. Dadlani & D. K. Yadava (Eds.), **Seed science and technology** (Cap. 11). Springer. https://doi.org/10.1007/978-981-19-5888-5_11.

Dhalsamant, K., Dalai, A., Pattnaik, F., & Acharya, B. (2025). Biodegradable carbohydrate-based films for packaging agricultural products—A review. **Polymers**, 17(10), 1–22. <https://doi.org/10.3390/polym17101325>.

Embrapa. (2023). **Brasil em 50 alimentos**. Embrapa. <https://www.embrapa.br/en/busca-de-publicacoes/-/publicacao/1153294/brasil-em-50-alimentos>.

FAO. **Assessment of agricultural plastics and their sustainability: A call for action**. Rome: FAO, 2021.

Ferreira, B. M. R., Neyra, R. C., Costa, J. C. M. da, Bruni, A. R. da S., Bolonhês, M. A., & Vieira, A. M. S. (2022). Produção de filmes biodegradáveis a partir de resíduos de frutas e vegetais: uma revisão atualizada. **Pesquisa, Sociedade e Desenvolvimento**, 11(5), e54311528544. <https://doi.org/10.33448/rsd-v11i5.28544>.

Ferreira, T. H. B., Alves, L. R., Rolon, N. V., Munhoz, C. L., & Argandona, E. J. S. (2019). Propriedades físicas, químicas e nutricional do néctar de laranja industrializado. **GI. Sci Technol**, 12(02), 60-67.

Gratão, M. S., & Arruda, N. (2024). Produção de Sementes de Hortaliças: Conceitos, Procedimentos e Sistemas de Produção. In *Avanços da Pesquisa e Inovação em Sistemas Agrícolas: Conjunturas da Ciências Agrárias* (pp. 87-110). Editora Científica. <https://doi.org/10.37885/241118137>.

Hu, L. S., Fang, X. Z., Du, M. H., Luo, F., & Guo, S. H. (2020). Hemicellulose-Based Polymers Processing and Application. **American Journal of Plant Sciences**, 11(12), 1279-1290. <https://doi.org/10.4236/ajps.2020.1112146>.

Ibrahim, I. D., Hamam, Y., Sadiku, E. R., Ndambuki, J. M., Kupolati, W. K., Jamiru, T., Eze, A. A., & Snyman, J. (2022). Need for Sustainable Packaging: An Overview. *Polymers*, 14(20), 4430. <https://doi.org/10.3390/polym14204430>.

José, J. F. B. de S., Oliveira, J. de S. C., & Carvalho, J. S. (2021). Reflexões sobre embalagens de alimentos e sustentabilidade. *Revista Ibero Americana de Ciências Ambientais*, 12(3), 586-597. <http://doi.org/10.6008/CBPC2179-6858.2021.003.0047>.

Karim, R., Nahar, K., Bhuiyan, R. H., Zohora, F. T., Jahan, M. S., Islam, M. M., & Shaikh, M. A. A. (2022). Pectin from lemon and mango peel: Extraction, characterisation and application in biodegradable film. *Carbohydrate Polymer Technologies and Applications*, 3, 100201. <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2666893922000731>.

Lacerda, M. T., Fiatkoski, M. V., Maceno, M. M. C., Agostinho, F. D. R., Spier, M. R., Kleina, M., & Marques, M. A. M. (2024). LCA and Emergy Approach to Evaluate the Environmental Performance of Plastic Bags from Fossil and Renewable Sources with the Function of Conditioning MSW. *Sustainability*, 16(24), 11293. <https://doi.org/10.3390/su162411293>

Linan, L. Z., Fakhouri, F. M., Nogueira, G. F., Zoppe, J., & Velasco, J. I. (2024). Benefits of Incorporating Lignin into Starch-Based Films: A Brief Review. *Polymers*, 16(16), 2285. <https://doi.org/10.3390/polym16162285>.

Matos, E. H. S. F. D. (2007). **Dossiê Técnico. Cultivo de laranja. Centro de Apoio ao Desenvolvimento Tecnológico da Universidade de Brasília – CDT/UnB. Serviço Brasileiro de Respostas Técnicas – SBRT.**

Medeiros, A. C. S., & Eira, M. T. S. (2006). **Comportamento fisiológico, secagem e armazenamento de sementes florestais nativas (Circular Técnica, 127).** Embrapa Floresta.

Negro, V., Ruggeri, B., Fino, D., & Tonini, D. (2017). Life cycle assessment of orange peel waste management. *Resources, Conservation and Recycling*, 127, 148-158. <https://doi.org/10.1016/j.resconrec.2017.08.014>.

Ortiz-Sanchez, M., Alzate, C. A. C., & Solarte-Toro, J. C. (2024). Orange Peel Waste as a Source of Bioactive Compounds and Valuable Products: Insights Based on Chemical Composition and Biorefining. *Biomass*, 4(1), 107–131. <https://doi.org/10.3390/biomass4010006>.

Ortiz-Sanchez, M., Omarini, A. B., González-Aguirre, J.-A., Baglioni, M., Zygadlo, J. A., Breccia, J., D'Souza, R., Lemesoff, L., Bodeain, M., Cardona-Alzate, C. A., Pejchinovski, I., & Fernandez-Lahore, M. H. (2023). Valorization routes of citrus waste in the orange value chain through the biorefinery concept: The Argentina case study. *Chemical Engineering and Processing - Process Intensification*, 189, 109407. <https://doi.org/10.1016/j.cep.2023.109407>.

Panou, A., & Karabagias, I. K. (2023). Biodegradable Packaging Materials for Foods Preservation: Sources, Advantages, Limitations, and Future Perspectives. *Coatings*, 13(7), 1176. <https://doi.org/10.3390/coatings13071176>.

Revathi, S. V., et al. (2025). Orange peel composition, biopolymer extraction, and applications in paper and packaging sector: A review. *Sustainable Chemistry and Pharmacy*, 43, 101908. <https://doi.org/10.1016/j.scp.2025.101908>.

Richa, R. (2023). Citrus fruit: Classification, value addition, nutritional and medicinal values, and relation with pandemic and hidden hunger. *Journal of Agriculture and Food Research*, 14, 100718. <https://doi.org/10.1016/j.jafr.2023.100718>.

Saini, R. K., Ranjit, A., Sharma, K., Prasad, P., Shang, X., Gowda, K. G. M., & Keum, Y.-S. (2022). Bioactive Compounds of Citrus Fruits: A Review of Composition and Health Benefits of Carotenoids, Flavonoids, Limonoids, and Terpenes. *Antioxidants*, 11(2), 239. <https://doi.org/10.3390/antiox11020239>.

Sangroniz, A., Zhu, J. B., Tang, X., et al. (2019). Packaging materials with desired mechanical and barrier properties and full chemical recyclability. *Nature Communications*, 10(1), 3824. <https://doi.org/10.1038/s41467-019-11525-x>.

Shaikh, S., Yaqoob, M., & Aggarwal, P. (2021). An overview of biodegradable packaging in food industry. *Current Research in Food Science*, 4, 197-204. <https://doi.org/10.1016/j.crf.2021.07.005>.

Singh, A. K., Itkor, P., & Lee, Y. S. (2023). State-of-the-Art Insights and Potential Applications of Cellulose-Based Hydrogels in Food Packaging: Advances towards Sustainable Trends. *Gels*, 9(6), 433. <https://www.mdpi.com/2310-2861/9/6/433>.

Suzuki, L. L., Cunha, I. L. C., Teixeira, C. E., Kulay, L., & dos Santos, M. T. (2023). The Modeling and Simulation of Waste Recovery Processes Applied to the Orange Juice Industry. *Sustainability*, 15(21), 15225. <https://doi.org/10.3390/su152115225>.

Teófilo, E. M., et al. (2004). Qualidade fisiológica de sementes de aroeira (*Myracrodruom urundeuva* Allemão) em função do tipo de embalagem, ambiente e tempo de armazenamento. *Revista Ciência Agronômica*, 35(2), 371-376.

UNITED NATIONS ENVIRONMENT PROGRAMME (UNEP). *Plastics in agriculture – an environmental challenge*. Foresight Brief 029. Nairobi: UNEP, 2022. Disponível em:

https://wedocs.unep.org/bitstream/handle/20.500.11822/40403/Plastics_Agriculture.pdf. Acesso em: 31 maio 2025.

USDA - United States Department of Agriculture. (2024, june). **Citrus Semi-annual**. Report Number: BR2024-0014.

Vasconcelos, Y. (2019). **Planeta Plástico**. *Pesquisa FAPESP*, (281), 18-24. <https://revistapesquisa.fapesp.br/planeta-plastico/>.

Yaradoddi, J. S., Banapurmath, N. R., Ganachari, S. V., Soudagar, M. E. M., Sajjan, A. M., Kamat, S., Mujtaba, M. A., Shettar, A. S., Anqi, A. E., Safaei, M. R., Elfasakhany, A., Siddiqui, M. I. H., & Ali, M. A. (2022). Bio-based material from fruit waste of orange peel for industrial applications. *Journal of Materials Research and Technology*, 17, 3186–3197. <https://doi.org/10.1016/j.jmrt.2021.09.016>.

Zhao, Y., Sun, H., Yang, B., & Weng, Y. (2020). Hemicellulose-Based Film: Potential Green Films for Food Packaging. *Polymers*, 12(8), 1775. <https://doi.org/10.3390/polym12081775>.

Zioga, M., Chroni, A., & Evangeliou, V. (2022). Utilisation of Pectins Extracted from Orange Peels by Non Conventional Methods in the Formation of Edible Films in the Presence of Herbal Infusions. *Polysaccharides*, 3(3), 543-559. <https://www.mdpi.com/2673-4176/3/3/34>.

CAPÍTULO 1. Artigo científico publicado no livro digital “Alimentação em evolução: nutrição conectada com o futuro do planeta”, Revista Científica Digital, ISBN 978-65-83998-03-3, Capítulo 6, DOI: 10.37885/250719671.

RESÍDUO DO PROCESSAMENTO DE LARANJA: UM DESCARTE QUE GERA POSSIBILIDADES

Michele Wagemacher

Universidade Vila Velha

Samara Alves de Jesus

Universidade Vila Velha

Carolina Paula Gouvea Laender

Universidade Vila Velha

Arthur Merigueti de Souza Costa

Universidade Vila Velha

Rodrigo Scherer

Universidade Vila Velha

Yasmin Mathias Vasconcelos Lembrance

Universidade Vila Velha

Erickson Rodrigues Dutra

Universidade Vila Velha

Christiane Mileib Vasconcelos

Universidade Vila Velha

RESUMO

Objetivo: Caracterização físico-química da farinha desenvolvida a partir dos resíduos sólidos gerados com o processamento industrial de laranja. **Métodos:** Os resíduos de laranja foram secos em diferentes condições de tempo e temperatura para obtenção de farinha do resíduo de laranja (FRL). O melhor binômio foi selecionado e o produto final foi caracterizado quanto ao teor de umidade e lipídios, pH, acidez titulável e compostos bioativos. **Resultados:** A secagem ideal do resíduo de laranja foi obtida em 38 h a 65 °C, garantindo teor de umidade abaixo de 15%. A FRL apresentou 5,16% de umidade, 1,47% de lipídios, pH 4,66, acidez de 4,92 g/mL ác.cítrico e 1,13 °Brix e apresentou coloração clara, pouco saturada. Foram identificados compostos bioativos, como naringina (205,5 mg/100g) e hesperidina (1293,8 mg/100g) e sugestivo para ácidos fenólicos; o ácido ascórbico não foi detectado. **Conclusão:** A farinha produzida a partir do resíduo do processamento industrial da laranja apresentou teor de umidade dentro dos padrões estabelecidos pela ANVISA, que determina valor inferior a 15%, apresentando também pH e acidez adequados. O perfil de compostos bioativos, especialmente a presença de flavonoides como naringina e hesperidina, reforça seu valor funcional, apesar da perda de ácido ascórbico durante o tratamento térmico. Essas características tornam a FRL uma

matéria-prima promissora para aplicações em diferentes setores, como o alimentício e de novos materiais, como embalagens, além de contribuir para os Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS), ao incentivar a valorização de resíduos agroindustriais e práticas associadas à economia circular.

Palavras-chave: resíduos cítricos, valorização de resíduos, farinha de laranja, compostos bioativos, economia circular

INTRODUÇÃO

As mudanças climáticas vêm ganhando destaque nas políticas públicas e na sociedade devido aos impactos causados pelo aumento da concentração de gases de efeito estufa na atmosfera, como dióxido de carbono, metano e óxido nitroso, resultantes principalmente de atividades humanas, como a queima de combustíveis fósseis, práticas agrícolas, queimadas e desmatamento, que afetam ecossistemas e a vida de bilhões de pessoas em todo o mundo (IPCC, 2013; Brasil, 2024).

A economia circular é uma estratégia necessária para superar os problemas do modelo linear de desenvolvimento, ao propor a redução do uso de recursos naturais, a minimização de resíduos e a regeneração dos ecossistemas, por meio de uma reconfiguração dos processos produtivos e de consumo (CNI, 2025). Para isso, a inovação é vital para viabilizar transformações tecnológicas tanto no processo de fabricação quanto no produto final (Shaikh, Yaqoob, Aggarwal, 2021).

O Brasil tem um importante destaque no setor do agronegócio nas últimas cinco décadas, evoluindo de importador a um dos maiores produtores mundiais de alimentos, graças ao desenvolvimento de tecnologias inovadoras, com destaque para a citricultura, especialmente a produção de laranja (Embrapa, 2023).

A comercialização da laranja ocorre como fruta *in natura* ou destinada ao processamento, principalmente na produção de suco, e os resíduos resultantes do processamento da fruta carecem de uma destinação específica, representando um desafio ambiental e econômico. Frente a isso, estudos vêm explorando a reutilização desses resíduos, buscando reduzir custos e aproveitando seu valor nutricional e funcional, devido à presença de fibras e compostos bioativos com propriedades antioxidantes e antimicrobianas. Essa abordagem está em consonância com as práticas sustentáveis e contribui com soluções inovadoras para a gestão de resíduos industriais oriundos do processamento de frutas (Carranza-Méndez et al., 2022; Figueira, Pereira, Castilho, 2023; Martins et al., 2024).

Diante disso, o objetivo deste trabalho foi otimizar o processo de secagem do resíduo do processamento da laranja e caracterização da farinha obtida.

MÉTODOS

Delineamento experimental

Os resíduos de laranja foram cedidos pela empresa Pró Laranja Indústria e Comércio de Sucos LTDA localizada no município de Vitória, Espírito Santo. Os resíduos foram coletados em sacola transparente e, em seguida, transportados dentro de uma caixa térmica para o Laboratório de Biotecnologia de Alimentos (LaBia) da UVV, onde foram mantidos refrigerados em embalagem a vácuo até o momento de sua utilização.

O trabalho foi executado em 2 etapas, sendo elas: i) Secagem dos resíduos de laranja em diferentes tempos e temperaturas e seleção do binômio mais adequado para a obtenção da farinha do resíduo de laranja (FRL); ii) caracterização da FRL;

Desta forma, para execução da 1ª Etapa, foi conduzido um delineamento experimental, do tipo composto central rotacional (DCCR) a fim de determinar as condições de temperatura e tempo mais adequadas para secagem do resíduo de laranja. Os limites de tempo e temperatura estudados foram estabelecidos com base nos estudos de Mousavi Kalajahi *et al.* (2022), Sampaio *et al.* (2022), Taghavi Kevij *et al.* (2021), Chhatariya *et al.* (2022) e Luchese, Pavoni e Tessaro (2021). Nas Tabelas 1 e 2 encontram-se o planejamento com os níveis codificados e os correspondentes valores reais empregados.

Tabela 1- Fatores de domínio experimental utilizados para determinação das condições de temperatura e tempo ideais aplicados durante a secagem do resíduo da laranja.

| Variáveis independentes | -α (-1,4142) | -1 | 0 | 1 | α (1,4142) |
|-------------------------|---------------------------------------|-----------|----------|----------|-------------------------------------|
| Temperatura (°C) | 30 | 36 | 50 | 64 | 70 |
| Tempo (horas) | 5 | 11 | 27 | 42 | 48 |

Tabela 2 – Variáveis codificadas e reais das condições de temperatura e tempo aplicados durante a secagem do resíduo da laranja.

| Ensaio | Valores codificados | | Valores reais | |
|--------|---------------------|----|---------------|-------|
| | X1 | X2 | Temperatura | Tempo |
| 1 | 1 | 1 | 64 | 42 |
| 2 | 1 | -1 | 64 | 11 |
| 3 | -1 | 1 | 36 | 42 |

| | | | | |
|---|---------|---------|----|----|
| 4 | -1 | -1 | 36 | 11 |
| 5 | -1,4142 | 0 | 30 | 27 |
| 6 | 1,4142 | 0 | 70 | 27 |
| 7 | 0 | -1,4142 | 50 | 5 |
| 8 | 0 | 1,4142 | 50 | 48 |
| 9 | 0 | 0 | 50 | 27 |
| 9 | 0 | 0 | 50 | 27 |
| 9 | 0 | 0 | 50 | 27 |

O DCCR foi constituído de 9 ensaios, sendo o ponto central (ensaio 9) repetido 3 vezes, totalizando 11 unidades experimentais.

Para a determinação das condições mais adequadas de temperatura e tempo de secagem do resíduo de laranja se baseou no teor de umidade final do produto, máximo de 15%, conforme estabelecido pela RDC N° 711, de 1° de julho de 2022, para amidos de cereais, farelos e farinhas (Brasil, 2022), além de considerar também o menor escurecimento (cor visual).

Definidos o tempo e temperatura de secagem do resíduo de laranja, seguiu-se para a 2ª etapa. Nessa etapa houve a obtenção da farinha do resíduo de laranja (FRL) e caracterização quanto ao teor de umidade e lipídeos, pH, acidez total titulável, sólidos solúveis totais, cor instrumental, e presença de compostos bioativos.

Secagem do resíduo de laranja e obtenção da farinha

Os resíduos de laranja foram, inicialmente, triturados em um liquidificador (ARNO Power Max 1000W) e, depois, o material foi distribuído uniformemente em uma bandeja e colocado na estufa com ventilação forçada (marca SPLabor modelo SSDicr-180L), com temperatura e tempo de secagem estabelecidos de acordo com o delineamento. Os resíduos secos foram armazenados sob refrigeração em embalagens a vácuo, permanecendo nessa condição até a realização das análises de umidade e cor visual.

Após a definição do tempo e da temperatura mais adequados, realizou-se uma nova coleta dos resíduos, em três dias distintos, os quais foram submetidos à secagem em estufa e, posteriormente, à moagem em moinho de bolas (Marconi - Modelo MA950) por 10 minutos, até a obtenção da farinha do resíduo de laranja (FRL).

Caracterização da farinha do resíduo da laranja (FRL)

Determinação do teor de umidade e lipídios

A determinação do teor de umidade foi realizada pelo método de secagem em estufa a 105 °C até a obtenção de peso constante e de lipídios pelo equipamento Goldfish, utilizando éter de petróleo como solvente (AOAC, 2005).

Determinação do pH

O pH foi aferido com a introdução direta de eletrodo na amostra diluída em água, com o medidor devidamente calibrado (AOAC, 2000).

Determinação da acidez total titulável

A determinação da acidez total titulável foi realizada em 1 g de FRL e diluída em 50 mL de água destilada, adicionada de 3 gotas de fenolftaleína, e titulados com solução de hidróxido de sódio (NAOH) a 0,1 M até a obtenção da coloração terracota. A acidez foi expressa em g/mL de ácido cítrico (AOAC, 2000).

Determinação do teor de sólidos solúveis

O teor de sólidos solúveis totais (SST) foi realizado segundo o método AOAC (1997) pelo refratômetro modelo RTP 20 ATC. Diluiu-se 1 g da amostra em 50 mL de água, sendo os resultados expressos em °Brix (AOAC, 1997).

Determinação das coordenadas de cor

As coordenadas de cor foram determinadas por meio do colorímetro Chroma Meter CR-400 (Konica Minolta) segundo o sistema CIE-Lab, utilizando-se do espaço de cor ($L^*a^*b^*$). As determinações foram realizadas diretamente na FRL.

A partir dos valores encontrados para as coordenadas de cor L^* , a^* e b^* foram calculados o Cromo (C^*) e o ângulo hue (h^*), conforme equações empregadas por Pathare; Opara; Al-Said (2012).

Identificação de compostos bioativos

Inicialmente foi preparado o extrato da FRL acrescentando 1 g da amostra em tubo plástico de 15 mL coberto por papel alumínio. Foram então adicionados 10 mL de solução com metanol NEON® 60%, agitando manualmente até completa solubilização. Depois disso, o tubo foi levado à centrifugação a 3500 rpm por 10 min, e o sobrenadante foi filtrado, completando o volume até 15 mL com água deionizada (Krepsky et al., 2012).

Dentre os compostos bioativos analisados, ácidos ascórbico, naringina e hesperidina foram determinados usando um UHPLC (Dionex Ultimate 3000rs - Thermo Scientific) equipado com bomba quaternária, desgaseificador, injetor automático e forno de coluna, acoplado a um detector DAD. Para separação, foi usada uma coluna Accucore C18 (50 x 2.1 mm, 2.6 μ - Thermo Scientific). O sobrenadante do extrato centrifugado preparado na concentração de 1 g/mL foi diluído em água na proporção de 1:4 e a solução resultante foi filtrada em membrana de 0,45 μ m e injetada no UHPLC.

A análise de ácido ascórbico foi realizada de acordo com Scherer *et al.* (2012). A fase móvel utilizada foi uma solução tampão de KH_2PO_4 0,01 M acidificada com ácido fosfórico até pH 2,6 em um fluxo de 0,5 mL/min a 30 °C. A detecção foi feita no comprimento de onda de 250 nm. Os flavonóides naringina e hesperidina foram quantificados de acordo com Büyüktuncel *et al.* (2017), modificado. A fase móvel utilizada foi uma solução aquosa de ácido fosfórico 0,2 % (A) e acetonitrila (B), em um fluxo de 0,5 mL/min, a 25°C e em modo isocrático na proporção de 85A:15B. A detecção dos compostos foi feita no comprimento de onda 280 nm.

A quantificação de todos os analitos foi realizada por padronização externa de, no mínimo, 5 pontos e $r^2 = 0,99$. Os limites de detecção (LOD) e de quantificação (LOQ) foram calculados multiplicando a amplitude do sinal ruído por 3 e por 10, respectivamente. Os resultados foram expressos em $\mu\text{g/mL}$ de extrato de resíduo de laranja.

A verificação de outros compostos fenólicos no UHPLC foi realizada de acordo com Lima *et al.*, (2024), modificado. A fase móvel utilizada foi uma solução aquosa de ácido fosfórico 0,52 % (A) e uma solução contendo metanol e 0,52 % de ácido fosfórico (B), em um fluxo de 0,5 mL/min, a 35 °C e em modo gradiente na proporção (95%A:5%B; 77%A:23%B; 74%A:26%B; 50%A:50%B; 20%A:80%B; 20%A:80%B; 5%A:95%B; 95%A:5%B; 95%A:5%B; nos tempos de 0, 5, 14, 30, 33, 34, 34,1, 36,7 e 41,1 min, respectivamente). A leitura dos compostos foi feita no comprimento de onda de 325 nm.

Análise estatística

Para a análise estatística envolvendo o tempo e temperatura de secagem do resíduo de laranja (1ª Etapa) foi realizado um teste F (ANOVA). Para aqueles resultados que apresentaram probabilidade menor ou igual a 5% ($p \leq 0,05$), os dados obtidos nos ensaios do delineamento experimental foram avaliados por meio de equações de regressão para cálculo dos coeficientes de regressão com nível de significância de 5%.

Os resultados referentes à caracterização da farinha do resíduo de laranja (2ª Etapa) foram apresentados como média e desvio padrão, de forma descritiva.

Todas as análises estatísticas foram realizadas no software SAS, versão online.

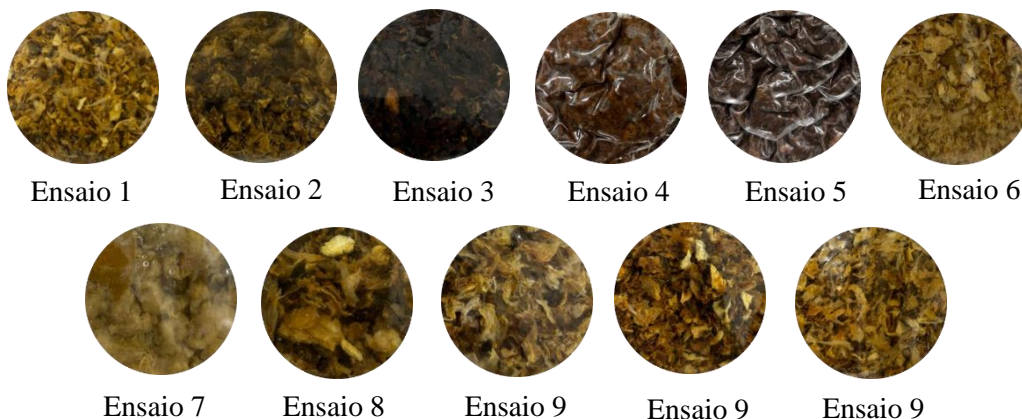
RESULTADOS

A determinação dos limites de tempo e temperatura de secagem foi obtida considerando o teor de umidade máximo de 15%, conforme preconizado na RDC nº 711 de 2022 (Brasil, 2022).

A partir da equação gerada ($\text{Perda de umidade (\%)} = 28,8033 + 1,2459 \cdot \text{tempo}$; $R^2 = 0,9717$) com os parâmetros analisados e obtendo uma equação em função apenas do tempo de secagem, adotou-se um mínimo de 38 horas para alcançar pelo menos 75% de perda de umidade, obtendo conseqüentemente 25% de matéria seca. Essa perda de umidade garante valores de umidade do resíduo menor que 15% (Brasil, 2022).

Ainda, considerando que a variável temperatura não foi significativa para ajuste do modelo de regressão, definiu-se a temperatura mínima de secagem de 65 °C com base na avaliação visual (qualitativa) da coloração dos resíduos secos, conforme demonstrado na Figura 1.

Figura 1. Coloração dos resíduos de laranja obtidos nos diferentes ensaios do planejamento experimental.



Pode-se observar que os ensaios 2, 4 e 7 apresentaram umidade residual muito elevada, o que comprometeria a obtenção de uma farinha. E os ensaios 2, 3, 4, 5 e 8 apresentaram coloração bastante escurecida. O ensaio 9 se refere ao ponto central que foi repetido 3 vezes. Ele apresentou uma coloração não tão escurecida, bem como o ensaio 1 e 6. Esses ensaios empregaram temperaturas maiores que 50 °C e tempos maiores que 27 horas. Assim, definida as 38 horas de secagem, adotou-se uma temperatura mediana, permitindo maior preservação de compostos termossensíveis.

Caracterização da FRL

Foi realizada a caracterização físico-química da FRL, com a determinação dos seguintes parâmetros: teor de umidade, lipídios, pH, acidez titulável total, sólidos solúveis totais e coordenadas de cor (Tabela 3).

Tabela 3 – Médias e desvio padrão (DP) das análises físico-químicas de caracterização da FRL.

| Análises | Média ± DP |
|--------------------------|---------------|
| Umidade (%) | 5,16 ± 1,14 |
| Lipídios (%) | 1,47± 0,11 |
| pH | 4,66 ± 0,04 |
| Acidez (g/mL ác.cítrico) | 4,92 ± 0,48 |
| Sólidos solúveis (°Brix) | 1,13 ± 0,15 |
| L* | 73,76 ± 1,14 |
| Hue | 266,43 ± 2,64 |
| Chroma | 21,33 ± 1,72 |

Identificação de compostos bioativos na FRL

Os resultados obtidos para naringina, hesperidina e ácido ascórbico da FRL estão apresentados na Tabela 5. Os cromatogramas correspondentes ao ácido ascórbico, naringina, hesperidina e aos compostos fenólicos estão ilustrados nas Figuras 1, 2 e 3.

Tabela 4. Média e desvio padrão (DP) do teor de naringina, hesperidina e ácido ascórbico da FRL.

| Dados | Ácido ascórbico | Naringina | Hesperidina |
|-----------------|-----------------|-----------|-------------|
| Farinha (µg/mL) | ND | 205,5±27 | 1293,8±137 |
| LOD | 0,004 | 0,019 | 0,113 |
| LOQ | 0,014 | 0,062 | 0,337 |

*ND: não detectado; LOD: limite de detecção; LOQ: limite de quantificação.

Figura 2: Cromatograma da FRL para a análise dos flavonoides naringina e hesperidina a 280 nm (a) e ácido ascórbico (não detectado) a 250 nm (b).

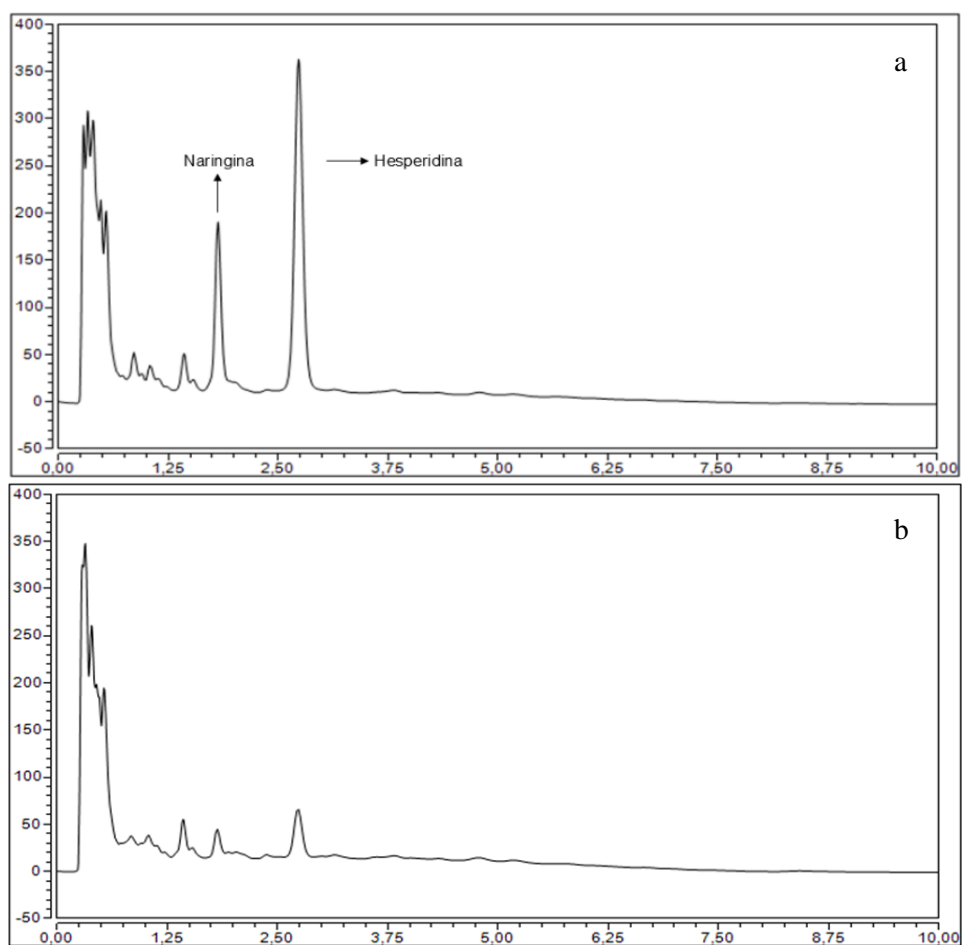


Figura 3: Cromatograma da FRL para a análise de compostos fenólicos (280 nm)

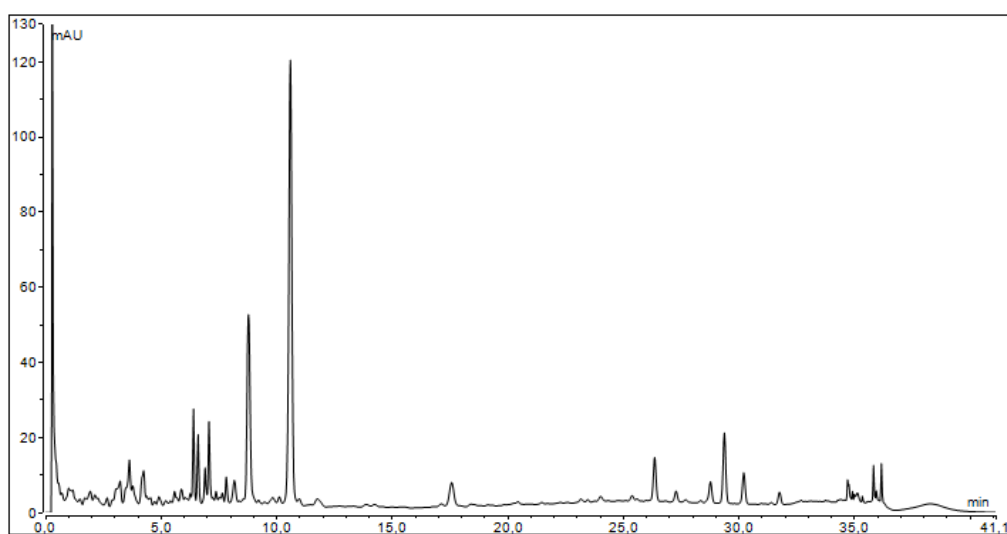
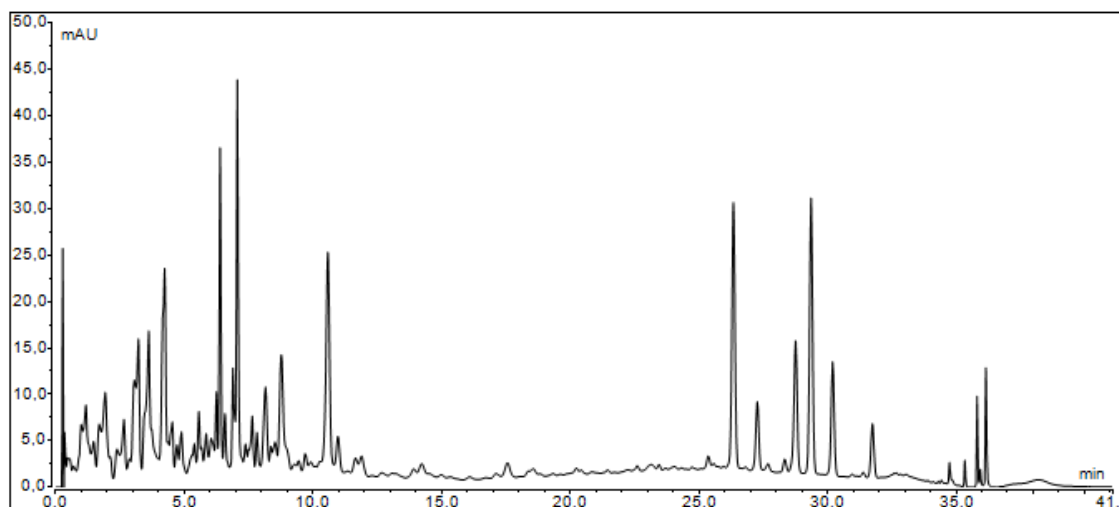


Figura 4: Cromatograma da FRL para a análise de compostos fenólicos (325 nm)



DISCUSSÃO

A caracterização físico-química da farinha obtida a partir do resíduo de laranja é uma etapa importante para avaliar sua viabilidade como matéria-prima para diferentes fins, incluindo desenvolvimento de novos produtos para fins alimentícios ou não, como as embalagens.

A umidade constitui um parâmetro crítico na preservação da qualidade e segurança dos alimentos, influenciando diretamente sua estabilidade microbiológica e vida útil. Um conteúdo hídrico baixo é essencial para inibir a proliferação de microrganismos deteriorantes, como fungos e bactérias, que podem comprometer a integridade do produto e representar riscos à saúde (Assis *et al.*, 2025).

O teor de umidade da FRL obtido neste estudo atende aos padrões estabelecidos pela ANVISA (Brasil, 2022).

Esse valor é inferior ao relatado por Gasparre *et al.* (2024), Baños *et al.* (2020) e Luchese, Pavoni e Tessaro (2021) que obtiveram 9,51% na farinha produzida a 45 °C por 18 horas a partir do bagaço de laranja, 8,73% em farinha obtida por secagem a 55 °C por 12 horas dos resíduos do processamento da laranja, excluindo as sementes, e 9,7% na farinha produzida com a casca e o bagaço da fruta e secos a 40 °C por 48 horas, respectivamente. Isso demonstra que o binômio tempo e temperatura adotados na secagem foram eficientes na remoção da umidade do resíduo utilizado, o que pode garantir maior estabilidade do produto gerado e, mais possibilidades de aplicação.

O valor de pH encontrado corrobora com resultados obtidos por Ramos *et al.* (2020) de 4,68, por Delavega-Quintero *et al.* (2025) de 4,86, ambos na farinha de casca de laranja e por Storck

et al. (2015) que registraram entre 4,14 e 4,24 para a farinha de resíduo de laranja. As variações nos valores de pH podem estar associadas a diversos fatores, como a origem das laranjas utilizadas, a região de cultivo, as características do solo, as partes da fruta incorporadas na formulação e as metodologias empregadas para a análise (Jiao *et al.* 2023). Essas variáveis influenciam diretamente a composição química das frutas e, conseqüentemente, o pH da farinha obtida.

A acidez da FRL foi superior ao encontrado por outros autores, no entanto, esses valores podem variar a depender da granulometria da farinha, da parte do resíduo utilizada para obtenção da farinha, bem como metodologias empregadas na obtenção delas (Storck *et al.*, 2015; Silva *et al.*, 2016).

Os sólidos solúveis indicam a concentração de substâncias dissolvidas na matriz alimentar. Esses compostos solúveis em água, englobam açúcares, ácidos fenólicos, pectinas e vitaminas (Silva *et al.*, 2022). A FRL apresentou uma baixa concentração de compostos dissolvidos em água, provavelmente devido à elevada fração de fibras insolúveis e à reduzida quantidade de açúcares livres, presentes nas partes utilizadas, composta por cascas, albedo e sementes (Nieto *et al.*, 2021).

Em relação à coordenada de cor L (luminosidade), um parâmetro que indica o grau de claridade de uma amostra, variando de 0 (preto) a 100 (branco), obteve-se um valor que indica uma alta luminosidade, deixando mais clara a FRL. Já o ângulo Hue representa a tonalidade da cor da amostra, podendo variar de 0° a 360°. O ângulo 0° ou 360° corresponde à cor vermelha, 90° ao amarelo, 180° aos tons de verde e 270° ao azul (Barreiro *et al.*, 1997, Shewfelt; Thai; Davis, 1988; Mcguire, 1992). O valor de Hue encontrado na FRL indica uma tonalidade esverdeada, tendendo ao azulado. Por fim, o Chroma reflete a saturação da cor, indicando a intensidade ou pureza. Valores mais baixos de Chroma estão associados a cores menos saturadas, com um aspecto fosco, enquanto valores mais altos representam cores mais vivas e intensas (Pathare; Opara; Al-Said, 2012; Shewfelt; Thai; Davis, 1988). O valor encontrado sugere que a saturação da FRL não é intensa, tendendo mais ao opaco, havendo assim uma cor esverdeada mais opaca.

A cor é um dos principais atributos sensoriais dos alimentos e desempenha papel fundamental, podendo influenciar positiva ou negativamente a aceitação do produto pelo consumidor. Além disso, é amplamente utilizada como critério na avaliação da qualidade e na formação da percepção do sabor (Baggi *et al.*, 2024).

O ácido ascórbico, comumente conhecido como vitamina C, é uma vitamina hidrossolúvel, naturalmente presente em frutas e vegetais. No uso popular, o termo "vitamina C" refere-se a

dois compostos biologicamente ativos: o ácido ascórbico e seu principal produto de oxidação, o ácido desidroascórbico (DHA). Assim, o teor total de vitamina C em frutas cítricas corresponde à soma dessas duas formas. A vitamina C atua como um antioxidante, sendo sua concentração um importante indicativo da qualidade nutricional das frutas cítricas e de seus derivados. Além disso, o metabolismo desse composto em plantas cítricas está associado a diversos processos fisiológicos, como fotossíntese, crescimento e senescência (Magwaza et al., 2017).

Barros et al. (2012) realizaram a determinação de ácido ascórbico da polpa e da casca de cultivares comerciais de citros produzidos no Brasil, e encontram 46,1 mg/100 mL e 43,2 mg/100 g; e 68,1 mg/100 mL e 24,3 mg/100 g de ácido ascórbico na laranja-lima, e laranja-pera, respectivamente.

O teor de ácido ascórbico em frutas cítricas pode variar devido a fatores como o genótipo, práticas agrícolas, clima, estágio de maturação, colheita e manejo pós-colheita. Por ser um nutriente quimicamente instável, o ácido ascórbico é suscetível à degradação oxidativa e enzimática após a colheita, podendo se transformar em ácido dicetogulônico, forma sem atividade de vitamina C (Magwaza et al., 2017).

Kumar et al. (2023) avaliaram os efeitos do tratamento térmico sobre o teor de ácido ascórbico em sucos de pomelo e kinnow, e constataram que tanto a temperatura quanto o tempo de exposição exerceram influência significativa na concentração desse composto. Os dados obtidos demonstraram uma tendência de redução do conteúdo de ácido ascórbico com o aumento progressivo da temperatura e da duração do tratamento térmico. Os menores teores de ácido ascórbico foram observados nas amostras submetidas à temperatura de 100 °C por 45 minutos, atingindo valores de 0,07 mg/mL para o suco de pomelo e 0,03 mg/mL para o suco de kinnow.

Dessa forma, infere-se que a não detecção de ácido ascórbico na FRL possivelmente decorre da degradação térmica do composto, promovida pelas condições de secagem utilizadas. Ainda, deve-se levar em consideração a exposição do resíduo, na indústria, ao oxigênio e presença de luz, fatores que também contribuem para a oxidação do ácido ascórbico.

Os compostos fenólicos, dentre eles os flavonoides, estão presentes tanto nas partes comestíveis quanto nas não comestíveis das frutas cítricas, sendo mais concentrados nas cascas. Embora a polpa também contenha esses compostos, sua quantidade é inferior (Singh et al., 2020). Parâmetros como temperatura e tempo de secagem podem impactar nos polifenóis presente nas cascas de frutas cítricas (Chen et al., 2011).

Os flavonoides são metabólitos secundários amplamente distribuídos nas plantas, desempenhando funções essenciais como proteção contra radiação UV, defesa contra herbívoros e patógenos, além de contribuir para a coloração de flores e frutos. Estruturalmente, pertencem ao grupo dos polifenóis e estão presentes em diversos alimentos da dieta humana, como frutas, vegetais, sementes, chá, vinho e café. Com base em sua variação estrutural e grau de oxidação, os flavonoides são classificados em flavonas, isoflavonas, flavanonas, flavonóis e antocianinas (Sharma et al., 2019).

Em laranjas, as flavanonas são a subclasse dos flavonoides mais prevalentes. Dentre essas, destacam-se a hesperidina e a naringina, amplamente distribuídas nos tecidos e cascas de frutas cítricas, com a hesperidina sendo especialmente abundante nas laranjas (Espinosa-Pardo et al., 2017).

Alam et al. (2014) compilaram dados de diferentes estudos que investigaram o teor de naringina em sucos de diversas espécies do gênero *Citrus*. Os valores encontrados para o conteúdo desse flavonoide foram, respectivamente: *Citrus (C.) sinensis* (21,3 µL/mL), *C. aurantium* (19,7 µL/mL), *C. reticulata* (3383,6 µL/mL), *C. clementina* (8,0 µL/mL), *C. bergamia* (22,3 µL/mL) e *C. paradisi* (230,0 µL/mL). No presente estudo, com uso da espécie *C. sinensis*, o teor de naringina apresentou-se cerca de 10 vezes menor, o que sugere a degradação desses flavonoides durante sua exposição ao oxigênio e ao binômio tempo e temperatura utilizados na secagem.

Já em relação à hesperidina, no estudo de Restrepo-Serna e Cardona-Alzate (2024) com casca de laranja seca, foi obtido 1512,10 mg/100 g na extração com etanol 50% e 656,03 mg/100 g na extração com etanol 70%. No presente estudo, ao converter os resultados para mg/100 g, obteve-se um valor próximo ao encontrado com etanol 50%, embora tenha sido utilizado metanol a 60%.

Estudos evidenciam a relevância da naringina e da hesperidina nas indústrias cosmética, farmacêutica, pecuária e alimentícia. Na indústria cosmética, um estudo avaliou a incorporação de etossomas carregados com naringina em cremes de proteção solar contendo nanopartículas de óxido de zinco e dióxido de titânio. A pesquisa demonstrou que essa combinação é benéfica, pois ajuda a eliminar radicais livres gerados pela radiação UV e oferece um bom Fator de Proteção Solar (FPS). Dessa forma, o estudo destaca a utilidade dos etossomas de naringina em protetores solares para proporcionar proteção solar completa com atividade antioxidante (Gollavilli et al., 2020).

Na indústria farmacêutica, um estudo com ratos constatou que em conjunto com a hesperidina, a naringina protege contra danos hepáticos induzidos por diclofenaco (Hassan et al., 2021).

No setor pecuário, um estudo demonstrou que a inclusão de hesperidina e naringina na ração de aves demonstrou melhorar a capacidade antioxidante da carne, especialmente no peito e na coxa de frangos de corte (Goliomytis et al., 2015).

Por fim, na indústria alimentícia, o uso de microesferas de naringina em iogurte demonstrou sua capacidade de reduzir efetivamente a precipitação do soro e retardar a queda do pH, sugerindo que as microesferas encapsuladas em naringina podem estender a vida útil deste produto bioativo e oferecer um novo conceito para iogurte funcional (WANG et al., 2022).

A partir da análise dos cromatogramas obtidos, pode verificar a existência de vários outros compostos fenólicos na FRL. Para inferir a qual grupo de polifenóis os compostos pertencem, o espectro de absorção de cada um foi levado em consideração. Observou-se que picos adjacentes possuíam espectros semelhantes e correspondentes à alguns ácidos fenólicos, como o ácido clorogênico (Velkoska-Markovska et al, 2018), cafeico ou ferúlico; outros flavonoides (Taniguchi et al, 2023), além da naringina ou naringenina (Wu et al., 2013) e hesperidina (Nie et al., 2022) já identificadas.

Ao contrário da análise da casca ou de partes individuais da laranja, o resíduo apresenta-se como uma matriz complexa, composta por fragmentos de casca, resíduos de polpa, membranas e sementes. Esse subproduto exibe características físico-químicas distintas, como maior teor de umidade, alterações na estrutura das fibras e modificações nos perfis de compostos fenólicos, em decorrência dos processos mecânicos e/ou enzimáticos envolvidos no processamento industrial (Plaza e Marina, 2025).

No entanto, a presença de diferentes compostos fenólicos na FRL confere uma gama variada de benefícios à saúde e melhora as propriedades tecnológicas dos alimentos, como a proteção contra oxidação e o aumento da vida útil (Kumar e Goel, 2019).

CONCLUSÃO

A farinha obtida a partir do resíduo do processamento industrial da laranja demonstrou conformidade com os padrões de umidade estabelecidos pela ANVISA. Essa característica, aliada ao pH adequado e à acidez controlada, torna a FRL uma matéria-prima promissora para diversas indústrias, desde a alimentícia até a de novos materiais, promovendo o aproveitamento integral do resíduo de laranja. Além disso, a FRL apresenta um perfil de compostos bioativos

que reforça seu potencial de aplicação. Embora o tratamento térmico resultou em perda de ácido ascórbico, a presença significativa de flavonoides, como naringina e hesperidina, agrega valor ao produto. Este trabalho se alinha com os Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS), ao promover a valorização de resíduos agroindustriais e a economia circular.

Agradecimentos

À Pró Laranja Indústria e Comércio de Sucos LTDA pela doação do resíduo do processamento de laranja.

À Fundação de Amparo à Pesquisa e Inovação do Espírito Santo (FAPES) pelo auxílio financeiro.

À Universidade Vila Velha pela infraestrutura utilizada.

À equipe do Laboratório de Biotecnologia de Alimentos da Universidade Vila Velha

REFERÊNCIAS

ALAM, M. A. et al. Effect of citrus flavonoids, naringin and naringenin, on metabolic syndrome and their mechanisms of action. **Advances in Nutrition**, v. 5, n. 4, p. 404-417, jul. 2014.

AOAC (Association of official analytical chemists) official methods of analysis. 1997. Univ. Michigan, Assoc. Off. Analytical Chem.

AOAC (Association of official analytical chemists) official methods of analysis. 2000. Univ. Michigan, Assoc. Off. Analytical Chem.

AOAC (Association of official analytical chemists) official methods of analysis. 2005. Int. 18th ed, Gaithersburg, Maryland, USA 45, 75–76.

ASSIS, H. F. de; OLIVEIRA, D. B. de; MORAES, L. P. de; FIGUEIREDO, F. de C.; PAIXÃO, M. V. S. Composição centesimal e característica química da farinha de resíduo do processamento agroindustrial de *Psidium guajava* L. **ARACÊ**, v. 7, n. 2, p. 7197–7207, 2025.

BAGGI, V.; LAURIA, M.; SILVA, L. P. Green extraction of natural colorants from food residues: colorimetric characterization and nanostructuring for enhanced stability. **Foods**, [S. l.], v. 13, p. 962, 2024.

BAÑOS, E. C. G.; DORANTES, M. I. B.; LUNA-JIMÉNEZ, A. L.; GONZÁLEZ-CORTÉS, N.; JIMÉNEZ-VERA, R. Caracterización de harina de naranja (*Citrus x sinensis*) para uso alimentario. **Revista Científica Europeia ESJ**, [S. l.], v. 16, n. 6, p. 12, 2020.

BARREIRO, J. A.; MILANO, M.; SANDOVAL, A. J. Kinetics of colour change of double concentrated tomato paste during thermal treatment. **Journal of Food Engineering**, v. 33, n. 3–4, p. 359–371, 1997.

BARROS, H. R. M.; FERREIRA, T. A. P. de C.; GENOVESE, M. I. Antioxidant capacity and mineral content of pulp and peel from commercial cultivars of citrus from Brazil. **Food Chemistry**, v. 134, n. 4, p. 1892–1898, 2012.

BRASIL. Ministério da Saúde. Secretaria de Vigilância em Saúde e Ambiente. Departamento de Vigilância em Saúde Ambiental e Saúde do Trabalhador. **Mudanças climáticas para profissionais de saúde: guia de bolso**. Brasília, 2024. 137 p.

BRASIL. Ministério da Saúde. Agência Nacional de Vigilância Sanitária – ANVISA. **Resolução da Diretoria Colegiada - RDC Nº 711, de 1º de julho de 2022**. Brasília, DF: Anvisa, [2022].

BÜYÜKTUNCEL, E. Fast Determination of Naringin and Hesperidin in Natural and Commercial Citrus Juices by HPLC Method. **Asian Journal of Chemistry**, v. 29, n. 11, p. 2384–2386, 2017.

CARRANZA-MÉNDEZ, R. C. et al. Production of single cell protein from orange peel residues by *Candida utilis*. **Biocatalysis and Agricultural Biotechnology**, [S.l.], v. 40, p. 102298, 2022

CHHATARIYA, H. F. et al. Corn starch biofilm reinforced with orange peel powder: Characterization of physicochemical and mechanical properties. **Materials Today: Proceedings**, v. 59, p. 884-892, 2022.

CONFEDERAÇÃO NACIONAL DA INDÚSTRIA (Brasil). **Sondagem especial: economia circular – barreiras, oportunidades e práticas na indústria**. Brasília, DF: CNI, 2025. 29 p. (Ano 25, n. 96).

DELAVEGA-QUINTERO, J. C. et al. AI meets citrus waste: coffee bean processing with orange peel flour. **Sustainability**, v. 17, n. 5, p. 2152, 2025.

EMBRAPA. **Brasil em 50 alimentos**. Brasília, DF: Embrapa, 2023. 359 p. ISBN 978-65-89957-68-3.

EMBRAPA. Mandioca e Fruticultura. **Destinos das exportações brasileiras de laranja em 2022**. Brasília, DF, 2023. 4 p.

ESPINOSA-PARDO, F. A. et al. Extraction of phenolic compounds from dry and fermented orange pomace using supercritical CO₂ and cosolvents. **Food and Bioproducts Processing**, v. 101, p. 1-10, 2017.

FIGUEIRA, O.; PEREIRA, V.; CASTILHO, P. C. Two-step approach to orange peel waste valorization: Consecutive extraction of pectin and hesperidin. **Foods**, [S.l.], v. 12, n. 20, p. 3834, 2023

GASPARRE, N.; GARZON, R.; MARÍN, K.; ROSELL, C. M. Exploring the integration of orange peel for sustainable gluten-free flatbread making. **LWT**, v. 198, 2024.

GOLLAVILLI, H. et al. Naringin nano-ethosomal novel sunscreen creams: Development and performance evaluation. **Colloids and Surfaces B: Biointerfaces**, v. 193, 111122, 2020.

GOLIOMYTIS, M. et al. The Influence of Naringin or Hesperidin Dietary Supplementation on Broiler Meat Quality and Oxidative Stability. **PLoS ONE**, [S. l.], v. 10, n. 10, e0141652, 2015.

HASSAN, R. A. et al. Naringin and hesperidin counteract diclofenac-induced hepatotoxicity in male Wistar rats *via* their antioxidant, anti-inflammatory, and antiapoptotic activities. **Oxidative Medicine and Cellular Longevity**, [s. l.], 11 ago. 2021.

IPCC. **Summary for Policymakers**. Cambridge: Cambridge University Press, 2013.

JIAO, Y. et al. Fruit quality assessment based on mineral elements and juice properties in nine citrus cultivars. **Frontiers in Plant Science**, Lausanne, v. 14, p. 1280495, 30 nov. 2023.

KUMAR, N.; GOEL, N. Phenolic acids: Natural versatile molecules with promising therapeutic applications. **Biotechnology Reports**, v. 24, 2019.

KUMAR, V. et al. Effect of heat treatment on the quality of citrus juices. **Journal of King Saud University - Science**, v. 35, n. 7, art. 102819, 2023.

LUCHESE, C. L.; PAVONI, J. M. F.; TESSARO, I. C. Influence of the incorporation form of waste from the production of orange juice in the properties of cassava starch-based films. **Food Hydrocolloids**, [S. l.], v. 106730, 2021.

MAGWAZA, L. S.; MDITSHWA, A.; TESFAY, S. Z.; OPARA, U. L. An overview of preharvest factors affecting vitamin C content of citrus fruit. **Scientia Horticulturae**, v. 216, p. 12-21, 2017.

MARTINS, Valter F. R.; PINTADO, Manuela E.; MORAIS, Rui M. S. C.; MORAIS, Alcina M. M. B. *Recent highlights in sustainable bio-based edible films and coatings for fruit and vegetable applications*. **Foods**, [S.l.], v. 13, n. 2, p. 318, 2024.

MCGUIRE, R. G. Reporting of Objective Color Measurements. **HortScience**, v. 27, n. 12, p. 1254-1255, 1992.

MOUSAVI KALAJAHI, S. et al. Orange juice processing waste as a biopolymer base for biodegradable film formation reinforced with cellulose nanofiber and activated with nettle essential oil. **Journal of Polymers and the Environment**, v. 30, p. 258-269, 2022.

NIE, Q.-X. et al. Relationship between the UPLC fingerprints of *Citrus reticulata* “Chachi” leaves and their antioxidant activities. **Journal of Analytical Methods in Chemistry**, [S. l.], v. 2022, artigo 5834525, 22 nov. 2022.

NIETO, G. et al. Valorization of citrus co-products: recovery of bioactive compounds and application in meat and meat products. **Plants**, Basel, v. 10, n. 6, p. 1069, 2021.

PATHARE, P. B.; OPARA, U. L.; AL-SAID, F. A.-J. Colour Measurement and Analysis in Fresh and Processed Foods: A Review. **Food Bioprocess Technol.**, 2012.

PLAZA, M.; MARINA, M. L. Natural deep eutectic solvents and ultrasound-assisted extraction for the recovery of antioxidant phenolic compounds from orange pomace. **Microchemical Journal**, v. 212, p. 113366, 2025.

RAMOS, S. A. et al. Desenvolvimento de cookies com coprodutos de frutas. **Research, Society and Development**, v. 9, n. 10, e5799108918, 2020.

RESTREPO-SERNA, D. L.; CARDONA-ALZATE, C. A. Pre-feasibility assessment to obtain an extract rich in hesperidin from orange peel: A comparison of extraction technologies conventional and non-conventional. **Sustainable Chemistry and Pharmacy**, v. 38, 101466, 2024.

SAMPAIO, P. H. de O. et al. Desenvolvimento de barras de cereais adicionadas de farinha de casca de laranja pera (*Citrus sinensis*) e avaliação de seu potencial antioxidante. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE PRODUÇÃO ANIMAL E VEGETAL, 2., 2022. **Produção Animal e Vegetal: Inovações e Atualidades – Vol. 2**. [S. l.: s. n.], 2022. cap. 63, p. 725-731.

SCHERER, R. et al. Validation of a HPLC method for simultaneous determination of main organic acids in fruits and juices. **Food Chemistry**, v. 135, n. 1, p. 150–154, 2012.

SHAIKH, S.; YAQOOB, M.; AGGARWAL, P. An overview of biodegradable packaging in food industry. **Current Research in Food Science**, Elsevier B.V., 2021.

SHARMA, K.; MAHATO, N.; LEE, Y. R. Extraction, characterization and biological activity of citrus flavonoids. **Reviews in Chemical Engineering**, v. 35, n. 2, p. 265-284, 2019.

SHEWFELT, R. L.; THAI, C. M.; DAVIS, J. W. Prediction of changes in color of tomatoes during ripening at different constant temperatures. **J. Food Sci.**, v. 53, p. 1433-1437, 1988.

SILVA, C. E. de F. et al. Uso da laranja lima e seus resíduos no desenvolvimento de novos produtos. **Brazilian Journal of Biosystems Engineering**, v. 10, n. 1, p. 69-96, 2016.

SILVA, J. C. C. et al. Avaliação do teor de sólidos solúveis (°Brix) de polpas de frutas congeladas comercializadas na cidade de Cuité-PB. In: INTERNATIONAL CONGRESS ON NUTRITION SCIENCE, 2022. **Agron Food Academy**. [S. l.: s. n.], 2022. cap. 2, p. 13-19.

SINGH, B. et al. Phenolic composition, antioxidant potential and health benefits of citrus peel. **Food Research International**, 2020.

STORCK, C. R. et al. Qualidade microbiológica e composição de farinhas de resíduos da produção de suco de frutas em diferentes granulometrias. **Brazilian Journal of Food Technology**, Campinas, v. 18, n. 4, p. 277-284, out./dez. 2015.

TAGHAVI KEVIJ, H. et al. Mechanical, physical, and bio-functional properties of biopolymer films based on gelatin as affected by enriching with orange peel powder. **Polymer Bulletin**, v. 78, p. 4387–4402, 2021.

TANIGUCHI, M. et al. Digital database of absorption spectra of diverse flavonoids enables structural comparisons and quantitative evaluations. **Journal of Natural Products**, v. 86, n. 4, p. 1087-1119, 28 abr. 2023.

VELKOSKA-MARKOVSKA, L. et al. Development and validation of RRLC–UV method for determination of chlorogenic acid in green coffee. **Acta Chromatographica**, v. 32, n. 1, p. 34–38, 2020.

WANG, H. et al. Preparation, Physicochemical Characterization, and Antioxidant Activity of Naringin–Silk Fibroin–Alginate Microspheres and Application in Yogurt. **Foods**, [S. l.], v. 11, n. 14, 2147, 2022

WU, M.-H. et al. Coimmobilization of naringinases on silk fibroin nanoparticles and its application in food packaging. **Journal of Nanomaterials**, [S. l.], v. 2013, artigo 901401, 14 jan. 2013.

CAPITULO 2. Influência da incorporação da farinha de resíduo de laranja no desenvolvimento de embalagem biodegradável para sementes de hortaliças

WAGEMACHER, Michele; M.Sc; Universidade Vila Velha – ES, julho de 2025. Obtenção e caracterização da farinha de resíduos do processamento da laranja para o desenvolvimento de embalagem biodegradável para sementes de hortaliças; Orientador: Christiane Mileib Vasconcelos e Coorientador: Mila Marques Gamba.

RESUMO

O uso intensivo de plásticos na agricultura gera impactos ambientais significativos, incluindo a formação de microplásticos que prejudicam a qualidade do solo. Biopolímeros vegetais, especialmente produzidos a partir de resíduos agroindustriais como os da laranja, surgem como alternativas sustentáveis para embalagens biodegradáveis. Foram realizados pré-testes para seleção de formulações e foi escolhido o polímero goma guar para produzir embalagem com farinha de resíduo de laranja (FRL) por casting, com secagem a 50 °C por 48 horas. Também foi elaborado um filme controle sem FRL. Para fins comparativos, utilizou-se uma embalagem comercial. Foram avaliadas as propriedades físicas, ópticas, mecânicas e a biodegradabilidade dos filmes com FRL. A caracterização dos filmes incluiu análise de umidade, absorção de água, cor, transmitância de luz, resistência à tração, % de alongamento, perfuração e elasticidade. A biodegradabilidade foi monitorada qualitativamente por inspeção visual em solo, sob condições naturais, durante 30 dias. Observou-se que o filme controle teve menor umidade, mas se desintegrou no teste de absorção de água. O filme com FRL apresentou cor mais intensa e amarelada, atribuída aos pigmentos do resíduo de laranja. O filme com FRL apresentou menor transmitância de luz em todo o espectro avaliado, apresentando maior capacidade de barreira à luz comparado ao Controle que alcançou valores mais elevados, atingindo 43,55% a 800 nm. O filme com FRL apresentou maior resistência à tração, alongamento e elasticidade em comparação à embalagem comercial ($p < 0,05$), indicando maior flexibilidade. Também apresentou resistência à perfuração semelhante à embalagem comercial e superior ao Controle. A avaliação da biodegradabilidade apresentou sinais visuais progressivos de biodegradação dos filmes Controle e FRL ao longo de 30 dias, com perdas de peso de 40% e 32%, respectivamente, enquanto a embalagem comercial manteve-se praticamente inalterada (3,5% de perda) durante o mesmo tempo.

Palavras-chave: resíduos cítricos; valorização de resíduos; economia circular; embalagem biodegradável.

WAGEMACHER, Michele; M.Sc; Universidade Vila Velha – ES, July 2025. Obtaining and characterization of flour from orange processing residues for the development of biodegradable packaging for vegetable seeds; Advisor: Christiane Mileib Vasconcelos and Co-advisor: Mila Marques Gamba.

ABSTRACT

The intensive use of plastics in agriculture generates significant environmental impacts, including the formation of microplastics that harm soil quality. Plant-based biopolymers, especially those produced from agro-industrial residues such as orange waste, have emerged as sustainable alternatives for biodegradable packaging. Preliminary tests were conducted to select formulations, and guar gum was chosen as the polymer to produce packaging with orange residue flour (ORF) by casting, followed by drying at 50 °C for 48 hours. A control film without ORF was also prepared. For comparative purposes, a commercial packaging was used. The physical, optical, mechanical, and biodegradability properties of the films containing ORF were evaluated. Film characterization included analysis of moisture content, water absorption, color, light transmittance, tensile strength, elongation percentage, puncture resistance, and elasticity. Biodegradability was qualitatively monitored through visual inspection in soil under natural conditions for 30 days. It was observed that the control film had lower moisture content but disintegrated during the water absorption test. The ORF film exhibited a more intense yellowish color, attributed to pigments from the orange residue. The ORF film showed lower light transmittance across the entire evaluated spectrum, demonstrating a greater light barrier capacity compared to the control, which reached higher values, up to 43.55% at 800 nm. The ORF film presented higher tensile strength, elongation, and elasticity compared to the commercial packaging ($p < 0.05$), indicating greater flexibility. It also showed puncture resistance similar to the commercial packaging and higher than the control. The biodegradability assessment showed progressive visual signs of degradation in both the control and ORF films over 30 days, with weight losses of 40% and 32%, respectively, whereas the commercial packaging remained practically unchanged (3.5% loss) during the same period.

Keywords: citrus waste; waste valorization; circular economy; biodegradable packaging.

1. INTRODUÇÃO

A embalagem desempenha um papel fundamental na proteção, preservação e transporte de diversos produtos do dia a dia e entre os materiais mais utilizados, os plásticos se destacam por sua leveza, flexibilidade, durabilidade e ampla aplicabilidade em diferentes setores, embora apresentem um grande impacto ambiental por serem, em sua maioria, produzidos a partir de recursos não renováveis (Singh et al., 2025).

Apesar de serem amplamente utilizados em diversos setores devido às suas propriedades vantajosas, os impactos ambientais associados ao uso intensivo de plásticos são particularmente evidentes em contextos como o da agricultura. Nesse setor, estima-se que, anualmente, cerca de 12,5 milhões de toneladas de plásticos sejam empregados em atividades agrícolas. Dentre os segmentos que mais consomem esses materiais, destacam-se a horticultura, fruticultura, agricultura e pecuária, que, conjuntamente, utilizam aproximadamente dez milhões de toneladas por ano, seguidos pelos setores de pesca e aquicultura, e, posteriormente, pela silvicultura (FAO, 2021).

A degradação e fragmentação desses materiais plásticos podem resultar na formação de microplásticos, os quais afetam negativamente o solo. Entre os impactos observados, destacam-se a redução da capacidade de retenção de umidade, a interferência no desenvolvimento das plantas, o comprometimento do crescimento das raízes e a diminuição da eficiência na absorção de nutrientes (UNEP, 2022).

Diante das preocupações ambientais relacionadas à poluição causada pelos resíduos plásticos, têm sido desenvolvidos e introduzidos no mercado diversos materiais de origem biológica com capacidade de degradação natural. Esses biopolímeros despontam como alternativas promissoras aos plásticos convencionais utilizados em embalagens, especialmente por atenderem às exigências de consumidores que buscam opções mais sustentáveis (Beltran et al., 2021).

Nesse contexto de busca por soluções mais sustentáveis, a valorização de resíduos agroindustriais para a produção de biopolímeros tem se mostrado promissora. O Brasil, maior produtor mundial de frutas cítricas, especialmente de suco de laranja, gera grandes volumes de resíduos sólidos, como cascas, sementes e frutos fora do padrão, que podem representar mais da metade da massa processada. Parte

significativa desse material é descartada inadequadamente, contribuindo para a degradação ambiental (Arango-Manrique et al., 2024).

As embalagens biodegradáveis têm ganhado destaque nos últimos anos, uma vez que são produzidas a partir de polímeros de origem biológica que se decompõem em compostos simples por meio da ação enzimática e de microrganismos (Friedrichsen et al., 2022; Verma et al., 2024).

Portanto, o objetivo desse estudo foi avaliar a influência da incorporação da farinha de resíduo de laranja na elaboração de embalagem biodegradável como alternativa sustentável para aplicação em embalagens para acondicionamento sementes de hortaliças.

2. MATERIAIS E MÉTODOS

2.1 Obtenção do filme com incorporação da FRL

Os resíduos de laranja foram, inicialmente, triturados em um liquidificador (ARNO Power Max 1000W) e, depois, o material foi distribuído uniformemente em uma bandeja e colocado em estufa com ventilação forçada (marca SPLabor modelo SSDicr-180L), a 65 °C por 38 horas, conforme definido por Wagemacher et al., (2025). Posteriormente, procedeu-se a moagem em moinho de bolas (Marconi - Modelo MA950) por 10 minutos, até a obtenção da farinha do resíduo de laranja (FRL).

Para a obtenção do filme, foram conduzidos pré-testes utilizando amido, pectina, goma guar e polvilho em diferentes concentrações. Dentre as formulações testadas, foi definido como polímero base a goma guar, por ter apresentado resultados satisfatórios para obtenção de um filme com incorporação mais homogênea da FRL.

A geração do filme contendo FRL foi realizada por meio da técnica de casting, conforme metodologia descrita por Saberi et al. (2016) e Maciel et al. (2025) com adaptações. Inicialmente, procedeu-se o aquecimento de 50 mL de água deionizada até atingir 50 °C, ocorrendo então a adição lenta de 0,5 g de goma guar sob agitação magnética por 10 minutos para garantir a homogeneização completa da solução.

Posteriormente, incorporou-se 0,15 g de FRL (30% m/m de goma guar), mantendo-se a agitação por mais 10 minutos. Após essa etapa, a solução foi deixada em repouso até a temperatura ambiente. Na sequência, adicionou-se 0,15 g de glicerol (30% m/m

de goma guar) como agente plastificante, com agitação por mais 1 minuto. A dispersão filmogênica obtida foi vertida em placas de Petri para a formação dos filmes.

O processo de secagem foi conduzido em estufa sem circulação de ar a 50 °C, por 48 horas. Por fim, os filmes foram cuidadosamente removidos das placas de petri e armazenados em embalagem a vácuo devidamente seladas até a realização das análises.

2.1.1 Delineamento experimental

O filme FRL foi avaliado quanto às propriedades físicas, ópticas, mecânicas e sua biodegradabilidade em comparação com um filme desenvolvido sem a FRL (Filme Controle) e com uma embalagem comercial multicamadas, normalmente utilizada no acondicionamento de sementes agrícolas (Filme Comercial). O filme comercial foi avaliado em relação às análises mecânicas e de biodegradabilidade. Nessa etapa seguiu-se um Delineamento Inteiramente Casualizado (DIC), com 3 repetições.

O filme controle foi obtido a partir do mesmo procedimento realizado para elaboração do Filme FRL, no entanto, sem a incorporação da FRL.

Já a Embalagem Comercial foi adquirida em comércio local e possui as seguintes características: O envelope primário, onde as sementes são armazenadas, é composto por três camadas: uma camada externa de papel, uma camada intermediária de papel-alumínio e uma camada interna de plástico transparente. Esse envelope é acondicionado em uma embalagem secundária, também feita de papel.

2.2 Teor de umidade e capacidade de absorção de água

A determinação do teor de umidade e da capacidade de absorção de água dos filmes com FRL e Controle foi realizada conforme o método descrito por Maciel et al. (2025). Amostras circulares dos filmes, com 2 cm de diâmetro, foram inicialmente secas em estufa com circulação de ar forçada a 105 °C por 24 horas. O teor de umidade foi calculado com base na diferença de massa dos filmes antes e após a secagem. Em seguida, os filmes com teor de umidade previamente conhecido foram imersos em um béquer contendo 50 mL de água destilada, permanecendo submersos por 24 horas. Após esse período, as amostras foram cuidadosamente retiradas da água e submetidas à secagem superficial com papel de filtro. A capacidade de

absorção de água foi determinada pela diferença de massa dos filmes antes e após a imersão, utilizando-se a seguinte equação:

Equação 1:

$$\text{Solubilidade em água (\%)} = \frac{[(W_f - W_i) \times 100]}{W_i}$$

Onde W_i e W_f são os pesos inicial e final, respectivamente

2.3 Propriedades ópticas

2.3.1 Análise instrumental de cor dos filmes

A cor instrumental dos filmes com FRL e Controle foram determinadas através de colorímetro WR10QC, a partir dos valores encontrados para as coordenadas de cor L^* , a^* e b^* foram calculados o Croma (C^*) e o ângulo hue (h^*), conforme equações empregadas por Pathare; Opara; Al-Said (2012).

2.3.2 Transmissão de luz

A análise da transmissão de luz dos filmes com FRL e Controle foi realizada com base no método descrito por Maciel et al. (2025), com modificações. Amostras dos filmes foram recortadas em retângulos de 1 cm x 4 cm, fixadas na face interna de uma cubeta de quartzo e submetidas à leitura espectrofotométrica na faixa de 400 a 800 nm, utilizando um espectrofotômetro (Tecnal - modelo GTA-96 UV-S100). Uma cubeta de quartzo vazia foi utilizada como branco. Os resultados de absorbância foram convertidos em transmitância através da equação:

Equação 2:

$$\%T = 10^{-A} \times 100$$

Onde Transmitância (%T): É a porcentagem de luz que passa através da amostra e absorbância (A): é uma medida logarítmica da quantidade luz absorvida pela amostra.

2.4 Propriedades mecânicas

As propriedades mecânicas dos filmes com FRL, Controle e da Embalagem Comercial foram avaliadas por meio de ensaio de tração e resistência à perfuração, utilizando texturômetro da marca Extralab®, modelo TA.XTExpressC.

2.4.1 Teste de tração

A análise da resistência à tração foi realizada conforme a metodologia descrita na norma ASTM D882-02, com adaptações específicas para este estudo. Amostras dos filmes e embalagem comercial foram cortadas nas dimensões de 50 mm de comprimento por 20 mm de largura. Posteriormente, foram fixadas em garras tipo *roller grips* (modelo A/TG) e submetidas à tração a uma velocidade constante de 10 mm/s, com distância inicial entre as garras de 40 mm, até a ruptura do material. A força de contato aplicada foi de 50 g.

A resistência máxima à tração ($R_{m\acute{a}x}$) foi calculada conforme a equação 1 (de acordo com a sua espessura mínima). A porcentagem de alongação na ruptura foi calculada conforme a equação 2. A força máxima e o alongamento do corpo de prova na ruptura foram obtidos das curvas força-deformação, utilizando o software EXPONENT, versão 4.0.13.0. Estas análises foram realizadas, em triplicata.

Equação 3:

$$R_{m\acute{a}x} = F_{m\acute{a}x} / A_{orig}$$

($F_{m\acute{a}x}$: força máxima aplicada (N), A_{orig} : área original da amostra (m^2 ou mm^2 , considerando a espessura mínima).

Equação 4:

$$Er(\%) = \Delta L_r / L_0 \times 100$$

(ΔL_r : alongamento do corpo de prova na ruptura, L_0 : comprimento inicial da amostra (distância entre as garras).

2.4.2 Teste de perfuração

A força de perfuração e a deformação no ponto de quebra do material foram determinadas através do teste de perfuração de acordo com a ASTM D 828 para as membranas com espessura de aproximadamente 1 mm.

Os filmes e a Embalagem Comercial foram cortados nas dimensões de 50 mm de altura por 20 mm de largura e fixadas em uma célula com 30 mm de diâmetro e perfurados utilizando uma probe cilíndrica de aço inoxidável de 3 mm de diâmetro, com velocidade de penetração de 1mm/s. A força para perfuração (FP) da embalagem comercial foi determinada diretamente nas curvas de Tensão Máxima (TM) x Deformação da embalagem (DE), calculada utilizando a Equação 1, considerando a tensão distribuída em toda a superfície do corpo de prova e a deformação sendo uniforme.

Equação 5:

$$DP = \frac{\Delta l}{l_0} = [(D^2 + l_0^2)^{0,5} - l_0] / l_0$$

(l_0 : o comprimento inicial do corpo de prova (raio do círculo da amostra=15 mm), D = deslocamento do probe na perfuração).

2.5 Avaliação qualitativa da biodegradabilidade

A avaliação da biodegradação do filme com FRL, Controle e da Embalagem Comercial foi realizada com base no protocolo proposto por Luchese, Pavoni e Tessaro (2021), com adaptações. Foram utilizados 150 g de substrato seco Carolina Soil CSC nos vasos de plantas de 2,7L. Os filmes com FRL e Controle, com dimensões de 9 cm de diâmetro, e embalagem comercial com dimensão de 6 cm x 6 cm, foram enterradas na posição vertical em uma profundidade de 3 cm em relação à superfície. Seis amostras de cada filme/embalagem foram mantidas na casa de vegetação da Universidade Vila Velha, sob condições ambientais naturais da região, e monitoradas por fotos de celular, ao longo de 30 dias.

Devido à aderência do substrato aos filmes, o processo de desintegração foi monitorado qualitativamente por inspeção visual.

3. ANÁLISE ESTATÍSTICA

Os resultados do experimento relacionado aos filmes foram analisados por meio da ANOVA, adotando-se um nível de significância de 5%. Para os resultados com $p \leq$

0,05, as médias foram comparadas utilizando o Teste de Duncan. Todas as análises estatísticas foram realizadas no software SAS, versão online.

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1 Propriedades físicas

O teor de umidade se refere à quantidade de água remanescente nos filmes após a secagem. A capacidade de absorção de água, por sua vez, está diretamente ligada à presença de grupos hidrofílicos, que favorecem a interação com a água, após a imersão dos filmes. Este é um parâmetro fundamental para entender como o filme se comporta em contato com a água, revelando seu grau de intumescimento (Maciel et al., 2025). Na Tabela 1 apresenta o efeito da incorporação da FRL sobre o teor de umidade e a capacidade de absorção de água no filme.

Tabela 1. Média e desvio padrão do teor de umidade e capacidade de absorção de água dos filmes.

| Filme | Umidade (%) | Absorção de água (%) |
|----------|---------------|----------------------|
| Controle | 23,20 ± 1,65 | NA |
| FRL | 28,16 ± 3,73* | 1123,67 ± 240,66 |

*Média significativamente maior ao nível de 5% de probabilidade pelo teste T. NA - não avaliado.

Observa-se que o filme controle apresentou menor teor de umidade ($p < 0,05$), no entanto, não permitiu mensurar a capacidade de absorção de água, por ter se desintegrado completamente durante o ensaio, impossibilitando a obtenção de dados, conforme mostra a Figura 1a.

Figura 1. Ensaio de absorção de água dos filmes controle (a) e FRL (b)



Embora o filme com FRL tenha apresentado teor de umidade maior, a FRL incorporada permitiu manter sua integridade estrutural durante o ensaio de absorção de água, conforme ilustrado na Figura 1b. A presença de pectina e celulose na composição da FRL podem ter sido responsáveis por essa característica. Embora a pectina apresente diversas propriedades benéficas para a fabricação de filmes, como boa capacidade formadora de gel, resistência mecânica e preservação da integridade estrutural, também possui limitações, destacando-se sua elevada hidrofiliidade, a qual pode favorecer uma maior retenção de umidade nos filmes (Butler et al., 2023). Esse fator, quando o filme é destinado ao armazenamento de sementes, pode influenciar suas características fisiológicas e sua durabilidade ao longo do armazenamento, uma vez que a troca de umidade com o ambiente afeta diretamente a conservação e a qualidade fisiológica das sementes (Azevedo et al., 2003).

Da mesma forma, a celulose é caracterizada pela presença de numerosos grupos hidroxila em sua estrutura e pela formação de fortes ligações de hidrogênio, o que lhe confere elevada resistência mecânica. No entanto, a principal limitação da celulose é sua natureza hidrofílica e higroscópica, o que a torna propensa à absorção de água (Wei et al., 2020; Grzybek, Dudek e Van der Bruggen, 2024).

Assim, a combinação de pectina e celulose presentes na FRL explica o aumento do teor de umidade e da capacidade de absorção de água nos filmes incorporados com resíduo. Ao mesmo tempo, essa composição favorece uma maior integridade estrutural frente ao contato com a água, em contraste com a fragilidade observada no filme controle, que se desintegrou durante o ensaio.

Taghavi Kevij et al. (2021) encontraram resultado semelhante ao avaliar as propriedades mecânicas, físicas e biofuncionais de filmes biopoliméricos à base de gelatina afetadas pelo enriquecimento com pó de casca de laranja. Foi observado que, em comparação com o filme controle, o teor de umidade dos filmes de gelatina foi aumentando com a incorporação do pó de casca de laranja (3 a 15%).

Nesse contexto, a umidade desempenha papel central na funcionalidade de filmes. A umidade das sementes, o tipo de embalagem empregada e as condições ambientais do local de armazenamento, são fatores que determinam a longevidade das sementes durante o armazenamento. O teor da umidade constitui um dos principais pilares para a manutenção da viabilidade e do vigor das sementes ao longo do tempo. Para assegurar uma conservação eficiente, recomenda-se que as sementes sejam armazenadas com teores de umidade inferiores a 12% em embalagens permeáveis ao vapor de água, nos casos de armazenamento de curto prazo, ou entre 6% e 8% quando acondicionadas em recipientes impermeáveis, visando à preservação prolongada, especialmente em ambientes com alta umidade relativa, como os encontrados em regiões tropicais e subtropicais (Dadlani et al., 2023).

Portanto, vale destacar que o filme com FRL apresentou maior resistência à absorção de água em comparação ao controle, mantendo sua integridade estrutural mesmo em condições úmidas. Por outro lado, o filme com FRL pode representar um desafio para sua aplicação como embalagem para o acondicionamento de sementes hortícolas, uma vez que a alta higroscopicidade do material pode favorecer o aumento da umidade interna da embalagem, acelerando processos de deterioração e comprometendo a qualidade e a viabilidade das sementes ao longo do tempo. Para superar essa limitação, é necessário investigar estratégias que reduzam a higroscopicidade, como a modificação química dos biopolímeros ou a incorporação de agentes hidrofóbicos à formulação.

4.2 Propriedades ópticas

As propriedades de cor dos filmes, expressas pelos parâmetros L^* , Chroma e Hue, estão apresentadas na Tabela 2.

Tabela 2. Média e desvio padrão dos parâmetros de cor dos filmes controle e com FRL.

| Filme | L | Chroma | Hue |
|----------|---------------|--------------|----------------|
| Controle | 44,18 ± 1,42* | 5,77 ± 0,06 | 152,11 ± 1,32* |
| FRL | 42,38 ± 1,71 | 6,87 ± 0,26* | 138,52 ± 5,72 |

* Média significativamente maior ao nível de 5% de probabilidade pelo teste T

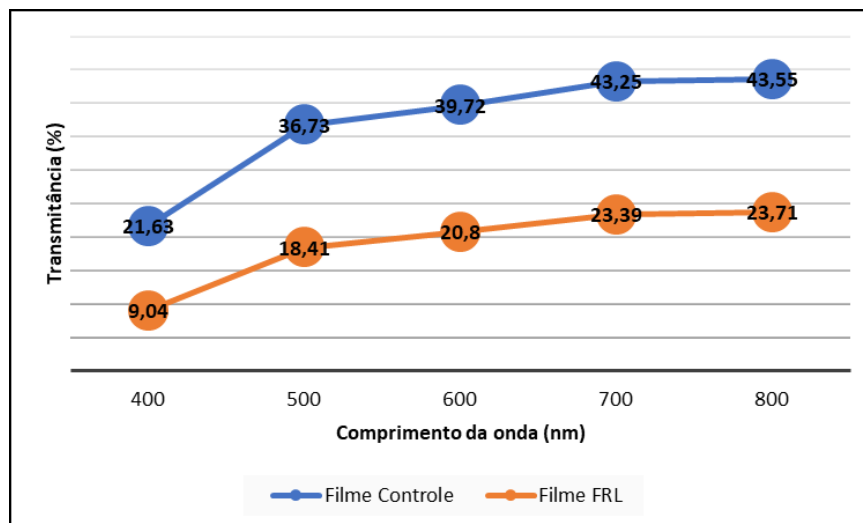
O filme com FRL (figura 2b) se caracterizou por apresentar menor luminosidade (L) e valor de Hue, e maior valor de Chroma comparado ao filme Controle (figura 2a) ($p < 0,05$). Desta forma, esse filme apresenta-se ligeiramente menos claro, e com maior saturação da cor amarelo-esverdeado, provavelmente associada à presença de pigmentos naturais provenientes do resíduo de laranja, como clorofilas e carotenoides (Rodrigo et al., 2013).

Figura 2. Coloração dos filmes Controle (a) e FRL (b)



A Figura 3 apresenta a transmitância de luz dos filmes no intervalo de 400 a 800 nm. Observa-se que o filme Controle apresentou valores mais elevados de transmitância em todo o espectro avaliado, atingindo 43,55% a 800 nm. Em contrapartida, o filme com FRL demonstrou menor capacidade de transmitir luz, com transmitância máxima de 23,71% na mesma faixa.

Figura 3. Transmissão de luz através dos filmes Controle e com FRL.



A cor e a transparência das embalagens são atributos relevantes, pois, dependendo da finalidade de uso, podem influenciar tanto na aceitação do produto pelo consumidor quanto na proteção contra a incidência de luz. De modo geral, polímeros com maior transparência e menor variação de cor são mais valorizados no mercado, por permitirem ao consumidor uma visualização do conteúdo. No entanto, produtos sensíveis à luz exigem embalagens mais opacas, que ofereçam maior barreira à luz e contribuam para a preservação de suas características (Martins et al., 2019).

De acordo com sua capacidade de transmitir luz, os materiais utilizados em embalagens podem ser categorizados em três classes: (1) transparentes, quando permitem a passagem predominante da luz incidente; (2) translúcidos, quando possibilitam a transmissão parcial da luz, acompanhada de dispersão; e (3) opacos, quando bloqueiam completamente a passagem da luz. De modo geral, materiais com transmitância luminosa superior a 80% são classificados como transparentes. Por outro lado, materiais cuja transmitância é inferior a 10% são caracterizados como opacos. Já os materiais com valores intermediários, situados entre 10% e 80%, são definidos como translúcidos. Esses parâmetros referem-se, comumente, à faixa de 600 nm, correspondente à região média do espectro da luz visível (Guzman-Puyol, Benítez e Heredia-Guerrero, 2022). Dessa maneira, observa-se que os valores de transmitância obtidos para os filmes FRL, situam-se na faixa correspondente a materiais translúcidos.

A translucidez está associada à presença de estruturas semi cristalinas ou à morfologia porosa e fibrosa de determinados polímeros. Nessas configurações, a luz

incidente atravessa múltiplas interfaces o que resulta em variações nos índices de refração. Essas descontinuidades ópticas provocam a dispersão da luz, conferindo ao material um aspecto translúcido (Guzman-Puyol, Benítez e Heredia-Guerrero, 2022).

Embalagens com características opacas ou translúcidas apresentam a vantagem de atenuar a incidência de luz sobre o conteúdo, contribuindo para a preservação das propriedades físico-químicas da semente e reduzindo o risco de deterioração decorrente da exposição luminosa (Regmi e Janaswamy, 2024).

Esses resultados sugerem que os filmes FRL apresentam características ópticas adequadas para aplicações em embalagens de sementes agrícolas. A menor transmitância de luz observada indica uma boa capacidade de atenuar a radiação incidente, o que pode contribuir para a preservação da viabilidade das sementes e retardar processos de envelhecimento fisiológico.

4.3 Propriedades mecânicas

Os resultados referentes às propriedades mecânicas das embalagens, avaliadas por meio dos testes de tração (Resistência Máxima à Tração - Rmax, Alongamento na Ruptura) e perfuração (Tensão Máxima à Perfuração (TMP) e Elasticidade) do filme Controle, filme com FRL e da Embalagem Comercial, estão apresentados na Tabela 3.

Tabela 3. Média e Desvio Padrão dos testes mecânicos: Resistência Máxima à Tração, alongamento na ruptura, Tensão máxima à perfuração e elasticidade do filme Controle, filme com FRL e da Embalagem Comercial.

| Filme/ Embalagem | Tração | | Perfuração | |
|---------------------|--------------------------|---------------------------|-----------------------------|------------------------|
| | Rmax (MPa) | Alongamento (%) | TMP (g) | Elasticidade (mm) |
| Controle | 0,53 ±0,14 ^{ab} | 90,09 ±9,34 ^a | 630,30 ±145,51 ^b | 6,00±0,00 ^a |
| FRL | 0,78 ±0,28 ^a | 98,91 ±1,19 ^a | 1385,40±110,11 ^a | 5,90±0,13 ^a |
| Comercial | 0,20 ±0,03 ^b | 71,39 ±10,58 ^b | 1585,40±141,72 ^a | 3,20±0,41 ^b |

Letras iguais na mesma coluna não diferem entre si, ao nível de 5% de probabilidade pelo teste Duncan.

A resistência à tração indica a tensão máxima suportada antes da ruptura, enquanto o alongamento na ruptura corresponde à deformação percentual do material em relação ao seu comprimento inicial (Aydogdu et al., 2020).

O filme com FRL apresentou valores superiores de resistência à tração e alongamento em comparação à embalagem comercial ($p < 0,05$). Esses resultados sugerem que a incorporação do resíduo confere maior robustez ao filme, aumentando a força necessária para rompimento por tração. A presença de fibras como celulose e pectina na casca de laranja pode contribuir para o reforço estrutural do material (Zema et al., 2018; Gupta et al., 2024).

Maiores valores de alongamentos indicam maior flexibilidade e capacidade de deformação antes da ruptura. Essa distinção pode ser fundamentada na diferença de composição e organização da matriz polimérica de cada material. Enquanto a embalagem comercial é composta por uma estrutura multicamada composta por plástico, papel e alumínio, cuja interface entre as camadas pode induzir restrições à mobilidade molecular e promover um comportamento mecanicamente mais rígido, os filmes Controle e FRL possuem uma estrutura monolítica com utilização de agentes plastificantes (Wagner Jr., 2016).

A tensão máxima à perfuração (TMP) indica a força necessária para que uma ponta penetrante rompa o filme, sendo um parâmetro relacionado à rigidez (Acevedo-Fani et al., 2015). Os valores de TMP para os filmes com FRL e Embalagem Comercial não diferiram ($p > 0,05$), mas foram superiores ao do Controle. Isso sugere que ambos os materiais apresentam maior resistência à perfuração, característica desejável para aplicações que exigem maior proteção mecânica.

Quanto à elasticidade, os filmes Controle e FRL exibiram maior capacidade de recuperação elástica do que a embalagem comercial. Essa propriedade está diretamente ligada à capacidade do material de retornar à forma original após sofrer deformação. O uso de glicerol como plastificante contribui para essa característica ao aumentar o espaçamento entre as cadeias poliméricas, reduzindo as interações intermoleculares e promovendo maior mobilidade das cadeias (Eslami et al., 2023).

Do ponto de vista tecnológico, os resultados obtidos demonstram que o filme FRL apresenta propriedades mecânicas adequadas e, em alguns aspectos, superiores às da embalagem comercial de sementes. No entanto, vale destacar que a estrutura monolítica dos filmes com FRL pode apresentar limitações no contexto da embalagem de sementes onde se exige elevada barreira a gases ou à umidade, propriedades

frequentemente otimizadas em estruturas multicamadas. Portanto, futuras otimizações podem incluir estratégias de modificação da matriz ou associação com outros biopolímeros para ampliar a gama de aplicações possíveis.

4.4 Avaliação da biodegradabilidade

A biodegradabilidade é a propriedade que certos materiais possuem de se decompor sob a ação de microrganismos, como bactérias e fungos, e influências ambientais como umidade, temperatura, oxigênio disponível, pH, tempo, nutrientes e radiação UV, ocorrendo por meio da liberação de enzimas ou de reações químicas que promovem a fragmentação de estruturas moleculares complexas em compostos de menor massa, os quais podem ser absorvidos e utilizados por outros organismos presentes no ambiente, tornando esse atributo importante na análise da sustentabilidade dos materiais, especialmente no desenvolvimento de soluções ambientalmente responsáveis (Garrison et al., 2016; Folino et al., 2020).

Tabela 4. Temperatura mínima e máxima, umidade relativa do ar mínima e máxima, e precipitação pluviométrica.

| Semana | Temperatura °C | | Umidade do ar % | | Chuva (mm) |
|---------------|----------------|--------|-----------------|--------|------------|
| | Mínima | Máxima | Mínima | Máxima | |
| 5/06 – 11/06 | 21 | 27 | 72,5 | 93 | 2,4 |
| 12/06 – 17/06 | 17 | 24 | 66,5 | 89,5 | 1,5 |
| 18/06 – 23/06 | 17 | 25,8 | 64 | 92 | 0 |
| 24/06 – 29/06 | 18,5 | 28 | 64,5 | 92 | 0 |
| 30/06 – 05/07 | 17,5 | 26,5 | 69,5 | 91,5 | 4,2 |
| Média | 18,2 | 26,7 | 67,4 | 91,2 | 1,62 |

*Valores médios do período segundo dados extraídos do site climatempo.

A Tabela 4 apresenta os valores médios semanais de temperatura mínima e máxima, umidade relativa mínima e máxima e precipitação pluviométrica registrados durante o período experimental.

A decomposição é um processo multifatorial, influenciado por fatores ambientais, que pode ser otimizado e monitorado para diferentes materiais, conforme demonstrado em estudos prévios (Dias et al., 2015; Luz et al., 2022). Durante o

período experimental, realizado entre 5 de junho e 5 de julho, a temperatura média das mínimas foi de 18,2 °C e as máximas de 26,7 °C. A umidade relativa do ar apresentou média mínima de 67,4% e máxima de 91,2%. As ocorrências pluviométricas variaram ao longo das semanas, com uma média de 1,62 mm durante o monitoramento.

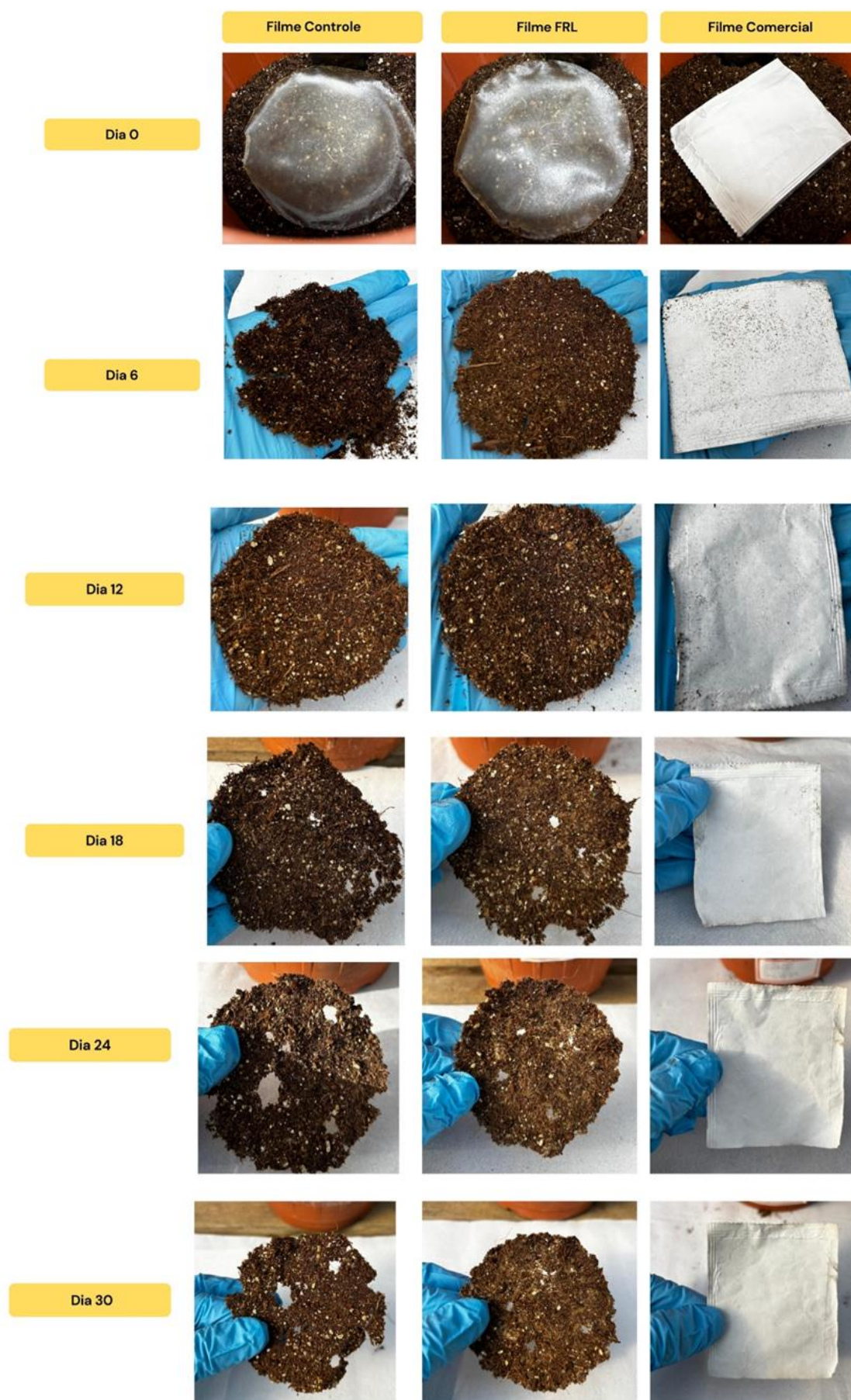
Esses parâmetros ambientais são importantes para a análise da biodegradabilidade dos materiais avaliados. A temperatura média de 26,7 °C configura um ambiente propício para a atividade microbiana, uma vez que a maioria dos microrganismos se adapta em faixas térmicas amenas a elevadas (Dias et al., 2015; Luz et al., 2022). A elevada umidade relativa, com média máxima de 91,2%, também favorece a atividade metabólica dos microrganismos, favorecendo a decomposição e biodegradação de materiais orgânicos e poliméricos (Lemos et al., 2015; Vespucci et al., 2022).

De igual modo, a interação entre microrganismos e o tipo de material polimérico é um fator determinante na eficiência da biodegradação. Faria e Martins-Franchetti (2010) avaliaram a biodegradação de filmes poliméricos em ambientes aquáticos, destacando que a presença de resíduos e poluentes pode tanto inibir quanto potencializar esses processos, dependendo da adaptação microbiana ao meio.

A literatura também indica que a umidade relativa, especialmente em níveis superiores a 60%, atua de forma sinérgica com as variações de temperatura para acelerar a biodegradação, conforme demonstrado por Luz et al. (2015) e Lemos et al. (2015). Esses autores enfatizam que condições quentes e úmidas promovem maior atividade enzimática, resultando em taxas aumentadas de degradação. Nesse sentido, as oscilações pluviométricas observadas, com registros semanais variando entre 0 e 4,2 mm, podem contribuir para um ambiente favorável à fermentação e decomposição microbiana (Araújo et al., 2015).

Portanto, a combinação dos fatores ambientais registrados durante o período experimental exerce influência direta na biodegradabilidade dos materiais estudados, ressaltando a importância da caracterização climática para a interpretação dos resultados.

Figura 4. Aspecto visual dos filmes Controle, FRL e da embalagem comercial, após diferentes períodos de exposição ao composto orgânico.



A Figura 4 apresenta o aspecto visual dos filmes Controle, FRL e da embalagem comercial, após diferentes períodos de exposição ao composto orgânico.

As imagens do Dia 0 ilustram o filme Controle, o filme FRL e a embalagem comercial antes de serem enterrados no substrato. Neste estágio, todos os materiais apresentam sua integridade original, sem sinais de degradação.

As imagens correspondentes ao Dia 6 mostram que os filmes Controle e FRL encontram-se aderidos ao substrato, caracterizados por um elevado teor de umidade e uma consistência amolecida. Essa condição dificultou a remoção do excesso de substrato sem comprometer a integridade física dos filmes, o que, por sua vez, pode dar uma falsa percepção de fragmentação, embora, de fato, a fragmentação não tenha ocorrido até esse ponto. No Dia 12, observa-se que os filmes Controle e FRL não exibem mais sinais de umidade, tornando-se mais finos e fáceis ao manuseio, embora mantenham suas dimensões originais. No Dia 18, os filmes Controle e FRL passaram a apresentar sinais mais evidentes de biodegradação, incluindo o aparecimento de perfurações em suas estruturas. Nos Dias 24 e 30, os filmes Controle e FRL apresentaram progressão no processo de biodegradação, evidenciada por alterações visuais mais acentuadas. Contudo, não foram observadas diferenças visuais entre os filmes nesse período.

A embalagem comercial, por sua vez, manteve-se em seu estado original durante todo o intervalo de observação, sem apresentar qualquer indício de degradação em sua estrutura ou aparência.

A perda de peso média observada para o filme Controle foi de aproximadamente 40%, enquanto o filme FRL apresentou uma perda média de 32% ao longo do período analisado. Em contrapartida, a embalagem comercial demonstrou uma perda de peso consideravelmente inferior, com média de apenas 3,5%.

A partir da avaliação qualitativa realizada sob as condições experimentais estabelecidas, observou-se que os filmes Controle e FRL apresentaram desempenho semelhante quanto à biodegradabilidade. Por outro lado, a embalagem comercial evidenciou maior resistência aos processos de degradação, sugerindo menor suscetibilidade à biodegradação no mesmo intervalo de tempo.

Embora a embalagem comercial possua uma camada externa de papel, material reconhecidamente biodegradável, suas demais camadas são constituídas por materiais ambientalmente prejudiciais, como o alumínio, localizado na camada intermediária e o plástico, presente na face interna da embalagem de sementes.

Resíduos plásticos derivados do petróleo podem persistir no meio ambiente por até mil anos, representando uma das principais fontes de poluição de longo prazo. De forma semelhante, o descarte inadequado do alumínio configura uma ameaça ambiental sob diferentes perspectivas. Caso esse material se fragmente ou entre em processo de decomposição, pode liberar compostos químicos potencialmente poluentes no solo e nos corpos hídricos. Por outro lado, na ausência de degradação, o alumínio tende a se acumular como resíduo sólido em cursos d'água e demais ecossistemas, agravando a poluição ambiental em virtude de seu extenso tempo de permanência no ambiente (Beltrán-Sanahuja et al., 2021; Sharma et al., 2024).

5. CONCLUSÃO

Com base nos resultados obtidos, conclui-se que a incorporação da farinha de resíduo de laranja (FRL) na formulação de filmes resultou em um material com propriedades mecânicas promissoras, demonstrando desempenho satisfatório e, em alguns aspectos, superior ao da embalagem comercial convencional. A presença de compostos estruturais naturais, como a pectina e a celulose, contribuiu para a integridade estrutural do filme FRL, mesmo sob condições de elevada umidade, embora tenha promovido maior teor de umidade e capacidade de absorção de água. Ainda assim, o filme com FRL manteve desempenho estrutural superior ao filme controle, que se desintegrou durante o ensaio de absorção hídrica.

Os aspectos ópticos evidenciaram que o filme FRL apresenta caráter translúcido, oferecendo a vantagem de reduzir a incidência de luz sobre o conteúdo.

Além disso, o filme com FRL apresentou potencial de biodegradabilidade, evidenciado pelo desempenho semelhante ao filme controle quanto à degradação, ao passo que a embalagem comercial demonstrou maior resistência aos processos de degradação, sugerindo menor suscetibilidade à biodegradação no mesmo intervalo de tempo.

Considerando-se os aspectos mecânicos, estruturais e ambientais, os resultados indicam que o filme com FRL é uma alternativa viável para o desenvolvimento de embalagens biodegradáveis, especialmente no setor agrícola. No entanto, a formulação ainda se encontra em estágio inicial de desenvolvimento, sendo recomendada a continuidade das investigações com foco na redução da

higroscopicidade do material, na avaliação da estabilidade ao longo do tempo e na análise do desempenho em diferentes condições de armazenamento e aplicação.

Dessa forma, este estudo contribui para a valorização de resíduos agroindustriais e para o avanço de soluções sustentáveis na área de embalagens, se alinhando aos objetivos de desenvolvimento sustentável.

6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Acevedo-Fani, A., Salvia-Trujillo, L., Rojas-Graü, M. A., & Martín-Belloso, O. (2015). Edible films from essential-oil-loaded nanoemulsions: Physicochemical characterization and antimicrobial properties. *Food Hydrocolloids*, 47, 168-177. <https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2015.01.032>.

Arango-Manrique, S., Agudelo Patiño, T., Matallana Pérez, L. G., Ortiz-Sanchez, M., & Cardona Alzate, C. A. (2024). Conceptual Design and Economic Optimization of Different Valorization Routes for Orange Peel Waste: The Application of the Biorefinery Concept for an Integral Use of Raw Material. *Processes*, 12(10), 2298. <https://doi.org/10.3390/pr12102298>.

Araújo, J. D., Silva, R. T., & Lima, F. A. (2015). Influence of Brazilian vermiculite on the biodegradation of PHB films. *Polymers*, 10(4), 31. <https://doi.org/10.1590/0104-1428.2031>.

Awika, J. M., Rooney, L. W., Wu, X., Prior, R. L., & Cisneros-Zevallos, L. (2003). Screening Methods to Measure Antioxidant Activity of Sorghum (*Sorghum bicolor*) and Sorghum Products. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 51(23), 6657–6662. <https://doi.org/10.1021/jf034790i>.

Aydogdu, A., Radke, C. J., Bezci, S., & Kirtil, E. (2020). Characterization of curcumin incorporated guar gum/orange oil antimicrobial emulsion films. *International Journal of Biological Macromolecules*, 148, 110-120. <https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2019.12.255>.

Beltran, M., Tjahjono, B., Bogush, A., Julião, J., & Teixeira, E. L. S. (2021). Food Plastic Packaging Transition towards Circular Bioeconomy: A Systematic Review of Literature. *Sustainability*, 13(7), 3896. <https://doi.org/10.3390/su13073896>.

Beltrán-Sanahuja, A., Benito-Kaesbach, A., Sánchez-García, N., & Sanz-Lázaro, C. (2021). Degradation of conventional and biobased plastics in soil under contrasting environmental conditions. *Science of The Total Environment*, 787, 147678. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2021.147678>.

Bezerra, P. H. S., Souza-Santos, Y. J., Pallone, E. M. J. de A., Carvalho, R. A., & Vanin, F. M. (2024). Desenvolvimento de bioplástico de alginato de sódio reforçado com subproduto de suco de laranja desidratado para uso em embalagens. *Polymers*, 16(23), 3382. <https://doi.org/10.3390/polym16233382>.

Brasil. Ministério da Saúde. Secretaria de Vigilância em Saúde e Ambiente. Departamento de Vigilância em Saúde Ambiental e Saúde do Trabalhador. (2024). **Mudanças climáticas para profissionais de saúde: guia de bolso**. Ministério da Saúde. <https://www.gov.br/saude/pt-br/centrais-de-conteudo/publicacoes/guias-e-manuais/2024/guia-mudancas-climaticas-para-profissionais-da-saude.pdf>.

Brasil. Ministério do Meio Ambiente e Mudança do Clima. (2023, 13 de dezembro). **COP28 aprova a transição dos combustíveis fósseis**. <https://www.gov.br/mma/pt-br/cop28-aprova-transicao-para-combustiveis-fosseis>.

Butler, I. P., Banta, R. A., Tyuftin, A. A., Holmes, J., Pathania, S., & Kerry, J. (2023). Pectin as a biopolymer source for packaging films using a circular economy approach: Origins, extraction, structure and films properties. *Food Packaging and Shelf Life*, 40, 101224. <https://doi.org/10.1016/j.fpsl.2023.101224>.

Dadlani, M., Gupta, A., Sinha, S. N., & Kavali, R. (2023). Seed storage and packaging. In M. Dadlani & D. K. Yadava (Eds.), *Seed science and technology* (Cap. 11). Springer. https://doi.org/10.1007/978-981-19-5888-5_11.

Devi, L. S., Jaiswal, A. K., & Jaiswal, S. (2024). Lipid incorporated biopolymer based edible films and coatings in food packaging: A review. **Current Research in Food Science**, 8, 100720. <https://doi.org/10.1016/j.crfs.2024.100720>.

Dias, A. C., da Silva, M. L., & de Souza, T. F. (2015). Analysis of the biodegradability of flexographic ink. In *Proceedings of the 2014 International Chemical Engineering Congress*.

Eslami, Z., Elkoun, S., Robert, M., & Adjallé, K. (2023). Review of the effect of plasticizers on the physical and mechanical properties of alginate-based films. **Molecules**, 28(18), 6637. <https://doi.org/10.3390/molecules28186637>.

FAO. (2021). **Assessment of agricultural plastics and their sustainability: A call for action**. FAO. <https://doi.org/10.4060/cb7856en>.

Faria, G. A., & Martins-Franchetti, S. M. (2010). Biodegradation of polypropylene (PP), poly(3-hydroxybutyrate) (PHB), and PP/PHB blend by microorganisms from Atibaia River waters. **Polymers**, 10(5), 24. <https://doi.org/10.1590/s0104-14282010005000024>.

Folino, A., Karageorgiou, A., Calabrò, P. S., & Komilis, D. (2020). Biodegradation of wasted bioplastics in natural and industrial environments: a review. **Sustainability**, 12(15), 6030. <https://doi.org/10.3390/su12156030>.

Friedrichsen, J. S. A., Ferreira, C. S. R., Frigo, G., Gomes, E. da S., Silva, J. F., Silva, P. G., Piacquádio, N. M., Araújo, E. dos S., & Santos, O. O. (2022). O uso do amido como proposta de embalagem biodegradável – Uma revisão. **Pesquisa, Sociedade e Desenvolvimento**, 11(14), e282111436449. <https://doi.org/10.33448/rsd-v11i14.36449>.

Garrison, T. F., Murawski, A., & Quirino, R. L. (2016). Bio-based polymers with potential for biodegradability. **Polymers**, 8(7), 262. <https://doi.org/10.3390/polym8070262>.

Grzybek, P., Dudek, G., & Van der Bruggen, B. (2024). Cellulose-based films and membranes: A comprehensive review on preparation and applications. **Chemical Engineering Journal**, 495, 153500. <https://doi.org/10.1016/j.cej.2024.153500>.

Gupta, R. K., Ali, E. A. E., Gawad, F. A. E., Daood, V. M., Sabry, H., Karunanithi, S., & Srivastav, P. P. (2024). Valorization of fruits and vegetables waste byproducts for development of sustainable food packaging applications. **Waste Management Bulletin**, 2(4), 21-40. <https://doi.org/10.1016/j.wmb.2024.08.005>.

Guzman-Puyol, S., Benítez, J. J., & Heredia-Guerrero, J. A. (2022). Transparency of polymeric food packaging materials. **Food Research International**, 161, 111792. <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2022.111792>.

Krepsky, P. B., et al. (2012). Chemical composition and vasodilatation induced by *Cuphea carthagenensis* preparations. **Phytomedicine**, 19(11), 953-957.

Lemos, H. M., Pinto, R. C., & da Silva, F. M. (2015). Potential application of lipopeptide-type biosurfactant in the bioremediation of contaminated environments. In **Proceedings of the 2014 International Chemical Engineering Congress**.

Lima, M. dos S., Monteiro, L. I. da S., Carvalho, A. J. de B. A., Bastos, D. C., Pimentel, T. C., & Magnani, M. (2024). A robust method for quantifying 42 phenolic compounds by RP-HPLC/DAD: columns performance and characterization of Brazilian Citrus peels. **Food Chemistry**, 460, 140807. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2024.140807>.

Luchese, C. L., Pavoni, J. M. F., & Tessaro, I. C. (2021). Influence of the incorporation form of waste from the production of orange juice in the properties of cassava starch-based films. **Food Hydrocolloids**, 114, 106730. <https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2021.106730>.

Luz, F. P., de Oliveira, P. A., & Gomes, S. M. (2022). Identification and assessment of determining factors in the composting process of biodegradable materials: a systematic review. **Brazilian Scientific Journal (Revista Científica Anap Brasil)**, 15(36), 1984-3240. <https://doi.org/10.17271/19843240153620223364>.

Maciel, F. S., Assis, R. Q., Rios, A. O., & Pertuzatti, P. B. (2025). Açai powder-enriched biodegradable starch films: Characterization, release in food simulants and protective effect in photodegradation system. *International Journal of Biological Macromolecules*, 308(4), 142420. <https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2025.142420>.

Martins, V. G., Romani, V. P., Martins, P. C., & Filipini, G. da S. (2019). Cap. 6 - Innovative packaging that saves food. In C. M. Galanakis (Ed.), *Saving Food* (p. 171–202). Academic Press. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-815357-4.00006-7>.

Pathare, P. B., Opara, U. L., & Al-Said, F. A.-J. (2012). Colour Measurement and Analysis in Fresh and Processed Foods: A Review. *Food and Bioprocess Technology*, 5(1), 36-60. <https://doi.org/10.1007/s11947-012-0867-9>.

Regmi, S., & Janaswamy, S. (2024). Biodegradable films from soyhull cellulosic residue with UV protection and antioxidant properties improve the shelf-life of post-harvested raspberries. *Food Chemistry*, 460(3), 140672. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2024.140672>.

Rodrigo, M. J., Alquézar, B., Alós, E., Lado, J., & Zacarías, L. (2013). Biochemical bases and molecular regulation of pigmentation in the peel of Citrus fruit. *Scientia Horticulturae*, 163, 46-62. <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2013.08.014>.

Saberi, B., et al. (2016). Optimization of physical and optical properties of biodegradable edible films based on pea starch and guar gum. *Industrial Crops and Products*, 86, 342-352. <https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2016.04.015>.

Sharma, B., et al. (2024). Recycling waste aluminium foil to bio-acceptable nano photocatalysts [aluminium oxide (Al₂O₃)& aluminium oxyhydroxide (AlOOH)]; dye degradation as proof-of-concept. *Materials Advances*. <https://doi.org/10.1039/d4ma00717d>.

Singh, S., Habib, M., Rao, E. S., et al. (2025). Uma visão geral abrangente de filmes de embalagem biodegradáveis: Parte I — fontes, aditivos e métodos de preparação. *Discover Food*, 5, 41. <https://doi.org/10.1007/s44187-025-00303-y>.

Taghavi Kevij, H., Salami, M., Mohammadian, M., Khodadadi, M., & Emam-Djomeh, Z. (2021). Mechanical, physical, and bio-functional properties of biopolymer films based on gelatin as affected by enriching with orange peel powder. *Polymer Bulletin*, 78, 4387–4402. <https://doi.org/10.1007/s00289-020-03319-9>.

Verma, S. K., Prasad, A., Sonika, & Katiyar, V. (2024). State of art review on sustainable biodegradable polymers with a market overview for sustainability packaging. *Materials Today Sustainability*, 26, 100776. <https://doi.org/10.1016/j.mtsust.2024.100776>.

Vespucci, P. D., de Freitas, G. R., & Campoi, A. C. (2022). Biodegradable starch-based films for application in small fruit production. *Brazilian Journal of Development*, 8(2), 390. <https://doi.org/10.34117/bjdv8n2-390>.

Wagner Jr., J. R. (Ed.). (2016). *Multilayer Flexible Packaging (2a ed.)*. William Andrew. <https://doi.org/10.1016/C2014-0-02918-8>.

Wei, D. W., Wei, H., Gauthier, A. C., Song, J., Jin, Y., & Xiao, H. (2020). Superhydrophobic modification of cellulose and cotton textiles: Methodologies and applications. *Journal of Bioresources and Bioproducts*, 5(1), 1–15. <https://doi.org/10.1016/j.jobab.2020.03.001>.

Zema, D. A., Calabrò, P. S., Folino, A., Tamburino, V., Zappia, G., & Zimbone, S. M. (2018). Valorisation of citrus processing waste: A review. *Waste Management*, 80, 252-273. <https://doi.org/10.1016/j.wasman.2018.09.024>.