

UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARANÁ

DANIEL SLOB

DESENVOLVIMENTO DE REVESTIMENTO COMESTÍVEL COM EXTRATO
DO FRUTO DE *ILEX PARAGUARIENSIS* A. ST. HIL PARA PROLONGAR A
VIDA ÚTIL DE MORANGOS

CURITIBA

2025

DANIEL SLOB

**DESENVOLVIMENTO DE REVESTIMENTO COMESTÍVEL COM EXTRATO
DO FRUTO DE *ILEX PARAGUARIENSIS A. ST. HIL* PARA PROLONGAR A
VIDA ÚTIL DE MORANGOS**

Dissertação apresentada ao curso de Pós-Graduação em Alimentação e Nutrição, Setor de Ciências da Saúde, Universidade Federal do Paraná, como requisito parcial à obtenção do título de Mestre em Alimentação e Nutrição

Orientadora: Profa. Dra. Sila Mary Rodrigues Ferreira

Coorientadora: Profa. Dra. Suelen Ávila

CURITIBA

2025

Slob, Daniel

Desenvolvimento de revestimento comestível com extrato do fruto de *Ilex paraguariensis* A. St. Hil para prolongar a vida útil dos morangos [recurso eletrônico] / Daniel Slob. – Curitiba, 2025.

1 recurso online : PDF

Dissertação (mestrado) – Programa de Pós-Graduação em Alimentação e Nutrição. Setor de Ciências da Saúde, Universidade Federal do Paraná, 2025.

Orientador: Profa. Dra. Sila Mary Rodrigues Ferreira

Coorientador: Profa. Dra. Suelen Ávila

1. *Ilex paraguariensis*. 2. Filmes comestíveis. 3. Frutas. 4. Antioxidantes. I. Ferreira, Sila Mary Rodrigues. II. Ávila, Suelen. III. Universidade Federal do Paraná. IV. Título.

CDD 583.982

Maria da Conceição Kury da Silva CRB 9/1275

TERMO DE APROVAÇÃO

Os membros da Banca Examinadora designada pelo Colegiado do Programa de Pós-Graduação ALIMENTAÇÃO E NUTRIÇÃO da Universidade Federal do Paraná foram convocados para realizar a arguição da Dissertação de Mestrado de **DANIEL SLOB**, intitulada: **Desenvolvimento de revestimento comestível com extrato do fruto de *Ilex paraguariensis A. St. Hil* para prolongar a vida útil de morangos**, sob orientação da Profa. Dra. SILA MARY RODRIGUES FERREIRA, que após terem inquirido o aluno e realizada a avaliação do trabalho, são de parecer pela sua APROVAÇÃO no rito de defesa.

A outorga do título de mestre está sujeita à homologação pelo colegiado, ao atendimento de todas as indicações e correções solicitadas pela banca e ao pleno atendimento das demandas regimentais do Programa de Pós-Graduação.

CURITIBA, 19 de Agosto de 2025.

Assinatura Eletrônica
27/08/2025 18:54:45.0
SILA MARY RODRIGUES FERREIRA
Presidente da Banca Examinadora

Assinatura Eletrônica
26/08/2025 08:53:06.0
CHRISTIANE DE QUEIROZ PEREIRA PINTO
Avaliador Interno (UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARANÁ)

Assinatura Eletrônica
27/08/2025 05:27:52.0
LETÍCIA MAZEPÁ
Avaliador Externo (UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARANÁ)

RESUMO

Revestimentos comestíveis biodegradáveis à base de compostos naturais têm se mostrado eficazes na conservação e no potencial bioativo. Assim, empregar frutos verdes da erva mate, *Ilex paraguariensis A. St. Hil* pode ser um potencial para mitigar o desperdício de frutas perecíveis, como o morango (*Fragaria × ananassa*). Desta forma, este estudo teve como objetivo desenvolver um revestimento comestível com extrato do fruto da erva mate para prolongar a vida útil de morangos. Após a seleção o fruto inteiro, foi desidratado, elaborado extratos e submetidos a análise físico-química e biológica. Posteriormente, foi desenvolvido um revestimento comestível a partir da farinha do fruto verde inteiro em diferentes concentrações (25%, 50% e 75%) que foi aplicado em morangos armazenados sob refrigeração por 16 dias e verificado a vida de prateleira e à bioacessibilidade dos compostos fenólicos por digestão *in vitro*. As análises indicaram que as frações casca e polpa, e semente desidratados possui umidade (4,53%), atividade de água (0,49), açúcares (1,31%) e lipídeos (1,23%), fibras (62,88%), potássio (1805,23 mg/g), cálcio (159,79 mg/g), magnésio (197,90 mg/g) e ferro (quantidade 80% maior na casca e polpa). A fração casca e polpa apresentou maior quantidade de cálcio e ferro, e compostos fenólicos representados pelo ácido clorogênico (290,24 mg/g), rutina (206,36 mg/g) e quercetina-3-ramnosídeo (39,28 mg/g). Ambas as frações exibiram significativa atividade antioxidante em métodos DPPH, ABTS e FRAP e ação antibacteriana contra patógenos alimentares como *Escherichia coli*, *Salmonella Typhimurium* e *Staphylococcus aureus*. Os revestimentos reduziram a perda de massa (até 35%) e mantiveram parâmetros físico-químicos como pH ($3,4 \pm 0,1$) e sólidos solúveis ($7,8 \pm 0,2$ °Brix). Formulações com maiores concentrações de extrato de FIP promoveram redução nas contagens microbianas de bolores e leveduras para menos de 2,0 log UFC/g até o 12º dia, enquanto o controle ultrapassou 5,0log UFC/g. O revestimento com 75% EFIP aumentou a bioacessibilidade dos compostos fenólicos e manteve elevada atividade antioxidante após digestão simulada, preservando coloração e acidez dos frutos. Esses resultados indicam que os frutos verdes de *Ilex paraguariensis* constituem uma fonte rica em compostos bioativos, fibras e minerais, com propriedades antioxidantes e antibacterianas que podem ser exploradas para o desenvolvimento de

tecnologias sustentáveis. O uso do extrato do FIP como ingrediente em revestimentos comestíveis oferece uma alternativa eficaz para prolongar a vida útil de alimentos perecíveis, reduzir desperdício e agregar valor à subprodutos agroindustriais. Dessa forma, esta pesquisa contribui para avanços na conservação natural de frutas, sustentabilidade agroindustrial e inovação tecnológica nas áreas de alimentos funcionais e embalagens biodegradáveis.

Palavras-chave: Revestimento Comestíveis; Erva-mate; Biopolímero; Antioxidantes; Morangos.

ABSTRACT

Biodegradable edible coatings based on natural compounds have proven effective for food preservation and bioactive potential. Thus, employing green fruits of yerba mate (*Ilex paraguariensis* A. St. Hil) may offer a promising strategy to mitigate the waste of highly perishable fruits such as strawberries (*Fragaria × ananassa*). Therefore, this study aimed to develop an edible coating formulated with an extract from yerba mate fruit to extend the shelf life of strawberries. After selection, the whole fruit, peel, seed, and pulp were dehydrated, used for extract preparation, and subjected to physicochemical and biological analyses. Subsequently, an edible coating was developed using whole green fruit flour at different concentrations (25%, 50%, and 75%), applied to strawberries stored under refrigeration for 16 days, and evaluated for shelf life and phenolic compound bioaccessibility through in vitro digestion. The analyses indicated that the dehydrated peel–pulp and seed fractions contained moisture (4.53%), water activity (0.49), sugars (1.31%), lipids (1.23%), fibers (62.88%), potassium (1805.23 mg/g), calcium (159.79 mg/g), magnesium (197.90 mg/g), and iron (80% higher in the peel–pulp fraction). The peel–pulp fraction presented higher levels of calcium, iron, and phenolic compounds, including chlorogenic acid (290.24 mg/g), rutin (206.36 mg/g), and quercetin-3-rhamnoside (39.28 mg/g). Both fractions exhibited significant antioxidant activity in DPPH, ABTS, and FRAP assays, as well as antibacterial effects against foodborne pathogens such as *Escherichia coli*, *Salmonella Typhimurium*, and *Staphylococcus aureus*. The coatings reduced mass loss (up to 35%) and maintained physicochemical parameters such as pH (3.4 ± 0.1) and soluble solids (7.8 ± 0.2 °Brix). Formulations with higher concentrations of FIP extract resulted in reduced mold and yeast counts to below 2.0 log CFU/g up to day 12, while the control exceeded 5.0 log CFU/g. The coating containing 75% EFIP increased the bioaccessibility of phenolic compounds and maintained high antioxidant activity after simulated digestion, while preserving color and acidity of the fruits. These findings indicate that green fruits of *Ilex paraguariensis* are a rich source of bioactive compounds, fibers, and minerals, with antioxidant and antibacterial properties that may be harnessed in the development of sustainable technologies. The use of FIP extract as an ingredient in edible coatings provides an effective alternative to extend the

shelf life of perishable foods, reduce waste, and add value to agro-industrial byproducts. Thus, this research contributes to advances in natural fruit preservation, agro-industrial sustainability, and technological innovation in the fields of functional foods and biodegradable packaging.

Keywords: edible coatings; yerba mate; biopolymer; antioxidants; strawberries.

LISTA DE FIGURAS

FIGURA 1 - FRUTO DE <i>ILEX PARAGUARIENSIS</i> A. ST. <i>HIL</i> E O PROCESSO DE MATURAÇÃO	20
FIGURA 2- ÁRVORE E FRUTOS DE <i>ILEX PARAGUARIENSIS</i> A. ST. <i>HIL</i>	37
FIGURA 3 - FLUXOGRAMA DA OBTENÇÃO DA FARINHA E DO EXTRATO DAS DIFERENTES PARTES DO FIP	38
FIGURA 4- FRUTO DE <i>ILEX PARAGUARIENSIS</i> A. ST. <i>HIL</i>	39
FIGURA 5 - COMPOSIÇÃO CENTESIMAL DOS <i>ILEX PARAGUARIENSIS</i> A. ST. <i>HIL</i>	40
FIGURA 6 - AMOSTRAS DURANTE O PROCESSO DE DIGESTÃO PARA MINERAIS.....	41
FIGURA 7- PREPARO DO EXTRATO DO FRUTO.	44
FIGURA 8 - ANÁLISE REALIZADA EM MICROPLACA.....	47
FIGURA 9 - FENÓLICOS TOTAIS (TPC) E FLAVONÓIDES TOTAIS (TFC) DAS FRAÇÕES DOS FRUTOS DE <i>ILEX PARAGUARIENSIS</i> A. ST. <i>HIL</i>	53
FIGURA 10 - ATIVIDADE ANTIOXIDANTE DAS FRAÇÕES DOS FRUTOS VERDES DE <i>ILEX PARAGUARIENSIS</i> A. ST. <i>HIL</i>	56
FIGURA 11 - MORANGOS COLETADOS E ACONDICIONADOS EM CAIXAS PARA TRANSPORTE.....	61
FIGURA 12 - OBTENÇÃO DO EXTRATO DO FRUTO INTEIRO E DO REVESTIMENTO COMESTÍVEL.....	63
FIGURA 13- SOLUÇÃO FILMOGÊNICA SENDO AQUECIDA E HOMOGENIZADA.....	64
FIGURA 14 - FLUXOGRAMA DO REVESTIMENTO E APLICAÇÃO	65
FIGURA 15 - MORANGOS APÓS SEREM LAVADOS.....	65
FIGURA 16 - MORANGOS SECANDO APÓS SEREM MERGULHADOS NA SOLUÇÃO DE REVESTIMENTO.....	66
FIGURA 17 –DIGESTIBILIDADE	68
FIGURA 18 - ANÁLISE DAS AMOSTRAS DURANTE O ARMAZENAMENTO	78
FIGURA 19 - COMPARATIVO DAS AMOSTRAS DURANTE A DIGESTIBILIDADE PARA TPC (A), TFC (B).	84

FIGURA 20 - COMPARATIVO DAS AMOSTRAS DURANTE A DIGESTIBILIDADE PARA ATIVIDADE ANTIOXIDANTE: FRAP (A), DPPH (B), ABTS (C)..... 86

LISTA DE QUADROS

QUADRO 1- OBJETIVOS DE DESENVOLVIMENTO SUSTENTÁVEL RELACIONADOS COM A PRODUÇÃO DE <i>ILEX PARAGUARIENSIS</i> A. ST. <i>HIL</i>	30
QUADRO 2 - CONCENTRAÇÃO INIBITÓRIA MÍNIMA EM G/ML DOS FRUTOS <i>ILEX PARAGUARIENSIS</i> A. ST. HIL	57
Quadro 3 - SEPARAÇÃO E ARMAZENAMENTO DOS MORANGOS	66

LISTA DE TABELAS

TABELA 1 - RECUPERAÇÃO PARA OS ELEMENTOS ANALISADOS	42
TABELA 2- PARÂMETROS INSTRUMENTAIS UTILIZADOS NO ICP OES ...	42
TABELA 3 - COMPOSIÇÃO CENTESIMAL DAS FARINHAS DOS FRUTOS DA ERVA MATE.....	49
TABELA 4 - À COMPOSIÇÃO E QUANTIFICAÇÃO DOS MINERAIS DOS FRUTOS DE <i>ILEX PARAGUARIENSIS A. ST. HIL</i> EM PESO SECO (mg/kg) ...	51
TABELA 5 - COMPOSTOS FENÓLICOS INDIVDUAIS DOS FRUTOS VERDES DE <i>ILEX PARAGUARIENSIS A. ST. HIL</i>	54
TABELA 6 - COMPOSIÇÃO CENTESIMAL, MINERAIS, COMPOSTOS FENÓLICOS, FENÓLICOS TOTAIS E ANTIOXIDANTE DA FARINHA DO FRUTO VERDE <i>ILEX PARAGUARIENSIS A. ST. HIL</i>	71
TABELA 7- COMPARAÇÃO DOS PARÂMETROS FÍSICO-QUÍMICOS DE MORANGOS REVESTIDOS COM EXTRATO DE FRUTO VERDE DE <i>ILEX PARAGUARIENSIS A. ST. HIL</i> (CE) E CONTROLE (SE) DURANTE 16 DIAS DE ARMAZENAMENTO	76

LISTA DE ABREVIATURAS OU SIGLAS

ABTS – 2,2'-Azino-bis (3-ethylbenzothiazoline-6-sulfonic acid)

DMSO - dimetilsulfóxido

DPPH – 2,2-Diphenyl-1-Picrylhydrazyl

FIP - Fruto de *Ilex paraguariensis A. St. Hil*

ODS – Objetivos do Desenvolvimento Sustentável

ONU – Organização das Nações Unidas

TFC - teor de flavonoides totais

TPC - teor de fenólicos totais

LC₅₀ - concentração letal média

UFPR - Universidade Federal do Paraná

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	15
1.1 OBJETIVOS	17
1.1.1 Objetivo geral	17
1.1.2 Objetivos específicos.....	17
CAPÍTULO I: REVISÃO DE LITERATURA.....	18
1.2 <i>ILEX PARAGUARIENSIS A.</i>	18
1.3 <i>ILEX PARAGUARIENSIS A. ST. HIL</i>	18
1.4 REVESTIMENTOS COMESTÍVEIS	21
1.4.1 Polissacarídeos	22
1.4.2 Plastificantes	23
1.4.3 Aditivos.....	24
1.5 MÉTODOS DE APLICAÇÃO.....	24
1.6 MORANGO	25
1.7 BACTÉRIAS PATÓGENAS.....	26
1.8 SEGURANÇA ALIMENTAR E NUTRICIONAL.....	28
CAPÍTULO II: CASCA POLPA E SEMENTE DO FRUTO VERDE DE <i>ILEX PARAGUARIENSIS A. ST. HIL</i>: CARACTERIZAÇÃO NUTRICIONAL, COMPOSTOS FENÓLICOS, CONTEÚDO MINERAL, ATIVIDADE ANTIOXIDANTE E ANTIBACTERIANA.....	35
2.1 INTRODUÇÃO	35
2.2 MATERIAIS E MÉTODOS.....	36
2.2.1 Tipo de pesquisa	36
2.2.2 Local do estudo	36
2.2.3 Secagem e seleção dos frutos	37
2.2.4 Separação das frações.....	39
2.2.5 Composição físico-química	39
2.2.6 Minerais.....	40
2.2.7 Obtenção do extrato do fruto de <i>Ilex paraguariensis A. St. Hil</i>	43
2.2.8 Compostos fenólicos	44
2.2.9 Atividades biológicas	46
2.2.10 Análise estatística	48
2.3 RESULTADOS	48

2.3.1 Características físicas do fruto	48
2.3.2 Composição físico-química	49
2.3.3 Compostos fenólicos	53
2.3.4 Atividades biológicas	55
2.3.5 Concentração inibitória mínima (CIM)	56
2.4 CONCLUSÃO.....	57
CAPÍTULO III: DESENVOLVIMENTO DE REVESTIMENTO COMESTÍVEL COM EXTRATO DO FRUTO DE <i>ILEX PARAGUARIENSIS A. ST. HIL</i> PARA PROLONGAR A VIDA ÚTIL DE MORANGOS.....	59
3.1 INTRODUÇÃO	59
3.2 MATERIAIS E METODOS.....	60
3.2.1 Tipo de estudo.....	60
3.2.2 Materiais.....	60
3.2.3 Obtenção da farinha do fruto inteiro e análises físico-químicas, compostos fenólicos e atividades biológicas	61
3.2.4 Toxicidade	61
3.2.5 Revestimento comestível	62
3.2.6 Aplicação do revestimento comestível	64
3.2.7 Avaliação da qualidade física e microbiológica de morangos com e sem revestimento.....	66
3.2.8 Avaliação Físico Química	67
3.2.9 Análise microbiológica.....	67
3.2.10 Digestibilidade	68
3.2.11 Análise estatística	69
3.3 RESULTADOS	69
3.3.1 Avaliação da Farinha do fruto verde de <i>Ilex paraguariensis A. St. Hil</i>	69
3.3.2 Avaliação da vida de prateleira de morangos com e sem revestimento ..	74
3.3.3 Avaliação da digestibilidade dos morangos com e sem revestimentos ...	82
3.4 CONCLUSÃO.....	88
4 CONSIDERAÇÕES FINAIS	89
REFERÊNCIAS.....	91
5 APENDICE - EXSICATA DA PLANTA UTILIZADA NA PESQUISA (TOMBO Nº 112288 – UFPR).....	108

6 ANEXO- ACEITE DO TRABALHO NA REVISTA FOOD RESEARCH INTERNATIONAL	109
---	------------

1 INTRODUÇÃO

A erva-mate é amplamente consumida como bebida estimulante no sul do Brasil, Uruguai e Argentina. A maioria dos cultivares é desenvolvida em ambientes de florestas nativas, proporcionando um impacto positivo na flora e fauna. Uma planta adulta de *Ilex paraguariensis A. St. Hil*, tem a capacidade de gerar aproximadamente 150kg de folhas, e esse tem sido o foco principal da colheita de erva-mate (Silva et al., 2018). A produção global de folhas atingiu 1,5 milhões de toneladas (FAOSTAT, 2021).

Em contraste, os frutos de *Ilex paraguariensis A. St. Hil* desempenham um papel secundário na produção comercial, com uma média de cerca de 20kg durante a vida da planta (Silva et al., 2018). O FIP possui sabor amargo, tornando-o não atrativo ao consumo. Tem sido considerado como um subproduto indesejado, utilizado apenas para a produção de novas plantas, enquanto o restante é descartado. Contudo, o FIP é rico em polifenóis e saponinas (Silva et al., 2018).

Uma alternativa promissora para explorar o potencial do FIP é a produção de extratos. Os extratos podem ser obtidos a partir de matérias-primas secas, com o objetivo de concentrar nutrientes e/ou compostos bioativos, maximizando seus benefícios e propriedades. Um estudo conduzido por Brito, de et al., (2021), revelou que o extrato do FIP possui propriedade de biopesticida natural contra caracóis, especificamente *Pomacea canaliculata*. Além disso, Silveira Hornung et al., (2020) exploraram a incorporação do extrato do fruto de *Ilex paraguariensis A. St. Hil* em três diferentes estádios de maturação (maduro, meio maduro, verde), em soluções filmogênicas de amido de milho e verificaram melhorias nas propriedades antioxidantes do material, além de evidenciar o potencial para o desenvolvimento de embalagens ecológicas.

Além dos filmes biodegradáveis que tem sido utilizados para embalagem, existem os revestimentos comestíveis, constituídos por uma fina camada aplicada diretamente nos alimentos. Nos últimos anos, os revestimentos têm sido explorados como um método promissor para a conservação de alimentos, desempenhando um papel significativo ao prolongar a vida útil dos

produtos, melhorar a aparência e, em alguns casos, servir como uma alternativa sustentável às embalagens de plástico.

As formulações dos revestimentos alimentícios são elaboradas a partir de fontes naturais, como polissacarídeos, proteínas, lipídios ou uma combinação desses componentes. Os revestimentos têm demonstrado eficácia como barreira mecânica e contra gases, incluindo dióxido de carbono (CO_2) e oxigênio (O_2). Tornando os revestimentos eficazes em retardar a senescência dos alimentos (Blancas-Benitez et al., 2022; Yaashikaa et al., 2023).

No estudo de Costa et al., (2023) foi possível observar que o uso de um revestimento comestível a base de amido de mandioca e extrato de nêspora, aumentou a vida útil dos morangos em até 16 dias, e preservou o ácido ascórbico. Os autores relacionaram esses benefícios a bioatividade do amido modificado, que reduziu a decomposição fúngica e o crescimento microbiano.

Os revestimentos comestíveis têm incorporado aditivos, sendo estes, em grande parte, extratos de plantas abundantes em compostos bioativos com propriedades antioxidantes e antimicrobianas. Essa prática confere maior valor nutricional aos alimentos revestidos, contribuindo assim para a extensão da vida útil dos produtos e, consequentemente, para a redução do desperdício alimentar (Blancas-Benitez et al., 2022; Suhag et al., 2020; Yaashikaa et al., 2023).

O desperdício de alimentos é um problema global. Estima-se que no mundo, sejam desperdiçadas cerca de 1,3 bilhões de toneladas de alimentos por ano, sendo 50% provenientes de frutas, hortaliças e raízes (FAOSTAT, 2021). Esse desperdício representa um uso significativo e desnecessário de recursos naturais, como água, terra e energia, além de gerar emissões de gases com efeito estufa (Moradi e Fathi, 2023).

Entre as frutas convencionais mais sujeitas ao desperdício, o morango se destaca, com uma produção superior a 9 milhões de toneladas em 2021 (FAOSTAT, 2021). Por ser uma fruta não climatérica, o morango precisa ser colhido quando já está maduro, tornando-a extremamente sensível e suscetível a infecção fúngica, danos fisiológicos ou mecânicos. Portanto, é necessário buscar novos métodos de conservação, como os revestimentos comestíveis que estão atualmente em desenvolvimento, visando minimizar o desperdício (An et al., 2023; Moraes, de et al., 2022).

Dada a relevância do tema e a crescente demanda por soluções sustentáveis que promovam o uso consciente dos recursos naturais e a valorização da Sociobiodiversidade, este estudo tem como objetivo desenvolver um revestimento comestível com extrato do fruto de *Ilex paraguariensis A. St. Hil* para prolongar a vida útil de morangos.

1.1 OBJETIVOS

1.1.1 Objetivo geral

Desenvolver um revestimento comestível com extrato do fruto de *Ilex paraguariensis A. St. Hil* para prolongar a vida útil de morangos.

1.1.2 Objetivos específicos

- Realizar a caracterização física do fruto verde de *Ilex paraguariensis A. St. Hil* (FIP)
- Determinar a composição físico-química das farinhas da casca e polpa, semente e do fruto verde inteiro de *Ilex paraguariensis A. St. Hil*;
- Quantificar o conteúdo de minerais das farinhas do FIP;
- Estimar o teor de compostos fenólicos e flavonoides das farinhas do FIP;
- Investigar a atividade antioxidante (DPPH, ABTS e FRAP) e antibacteriana das farinhas do FIP;
- Desenvolver revestimentos comestíveis utilizando o extrato da farinha do fruto verde inteiro de *Ilex paraguariensis A. St. Hil*;
- Avaliar a qualidade física e microbiológica de morangos com e sem revestimento durante 16 dias;
- Avaliar os compostos fenólicos totais, flavonoides totais, antocianinas totais e atividade antioxidante (FRAP, DPPH, ABTS) dos morangos com e sem revestimento, antes e após a digestibilidade in vitro.

CAPÍTULO I: REVISÃO DE LITERATURA

1.3 *ILEX PARAGUARIENSIS A. ST. HIL*

A *Ilex paraguariensis A. St. Hil* é uma árvore de porte médio, originária da América do Sul, de Florestas Ombrófila Mistas que pertence à família Aquifoliaceae. Há séculos, os indígenas sul-americanos a utilizam para fins terapêuticos. Atualmente, a planta é consumida principalmente na forma de bebida, e tem sido utilizada na produção de cosméticos (Bracesco et al., 2011; Mesquita et al., 2021).

É uma planta dióica, possuindo versões androesporângiados (masculino) e ginosporângiados (feminino). O caule possui de 20 a 25 cm de diâmetro, podendo chegar a 15 metros de altura em condições naturais, mas quando cultivada não passa dos 7 cm, pois a poda é recorrente. As folhas medem de 8 a 10 cm de comprimento e entre 4 e 5 cm de largura, em áreas de mata nativa, o qual a intensidade de luz é menor (Bracesco et al., 2011; Carvalho, 2003).

As plantações de *Ilex paraguariensis A. St. Hil* é predominantemente por cultivares nativos presentes no sul do Brasil, Argentina, Uruguai e Paraguai que resultaram em mais de 1,5 milhões de toneladas de folhas produzidas no mundo (FAOSTAT, 2021). No Brasil a produção foi de 880 mil toneladas (Brasil, 2020).

Segundo a normativa vigente a erva-mate é definida como um produto composto exclusivamente pelas folhas e ramos de *Ilex paraguariensis A. St. Hil* (Brasil, 2022). É consumida principalmente na forma de chimarrão, uma bebida quente e na forma gelada, conhecida como tereré. Em ambas as formas de consumo, as folhas verdes são submetidas ao processo de secagem e posterior moagem. No caso do preparo de chás, tanto quentes quanto frios, são obtidos a partir das folhas secas, que passam pelo processo de torrefação antes de serem moídas (Bracesco et al., 2011; Mesquita et al., 2021).

O consumo anual per capita no Uruguai é de 6 a 8kg, enquanto na Argentina é de 5kg. Além do consumo local, a erva-mate é exportada para outros países, onde é utilizada em bebidas energéticas nos EUA e misturada com outras ervas para a produção de chás energizantes na Europa. Além disso, a erva-mate também é utilizada na fabricação de produtos cosméticos. Portanto,

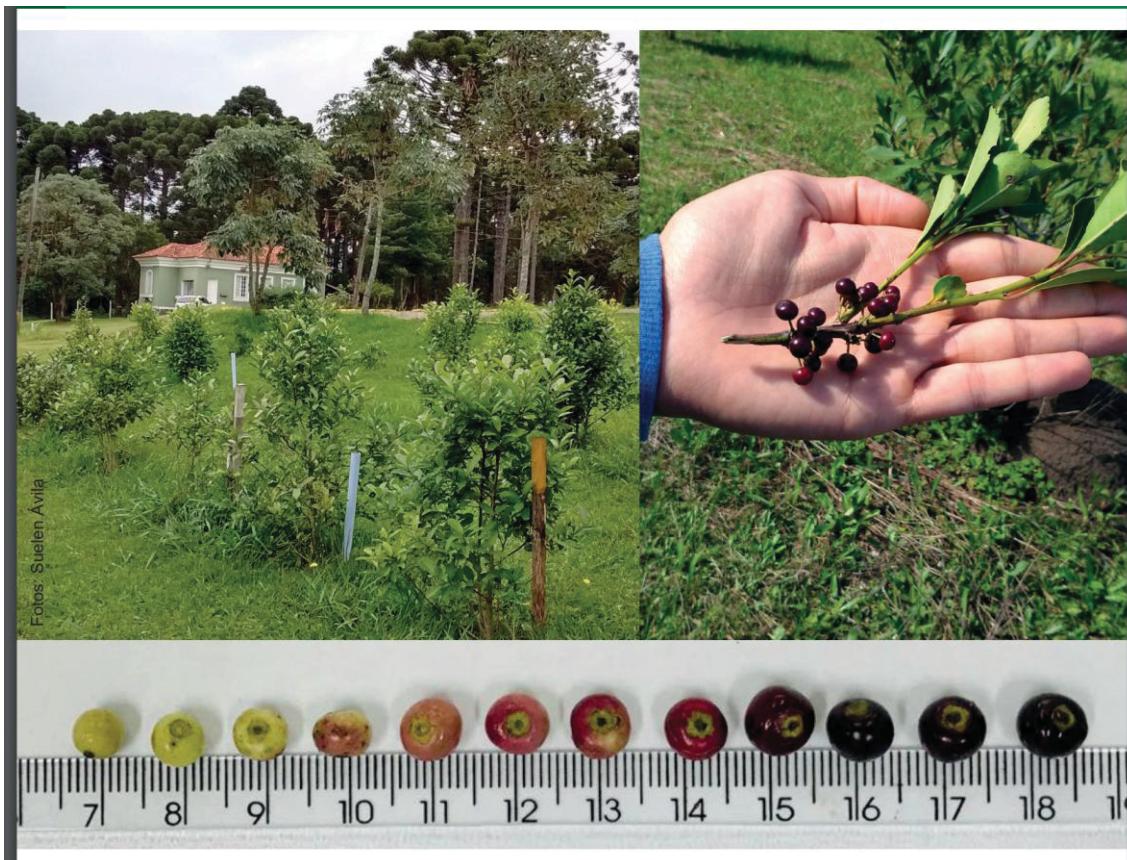
a erva-mate assume uma grande importância nessas regiões, tanto do ponto de vista cultural, quanto do ponto de vista econômico, em virtude do consumo e produção (Bracesco et al., 2011).

As folhas de *Ilex paraguariensis A. St. Hil* é rica em nutrientes e compostos bioativos, sendo amplamente pesquisada pelos benefícios à saúde. A composição química das folhas e talos inclui vitaminas C, B1 e B2 e minerais como P, Fe e Ca. Além disso, contém compostos bioativos como as metilxantinas (teobromina e cafeína), ácidos fenólicos (como ácidos clorogênico, 5-cafeoilquínico e cafeico); e flavonoides (como quercetina, kaempferol e rutina). Esses compostos conferem à erva-mate propriedades antioxidantes, anti-inflamatórias, antidiabéticas, antitrombóticas, anticancerígenas, analgésicas, estimulantes, antimicrobianas e antifúngicas (Bracesco et al., 2011; Mesquita et al., 2021).

O florescimento de *Ilex paraguariensis A. St. Hil* normalmente se inicia entre setembro e novembro, variando de acordo com a região. Depois da polinização, a flor se fecunda, dando origem aos frutos. Uma planta adulta tem a capacidade de produzir aproximadamente 20kg de frutos. Esses frutos classificados como do tipo baga, apresentam formato esférico, são pequenos com uma média de 6 mm de diâmetro e um peso de cerca de 130 mg. Cada fruto contém em média quatro sementes. O período de frutificação é de dezembro a janeiro e termina entre março e maio. Durante o processo de maturação, os frutos imaturos exibem uma coloração verde clara, transformando-se gradualmente em um tom de roxo intenso quando maduro, FIGURA 1 (Brito & Lazzarotto, 2019).

Nos frutos, alguns compostos já foram identificados, incluindo a vitamina E e minerais como o potássio, ferro, cobre, zinco, cálcio, a presença de cafeína, teobromina, saponinas, metilxantinas e os polifenóis como os flavonoides, já foram verificados nos frutos (Barbosa et al., 2015; Fernandes et al., 2016). Os frutos verdes apresentam altos teores de saponinas triterpênicas, conhecidas como matesaponinas. Conforme o processo de maturação do fruto avança, ocorrem alterações na composição química dos carboidratos, gorduras, saponinas e antocianinas, resultando em um fruto atrativo para os pássaros, com o intuito de disseminar as sementes (Colussi, 2011; Scotti Do Canto et al., 2010; Taketa, Breitmaier e Schenkel, 2004).

FIGURA 1 - FRUTO DE *ILEX PARAGUARIENSIS* A. ST. HIL E O PROCESSO DE MATURAÇÃO



FONTE: Brito e Lazzarotto (2019).

As saponinas, presentes no fruto verde da *Ilex paraguariensis* A. St. Hil, podem alcançar uma concentração de 47%. Em contraste, as folhas da mesma planta possuem concentrações de saponinas significativamente menores, variando de apenas 5 a 10%. Além disso, é importante notar que as saponinas encontradas nas folhas diferem das presentes nos frutos (Scotti Do Canto et al., 2010).

Taketa, Breitmaier e Schenkel, (2004) caracterizaram duas saponinas foram caracterizadas nos frutos, o matesídeo e o ilexosídeo II, que contribuem para o seu sabor characteristicamente amargo. O ilexosídeo II, em particular, é a saponina predominante no fruto e, não é encontrado nas folhas da erva-mate, destacando a diversidade química e sensorial dentro da mesma planta.

No estudo de Dahmer et al., (2012) isolaram a saponina chikusetsusaponin IV e verificaram o efeito antitrombótico da mesma. As

saponinas do fruto apresentaram atividade anti-tricomonas (Treter, 2010). Foi verificado que o extrato maduro de FIP, reduziu em 36% o colesterol e 42% do triglicerídeos em ratos, mas não houve alterações no nível glicêmico (Fernandes et al., 2016). Também foi possível verificar a atividade antifúngica do extrato de FIP verde, contra *Candida spp*. O extrato de FIP demonstrou ser um biopesticida natural contra o molusco *Pomacea canaliculata*, principalmente o fruto verde, por conter mais saponinas (Brito et al., 2021). O extrato de FIP foi utilizado junto com amido de milho para produzir um biofilme, que demonstrou baixo teor de umidade, indicando estabilidade contra o crescimento microbiano. O extrato de FIP maduro demonstrou maior plasticidade, e o extrato do fruto verde maior permeabilidade ao vapor de água (Silveira Hornung et al., 2020).

Devido à alta produção de folhas para o consumo de erva-mate, é também gerado uma grande quantidade de frutos, porém o fruto não é utilizado na indústria, pois a regulamentações brasileiras não permite utilizar o FIP na produção da erva-mate, assim como o fruto não é consumido gerando uma quantidade alta de descarte.

1.4 REVESTIMENTOS COMESTÍVEIS

Os revestimentos comestíveis têm sido tradicionalmente empregados como uma estratégia preventiva contra danos fisiológicos e contaminação microbiana em produtos alimentícios. Durante os séculos 12 e 13, os chineses desenvolveram um revestimento de cera para aplicação em limões e laranjas para protegê-los contra a deterioração microbiana. No cenário comercial, o primeiro material de revestimento foi introduzido em 1992, sendo utilizado como enceramento em frutas e vegetais (Suhag et al., 2020).

Os revestimentos e biofilmes são tecnologias biodegradáveis produzidos com compostos naturais, que surgem como alternativas aos materiais de embalagem sintéticos ou plásticos, corroborando à crescente demanda por soluções mais sustentáveis. Os revestimentos comestíveis e os biofilmes devem apresentar vários requisitos funcionais para melhorar a integridade e qualidade dos alimentos e prolongar a vida útil. Para tal devem contribuir para ação antimicrobiana, reduzir a perda de umidade, retardar a deterioração, minimizar a

oxidação lipídica (Andriani e Abyor Handayani, 2023; Blancas-Benitez et al., 2022).

Os revestimentos e biofilmes apresentam diferenças significativas. Os revestimentos comestíveis podem ser aplicados diretamente na superfície das frutas, vegetais e outros produtos alimentícios. Enquanto o biofilme é utilizado como material de embalagem de embrulho (Andriani e Abyor Handayani, 2023; Suhag et al., 2020).

Os revestimentos comestíveis, não possuem uma normativa específica na legislação brasileira, porém são considerados aditivos alimentares, conforme a RDC Nº 8, de 6 de março de 2013, que trata do uso de aditivos alimentares para produtos de frutas, vegetais, frutas in natura ou vegetais embalados e com tratamento de superfície são classificados como aditivos alimentares (Brasil, 2013).

A normativa mais recente sobre aditivos, a RDC Nº 778 (Brasil, 2013) define aditivo alimentar como “todo ingrediente adicionado intencionalmente aos alimentos, sem propósito de nutrir, com o objetivo de modificar as características físicas, químicas, biológicas ou sensoriais, durante a fabricação, processamento, preparação, tratamento, embalagem, acondicionamento, armazenagem, transporte ou manipulação de um alimento”. Estabelece que os aditivos alimentares devem ser seguros para a saúde humana e possuir uma justificativa de uso, seja ela tecnológica, sanitária, nutricional ou sensorial.

As formulações dos revestimentos comestíveis são geralmente compostas por polissacarídeos, proteínas, lipídios e plastificantes, ou uma combinação desses. Os revestimentos podem ser aprimorados incorporando compostos bioativos, com o intuito de incrementar vitaminas, flavonoides, polifenóis, aumentando a atividade antioxidante e antimicrobiana (Blancas-Benitez et al., 2022).

1.4.1 Polissacarídeos

Entre os polissacarídeos mais utilizados está o amido, devido ao baixo custo, ecológico e não alergênico. Os amidos apresentam geralmente na composição amilose e amilopectina, compostas por unidades de D-glucopiranose ligadas. O amido é um material base eficaz para filmes com boas

propriedades de barreira contra gases, transparência, insipidez e inodoro. No entanto, a natureza hidrofílica do amido pode comprometer a capacidade de proteção contra a água e resistência à tração. Essas limitações podem ser compensadas quando os revestimentos de amido também utilizem misturas compostas (Chettri, Sharma e Mohite, 2023; Suhag et al., 2020).

O amido de mandioca, comumente utilizado nas formulações de revestimentos comestíveis. O amido de mandioca, é proveniente do processamento da mandioca (*Manihot esculenta Crantz*), cultivada em regiões tropicais e subtropicais, como África, Ásia e América do Sul, com a produção mundial de 268 milhões de toneladas. A mandioca pode crescer em solo pobre com alta tolerância às mudanças climáticas e baixo custo de plantio, o que é um suplemento essencial para as culturas básicas. No entanto, quando fresca é perecível e não suporta armazenamento prolongado, sendo necessário a transformação em amido de mandioca e farinha de mandioca para aumentar a estabilidade e o armazenamento a longo prazo (Jia et al., 2025; Zhang et al., 2025a; Zhu, 2015). O amido de mandioca, é conhecido pela capacidade de gelatinização e retrogradação, isso ocorre devido a concentração de 15% a 25% de amilose, e pelo amido ceroso, sendo amplamente utilizado na indústria alimentícia como espessante e estabilizante (Zhao et al., 2011).

1.4.2 Plastificantes

Os plastificantes são componentes fundamentais nas formulações de revestimentos, pois melhoram consideravelmente as propriedades físicas, mecânicas e de barreira dos filmes. Os plastificantes mais utilizados são o glicerol, o sorbitol e o polietilenoglicol (Blancas-Benitez et al., 2022; Chettri, Sharma e Mohite, 2023).

Esses compostos, de baixo peso molecular, conseguem diminuir as interações intermoleculares entre as cadeias poliméricas. Esse processo de modificação leva a um aprimoramento das propriedades funcionais, organolépticas e nutricionais dos revestimentos (Suhag et al., 2020).

Entre os benefícios dos plastificantes é observado uma melhora mecânica nos revestimentos principalmente pela flexibilidade e aumento na proteção

contra perda de umidade, não alterando a cor do revestimento (Blancas-Benitez et al., 2022; Costa et al., 2023).

1.4.3 Aditivos

As pesquisas recentes na área de revestimentos têm utilizado aditivos nas formulações. Esses aditivos, geralmente derivados de extratos vegetais ou outros componentes seguros para a saúde humana, são ricos em compostos bioativos como o grupo de polifenóis (flavonoides e antocianinas), entre outros. Esses compostos contribuem para o aumento das propriedades antioxidantes e antimicrobianas dos revestimentos (Blancas-Benitez et al., 2022; Suhag et al., 2020).

A aplicação de revestimentos comestíveis enriquecidos com esses agentes ativos não só protege as frutas contra o desenvolvimento de patógenos, mas também pode melhorar a estrutura e as propriedades físico-químicas dos filmes. A interação entre os componentes da formulação do revestimento desempenha um papel crucial na preservação da qualidade da fruta (Blancas-Benitez et al., 2022; Suhag et al., 2020).

A aplicação de revestimento comestível à base de goma guar, enriquecido com *Aloe vera* e *Spirulina platenses*, conseguiu conservar o teor de ácido ascórbico, fenólicos totais e atividade antioxidante de mangas armazenadas em temperatura ambiente durante 21 dias (Ebrahimi e Rastegar, 2020). De Costa et al., (2023) desenvolveu um revestimento com amido de mandioca e enriquecido com extrato de semente de nêspera, capaz de preservar o ácido ascórbico além de estender a vida útil em morangos.

1.5 MÉTODOS DE APLICAÇÃO

A eficácia dos revestimentos em alimentos é dependente da forma de aplicação. A escolha do método de aplicação depende do alimento que será revestido bem como características da superfície e da geometria do alimento e se o produto a ser revestido é inteiro ou fatiado (Blancas-Benitez et al., 2022; Suhag et al., 2020; Yaashikaa et al., 2023).

Para frutas e legumes os métodos mais utilizados são imersão, pulverização, escovação, sendo a imersão o mais conhecido. (Blancas-Benitez et al., 2022; Suhag et al., 2020; Yaashikaa et al., 2023).

O método de mergulho envolve a imersão do material alimentar em um recipiente com a solução de revestimento. Esse método é especialmente útil para alimentos que necessitam de revestimento completo (antimicrobiano, antioxidante, nutricional etc.), e que apresentaram superfície complexa ou rugosa (Suhag et al., 2020; Yaashikaa et al., 2023).

O método de imersão consiste em três etapas. A primeira etapa é o mergulho, o qual o alimento é submerso na solução, com quantidade suficiente para cobrir o alimento inteiro. Essa etapa o alimento fica um período específico na solução para a interação completa com o revestimento (Suhag et al., 2020).

Na segunda etapa, chamada de deposição, ocorre a drenagem do excesso de solução. A espessura do revestimento depende das características densidade, viscosidade, tensão superficial da solução (Suhag et al., 2020).

Por último, a evaporação, nessa etapa, ocorre a secagem do revestimento e evaporação de solventes. O revestimento será seco em temperatura ambiente ou com auxílio de um secador (Suhag et al., 2020).

1.6 MORANGO

Conhecido por seu sabor característico e aroma atraente, o morango (*Fragaria × ananassa*) é uma das frutas mais utilizadas em produtos de confeitoria e amplamente consumidas no mundo. Essas qualidades sensoriais, contribuem para alta produção mundial, que alcançou 9 milhões de toneladas em 2021, enquanto no Brasil foram produzidas cerca de 197 mil toneladas, conforme dados da FAO FAO STAT.

Além das qualidades sensoriais e ampla aceitação no mercado, morango é rico em vitamina C, carotenoides, minerais e antioxidantes, sendo benéficos a saúde humana (Satitmunnaithum et al., 2022; Thi Hang Phuong et al., 2024).

Por ser uma fruta não climatérica, os morangos são colhidos quando estão no estágio final de maturação. Nessa fase a casca da fruta é extremamente fina e sensível, tornando-a suscetível a danos mecânicos, seja na colheita,

manuseio, transporte ou até mesmo por compressão entre as frutas. Os danos mecânicos na fruta facilitam a entrada de microrganismos, sendo prejudicial a vida útil, (Ktenioudaki et al., 2022; Satitmunnaithum et al., 2022).

Por ter uma alta atividade água, os morangos são suscetíveis a ataques de microrganismos como mofos, bolor e levedura, tendo vida útil em temperatura ambiente de 2 dias, enquanto em refrigeração de 5 dias. A deterioração da fruta após a colheita é frequentemente causada por leveduras e fungos, como o mofo cinza por *Botrytis cinerea* e a podridão de *Rhizopus* por *Rhizopus stolonifer*. Já quando a fruta apresenta lesões é possível encontrar *Bacillus sp.*, *Pseudomonas sp.* e *Curtobacterium sp.*, e *alternaria sp.*, *Aspergillus sp.*, *Cryptococcus sp.* e *Ustilago sp.* O aumento no crescimento microbiano não leva apenas a redução na vida útil, mas também a perda na qualidade dos compostos bioativos (Cefola et al., 2023; Satitmunnaithum et al., 2022a).

A perda pós-colheita nos morangos é de 25% a 50% no Brasil (Turquett et al., 2021), corroborando com o estudo da Secretaria de Agricultura e Abastecimento de São Paulo que verificou uma perda de 40% no CEASA do estado (Cagnin et al., 2012). Esse alto desperdício do morango, eleva o preço da fruta, assim como uso desnecessário de recursos (Ktenioudaki et al., 2022).

1.7 BACTÉRIAS PATÓGENAS

Considerando a elevada perecibilidade dos morangos e susceptibilidade à contaminação por microrganismos, o controle microbiológico torna-se essencial para garantir a segurança alimentar e a qualidade do produto ao consumidor. Além das bactérias deteriorantes, que afetam diretamente a vida útil e o aspecto sensorial da fruta, existem também as bactérias patogênicas, que representam um risco à saúde pública (Ktenioudaki et al., 2022).

Nesse contexto, compreender a natureza e o comportamento dessas bactérias patogênicas é fundamental, visto que o controle dessas espécies representa um dos principais desafios enfrentados pela medicina e pela indústria de alimentos, devido ao impacto significativo na economia mundial (Velhner et al., 2022). Além de possuírem resistência intrínseca, as bactérias também podem adquirir genes de resistência a antibióticos. Entre as bactérias patogênicas que representam um desafio crescente, destacam-se espécies

como *Staphylococcus aureus*, *Escherichia coli* e *Salmonella Typhimurium*, cujas características e resistência são preocupantes (Velhner et al., 2022).

O *Staphylococcus aureus*, que é uma bactéria Gram-positiva que é um patógeno humano e causa doenças leves a graves, apresenta resistência a muitos antibióticos devido a mutações que levam à alteração dos locais de ligação dos antibióticos e à alta expressão de bombas de efluxo (Jensen e Lyon, 2009)

A *Escherichia coli* (E. coli) é uma bactéria gram-negativa normalmente presente na microbiota intestinal humana. Entretanto, algumas cepas patogênicas de E. coli podem provocar doenças em humanos, incluindo infecções intestinais, como diarreia e disenteria, além de infecções extraintestinais, como as do trato urinário, respiratório, meningite e sepse. Em termos de morbidade e mortalidade, essas cepas patogênicas representam um significativo desafio para a saúde pública, acarretando um impacto econômico global de bilhões de dólares anuais. O tratamento de infecções diarreicas por E. coli não inclui, geralmente, o uso de antibióticos como primeira opção, sendo especialmente evitados em casos de diarreia sanguinolenta devido ao risco aumentado de desenvolvimento de síndrome hemolítico-urêmica (Pokharel, Dhakal e Dozois, 2023; Velhner, Milanov e Aleksić, 2022).

A *Salmonella Typhimurium* que também é uma bactéria Gram-negativa e está presente universalmente na cadeia alimentar humana, levando as pessoas a síndromes clínicas diversas como a gastroenterite (Alotaibi et al., 2024)

De modo geral, as bactérias gram-negativas tendem a ser mais resistentes aos agentes antimicrobianos do que as gram-positivas, devido à membrana celular mais complexa, que contém lipopolissacarídeos (Gauba e Rahman, 2023)

A resistência a antibióticos é considerada um problema mundial, pois as bactérias utilizam vias metabólicas específicas para aumentar a capacidade de adaptação, colonizar o intestino e se organizar em comunidades. Isso torna necessário encontrar novas estratégias terapêuticas para enfrentar a alta taxa de mortalidade causada por bactérias patogênicas resistentes a antibióticos (goanar,2024). As plantas têm demonstrado uma excelente alternativa como agente antimicrobioano, devido aos metabólitos secundários, como alcalóides, glicosídeos, terpenóides, saponinas, esteróides, flavonóides, taninos, quinonas

e cumarinas, que possuem efeito de inibir bactérias. (Goanar, Tafesse e Fereja, 2024).

1.8 SEGURANÇA ALIMENTAR E NUTRICIONAL

O avanço da resistência bacteriana, assim como o crescente desperdício de alimentos, representa uma ameaça direta à Segurança Alimentar e Nutricional, pois compromete a inocuidade dos alimentos, aumenta os riscos à saúde pública e gera impactos econômicos significativos. Esses problemas refletem falhas estruturais do modelo agroalimentar hegemônico, caracterizado por sistemas produtivos intensivos, homogêneos e fortemente dependentes de insumos industriais, que desconsideram a sustentabilidade, a diversidade alimentar e o equilíbrio ecológico (gonar e Souza filho 2021).

A compreensão das causas estruturais desse modelo agroalimentar exige a análise dos processos históricos e políticos que possibilitaram consolidação ao longo do tempo. O sistema agroalimentar que sustenta o regime alimentar contemporâneo foi moldado por processos históricos e políticos que transformaram a dinâmica da produção e consumo de alimentos no mundo. Um marco decisivo foi a Revolução Verde, que introduziu uma nova política agrícola sob o pretexto de combater a pobreza mundial (Friedmann, 1989). Esse movimento disseminou o uso de sementes híbridas, fertilizantes químicos, tecnologia avançada e insumos industriais, formando um pacote tecnológico amplamente comercializado para agricultores, especialmente no Hemisfério Sul. Como resultado, houve uma expansão significativa da produção de commodities agrícolas (Rigon, 2012; Vasconcelos, 2005).

No entanto, a uniformização das sementes imposta por esse modelo reduziu a biodiversidade ambiental, estabelecendo um sistema hegemônico de produção que também impactou negativamente a diversidade alimentar e contribuiu para a expropriação das culturas alimentares tradicionais (Araújo, 2016; Bezerra, 2021). Em contrapartida, surge a agroecologia como um movimento contra-hegemônico, integrando os saberes da agronomia e da ecologia. Esse modelo propõe práticas agrícolas sustentáveis, que respeitam as interações naturais e promovem a preservação do ecossistema, além de

favorecer a diversidade de cultivos e a soberania alimentar (Souza filho et al., 2021).

Neste contexto, a *Ilex paraguariensis* A. St. Hil, uma planta da biodiversidade brasileira, possui alta influência na região sul do Brasil, tanto em questões históricas, culturais, financeiras e ambientais. O consumo de bebidas como tereré e chimarrão, é uma das características da população sul do Brasil, impactando na história, cultura e sociedade, pois, além do consumo, essas bebidas geralmente são consumidas em “rodas de conversas”, além de possuir efeitos benéficos a saúde do indivíduo (C. G. F. da Silva et al., 2018; Mesquita et al., 2021).

Mesmo com uma produção anual de 1,5 milhões de toneladas de folhas de erva-mate de acordo com a FAOSTAT (2021), a produção é uma atividade econômica de agricultura sustentável, pois a produção está localizada em habitat natural, além de não possuir agrotóxicos para serem utilizados. Os benefícios agroecológicos estão conectados com as ODS da ONU. Em 2015 a ONU, desenvolveu as ODS que consistem em 17 metas socioeconômicas para erradicar a pobreza, proteger o meio ambiente e o clima, e promover a saúde e o bem-estar de todas as pessoas (ONU, 2015).

Dessa forma, a produção de erva-mate no Brasil se alinha a diversas políticas públicas e estratégias nacionais que fortalecem a segurança alimentar e nutricional, bem como práticas sustentáveis de produção e consumo. No Brasil, existem vários programas e leis que corroboram com as diretrizes da ONU, incluindo a Política Nacional de Alimentação e Nutrição (PNAN), e o Sistema Nacional de Segurança Alimentar e Nutricional (SISAN). O PNAN tem como objetivo promover as condições de alimentação, nutrição e saúde da população brasileira, por meio de práticas alimentares adequadas e saudáveis, vigilância alimentar. Enquanto o SISAN é uma gestão intersetorial entre os poderes do país, unindo diversas áreas entre elas a agricultura e nutrição. No SISAN inclui ações que promovem práticas de produção e consumo sustentáveis, a redução do desperdício de alimentos e a promoção da reciclagem e do reaproveitamento de resíduos (Brasil, 1999, 2006).

Sob essa perspectiva, o aproveitamento dos frutos de *Ilex paraguariensis* A. St. Hil, tradicionalmente descartados, para o desenvolvimento de revestimentos comestíveis representa uma estratégia

promissora para agregar valor a uma matéria-prima subutilizada, gerando novas oportunidades econômicas para as famílias agricultoras. Ao estimular o uso integral da planta, contribui para o fortalecimento da economia local, geração de renda e promoção da qualidade de vida, favorecendo a permanência das famílias no campo. Tais ações se articulam diretamente com os princípios das ODS (QUADRO 1), ao propor soluções sustentáveis para a redução de perdas e desperdícios ao longo da cadeia alimentar (Blancas-Benitez et al., 2022; Fernandes, 2016)

A aplicação de revestimentos comestíveis em morangos contribui para prolongar a vida útil dos alimentos e reduzir o desperdício, o que implica menor uso de recursos naturais, como água e terra, colaborando com a sustentabilidade e dos sistemas agroalimentares e, consequentemente, com a promoção da Segurança Alimentar e Nutricional (Blancas-Benitez et al., 2022; Yaashikaa et al., 2023).

QUADRO 1- OBJETIVOS DE DESENVOLVIMENTO SUSTENTÁVEL RELACIONADOS COM A PRODUÇÃO DE *ILEX PARAGUARIENSIS A. ST. HIL.*

Objetivos de Desenvolvimento Sustentável	Objetivo Geral do ODS	Objetivo Específico do ODS	Relação das ODS com a dissertação
2 – Fome zero e agricultura sustentável	Erradicar a fome, alcançar a segurança alimentar, melhorar a nutrição e promover a agricultura sustentável	2.2 Até 2030, acabar com todas as formas de desnutrição, incluindo atingir, até 2025, as metas acordadas internacionalmente sobre nanismo e caquexia em crianças menores de cinco anos de idade, e atender às necessidades nutricionais dos adolescentes, mulheres grávidas e lactantes e pessoas idosas.	O estudo dos frutos de <i>Ilex paraguariensis A. St. Hil</i> contribui para o aproveitamento integral de uma espécie nativa, agregando valor a um subproduto pouco explorado da cadeia produtiva da erva-mate. A caracterização nutricional e bioativa pode apoiar estratégias de diversificação agrícola e de desenvolvimento de alimentos funcionais,

		<p>2.3 Até 2030, dobrar a produtividade agrícola e a renda dos pequenos produtores de alimentos, particularmente das mulheres, povos indígenas, agricultores familiares, pastores e pescadores, inclusive por meio de acesso seguro e igual à terra, outros recursos produtivos e insumos, conhecimento, serviços financeiros, mercados e oportunidades de agregação de valor e de emprego não agrícola.</p> <p>2.4 Até 2030, garantir sistemas sustentáveis de produção de alimentos e implementar práticas agrícolas resilientes, que aumentem a produtividade e a produção, que ajudem a manter os ecossistemas, que fortaleçam a capacidade de adaptação às mudanças climáticas, às condições meteorológicas extremas, secas,</p>	<p>promovendo segurança alimentar e nutricional de forma sustentável. Com a valorização do fruto da erva mate o que pode trazer de benefícios as comunidades que exploram essa planta, como a geração de renda as famílias.</p>
--	--	---	---

		<p>inundações e outros desastres, e que melhorem progressivamente a qualidade da terra e do solo.</p> <p>2.5 Até 2020, manter a diversidade genética de sementes, plantas cultivadas, animais de criação e domesticados e as respectivas espécies selvagens, inclusive por meio de bancos de sementes e plantas diversificados e bem geridos em nível nacional, regional e internacional, e garantir o acesso e a repartição justa e equitativa dos benefícios decorrentes da utilização dos recursos genéticos e conhecimentos tradicionais associados, como acordado internacionalmente.</p>	
8-Trabalho decente e crescimento econômico	Promover o crescimento econômico sustentado, inclusivo e sustentável, emprego pleno e produtivo e trabalho decente para todas e todos	<p>8.1 Sustentar o crescimento econômico per capita de acordo com as circunstâncias nacionais e, em particular, um crescimento anual de pelo menos 7% do produto interno bruto [PIB] nos países menos desenvolvidos.</p>	<p>A valorização dos frutos de <i>Ilex paraguariensis A. St. Hil</i> pode fomentar novas cadeias produtivas regionais, gerar renda a pequenos produtores e incentivar práticas de economia circular e bioeconomia. A pesquisa incentiva o uso eficiente de recursos naturais,</p>

		<p>8.4 Melhorar progressivamente, até 2030, a eficiência dos recursos globais no consumo e na produção, e empenhar-se para dissociar o crescimento econômico da degradação ambiental, de acordo com o Plano Decenal de Programas sobre Produção e Consumo Sustentáveis, com os países desenvolvidos assumindo a liderança.</p>	<p>reduzindo perdas e agregando valor ao setor</p>
9- Indústria, inovação e infraestrutura	<p>Construir infraestruturas resilientes, promover a industrialização inclusiva e sustentável e fomentar a inovação</p>	<p>9.1 Desenvolver infraestrutura de qualidade, confiável, sustentável e resiliente, incluindo infraestrutura regional e transfronteiriça, para apoiar o desenvolvimento econômico e o bem-estar humano, com foco no acesso equitativo e a preços acessíveis para todos.</p> <p>9.b Apoiar o desenvolvimento tecnológico, a pesquisa e a inovação nacionais nos países em desenvolvimento, inclusive garantindo um ambiente político propício para, entre outras coisas, a</p>	<p>O desenvolvimento de revestimentos comestíveis a partir de <i>Illex paraguariensis A. St. Hil</i> representa inovação tecnológica com potencial aplicação na indústria alimentícia e farmacêutica. A pesquisa estimula a inovação em biotecnologia e processamento sustentável de alimentos.</p>

		diversificação industrial e a agregação de valor às commodities.	
12- Consumo e produção responsáveis	Assegurar padrões de produção e de consumo sustentáveis	12.2 Até 2030, alcançar a gestão sustentável e o uso eficiente dos recursos naturais. 12.3 Até 2030, reduzir pela metade o desperdício de alimentos per capita mundial, nos níveis de varejo e do consumidor, e reduzir as perdas de alimentos ao longo das cadeias de produção e abastecimento, incluindo as perdas pós-colheita.	O aproveitamento integral dos frutos contribui para reduzir o desperdício agroindustrial e promover o uso eficiente dos recursos naturais. O revestimento comestível desenvolvido representa uma alternativa sustentável que prolonga a vida útil de frutas, reduzindo perdas pós-colheita e consumo de embalagens plásticas.
15- Vida terrestre	Proteger, recuperar e promover o uso sustentável dos ecossistemas terrestres, gerir de forma sustentável as florestas, combater a desertificação, deter e reverter a degradação da terra e deter a perda de biodiversidade	15.1 Até 2020, assegurar a conservação, recuperação e uso sustentável de ecossistemas terrestres e de água doce interiores e seus serviços, em especial florestas, zonas úmidas, montanhas e terras áridas, em conformidade com as obrigações decorrentes dos acordos internacionais. 15.2 Até 2020, promover a	O uso sustentável da erva-mate, espécie nativa da Mata Atlântica, valoriza a biodiversidade e incentiva o manejo florestal responsável. A pesquisa reforça a importância da conservação de espécies autóctones e do uso sustentável dos recursos vegetais regionais.

	<p>implementação da gestão sustentável de todos os tipos de florestas, deter o desmatamento, restaurar florestas degradadas e aumentar substancialmente o florestamento e o reflorestamento globalmente.</p> <p>15.5 Tomar medidas urgentes e significativas para reduzir a degradação de habitat naturais, deter a perda de biodiversidade e, até 2020, proteger e evitar a extinção de espécies ameaçadas</p>	
--	---	--

FONTE: Adaptado da ONU (2025).

CAPÍTULO II: CASCA POLPA E SEMENTE DO FRUTO VERDE DE *ILEX PARAGUARIENSIS* A. ST. HIL: CARACTERIZAÇÃO NUTRICIONAL, COMPOSTOS FENÓLICOS, CONTEÚDO MINERAL, ATIVIDADE ANTIOXIDANTE E ANTIBACTERIANA.

2.1 INTRODUÇÃO

As folhas de erva-mate possuem grande importância comercial e cultural, especialmente no sul do Brasil, Argentina e Uruguai, onde são amplamente consumidas como bebida, contribuindo para a economia regional e preservação de tradições locais (Bracesco et al., 2011).

Em contrapartida, os frutos de *Ilex paraguariensis* A. St. Hil, apresentam sabor amargo, o que o torna pouco atrativo para consumo in natura. Tem sido considerado um subproduto indesejado, sendo que apenas uma pequena parte

é utilizada para a produção de novas plantas, e o restante é descartado (Bracesco et al., 2011; Silva, da et al., 2018) .

Assim, como as folhas são ricos em compostos fenólicos, como ácido clorogênico, ácido cafeico, quercetina e kaempferol (Bracesco et al., 2011; Mesquita et al., 2021; Silveira Hornung et al., 2020) (Silveira Hornung et al., 2020) identificaram compostos fenólicos nos três diferentes estádios de maturação (maduro, meio maduro e verde) dos frutos de *Ilex paraguariensis A. St. Hil.*, e ao aplicarem os extratos em soluções filmogênicas de amido de milho, observaram um maior potencial antioxidante nos filmes com extrato do fruto verde. Além disso, um estudo conduzido por Brito, de et al. (2021) revelou que o extrato do FIP verde apresenta propriedades de biopesticida natural contra caracóis, especificamente *Pomacea canaliculata*.

Entretanto, a caracterização nutricional, bioativa e biológica do FIP verde é limitada, e nenhum estudo até o momento inclui dados das frações de casca, polpa e semente separadamente. Essas frações desempenham funções distintas e, consequentemente, possuem composições diferentes. Bonin et al. (2024), identificaram que a casca e a polpa da grumixama (*Eugenia brasiliensis Lam.*) apresentaram teores mais elevados de minerais, TPC (conteúdo fenólico total) e catequinas em comparação com a semente. Phuong Ha et al. (2022) verificaram TPC, TFC e atividade antioxidante maior nas sementes de tamarindo do que a polpa.

Diante disso, o objetivo deste estudo foi caracterizar os componentes nutricionais (macronutrientes e minerais), os compostos fenólicos, bem como a atividade antioxidante e antibacteriana das frações de casca e polpa, e a semente do fruto verde de *Ilex paraguariensis A. St. Hil.*

2.2 MATERIAIS E MÉTODOS

2.2.1 Tipo de pesquisa

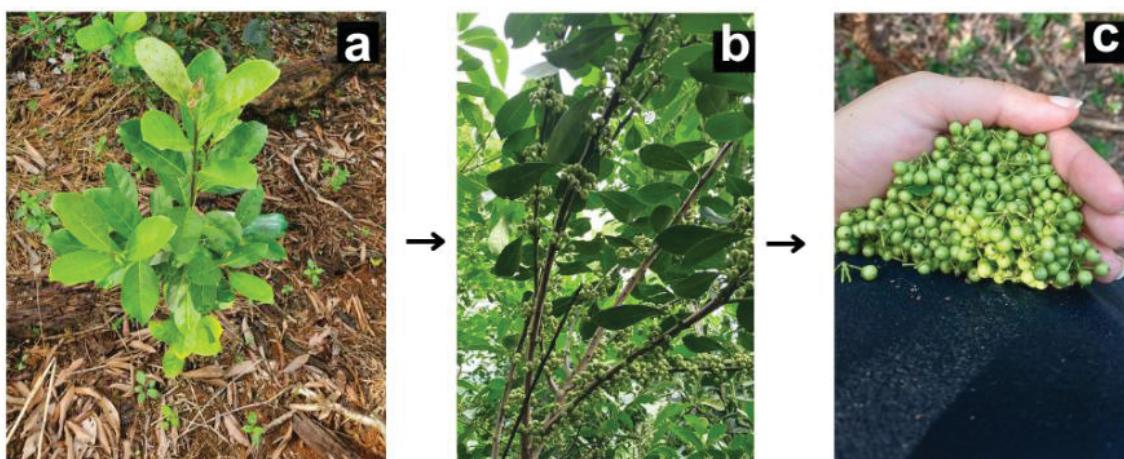
Trata-se de uma pesquisa descritiva, analítica experimentar realizada a partir dos frutos da frutos de *Ilex paraguariensis A. St. Hil.*

2.2.2 Local do estudo

A pesquisa foi realizada na UFPR nos Laboratórios de Tecnologia de Alimentos, Pesquisa e Pós-graduação, Higiene de Alimentos e de Equipamentos de Precisão do Departamento de Nutrição; Central Analítica do Programa de Pós-Graduação em Ciências Farmacêuticas; e Laboratório de Tecnologia de Alimentos do Departamento de Engenharia Química.

A coleta dos frutos verdes de *Ilex paraguariensis* A. St. Hil foi realizada de forma manual em 50 árvores diócas, em dezembro de 2023 no município de Prudentópolis no Paraná, latitude 25°06'48.2"S e longitude 51°01'01.6"W. Os frutos (FIGURA 2) foram acondicionados em caixas de poliestireno expandido e transportados ao Laboratório de Tecnologia de Alimentos, do Departamento de Nutrição da UFPR.

FIGURA 2- ÁRVORE E FRUTOS DE *ILEX PARAGUARIENSIS* A. ST. HIL.



FONTE: Suelen Ávila (2023).

NOTA: A) folhas de *Ilex paraguariensis* A. St. Hil; B) árvore de *Ilex paraguariensis* A. St. Hil com folhas e frutos; C) fruto verde de *Ilex paraguariensis* A. St. Hil.

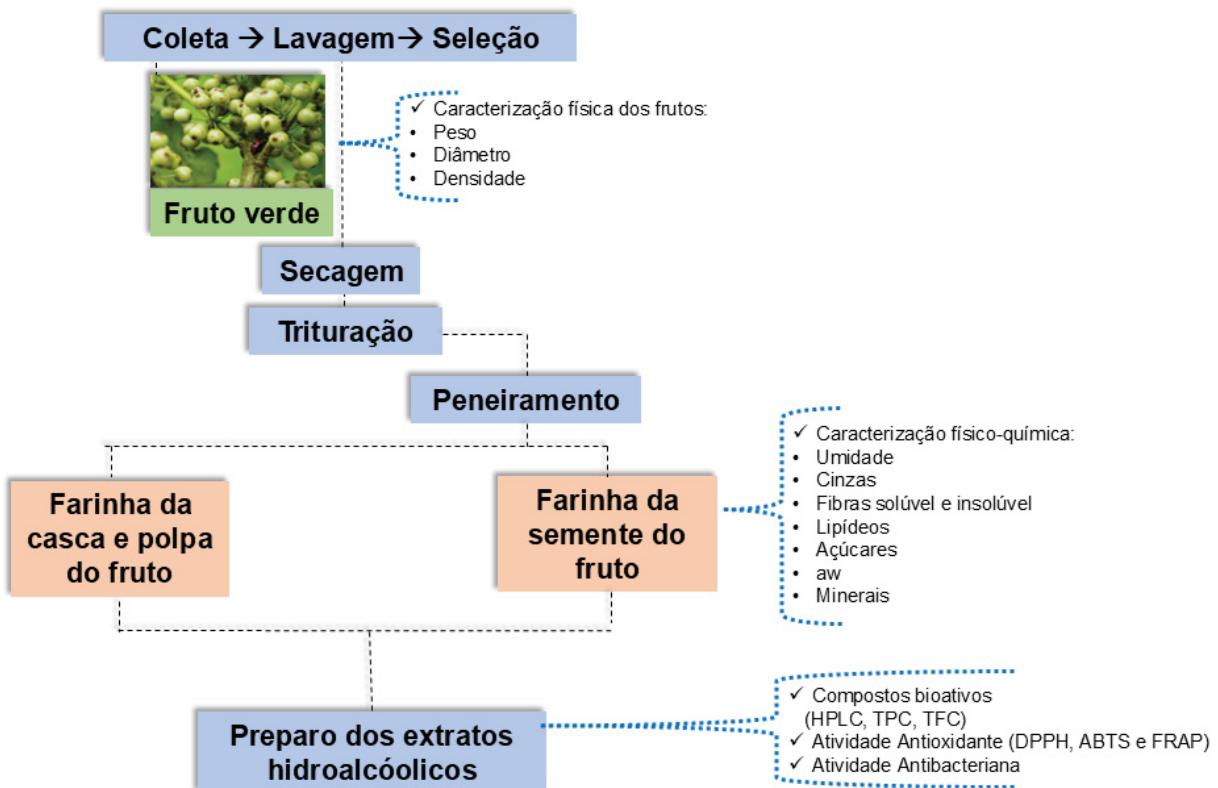
2.2.3 Secagem e seleção dos frutos

As análises ocorreram conforme o fluxograma da FIGURA 3. Inicialmente ocorreu a separação manual dos frutos, caules e folhas. Em seguida, foi realizada a seleção dos frutos com ausência de defeitos visíveis. Foram separados 80 frutos para medição do diâmetro longitudinal e transversal de cada um, utilizando um paquímetro (INSIZE, com precisão de 0,01 milímetros) e a

massa foi aferida com uma balança digital (Marte Slim, modelo ML 6K). Para a verificação da densidade, foi utilizado uma proveta de 20mL, na qual foram adicionados 10mL de água destilada. O fruto foi então introduzido e a diferença de volume foi verificada.

Após a seleção, os frutos verdes foram lavados com água corrente, pesados, distribuídos em bandejas (FIGURA 4a) e submetidos à estufa com circulação de ar (FIGURA 4b) (modelo GD 110, Gigante Produtos Médicos, Brasil), à temperatura de $45^{\circ}\text{C} \pm 5^{\circ}\text{C}$. Os frutos permaneceram na estufa por 180 horas, até a estabilização do peso (FIGURA 4c).

FIGURA 3 - FLUXOGRAMA DA OBTENÇÃO DA FARINHA E DO EXTRATO DAS DIFERENTES PARTES DO FIP



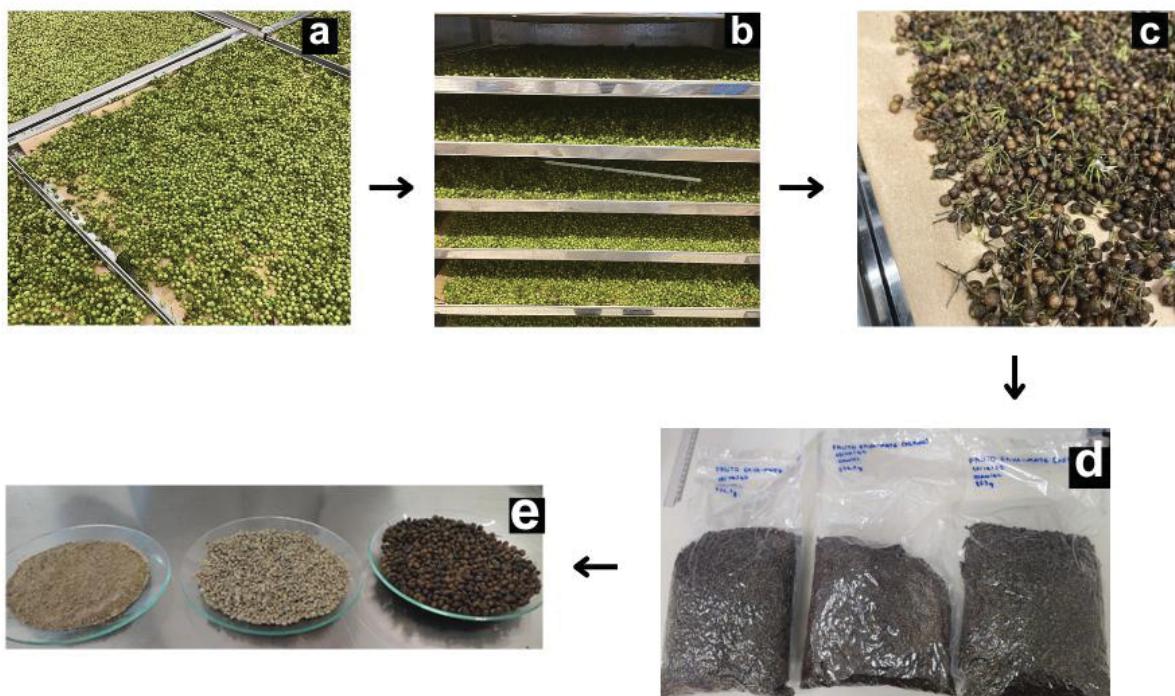
FONTE: O autor (2025).

Após a secagem, os frutos foram separados manualmente do pedúnculo, pesados e acondicionados em embalagens de polietileno, selados a vácuo e armazenados a -18°C (FIGURA 4d).

2.2.4 Separação das frações

Para separar as partes do fruto, uma porção do fruto foi Triturada em triturador doméstico (Philco 400w) e peneirada com peneira doméstica. Esse processo, resultou na separação da casca e polpa, enquanto as sementes ficaram retidas na peneira. Para obtenção de um pó fino, as partes de polpa e casca e semente foram Trituradas em moinho de facas tipo Willye (modelo star ft 50, Fortinox, Brasil). Após a moagem, as farinhas foram peneiradas em uma malha de 60 mesh, resultando na farinha de casca e polpa e na farinha de semente.

FIGURA 4- FRUTO DE *ILEX PARAGUARIENSIS A. ST. HIL*



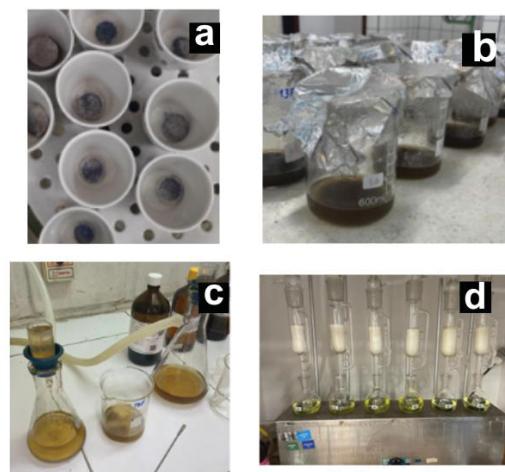
FONTE: O autor (2025).

NOTA: A) frutos frescos distribuído em bandejas; B) na etapa de secagem em estufa; C) após a secagem; D) armazenamento E) separação das porções de casca e polpa, semente e fruto inteiro

2.2.5 Composição físico-química

A análise de umidade foi realizada pelo método AOAC 925.45b, as cinzas por AOAC 923.03 E FIGURA 5a, enquanto os lipídeos foram determinados por Soxhlet, conforme o AOAC 920.39. As proteínas foram quantificadas pelo método de Kjeldahl, utilizando 6,25 como fator de correção (FIGURA 5d). As análises de açúcar total e redutor, fibras solúveis e insolúveis, foram determinados pelo método enzimático gravimétrico AOAC 985.29, de acordo com os procedimentos padronizados por Kavanagh (1981) e os métodos do Instituto Adolf Lutz (2008) (FIGURA 5 b,c), sendo todas as análises realizadas em triplicata. A exceção foi a determinação de açúcares totais e redutores, que foi conduzida em oitoplicata. A atividade de água (aw) foi analisada em Aqualab (Meter Group Inc), a 24,5°C.

FIGURA 5 - COMPOSIÇÃO CENTESIMAL DOS *ILEX PARAGUARIENSIS* A.
ST. HIL.



FONTE: O autor (2025)

NOTA: A) Análise das cinzas e umidade do fruto; B) determinação de fibras do fruto; C) FILTRAÇÃO PARA DETERMINAÇÃO DE FIBRAS; D) DETERMINAÇÃO DE LIPÍDEOS DO FRUTO.

2.2.6 Minerais

Para a determinação dos minerais, 0,50 g das farinhas foram combinados com 6,0 mL de ácido nítrico 65% v/v em um bêquer. As amostras permaneceram

em meio ácido por 24 horas (FIGURA 6), à temperatura ambiente, para realizar a pré-digestão do material. No dia posterior, as amostras foram aquecidas a 75 °C em chapa de aquecimento até cessar a ebulição. Durante o aquecimento, foram adicionadas duas alíquotas de 1,0 mL de peróxido de hidrogênio 35% v/v totalizando 2,0 mL. A segunda alíquota foi adicionada somente após cessar a ebulição da primeira. As suspensões foram mantidas sob aquecimento até redução do volume para aproximadamente 2,0 mL, momento em que foram resfriadas à temperatura ambiente e filtradas em filtro seringa de 0,45 µm de acetato de celulose (Filtrillo). O volume final foi ajustado para 25mL com água deionizada. Cada amostra foi analisada em duplicata, juntamente com a preparação do branco analítico.

FIGURA 6 - AMOSTRAS DURANTE O PROCESSO DE DIGESTÃO PARA MINERAIS.



FONTE: O autor (2025).

O ensaio de recuperação foi realizado por dois métodos, pela adição de padrão e pela utilização de um material de referência, TABELA 1. Uma alíquota dos padrões multielementar de 1000 mg L-1 (Merck, Alemanha), padrão de S de 1000 mg L-1 (AccuStandard, Estados Unidos) e padrão de P 1000 mg L-1 (AccuStandard, Estados Unidos) foi adicionado em cada amostra afim de se obter a concentração de 1,0 mg L-1 na solução final. O material de referência utilizado foi o de folha de café (CRM-Agro C1009a). Ambos os ensaios foram realizados em triplicata.

TABELA 1 - RECUPERAÇÃO PARA OS ELEMENTOS ANALISADOS

Elemento	Recuperação (%)	LINHAS DE EMISSÃO (nm)
Al	56	396,152 (I)
Ca	98	393,366 (II)
Cd	86	226,502 (II)
Co	84	238,892 (II)
Cr	92	267,716 (II)
Cu	87	324,754 (I)
Fe	81	259,940 (II)
K	62	766,490 (I)
Mn	60	257,610 (II)
Mg	98	279,553 (II)
Na	94	588,995 (I)
P	99	213,618 (I)
Pb	91	220,353 (II)
S	75	180,731 (I)
Zn	98	213,856 (I)

NOTA: (I) Linha atômica, (II) Linha iônica.

FONTE: o autor, (2025).

As determinações instrumentais foram realizadas utilizando um espectrômetro de emissão óptica com plasma indutivamente acoplado (ICP OES) marca Thermo Scientific, modelo iCAP 6500, equipado com vista axial. Para o transporte das soluções, foram utilizados capilares (Orange/White) de 0,64 mm de diâmetro interno, marca Meinhard Glass Products (USA), TABELA 2.

TABELA 2- PARÂMETROS INSTRUMENTAIS UTILIZADOS NO ICP OES

Radiofrequência	40 MHz
Potência de radiofrequência (RF)	1,15 kW
Vazão do gás do plasma	12,0 L min ⁻¹
Vazão do gás auxiliar	0,5 L min ⁻¹
Vazão do gás de arraste	0,7 L min ⁻¹
Tempo de estabilização	10 s
Réplicas	3
Tocha	Quartzo, vista axial

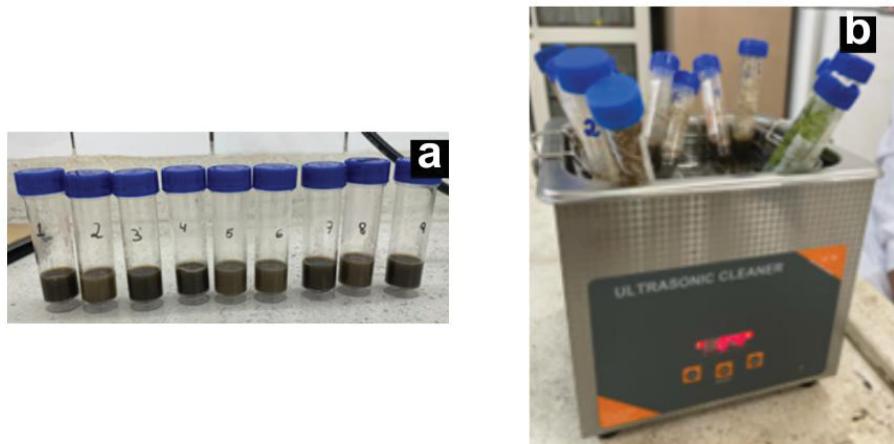
FONTE: Mayara Padovan dos Santos (2024).

As curvas analíticas foram preparadas pela diluição de um padrão multielementar de 1000 mg/L (Merck, Alemanha), de um padrão de enxofre (S) de 1000 mg/L (AccuStandard, Estados Unidos) e de um padrão de fósforo (P) de 1000 mg/l (AccuStandard, Estados Unidos), na faixa de trabalho de 0,01 a 2,0 mg/L em meio de ácido nítrico 1% (v/v). O limite de quantificação instrumental foi estabelecido em 0,01 mg/L. Todas as amostras foram previamente diluídas antes das determinações instrumentais.

2.2.7 Obtenção do extrato do fruto de *Ilex paraguariensis A. St. Hil*

Os extratos da farinha da casca e polpa e semente foram preparados conforme a metodologia descrita por (Silveira Hornung et al., 2020), com modificações. Foi adicionado etanol a 30% na proporção 1:10 (p/v) às farinhas (FIGURA 7a), e a mistura foi agitada em vórtex por 1 minuto. Em seguida, foi mantida em banho ultrassônico por 15 minutos (FIGURA 7b). A solução foi então centrifugada a 2.000 rpm por 20 minutos, e o sobrenadante foi coletado. O resíduo restante foi submetido a uma segunda extração, seguindo o mesmo procedimento. Os sobrenadantes de ambas as extrações foram combinados e filtrados utilizando filtro de acetato de celulose de 0,22 µm (Filtrilo).

FIGURA 7- PREPARO DO EXTRATO DO FRUTO.



NOTA: A) adição de etanol 30% nas farinhas do fruto verde de *ilex paraguariensis* a. st. hil. b) etapa do banho ultrassônico.

FONTE: o autor (2025).

2.2.8 Compostos fenólicos

A determinação do TPC dos extratos foi realizada utilizando o reagente Folin-Ciocalteau, conforme o método de Singleton & Rossi (1965) com adaptações para microplacas de acordo com Ávila et al., (2023) Em microplacas, foram adicionadas 10 μ L de amostra, 15 μ L do reagente Folin-Ciocalteau e 240 μ L de água destilada em oituplicata. As microplacas foram incubadas por 3 minutos e depois foi adicionado 15 μ L de solução de carbonato de sódio 20% (Na₂CO₃). Após repouso no escuro por uma hora, a leitura da absorbância foi realizada a 540 nm. O TPC foi expresso como miligramas equivalentes de ácido gálico por grama de amostra.

O TFC nos extratos foi quantificado usando a metodologia Zhishen et al., (1999) com adaptações para microplacas de acordo com Ávila et al., (2023). Nos poços da microplaca foram adicionados 10 μ L da amostra e 90 μ L de nitrito de

sódio seguido de incubação por 5 minutos. Em seguida, 10 µL de solução de cloreto de alumínio a 10% foram adicionados a cada poço, e a solução foi incubada por mais 5 minutos. Posteriormente, 90 µL de uma solução de hidróxido de sódio 1 mol/L foram adicionados a cada poço. A absorbância foi lida a 540 nm no espectrofotômetro. Os resultados foram expressos como miligramas equivalentes de catequina por grama de amostra.

Para verificar os compostos fenólicos individuais, 100 µL dos extratos foram combinados com 900 µL de metanol. A mistura foi agitada em vórtice e colocada sobre uma mesa vibratória. Em seguida, foi realizado o particionamento utilizando 1 mL de diclorometano. Após agitação mecânica, os tubos foram colocados no freezer por 30 minutos e posteriormente centrifugados. O sobrenadante foi utilizado para injeção no sistema LC conforme relatado anteriormente por Seraglio et al. (2016) com as modificações feitas por Hoff et al. (2022).

As medições foram realizadas usando espectrometria de massa em tandem de ionização por eletrospray por cromatografia líquida (LC-ESI-MS/MS) com um sistema cromatográfico Agilent série 1290 acoplado a um espectrômetro de massa de armadilha de íons linear quadrupolo híbrido QTRAP 5500. O sistema foi equipado com uma fonte de ionização por eletrospray (ESI). A separação cromatográfica foi conseguida utilizando uma coluna VENUSIL C18 (100 mm × 2,1 mm; 3 µm de diâmetro de partícula). A taxa de fluxo foi ajustada em 300 µL/min e 5 µL de soluções padrão e amostra foram injetados.

A fase móvel consistiu no solvente A (água com 0,1% de ácido fórmico) e no solvente B (acetonitrila com 0,1% de ácido fórmico). Um programa de gradiente foi utilizado da seguinte forma: 98% A (v/v) de 0 a 4,0 min, 98 – 80% A (v/v) de 4,0 a 7,0 min, 80 – 10% A (v/v) de 7,0 a 14,0 min, 10% A (v/v) de 14,0 a 15,0 min e 10 – 98% A (v/v) de 15,0 a 17,0 min. O tempo total de execução foi de 17 minutos, com tempo de equilíbrio da coluna de 4 minutos a 40 °C.

A análise de espectrometria de massa foi realizada no modo de monitoramento de reação múltipla (MRM) com parâmetros específicos incluindo tensão de spray de íons (IS) de 5500 V, gás de cortina a 25 psi, gás nebulizador (GS1) e gás auxiliar (GS2) a 55 psi, e fonte temperatura a 400 °C. O nitrogênio foi utilizado como nebulizador e gás de colisão. O potencial de entrada foi ajustado em 10 V para analitos monitorados em modo positivo e 10 V para

aqueles em modo negativo. O tempo de permanência foi mantido em 20 ms para ambas as polaridades. A quantificação foi realizada utilizando a transição m/z mais intensa, enquanto a segunda transição m/z mais intensa foi utilizada para confirmação. O software Analyst 1.6.2 foi empregado para quantificação, aquisição e processamento de dados. A quantificação de cada composto foi realizada em triplicata por meio de calibração externa, garantindo a conformidade do desempenho do método com os parâmetros de validação previamente relatados na literatura.

Os compostos metilumberliferona, ácido cafeico, ácido clorogênico, ácido gálico, ácido sináptico, ácido siríngico, ácido benzoico, ácido salicílico, ácido ferúlico, apigenina, catequina, coniferaldeido, crisina, cumarina, epicatequina, alangina, hesperidina, kaempferol-3-rutina, kaempferol, miricetina, naringenina naringina, p-aminobenzoico, p-cumarico, pinobanksin, quercitina-3-glucosídeo, quercitina-3-rhamnosídeo, rutina, siringaldeido, foram verificados quanto a presença.

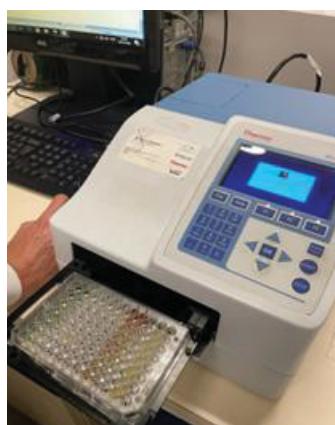
2.2.9 Atividades biológicas

A avaliação da atividade antioxidante pelo método de captura do radical livre DPPH foi realizada conforme Brand-Williams, Cuvelier e Berset, com adaptações (Brand-Williams, Cuvelier e Berset, 1995). No procedimento analítico, em microplacas, foram adicionados 10 μ L da amostra na diluição de 1:3, bem como do padrão solução extratora, que serviu como branco, e 190 μ L de DPPH. Após um período de repouso de 30 minutos em um local escuro e seco, a leitura da absorbância foi efetuada em um espectrofotômetro no comprimento de onda de 540nm (FIGURA 8). Os resultados foram expressos em equivalentes de Trolox (μ mol Trolox g⁻¹) por grama de extrato de FIP.

Para a análise da atividade antioxidante foi realizada pelo método de sequestro do radical ABTS em microplaca, foram adicionados 10 μ L da amostra, diluída em uma proporção de 1:3 e 300 μ L de ABTS. A solução extratora foi utilizada como branco. Após um período de 30 minutos de repouso em um ambiente escuro, a absorbância foi medida a 690 nm usando um espectrofotômetro. Os resultados foram expressos em equivalentes de Trolox (μ mol Trolox g⁻¹) por grama de FIP.

A atividade antioxidante pelo método de poder antioxidante pela redução férrica (FRAP), em microplaca, foi determinada com a adição de 10 µL da amostra - na diluição de 1:3 e 300 µL de FRAP (solução preparada previamente). A solução extratora foi utilizada como branco. Após 30 minutos de repouso em local escuro, a leitura da absorbância foi realizada em espectrofotômetro a 620 nm. Os resultados foram expressos em equivalentes de Trolox ($\mu\text{molTrolox g}^{-1}$) por grama de extrato de FIP.

FIGURA 8 - ANÁLISE REALIZADA EM MICROPLACA



FONTE: Luiza Sivek (2024).

Para determinar a atividade antimicrobiana, utilizou-se o método descrito pelo Clinical and Laboratory Standards Institute (CLSI, 2013) em microplacas. O ensaio foi conduzido para as bactérias gram-negativas *Escherichia coli* NEWP 0039 e *Salmonella Typhimurium* NEWP 0028, e a bactéria gram-positiva *Staphylococcus aureus* NEWP 0023. Uma solução salina (0,85%) foi preparada e adicionada ao inóculo até alcançar uma concentração de $1,5 \times 10^6$ Unidades Formadoras de Colônia (UFC/mL), utilizando um turbidímetro. Nos poços da microplaca, foram adicionados 100 µL de Caldo Mueller Hinton e 10 µL do extrato obtido na seção 2.2.7. Foram obtidas oito diluições seriadas do extrato (10^{-1} , 10^{-2} , 10^{-3} , 10^{-4} , 10^{-5} , 10^{-6} , 10^{-7} , 10^{-8}) em quadruplicata. Após, foram adicionados nos poços da microplaca 10 µL do inóculo das bactérias. O etanol 30% (solvente extrator) foi utilizado como controle branco, e o antibiótico sulfato de gentamicina 0,5% como controle positivo. As placas foram incubadas a 36°C por 24 horas. Para verificar o crescimento bacteriano, foram adicionados 20 µL de TTC a 0,125% em cada poço. A menor concentração com ausência de coloração rosa

foi considerada como a concentração Inibitória Mínima (CIM) indicativa de inibição do crescimento bacteriano.

2.2.10 Análise estatística

Os resultados foram submetidos a análise de variância (ANOVA), utilizando os programas Statistica 8.0 (StatSoft Inc., USA), Action (2014) e SASM-Agri 8.2. Para avaliar comparação de médias das médias, foi aplicado o teste de comparação múltipla de Duncan, considerando um nível de significância de $p<0,05$.

2.3 RESULTADOS

2.3.1 Características físicas do fruto

Os frutos frescos apresentaram massa média de $0,11 \pm 0,09$ g, com um diâmetro longitudinal de $5,44 \pm 0,67$ mm, diâmetro transversal de $5,37 \pm 0,56$ mm e densidade de 1,1 g/mL.

Após a secagem dos frutos, o rendimento obtido foi de 27,63% o que pode caracterizar o produto como farinha de frutos de *Ilex paraguariensis A. St. Hil.*, em conformidade com a legislação vigente (Brasil, 2022). Segundo Instrução Normativa nº 32, o termo farinha refere-se a “produtos obtidos de partes comestíveis de uma ou mais espécies de cereais, leguminosas, frutos, sementes, tubérculos e rizomas por moagem e ou outros processos tecnológicos considerados seguros para produção de alimentos”.

As sementes representaram a maior parte dos frutos secos, correspondendo a 59,66% da farinha obtida, enquanto a casca e a polpa representaram 40,35%. Durante o processamento para a obtenção da farinha do fruto seco, foi verificada uma perda de 4% na etapa de moagem e peneiramento. Na etapa de Trituração e peneiramento, também foi observada uma perda de 1% para a separação da casca e polpa das sementes.

2.3.2 Composição físico-química

TABELA 3 - COMPOSIÇÃO CENTESIMAL DAS FARINHAS DOS FRUTOS DA ERVA MATE

	Casca e Polpa %	Semente %
Aw	0,49 ± 0,06	0,41 ± 0,02
Umidade	5,05 ± 0,06 ^a	4,21 ± 0,08 ^b
Açúcar redutor	0,37 ± 0,05	0,19 ± 0,03
Sacarose	1,06 ± 0,14 ^a	0,81 ± 0,09 ^b
Açúcar total	1,42 ± 0,10 ^a	1,18 ± 0,06 ^b
Proteína	3,99 ± 0,31 ^a	2,67 ± 0,02 ^b
Lipídios	2,02 ± 0,18 ^a	1,03 ± 0,02 ^b
Fibra Insolúvel	51,40 ± 4,85	52,31 ± 1,70
Fibra Solúvel	3,24 ± 0,85	2,31 ± 0,24
Fibras Totais	54,63 ± 5,32	54,62 ± 1,79
Cinzas	4,04 ± 0,08 ^a	3,14 ± 0,03 ^b

NOTA: Letras diferentes na mesma linha indicam diferença significativa entre as amostras ($p < 0,05$).

FONTE: O autor (2025).

A farinha da casca e polpa, e a farinha da semente apresentaram atividade de água abaixo de 0,5 e umidade menor que 5% (TABELA 3), valores comparáveis aos relatados para farinhas de frutos, sementes e polpa de *Lansium domesticum* (Arshad et al., 2024) e acerola (Medeiros et al., 2024). A atividade de água menor que 0,6 é um indicativo de impedimento do crescimento microbiológico e da redução de reações químicas e bioquímicas, sendo recomendada para a estabilidade de alimentos em pó (Ravichandran et al., 2023).

A RDC n° 711/2022 Brasil, (2005) estabelece que a umidade máxima permitida em farinhas é de 15%, indicam que as duas farinhas atendem aos requisitos legais e podem ser armazenadas por longos períodos sem comprometimento da qualidade. A umidade da casca e da polpa foi significativamente superior, apresentando 17% a mais de umidade em

comparação à da semente, o que evidencia variações na composição das diferentes frações do fruto e pode influenciar a funcionalidade e estabilidade.

O menor teor de açúcares redutores observado na fração de sementes, correspondendo a apenas 0,19%, pode ser explicado pela função fisiológica de armazenamento de energia na forma de amido, que é durante o processo de maturação, gradualmente transformando em açúcares redutores (Ying, Wu e Huang, 2020). Além disso, fatores ambientais, como o local do cultivo, têm um impacto significativo na quantidade de açúcares redutores nos frutos (Bonin *et al.*, 2024).

O baixo teor de açúcares na fração das sementes evidencia que essa farinha pode ser um potencial substituta da farinha de trigo em formulações com teores reduzidos de açúcar, alinhando-se às diretrizes globais de saúde que apontam que o consumo global de açúcar excede em até 5 vezes o limite recomendado (Chakrabarti, Lanza e Siddiqui, 2022). Além disso, a farinha de sementes pode ser uma alternativa promissora para o desenvolvimento de produtos sem glúten.

O consumo da farinha de casca e polpa e semente do fruto verde de *Ilex paraguariensis A. St. Hil* pode ser considerado um produto com alto conteúdo de fibras, principalmente insolúveis. Apenas 2 colheres de sopa (30g) fornecem mais de 20 % da ingestão diária recomendada (IDR de 25 gramas) conforme a INS nº 75 de 2020 da ANVISA (Brasil, 2020). O conteúdo de fibras totais foi 1,6 vezes maior que do fruto inteiro de jabuticaba liofilizado (38,2%) (Inada, 2020), ressaltando o potencial como um alimento funcional para o manejo de doenças crônicas não transmissíveis, como diabetes e obesidade, além de contribuir para a saúde intestinal (Ionitã-Míndrican *et al.*, 2022).

O teor de proteínas foi significativamente maior na fração casca e polpa em comparação à semente. Esse padrão já foi observado em outras espécies, como na farinha de grumixama (Bonin *et al.*, 2024). Porém, ambas as frações são consideradas de baixo teor proteico, pois contêm menos de 6g de proteína em 100g de produto (Brasil, 2012). O perfil proteico torna que ambas as frações podem ser indicadas para pessoas com intolerância ao aminoácido fenilalanina, como os portadores de fenilcetonúria, cuja ingestão de proteína recomendada é de apenas 10g por dia. Nesse contexto, 2 colheres de sopa (30g) da farinha da

semente, que apresentou menor teor de proteínas, correspondem a 8,01% da ingestão diária recomendada para esses indivíduos (Wood, 2020).

A concentração de lipídios foi maior na fração de casca e polpa, atingindo 2,02%, um valor significativamente superior ao encontrado na fração de sementes. Esse resultado está em concordância com dados relatados para a semente de jabuticaba liofilizada (Inada, 2020) e a farinha de grumixama (Bonin, 2022). A composição lipídica também pode ter sido influenciada por fatores extrínsecos, como condições climáticas e características do solo (Kaseke, 2020).

Em frutos verdes, a polpa pode acumular lipídios para ser utilizada como fonte de energia durante a maturação. As sementes tendem a priorizar o armazenamento de energia em forma de amido ou proteínas (Martin *et al.*, 2023).

Dezoito minerais essenciais foram identificados no fruto de *Ilex paraguariensis A. St. Hil* conforme a TABELA 4, sendo que o potássio foi o mineral majoritário em ambas as frações. A casca e polpa não diferiram estatisticamente em relação ao conteúdo de potássio. O potássio é necessário para a homeostase hidroeletrolítica e na conversão de glicose em glicogênio, sendo fundamental para o funcionamento adequado das células, tecidos e órgãos, além de ser importante para regular a pressão arterial e a função cardíaca (Xie, 2023). O consumo de 2 colheres de sopa (30g) da farinha de casca e polpa representaria 26,92% da ingestão diária recomendada (RDA) para mulheres (2600mg) e 20,59% para homens (3400mg), considerando a faixa etária de 19 a 50 anos (Stallings, Harrison e Oria, 2019).

TABELA 4 - À COMPOSIÇÃO E QUANTIFICAÇÃO DOS MINERAIS DOS FRUTOS DE *ILEX PARAGUARIENSIS A. ST. HIL* EM PESO SECO (mg/kg)

Elemento	Casca e Polpa	Sementes
	Minerais (mg/g)	
Ca	207,18 ± 0,52 ^a	169,42 ± 0,44 ^b
K	2333,28 ± 2,85	2019,91 ± 0,75
Mg	206,097 ± 1,42	179,271 ± 1,41
Na	36,06 ± 1,85	33,833 ± 1,07
P	160,56 ± 1,19	200,83 ± 1,17
Elementos traços (mg/g)		
Fe	10,55 ± 3,09 ^a	2,09 ± 0,38 ^b
Cr	0b	0,09 ± 0,01a

Cu	1,58 ± 0,06	1,80 ± 0,53
Mn	20,329 ± 0,18	143,26 ± 0,19
S	187,92 ± 1,78	181,71 ± 0,19
Zn	2,41 ± 0,04	2,77 ± 0,79
Metais pesados (mg/g)		
Al	15,40 ± 0,52 ^a	6,85 ± 0,44 ^b

NOTA: Letras diferentes na mesma linha indicam diferença significativa entre as amostras ($p < 0,05$).

FONTE: O autor (2025).

Houve diferenças significativas entre as frações do fruto para outros minerais. A casca e polpa apresentou conteúdo 22% maior de cinzas, 18% de cálcio, 55% de alumínio e 80% de ferro em relação às sementes. O consumo de duas colheres de sopa (30g) de farinha de casca e polpa corresponde a cerca de 6,21% da RDA de cálcio (1000mg/dia), 39,59% da RDA de Ferro para homens (8mg/dia) e 17,59% para mulheres (18mg/dia), para adultos de 19 a 50 anos (Food And Nutrition Board Institute of Medicine, 2001). O cálcio é essencial para a mineralização óssea e regulação neuronal (Nagata, 2024), enquanto o ferro contribui para o funcionamento celular, metabolismo energético e na regulação da função neural (Tian,2023).

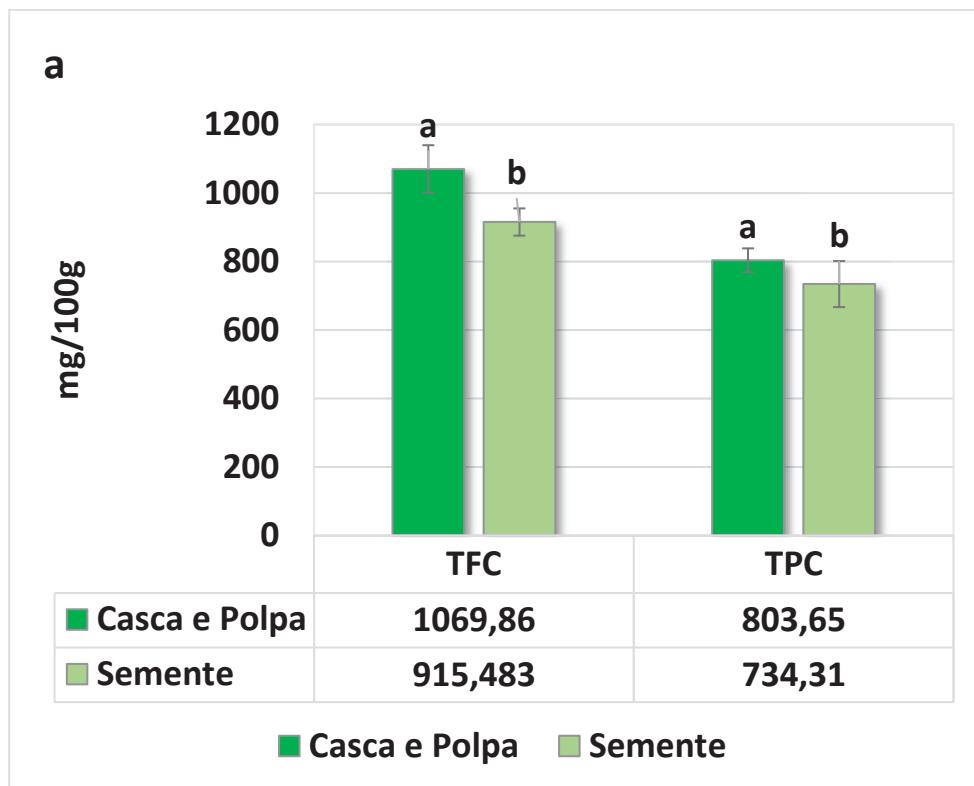
A concentração de alumínio na casca e polpa, embora maior que na semente, apresentou níveis seguros para consumo. A ingestão de 2 colheres de sopa (30g) representariam apenas 3,33% do limite semanal estabelecido para uma pessoa de 70kg, considerando que o consumo excessivo deste mineral em concentrações maiores que 2 mg/kg de peso corporal por semana é considerado tóxico, podendo levar a doenças neurodegenerativas (Miller, 2023; JECFA, 2011).

Outro mineral encontrado em grande quantidade foi o Magnésio, mas sem diferença significativa entre as frações. O consumo de 30g da farinha de casca e polpa forneceria 19,94% da RDA para mulheres (310mg) e 15,45% para homens (400mg) na faixa etária de 19 a 30 anos. O magnésio desempenha funções fisiológicas importantes, incluindo contração muscular, manutenção da pressão arterial e metabolismo de insulina/glicose. A deficiência de magnésio está associada ao estresse oxidativo, particularmente em pacientes com doenças metabólicas e cardiovasculares (Zao, 2023).

Outros minerais como cromo, cobre, sódio, fósforo, enxofre e zinco, foram detectados em menores concentrações. Não foram encontrados níveis detectáveis de metais pesados, como chumbo, cádmio e cobalto em nenhuma das amostras.

2.3.3 Compostos fenólicos

FIGURA 9 - FENÓLICOS TOTAIS (TPC) E FLAVONÓIDES TOTAIS (TFC) DAS FRAÇÕES DOS FRUTOS DE *ILEX PARAGUARIENSIS* A. ST. HIL



NOTA: Letras diferentes nas colunas indicam diferença significativa entre as amostras ($p < 0,05$).

FONTE: O autor (2025)

A casca e a polpa apresentaram TPC e TFC, 8,50% e 1,54% respectivamente, maior do que as sementes ($p < 0,05$). Resultados semelhantes foram reportados por Kubola & Siriamornpun (2011), que também verificaram maior TPC e TFC na casca e polpa em comparação à semente. A avaliação e comparação dos compostos bioativos das diferentes partes de um fruto é importante, devido as porções desempenharem funções distintas na planta e, consequentemente possuem composição de nutrientes e compostos bioativos

diferentes. Esse conhecimento pode contribuir para o desenvolvimento de novos produtos, ao mesmo tempo que auxilia na utilização integral do fruto, evitando o desperdício (Bavay et al., 2013; El Newehy et al., 2022).

TABELA 5 - COMPOSTOS FENÓLICOS INDIVIDUAIS DOS FRUTOS VERDES DE *ILEX PARAGUARIENSIS A. ST. HIL*

Compostos fenólicos	Casca e Polpa	Semente (mg/L)
Ácido dihidroxibenzóico	19,23 ± 0,09	22,26 ± 0,14
Ácido gentísico	5,72 ± 0,12 ^a	5,38 ± 0,16 ^b
Ácido caféico	21,50 ± 0,38 ^a	19,24 ± 0,049 ^b
Ácido clorogênico	314,56 ± 0,08	295,30 ± 0,13
Ácido sináptico	5,66 ± 0,17	4,78 ± 0,49
Ácido salicílico	3,87 ± 0,08	3,59 ± 0,40
Ácido ferúlico	4,51 ± 0,19	4,28 ± 0,16
Cumarina	7,67 ± 0,36	6,35 ± 0,39
Miricetina	22,64 ± 0,25	23,49 ± 0,12
Quercetina-3-	40,95 ± 0,07	7,05 ± 0,08
Quercetina-3-	11,99 ± 0,25 ^a	7,05 ± 1,47 ^b
Rutina	272,57 ± 0,07 ^a	91,63 ± 0,07 ^b

NOTA: Letras diferentes na mesma linha indicam diferença significativa entre as amostras ($p < 0,05$).

FONTE: O autor (2025)

Entre os trinta padrões de compostos fenólicos avaliados por HPLC, onze foram identificados e quantificados nas farinhas (TABELA 5). Corroborando com o TPC e TFC, a fração casca e polpa apresentou o somatório de compostos fenólicos individuais (73727,00 mg/100g) maior que a sementes (52488,90 mg/100g), representando 47% da composição de flavonoides na casca e polpa, em comparação com apenas 24% na semente.

Para ambas as porções, o ácido clorogênico, que possui efeito anti-glicante e contribui para minimizar os efeitos do envelhecimento e doenças crônicas, foi o composto predominante, representando mais de 40% do total de compostos fenólicos, seguido da rutina que representa mais de 15% do total dos compostos fenólicos avaliados. Compostos como a miricetina, o ácido dihidroxibenzóico e a quercetina-3-glicosídeo também foram encontrados em

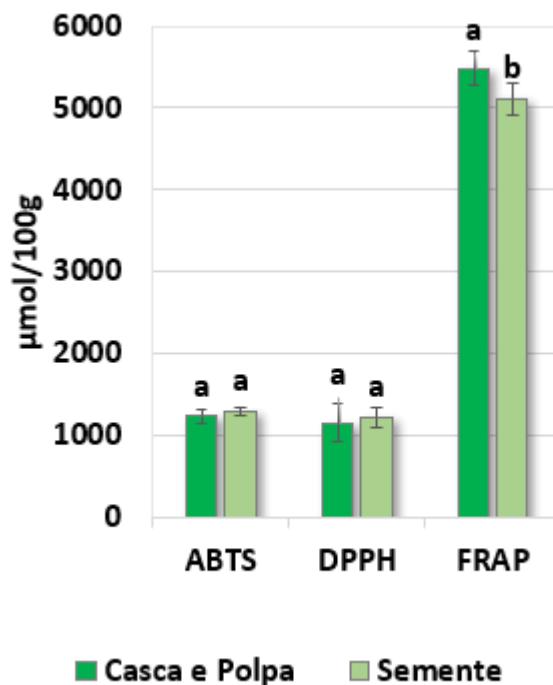
grandes quantidades, sendo associados a efeitos imunomoduladores, principalmente na atividade antiviral, antitumoral, antialérgica e hipoglicemiantes (Lou *et al.*, 2011; Rakha *et al.*, 2022).

A rutina, quercetina-3-ramnosídeo e o ácido cafeico apresentaram quantidades significativamente maiores na fração casca e polpa com 2,97; 1,70 e 1,45 vezes respectivamente, mais que na semente. Esses compostos representaram 37%, 2%, 4% respectivamente do total de compostos fenólicos na casca e polpa e 17%, 1% e 4%, respectivamente para as sementes. Os dados corroboram com os maiores teores de TPC e TFC observados na casca e polpa. A presença destes compostos indica, de acordo com estudos anteriores, que as farinhas podem exibir propriedades antioxidante, antialérgica, anti-inflamatório, principalmente na casca e polpa (Li *et al.*, 2024; Pavlíková, 2022; Soares Carneiro *et al.*, 2022).

2.3.4 Atividades biológicas

O uso de diferentes ensaios para avaliar a atividade antioxidante tem sido recomendada por Gulcin (2020) e Monteanu (2021), pois os múltiplos ensaios podem atuar por diferentes mecanismos. O ensaio FRAP possui a capacidade de quelar metais e opera em condições ácidas, enquanto o ABTS age em ambientes hidrofílicos e lipofílicos, e o DPPH é mais eficiente em condições hidrofóbicas. Sendo assim, as partes do fruto verde apresentaram uma atividade antioxidante significativa nos três ensaios testados (FIGURA 10). Embora a fração de casca e polpa e semente tenham apresentado resultados similares para DPPH e ABTS, foi observado uma diferença significativa no ensaio FRAP, com a casca e polpa mostrando maior capacidade de quelação de metais.

FIGURA 10 - ATIVIDADE ANTIOXIDANTE DAS FRAÇÕES DOS FRUTOS VERDES DE *ILEX PARAGUARIENSIS A. ST. HIL.*



NOTA: Letras diferentes nas colunas indicam diferença significativa entre as amostras ($p < 0,05$).

FONTE: O autor (2025)

Esse aumento na atividade antioxidante da casca e polpa pode ser atribuído à alta concentração de compostos fenólicos, como TPC, TFC, rutina e ácido cafeico, encontrados nessas frações. Esses compostos fenólicos possuem propriedades quelantes, ligando-se a íons metálicos e potencialmente inibindo reações catalíticas que geram radicais livres (Cordeiro *et al.*, 2023; Milić *et al.*, 2011; Pavlíková, 2022). Resultados semelhantes foram encontrados por (Wanderley *et al.* (2023) e Cordeiro (2022), que também verificaram maior atividade antioxidante por FRAP para fração casca e polpa.

2.3.5 Concentração inibitória mínima (CIM)

A concentração de 0,025g/mL das farinhas da fração de semente e fração casca e polpa, foi efetiva para inibir a bactéria gram-positiva *Staphylococcus aureus* e a bactéria gram-negativa *Salmonella Typhimurium* (QUADRO 2). Uma

concentração maior, de 0,05g/mL, foi necessária para inibir a bactéria *Escherichia coli*. Entretanto, em estudos anteriores com casca e polpa de Buriti (*Mauritia flexuosa L. f.*) e com folhas de *Ilex paraguariensis A. St. Hil*, não foi verificada atividade antibacteriana para *Escherichia coli* (Koolen *et al.*, 2013; Prado Martin *et al.*, 2013). A resistência pode ser atribuída à estrutura mais complexa da membrana celular das bactérias gram-negativas, que contém lipopolissacarídeos, tornando-as mais difíceis de serem atacadas por agentes antibacterianos (Gauba e Rahman, 2023).

QUADRO 2 - CONCENTRAÇÃO INIBITÓRIA MÍNIMA EM G/ML DOS FRUTOS *ILEX PARAGUARIENSIS A. ST. HIL*

AMOSTRAS	Casca e Polpa	SEMENTE
<i>Escherichia coli</i>	0,050	0,050
<i>Salmonella typhimurium</i>	0,025	0,025
<i>Staphylococcus aureus</i>	0,025	0,025

FONTE: O autor, 2025

A ausência de diferença significativa na atividade antibacteriana entre as frações pode ser explicada pela presença de compostos bioativos como ácido clorogênico, quercetina e miricetina, que são conhecidos pelas propriedades antimicrobianas e foram identificados no fruto de *Ilex paraguariensis A. St. Hil* (Buchmann *et al.*, 2022; Lou *et al.*, 2011; Nguyen & Bhattacharya, 2022; Schubert *et al.*, 2007). A saponina, outro composto previamente encontrados no fruto de *Ilex paraguariensis A. St. Hil* (Dahmer *et al.*, 2012; Scotti Do Canto *et al.*, 2010), também pode estar presente nas frações e ser responsável pela propriedade antibacteriana verificada, devido a atuar na membrana celular de microrganismos, causando a ruptura ou retardando a reprodução (Jolly *et al.*, 2024).

2.4 CONCLUSÃO

As frações de casca e polpa e de sementes do fruto verde de *Ilex paraguariensis A. St. Hil* demonstraram características nutricionais e bioativas promissoras, incluindo baixa umidade, atividade de aw, teores reduzidos de

açúcares e lipídeos e apresentaram um elevado conteúdo de fibras e minerais essenciais. Os principais minerais identificados nas frações foram potássio, magnésio e fósforo, enquanto os compostos fenólicos predominantes incluíram ácido clorogênico, miricetina, ácido dihidroxibenzóico e quercetina-3-glicosídeo. As frações também demonstraram potencial antioxidante e antibacteriano embora as frações de casca e polpa tenham se destacado em termos de TPC, TFC, proteínas, cálcio, ferro, rutina, quercetina-3-ramnosídeo e ácido cafeico, apresentando concentrações significativamente mais altas, todas as frações mostraram atividade antioxidante e antibacteriana significativa. Esses resultados sugerem que o fruto verde de *Ilex paraguariensis* A. St. Hil possui grande potencial como recurso natural para aplicações como aditivo alimentar, com propriedades antioxidantes e antimicrobianas que pode ser explorado tanto na indústria alimentícia quanto farmacêutica, oferecendo amplas possibilidades para inovações tecnológicas.

CAPÍTULO III: DESENVOLVIMENTO DE REVESTIMENTO COMESTÍVEL COM EXTRATO DO FRUTO DE *ILEX PARAGUARIENSIS A. ST. HIL* PARA PROLONGAR A VIDA ÚTIL DE MORANGOS

3.1 INTRODUÇÃO

O desperdício de alimentos é um problema global. Estima-se que cerca de 1,3 bilhão de toneladas de alimentos sejam descartados anualmente, sendo que aproximadamente 50% desse total provém de frutas, hortaliças e raízes (FAOSTAT, 2021). Esse desperdício não apenas representa uma perda significativa de alimentos, mas também implica em um uso desnecessário de recursos naturais, como água, terra e energia (Moradi e Fathi, 2023).

O morango (*Fragaria × ananassa*), está entre as frutas mais suscetíveis ao desperdício, principalmente devido à alta perecibilidade. Embora seja consumida mundialmente pelo sabor característico e benefícios nutricionais, como elevado teor de vitamina C, carotenoides, minerais e antioxidantes (Satitmunnaithum et al., 2022; Thi Hang Phuong et al., 2024), o morango é particularmente vulnerável ao desperdício. Os morangos também possuem alta atividade água o que o torna propenso à ação de microrganismos como bolores e leveduras, limitando a vida útil a apenas dois dias em temperatura ambiente e cinco dias sob refrigeração (Ktenioudaki et al., 2022; Satitmunnaithum et al., 2022). Essa alta perecibilidade reforça a necessidade de desenvolver novas tecnologias que reduzam o desperdício e prolonguem a vida de prateleira dos morangos.

Paralelamente, os frutos de *Ilex paraguariensis A. St. Hil.* também são frequentemente considerados resíduos e são descartados pela indústria erva-teira. Estudos recentes têm investigado formas inovadoras de utilizar esses frutos, como a aplicação do fruto verde como biopesticida (Brito, de et al. 2021) e a incorporação do extrato do fruto em biofilmes de amido de milho (Silveira Hornung et al. (2020), constatando melhorias nas propriedades antioxidantes desses materiais.

Em resposta à crescente demanda por soluções sustentáveis, biofilmes e revestimentos comestíveis, produzidos com compostos naturais e biodegradáveis, surgem como tecnologias promissoras para prolongar a vida útil

de alimentos. Esses materiais, compostos por substâncias naturais e biodegradáveis, oferecem uma alternativa ambientalmente responsável aos plásticos sintéticos.

Diferentes dos biofilmes, que envolvem o alimento como material de embalagem, os revestimentos comestíveis são aplicados diretamente sobre a superfície dos alimentos, com o intuito de reduzir a perda de umidade, retardar a deterioração e minimizar a oxidação lipídica, preservando a qualidade dos produtos alimentícios (Andriani e Abyor Handayani, 2023; Blancas-Benitez et al., 2022).

Diante desse cenário, o objetivo deste estudo é desenvolver revestimento comestível com extrato do fruto de *Ilex paraguariensis A. St. Hil* para prolongar a vida útil de morangos.

3.2 MATERIAIS E METODOS

3.2.1 Tipo de estudo

Trata-se de uma pesquisa descritiva, analítica e experimental, realizada a partir dos frutos de *Ilex paraguariensis A. St. Hil*.

3.2.2 Materiais

Os frutos de *Ilex paraguariensis A. St. Hil* foram obtidos conforme descrito no item 2.2.2. O amido de mandioca, um polissacarídeo extraído da raiz da mandioca, foi obtido em embalagem de 1kg da marca Amafil. O sorbitol, um poliol, proveniente da fermentação da frutose, foi adquirido em embalagem de 1kg da marca Xroots (Utami Hatmi, Apriyati e Cahyaningrum, 2020). O amido de mandioca e o sorbitol foram adquiridos no mercado varejista local de Curitiba, Paraná, Brasil. Os morangos (*Fragaria × ananassa*) foram coletados diretamente de um produtor de agricultura familiar localizado na cidade de São José dos Pinhais, Paraná Brasil (latitude 25°56'31.2"S e longitude 40°12'60.3"W), FIGURA 11.

FIGURA 11 - MORANGOS COLETADOS E ACONDICIONADOS EM CAIXAS PARA TRANSPORTE.



FONTE: o autor (2024).

3.2.3 Obtenção da farinha do fruto inteiro e análises físico-químicas, compostos fenólicos e atividades biológicas

Os frutos verdes foram inicialmente lavados em água corrente secos em estufa com circulação de ar (modelo GD 110, Gigante Produtos Médicos, Brasil), mantida a 45 ± 5 °C. por 180 horas, após, os frutos desidratados foram moídos em moinho de facas tipo Willey (modelo Star FT 50, Fortinox, Brasil), e peneirado em malha de 60 mesh para padronização granulométrica. O extrato foi preparado de acordo com os métodos estabelecidos nos itens 4.2.4 e 4.2.7, utilizando a farinha do fruto inteiro. As análises físico-químicas, minerais, compostos fenólicos e atividades biológicas da farinha e do extrato do FIP foram realizadas conforme os procedimentos descritos nos itens 4.2.5, 4.2.6, 4.2.8 e 4.2.9, respectivamente, FIGURA 12.

3.2.4 Toxicidade

Para a avaliação da toxicidade, utilizou-se o extrato bruto obtido a partir da farinha de FIP. Inicialmente, 100 g da farinha do fruto foram submetidas à extração por refluxo contínuo em extrator Soxhlet, utilizando metanol a 95%

como solvente. A amostra foi acondicionada em cartucho de papel de filtro e extraída por 6 horas, sob aquecimento constante. Após o processo, o extrato metanólico foi concentrado sob pressão reduzida em evaporador rotativo ($\leq 70^{\circ}\text{C}$) e, posteriormente, liofilizado para remoção completa dos resíduos de solvente. O extrato bruto seco foi acondicionado em frascos âmbar e armazenado sob refrigeração (-18°C) até o momento da análise.

A análise de toxicidade foi conduzida conforme o protocolo descrito por Meyer et al., (1982), com adaptações. Para a eclosão dos náuplios de *Artemia salina*, preparou-se uma solução salina contendo 14,31 g de sal marinho (Instant Ocean®) dissolvido em 400 mL de água destilada. Foram adicionados 200 mg de cistos de *A. salina* à solução, que foi mantida sob aeração contínua e iluminação fluorescente (20 W) por 48 horas. As condições ambientais foram controladas, com temperatura entre 27 e 30 $^{\circ}\text{C}$ e pH ajustado entre 8 e 9.

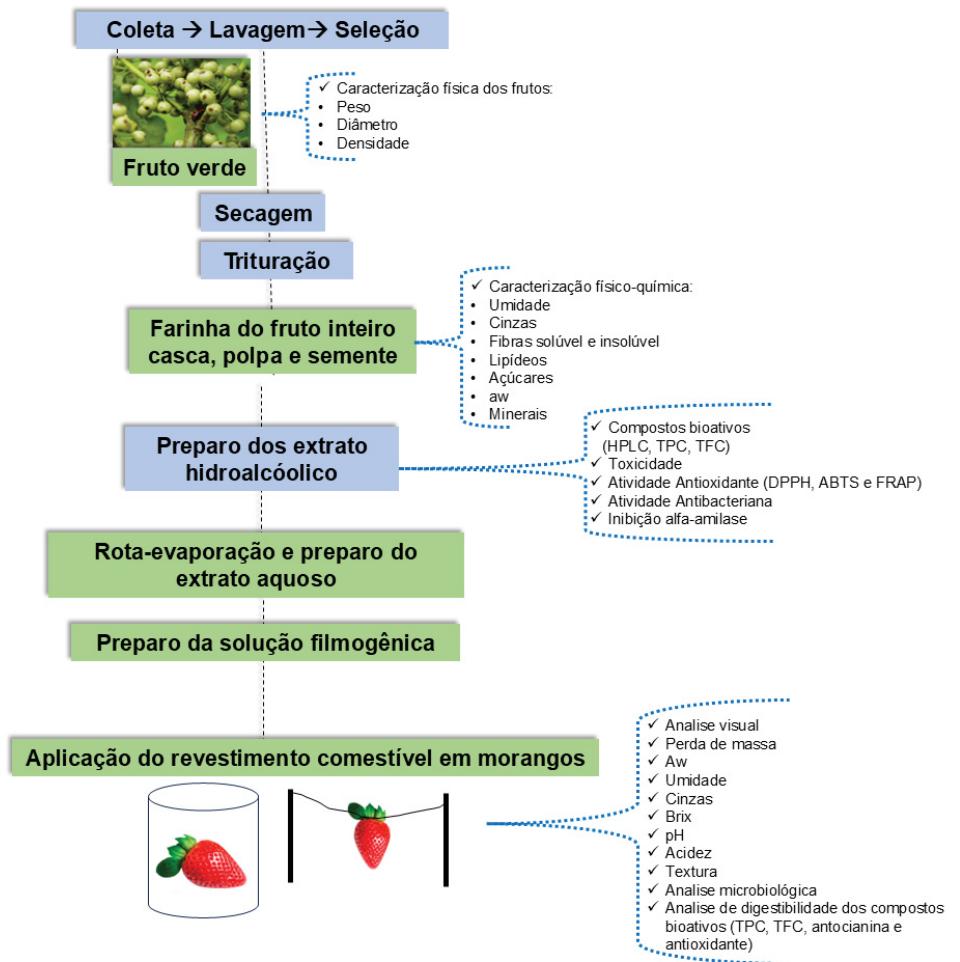
Para o preparo das amostras, foi inicialmente preparada uma solução-mãe contendo 25 mg do extrato bruto dissolvidos em 0,25 mL de DMSO a 1%, completando-se o volume para 25 mL com solução salina em balão volumétrico. A partir dessa solução-mãe, foram preparadas as diluições para obtenção das concentrações finais de 10, 50, 100, 250, 500, 750 e 1000 $\mu\text{g/mL}$. Foi adicionado 10 náuplios recém-eclodidos, em cada tubo. O controle negativo consistiu na exposição dos náuplios à solução salina contendo 1% de DMSO, nas mesmas condições. Os ensaios foram conduzidos por 24 horas, mantendo-se iluminação contínua e temperatura controlada. Ao final do período de exposição, os náuplios vivos e mortos foram contados manualmente com auxílio de lupa estereoscópica.

A concentração LC_{50} foi determinada por análise estatística, utilizando regressão probit com intervalo de confiança de 95%.

3.2.5 Revestimento comestível

O extrato foi rotaevaporado 70° por 4 horas para a remoção do álcool presente no extrato, e rediluído em água destilada para ajustar a concentração do extrato 5% (p/v). O extrato de FIP foi então aplicado no revestimento em três concentrações distintas: Esse extrato de FIP foi utilizado na formulação dos revestimentos, FIGURA 12.

FIGURA 12 - OBTENÇÃO DO EXTRATO DO FRUTO INTEIRO E DO REVESTIMENTO COMESTÍVEL



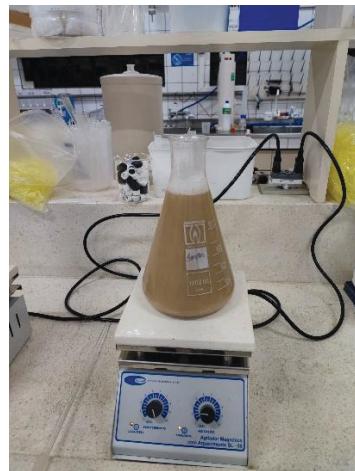
FONTE: O autor (2025).

Para a preparação das soluções filmogênicas, inicialmente foram pesados os componentes estruturais do revestimento, conforme metodologia adaptada de Costa et al., (2023) e (Beuter et al., 2022) utilizando-se 6% (p/p) de amido de mandioca e 10% (p/p) de sorbitol. Posteriormente, adicionou-se o extrato nas concentrações de 0,25 g/mL, 0,50 g/mL e 0,75 g/mL, correspondentes a 25%, 50% e 75% (p/v) de extrato na solução final de revestimento, nomeadas respectivamente como 25% EC, 50% EC e 75% EC. O volume final foi completado com água destilada.

As soluções para o revestimento foram preparadas por agitação contínua em uma placa magnética com aquecimento (FIGURA 13), até alcançar a temperatura de gelatinização do amido, aproximadamente 70°C. Após esse

processo, as soluções de revestimento foram resfriadas até atingirem cerca de 20°C ($\pm 2^\circ\text{C}$). Por fim, as soluções foram submetidas a tratamento por ultrassom por 30 minutos para remover bolhas de ar (Beuter *et al.*, 2022).

FIGURA 13- SOLUÇÃO FILMOGÊNICA SENDO AQUECIDA E HOMOGENIZADA



FONTE: O autor (2024).

3.2.6 Aplicação do revestimento comestível

Primeiramente, os morangos foram selecionados conforme a uniformidade da cor da superfície da fruta, tamanho, peso. Os frutos com sinais visíveis de deterioração, como defeitos fisiológicos e fúngicos foram excluídos (Wigati *et al.*, 2023). Os frutos selecionados foram lavados em água corrente e secaram naturalmente sobre papel kraft em temperatura ambiente à 20°C, por 24 horas (FIGURA 15). As frutas foram então divididas em quatro grupos: morango controle (sem revestimento), morango revestido com a solução de 0,25 g/ml, morango revestido com a solução de 0,50 g/ml, morango revestido com a solução de 0,75 g/ml, FIGURA 14.

FIGURA 14 - FLUXOGRAMA DO REVESTIMENTO E APLICAÇÃO



FONTE: O autor (2025).

FIGURA 15 - MORANGOS APÓS SEREM LAVADOS



FONTE: O autor (2024).

A aplicação do revestimento comestível foi realizada por meio do método de mergulho. As frutas foram imersas na solução do revestimento por 30 segundos, a fim de garantir a aderência da solução na fruta. Após, os frutos passaram pela etapa de deposição, em que consiste em deixar a fruta suspensa, presa pelo pedúnculo em temperatura ambiente (20°C) por 24 horas, com o objetivo de eliminar gravitacionalmente o excesso de solução de revestimento e foram deixados para secar, FIGURA 16 (Suhag et al., 2020).

FIGURA 16 - MORANGOS SECANDO APÓS SEREM MEGULHADOS NA SOLUÇÃO DE REVESTIMENTO



FONTE: O autor (2024).

3.2.7 Avaliação da qualidade física e microbiológica de morangos com e sem revestimento

Os morangos revestidos foram separados e categorizados conforme o dia de análise e a quantidade (g) de cada amostra (QUADRO 3). Após foram acondicionados em bandejas de polietileno tereftalato (PET) com furos de 8mm para ventilação, a fim de simular o tratamento comercial. As amostras embaladas foram armazenadas geladeira (5 °C e 80% UR) e as propriedades foram avaliadas por 16 dias consecutivos, sendo que a cada 4 dias uma bandeja de morangos de cada concentração foi retirada da geladeira para análise.

QUADRO 3 - SEPARAÇÃO E ARMAZENAMENTO DOS MORANGOS

Dia de análise	Quantidade (g)
0	75
4	50
8	75
12	50
16	75

FONTE: O autor (2025).

As análises de perda de massa foram realizadas com pesagens das caixas com os morangos conforme o item 3.2.6 ao longo do período de armazenamento. Em seguida, os morangos foram triturados em triturador doméstico para a determinação da atividade de água (aw), umidade, cinzas, °Brix, pH, acidez e contagem microbiológica. Nos dias 0, 8 e 16, as amostras também foram analisadas quanto a textura e digestibilidade.

3.2.8 Avaliação Físico Química

A massa das amostras foi verificada em balança analítica, antes e após o armazenamento. Para verificar a perda a seguinte fórmula foi considerada:

$$\text{Perda de massa: } (\%) = (M1 - N) / M1 * 100$$

O qual M1 é o peso antes do armazenamento e N é o peso da amostra no determinado dia (N= 0, 4, 8, 12 e 16 dias).

A análise da atividade água (aw), umidade e cinzas antes e durante o armazenamento em geladeira foi realizada conforme o item 2.2.5, utilizando as amostras de acordo com item 3.2.6

A acidez titulável total das amostras de morangos utilizou o método da AOAC 947 (AOAC, 2019). Inicialmente, 3 g da amostra de morango triturados conforme o item 3.2.6, foram homogeneizados com 20mL de água destilada e 2 gotas do indicador fenolftaleína 1%. Em seguida, uma solução de hidróxido de sódio foi utilizada como titulante (N 0,97), sendo adicionada à solução até o ponto de viragem ser percebido (coloração rosa) e foi anotado o volume (mL) de hidróxido de sódio gasto na titulação. Os resultados foram expressos em percentagem de ácido cítrico (Costa *et al.*, 2023). O monitoramento do pH foi realizado com um potenciômetro (pH meter - Digimed - Modelo DM-20, Brasil), AOAC, (2000). As amostras mencionadas 3.2.6 foram avaliadas utilizando um refratômetro de bancada, o modelo 30GS da Metler Toledo, para determinar a quantidade de sólidos solúveis presentes.

3.2.9 Análise microbiológica

A contagem de bactérias mesófilas foi realizada em triplicata, utilizando o método de plaqueamento em superfície com ágar padrão (Plate Count Agar –

PCA) e bolores e leveduras foi feito com ágar Sabouraud Dextrose. Os procedimentos adotados seguiram as metodologias descritas pela American Public Health Association (APHA) e por Silva et al. (2017). Para a análise, 10g de amostra, conforme descrito no item 3.26, foram diluídas em 90 ml de solução salina peptonada 0,1%. Após, 0,1 ml dessa solução foi transferido para frascos contendo 9 ml de tampão de solução salina peptonada 0,1% para obter as diluições decimais subsequentes, 10^{-1} , 10^{-2} , 10^{-3} , 10^{-4} , 10^{-5} , 10^{-6} . Os resultados foram expressos em unidades formadoras de colônias por grama de fruto (UFC/g).

3.2.10 Digestibilidade

A digestibilidade *in vitro* foi realizada em 3 etapas (oral, gástrica e intestinal) e seguindo o protocolo INFOGEST descrito por (Brodkorb et al., 2019), FIGURA 17. Para cada grupo, 3 g de amostra foram coletadas nos dias 0 e 8, sendo previamente trituradas e congeladas. Todos os pontos foram retirados do congelador e analisados simultaneamente (Costa et al., 2023; Wang et al., 2020).

FIGURA 17 –DIGESTIBILIDADE

FASE ORAL	FASE GÁSTRICA	FASE INTESTINAL
 3g de cada amostra + 2,1mL de solução estoque salivar (SSF) – pH 7,0 + 0,03mL de solução α - amilase salivar, 1500U/mL (Aspergillus Niger , 1243U/mL Sigma®) + 0,015mL de Cloreto de Cálcio (0,3M) * 0,585mL de água	 Bolus + 4,5mL de solução estoque da fase gástrica (SGF) – pH 3,0 + 0,003mL de Cloreto de Cálcio (0,3M) * 0,120mL de ácido clorídrico (1M) + 0,417mL de água	 Quimo + 6,6mL de solução estoque da fase gástrica (SGF) – pH 7,0 + 3mL de pancreatina 800U/ Ml (pancreatina suína) Sigma® + 1,5mL DE bile fresca (160mM) + 0,024mL de Cloreto de Cálcio (0,3M) * 0,090mL de hidróxido de sódio(1M) + 0,786mL de água

FONTE: O autor (2025).

Ao término do processo de digestão, a atividade enzimática foi cessada com banho de gelo, seguido de congelamento a -20°C e liofilização. Após a liofilização, os extratos foram preparados, com a adição de 4 mL de metanol 80%, seguido de agitação em vórtex por 1 minuto. Em seguida, as amostras foram submetidas a um banho ultrassônico por 10 minutos e, posteriormente, foram centrifugadas a 2000 RPM por 10 minutos e o sobrenadante foi coletado e filtrado.

Foi avaliado o TPC, TFC, DPPH, ABTS e FRAP dos extratos das amostras, antes e após a digestibilidade conforme o item 2.2.8. Para determinar o conteúdo de antocianinas monoméricas totais, utilizou-se o método de pH diferencial descrito por Giusti e Wrolstad (2001). Foram preparados tampões de pH 1,0 e pH 4,5 com cloreto de potássio (0,025 M) e acetato de sódio (0,4 M), respectivamente, e o fator de diluição foi ajustado com o tampão de pH 1,0 para alcançar uma absorbância entre 0,2 e 1,4 a 540 nm. As amostras foram diluídas em ambos os tampões, e a absorbância foi medida nas leituras de 540 nm e 690 nm. A concentração dos pigmentos de antocianinas foi expressa em equivalentes de cianidina-3-glicosídeo.

3.2.11 Análise estatística

As análises estatísticas foram realizadas por meio de análise de variância (ANOVA), utilizando os softwares Statistica 8.0 (StatSoft Inc., EUA), Action Stat (2014) e SASM-Agri 8.2. A comparação entre médias foi feita pelo teste de Duncan, considerando nível de significância de $p < 0,05$. Já a regressão Probit, utilizada para o cálculo da LC_{50} (concentração letal média), foi conduzida no programa GraphPad Prism 9.0 (GraphPad Software Inc., EUA).

3.3 RESULTADOS

3.3.1 Avaliação da Farinha do fruto verde de *Ilex paraguariensis* A. St. Hil

De acordo com a Resolução RDC nº 711/2022 da ANVISA, o teor de umidade permitido em farinhas não deve ultrapassar 15%, valor dentro do qual se enquadra a farinha obtida a partir do fruto verde inteiro de *Ilex paraguariensis*

A. St. Hil (TABELA 6) (Brasil, 2005). No entanto, estudos recentes têm destacado que a atividade de água é um parâmetro igualmente relevante para prever a estabilidade microbiológica durante o armazenamento (Marynin *et al.*, 2021; Paracampo *et al.*, 2025). (Marynin *et al.*, (2021) observou que farinhas com aw inferior a 0,61 apresentaram maior resistência à deterioração em farinhas de trigo do que as farinhas com aw superior a 0,69. Enquanto (Paracampo *et al.*, 2025) demonstrou que farinhas de pupunha e tucumã secas em estufa com aw entre 0,33 e 0,59 mantiveram as propriedades funcionais por até 287 dias. Esses resultados evidenciam que a farinha do FIP apresenta estabilidade adequada, e que a técnica empregada para a obtenção, baseada em secagem e moagem, é viável, permitindo o armazenamento por longos períodos.

TABELA 6 - COMPOSIÇÃO CENTESIMAL, MINERAIS, COMPOSTOS FENÓLICOS, FENÓLICOS TOTAIS E ANTIOXIDANTE DA FARINHA DO FRUTO VERDE *ILEX PARAGUARIENSIS A. ST. HIL*

Analise	Resultado
Composição centesimal (%)	
Umidade	4,53 ± 0,06
AW	0,41 ± 0,06
Cinzas	3,07 ± 0,08
Proteína (ptn)	3,21 ± 0,31
Lipídeos	1,23 ± 0,18
Açúcar redutor	0,30 ± 0,05
Açúcar total	1,31 ± 0,10
Sacarose	1,01 ± 0,14
Fibra insolúvel	61,44 ± 4,85
Fibra solúvel	1,44 ± 0,85
Fibras totais	62,88 ± 5,32
Minerais (mg/g)	
Ca	159,79 ± 1,70
K	1805,23 ± 1,38
Mg	197,90 ± 0,48
Na	39,22 ± 2,51
P	146,99 ± 1,37
Elementos traços (mg/g)	
Fe	5,27 ± 0,29
Cr	0,11 ± 0,0
Cu	2,55 ± 0,23
Mn	17,40 ± 2,47
S	203,54 ± 1,370
Zn	2,83 ± 0,51
Metais pesados	
Al	13,65 ± 1,59
Pb	0,23 ± 0,04
Compostos fenólicos (mg/g)	
Ác. cafeico	21,50 ± 14,14
Ác. clorogênico	290,24 ± 14,14
Ác. ferúlico	4,35 ± 14,14
Ác. salicílico	3,80 ± 16,26
Ác. sinápico	4,68 ± 25,46
Cumarina	7,18 ± 16,97
DHB	5,76 ± 14,85
DHBA	19,36 ± 14,14
Miricetina	18,36 ± 6,51
Quercetina-3-glucosídeo	39,28 ± 7,07
Quercetina-3-ramnosídeo	7,12 ± 19,09
Rutina	206,36 ± 8,49
Fenólicos totais (mg/100g)	
TFC (Flavonoides totais)	857,60 ± 191,86
TPC (Fenóis totais)	695,80 ± 67,17
Antioxidante (μmol/100 g)	
ABTS	1007,61 ± 154,84
DPPH	1186,41 ± 204,16
FRAP	4568,31 ± 387,32

FONTE: O autor (2025).

O teor de proteínas da farinha do FIP foi de 3,21%, valor considerado baixo em comparação com farinhas tradicionais, como a de trigo, cujos teores variam entre 8% e 14% (Lana *et al.*, 2025). De modo semelhante, ao avaliar 20 farinhas obtidas de diferentes frutas, Galvão *et al.*, (2023) também observaram baixos teores proteicos, variando entre 3% e 12%, embora se destaque o elevado conteúdo de fibras alimentares nessas amostras. Esse mesmo padrão foi verificado na farinha do FIP, que apresentou 62,88% de fibras totais, das quais 61,44% correspondem a fibras insolúveis. Esse tipo de fibra desempenha papel fundamental na promoção da saciedade, no estímulo ao trânsito intestinal e na modulação positiva do microbioma intestinal (Liu *et al.*, 2024).

A farinha do FIP apresentou baixos teores de açúcares redutores (0,30%) e açúcares totais (1,31%), além de um conteúdo lipídico reduzido (1,23%). Esses resultados são relevantes do ponto de vista nutricional e tecnológico, especialmente considerando o crescente interesse da indústria de alimentos e dos consumidores por farinhas com menor teor de açúcares e gorduras. Essa tendência tem motivado pesquisas voltadas à substituição parcial ou total da farinha de trigo em formulações alimentares, com o objetivo de reduzir o índice glicêmico dos produtos e viabilizar alternativas para dietas isentas de glúten (Ngaha *et al.*, 2023). Além disso, farinhas com baixo teor de carboidratos simples e lipídios podem contribuir para o desenvolvimento de alimentos funcionais voltados à prevenção de doenças metabólicas, como diabetes tipo 2 e dislipidemias, ampliando seu potencial de aplicação em dietas saudáveis e restritivas (Ngaha *et al.*, 2023).

A farinha do fruto imaturo de *Ilex paraguariensis* A. St. Hil apresentou teor de cinzas de 3,07%, valor compatível com os dados obtidos por Galvão *et al.*, (2023), que analisou farinhas de diferentes frutas e encontrou variações entre 1,08% e 8,00%. Entre os minerais quantificados, destacaram-se o potássio (1805,23 mg/100 g), magnésio (197,90 mg/100 g), cálcio (159,79 mg/100 g) e fósforo (146,99 mg/100 g). Considerando uma porção de aproximadamente 30 g (três colheres de sopa), esses valores correspondem a cerca de 16% da ingestão diária de recomendada (RDA) de potássio para homens adultos e 21% para mulheres; 15% e 19% da RDA de magnésio, respectivamente; além de 5% da RDA de cálcio e 6% da de fósforo (National Institutes of Health, 2019; Stallings, Harrison e Oria, 2019).

O elevado teor de potássio contribui diretamente para a regulação da pressão arterial, a contração muscular e o equilíbrio ácido-base (Xie, 2023). Já o magnésio e o cálcio exercem funções essenciais na saúde óssea, na transmissão neuromuscular e na prevenção de distúrbios metabólicos. O fósforo, participa ativamente do metabolismo energético e da estrutura celular (Nagata, 2024).

Adicionalmente, a FIP apresentou concentrações significativas de ferro (5,27 mg/100 g), zinco (2,83 mg/100 g) e cobre (2,55 mg/100 g), minerais envolvidos em processos fisiológicos fundamentais, como a função imunológica, atividade antioxidante e metabolismo de enzimas e proteínas (Tian, 2023).

A farinha do FIP apresentou teores elevados de TPC com $695,80 \pm 67,17$ mg EAG/100g e TFC com $857,60 \pm 191,86$ mg EAG/100g. Esses valores são superiores aos relatados para outras farinhas vegetais, como a farinha do bagaço da maçã (340mg/100g) e a farinha da casca da laranja 380mg/100g, evidenciando o potencial antioxidante mais elevado do FIP (Salari, 2024; Fatemeh,2021). Essa superioridade pode estar associada à escolha do método de secagem, que se mostrou mais eficaz na preservação dos compostos fenólicos em comparação ao branqueamento térmico, conforme descrito por esses autores.

A análise dos compostos fenólicos individuais detectou que o ácido clorogênico ($290,24 \pm 14,14$ mg/g), a rutina ($206,36 \pm 8,49$ mg/g) e a quercetina-3-glucosídeo ($39,28 \pm 7,07$ mg/g) foram os principais constituintes. Esses metabólitos secundários são amplamente reconhecidos pela atividade antioxidante, e por apresentarem diversas propriedades biológicas, incluindo atividade anti-inflamatória, cardioprotetora e efeitos moduladores sobre vias metabólicas relacionadas ao estresse oxidativo e à inflamação (Li *et al.*, 2024; Pavlíková, 2022; Soares Carneiro *et al.*, 2022)

O extrato apresentou teor elevado de TPC (695,80 mg/100 g), o que pode estar associado a propriedades antioxidante, antimicrobiana, anti-inflamatória e anticarcinogênica, conforme descrito por Fatemeh (2021). Contudo, a literatura aponta que determinados compostos fenólicos podem exercer efeitos citotóxicos, dependendo da estrutura química e da concentração utilizada, como demonstrado por (Jiang *et al.*, 2018) o que justifica a realização de análises complementares de segurança.

O ácido clorogênico, principal composto identificado neste estudo (290,24 mg/g), apresenta reconhecida atividade antioxidante e capacidade de proteção contra toxicidade induzida por metais pesados (Cheng, 2017). Por outro lado, evidências indicam potencial hepatotoxicidade em doses elevadas (a partir de 240 mg/kg em modelo animal), como relatado por Adeyemo-Salami et al., (2025), caracterizando um perfil de ação dose-dependente.

Na análise de toxicidade aguda, utilizando o bioensaio com *Artemia salina*, o extrato bruto obtido da farinha do fruto inteiro apresentou uma LC₅₀ de 576,70 µg/mL. De acordo com a classificação proposta por Meyer et al., (1982), substâncias com LC₅₀ inferiores a 1000 µg/mL são consideradas biologicamente ativas, sendo classificadas como levemente tóxicas quando os valores se situam entre 500 e 1000 µg/mL. O bioensaio com *Artemia salina* é amplamente utilizado como ferramenta preliminar para triagem de toxicidade, devido à sensibilidade, reproduzibilidade e simplicidade metodológica. Essa abordagem permite a identificação inicial de compostos com potencial bioativo, que podem justificar investigações toxicológicas mais específicas. Nesse contexto, o resultado observado pode estar relacionado à presença de compostos com reconhecida atividade biológica, como fenólicos totais (TPC), saponinas e ácido clorogênico.

3.3.2 Avaliação da vida de prateleira de morangos com e sem revestimento

A perda de massa dos morangos aumentou significativamente para todas as amostras ao longo do período de armazenamento (TABELA 7, FIGURA 18b), comportamento típico dessa fruta, que possui casca fina e elevada permeabilidade, o que a torna particularmente suscetível à desidratação (Zhang et al., 2025). Essa perda está associada principalmente à evaporação da água e à respiração celular, que resultam na liberação de vapor de água e dióxido de carbono (Zahra et al., 2025).

No entanto, os frutos tratados com revestimento comestível apresentaram melhor desempenho na redução da perda de massa em comparação ao controle, principalmente nos primeiros 8 dias. A formulação com 25% EC demonstrou maior estabilidade ao longo de todo o período, com menor variação entre os tempos até o 16º dia. A formulação com 50% EC teve

comportamento similar ao controle no 12º e 16º dia, mostrando vantagem apenas até o 8º dia. Por outro lado, a formulação com 75% EC apresentou comportamento similar as outras amostras nos primeiros dias (0 e 4), mas com um pico acentuado de perda ao 8º dia (17,53%) e atingindo 26,28% ao 16º dia, indicando instabilidade no controle da taxa de desidratação ao longo do tempo. Esses resultados reforçam a importância da escolha adequada da concentração do revestimento para garantir a efetividade na conservação pós-colheita.

TABELA 7- COMPARAÇÃO DOS PARÂMETROS FÍSICO-QUÍMICOS DE MORANGOS REVESTIDOS COM EXTRATO DE FRUTO VERDE DE *ILEX PARAGUARIENSIS* A. ST. HIL (CE) E CONTROLE (SE) DURANTE 16 DIAS DE ARMAZENAMENTO

	0 dias	4 dias	8 dias	12 dias	16 dias
Cinzas %					
Controle SE	0,57 ± 0,06 ^{cA}	0,70 ± 0,06 ^{bA}	0,56 ± 0,02 ^{cC}	0,39 ± 0,04 ^{dB}	0,86 ± 0,00 ^{aAB}
25% CE	0,59 ± 0,04 ^{cA}	0,72 ± 0,05 ^{bA}	0,65 ± 0,02 ^{bcAB}	0,46 ± 0,05 ^{dAB}	0,79 ± 0,02 ^{aB}
50% CE	0,62 ± 0,09 ^{bA}	0,62 ± 0,01 ^{bA}	0,58 ± 0,06 ^{bBC}	0,54 ± 0,04 ^{ba}	0,89 ± 0,04 ^{aA}
75% CE	0,64 ± 0,06 ^{bcA}	0,76 ± 0,12 ^{abA}	0,71 ± 0,04 ^{abA}	0,50 ± 0,05 ^{ca}	0,85 ± 0,07 ^{aAB}
Umidade %					
Controle SE	91,76 ± 0,10 ^{aA}	90,52 ± 0,13 ^{cA}	90,95 ± 0,09 ^{bA}	90,58 ± 0,37 ^{cA}	89,42 ± 0,18 ^{dA}
25% CE	89,42 ± 0,04 ^{aA}	88,59 ± 0,12 ^{bB}	87,42 ± 0,06 ^{cA}	87,21 ± 0,09 ^{dB}	86,02 ± 0,11 ^{eB}
50% CE	91,73 ± 3,74 ^{cA}	88,57 ± 0,09 ^{aB}	141,15 ± 90,50 ^{aA}	87,48 ± 0,63 ^{abB}	85,51 ± 0,12 ^{bB}
75% CE	89,47 ± 0,06 ^{aA}	88,19 ± 0,03 ^{bC}	86,76 ± 0,10 ^{cdA}	87,66 ± 0,15 ^{bcB}	86,33 ± 1,02 ^{cB}
Acidez titulável (Ácido cítrico %)					
Controle SE	11,13 ± 0,29 ^{abA}	11,36 ± 0,27 ^{aA}	10,82 ± 0,50 ^{abB}	9,96 ± 0,49 ^{bB}	10,81 ± 0,99 ^{abB}
25% CE	11,37 ± 0,21 ^{aA}	11,59 ± 0,24 ^{aA}	11,40 ± 1,91 ^{aAB}	11,24 ± 0,33 ^{aA}	12,58 ± 1,04 ^{aA}
50% CE	11,13 ± 0,61 ^{aA}	11,51 ± 0,42 ^{aA}	11,33 ± 0,29 ^{aAB}	11,12 ± 0,09 ^{aA}	11,80 ± 0,71 ^{aAB}
75% CE	11,27 ± 0,15 ^{cA}	11,84 ± 0,38 ^{ba}	12,88 ± 0,30 ^{aAB}	10,31 ± 0,17 ^{dB}	13,05 ± 0,20 ^{aA}
Sólidos solúveis totais (º Brix)					
Controle SE	6,25 ± 0,25 ^{aB}	6,42 ± 0,144 ^{aD}	6,08 ± 0,14 ^{aD}	6,17 ± 0,14 ^{aC}	6,17 ± 0,14 ^{aC}
25% CE	8,92 ± 0,14 ^{ba}	8,08 ± 0,14 ^{cC}	9,67 ± 0,14 ^{aA}	7,83 ± 0,14 ^{cAB}	9,00 ± 0,66 ^{bB}
50% CE	8,67 ± 0,14 ^{ba}	8,42 ± 0,14 ^{cdB}	8,58 ± 0,14 ^{bcC}	8,25 ± 0,25 ^{dA}	9,60 ± 0,13 ^{aA}
75% CE	8,67 ± 0,14 ^{ba}	8,92 ± 0,14 ^{ba}	8,83 ± 0,14 ^{bB}	7,33 ± 0,38 ^{cB}	9,42 ± 0,14 ^{aAB}
pH					
Controle SE	3,67 ± 0,02 ^{bC}	3,83 ± 0,02 ^{aA}	3,62 ± 0,02 ^{bC}	3,65 ± 0,01 ^{bB}	3,68 ± 0,11 ^{bA}
25% CE	3,69 ± 0,05 ^{aC}	3,76 ± 0,06 ^{aAB}	3,74 ± 0,03 ^{aA}	3,71 ± 0,01 ^{aA}	3,59 ± 0,00 ^{bA}
50% CE	3,78 ± 0,04 ^{aB}	3,66 ± 0,03 ^{cC}	3,71 ± 0,02 ^{bAB}	3,72 ± 0,01 ^{bA}	3,61 ± 0,02 ^{dA}
75% CE	3,85 ± 0,04 ^{aA}	3,70 ± 0,01 ^{bBC}	3,67 ± 0,01 ^{bcB}	3,69 ± 0,03 ^{bcAB}	3,63 ± 0,04 ^{cA}
Perda de massa %					
Controle SE	0	2,67 ± 0,09 ^{bA}	6,56 ± 0,63 ^{bA}	7,19 ± 0,37 ^{aA}	18,65 ± 1,41 ^{aA}
25% CE	0	2,85 ± 0,82 ^{cA}	6,51 ± 1,51 ^{bA}	6,99 ± 1,22 ^{bA}	15,75 ± 3,91 ^{aA}
50% CE	0	2,52 ± 0,57 ^{cA}	6,67 ± 1,59 ^{bA}	7,13 ± 1,21 ^{bA}	18,78 ± 1,62 ^{aA}
75% CE	0	2,27 ± 0,01 ^{cA}	8,62 ± 2,60 ^{bA}	7,77 ± 0,51 ^{bA}	17,42 ± 1,23 ^{aA}
aw					
Controle SE	0,97 ± 0,00 ^{dA}	0,98 ± 0,00 ^{cA}	0,99 ± 0,00 ^{aA}	0,98 ± 0,00 ^{cA}	0,98 ± 0,00 ^{bA}
25% CE	0,97 ± 0,00 ^{ba}	0,98 ± 0,00 ^{aA}	0,98 ± 0,00 ^{abB}	0,97 ± 0,00 ^{bb}	0,97 ± 0,00 ^{cB}
50% CE	0,97 ± 0,00 ^{cA}	0,98 ± 0,00 ^{aA}	0,98 ± 0,00 ^{abB}	0,97 ± 0,00 ^{abB}	0,97 ± 0,00 ^{bB}
75% CE	0,97 ± 0,00 ^{bcA}	0,98 ± 0,00 ^{aB}	0,98 ± 0,00 ^{abB}	0,98 ± 0,00 ^{aA}	0,97 ± 0,00 ^{cB}
L*					
Controle SE	24,90 ± 1,02 ^{cC}	30,29 ± 2,39 ^{ba}	31,41 ± 1,23 ^{bAB}	34,43 ± 1,18 ^{aA}	35,42 ± 0,81 ^{aA}
25% CE	25,90 ± 1,06 ^{bC}	31,50 ± 2,71 ^{aA}	33,00 ± 1,35 ^{aA}	31,65 ± 0,66 ^{aC}	33,38 ± 1,49 ^{aB}
50% CE	28,78 ± 1,54 ^{dB}	30,86 ± 2,53 ^{bcA}	29,89 ± 2,58 ^{cdB}	32,59 ± 0,67 ^{abBC}	33,10 ± 0,74 ^{aB}
75% CE	31,01 ± 2,39 ^{cdA}	29,65 ± 1,79 ^{dA}	33,02 ± 0,90 ^{abA}	33,71 ± 1,62 ^{aAB}	31,60 ± 1,63 ^{dC}
a*					
Controle SE	23,80 ± 1,04 ^{bB}	22,43 ± 2,02 ^{bB}	30,87 ± 1,85 ^{aA}	20,23 ± 1,04 ^{cB}	20,62 ± 0,65 ^{cA}
25% CE	24,66 ± 0,91 ^{bB}	26,32 ± 1,33 ^{aA}	27,27 ± 1,23 ^{bB}	20,56 ± 1,45 ^{cB}	21,04 ± 0,53 ^{cA}
50% CE	26,32 ± 1,44 ^{ba}	22,94 ± 2,39 ^{cB}	28,21 ± 1,92 ^{bB}	24,25 ± 1,38 ^{cA}	21,02 ± 1,03 ^{dA}
75% CE	23,34 ± 2,48 ^{cB}	25,20 ± 1,98 ^{ba}	26,99 ± 0,95 ^{aB}	19,68 ± 1,20 ^{dB}	18,60 ± 0,24 ^{dB}
b*					
Controle SE	11,38 ± 0,64 ^{cA}	10,24 ± 1,58 ^{cC}	17,29 ± 2,11 ^{aA}	13,45 ± 0,16 ^{bB}	14,04 ± 0,43 ^{bA}
25% CE	11,11 ± 0,61 ^{cA}	11,98 ± 1,09 ^{ba}	13,00 ± 1,04 ^{aB}	10,43 ± 0,65 ^{cB}	13,24 ± 0,50 ^{aB}
50% CE	12,72 ± 1,15 ^{ba}	10,69 ± 1,71 ^{cA}	14,96 ± 1,75 ^{aB}	12,52 ± 0,74 ^{bB}	13,65 ± 0,79 ^{abB}
75% CE	11,06 ± 1,83 ^{cA}	12,09 ± 1,48 ^{bB}	13,01 ± 0,72 ^{aB}	13,11 ± 0,49 ^{aA}	11,93 ± 0,31 ^{bcB}
Bolor e levedura					
Controle SE	6,10 ± 0,04 ^{dA}	6,49 ± 0,01 ^{bB}	6,78 ± 0,04 ^{aB}	5,96 ± 0,04 ^{eB}	6,33 ± 0,01 ^{cC}
25% CE	5,88 ± 0,04 ^{dA}	6,46 ± 0,01 ^{bB}	6,62 ± 0,06 ^{aC}	6,46 ± 0,03 ^{bc}	6,35 ± 0,09 ^{cC}
50% CE	5,81 ± 0,42 ^{cA}	6,65 ± 0,02 ^{bA}	7,05 ± 0,02 ^{aA}	6,80 ± 0,012 ^{abA}	6,50 ± 0,02 ^{bB}
75% CE	5,81 ± 0,08 ^{cA}	6,62 ± 0,01 ^{bA}	6,84 ± 0,04 ^{aB}	6,84 ± 0,07 ^{aB}	6,66 ± 0,12 ^{bA}
Bactérias mesófilas					
Controle SE	5,91 ± 0,04 ^{cA}	6,07 ± 0,10 ^{bB}	6,30 ± 0,03 ^{aB}	5,93 ± 0,02 ^{cD}	6,40 ± 0,01 ^{aA}

25% CE	5,65 ± 0,52 ^{bA}	6,53 ± 0,06 ^{aA}	6,14 ± 0,03 ^{aC}	6,33 ± 0,05 ^{aC}	6,26 ± 0,27 ^{aA}
50% CE	5,96 ± 0,05 ^{cA}	6,45 ± 0,04 ^{bA}	6,37 ± 0,02 ^{bB}	6,58 ± 0,08 ^{aB}	6,43 ± 0,00 ^{bA}
75% CE	5,40 ± 0,43 ^{cA}	6,47 ± 0,03 ^{abA}	6,28 ± 0,01 ^{bA}	6,79 ± 0,02 ^{aA}	6,13 ± 0,05 ^{bA}

NOTA: Valores seguidos por letras minúsculas na mesma linha indicam diferenças significativas entre os tempos de armazenamento para uma mesma amostra ($p < 0,05$). Letras maiúsculas na mesma coluna indicam diferenças significativas entre as diferentes amostras em um mesmo tempo ($p < 0,05$).

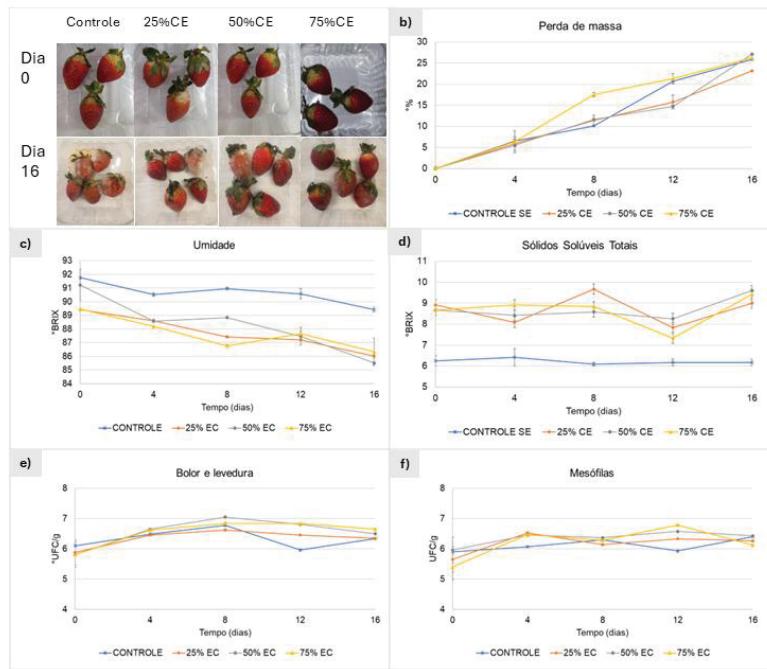
FONTE: O autor (2025).

No tempo inicial (0 dias), não foram observadas diferenças significativas ($p > 0,05$) nos valores de umidade e atividade de água (TABELA 7 e FIGURA 18c) entre os tratamentos, indicando que a aplicação dos revestimentos não alterou de forma imediata o teor de água dos frutos e a integridade celular. Resultado semelhante foi observado em estudos preliminares com morangos revestidos com quitosana e óleo de semente de chá (Phuong et al., 2023).

Ao longo do armazenamento, foi verificada uma redução significativa da umidade em todas as amostras, atribuída à perda fisiológica de água dos morangos por transpiração e respiração celular (Phuong et al., 2023; Zahra et al., 2025). Nos dias 12 e 16, as amostras tratadas com revestimentos apresentaram valores de umidade mais baixos e atividade de água significativamente inferior ao controle, evidenciando que os revestimentos atuaram como barreiras semipermeáveis, retardando a difusão de água para a superfície e limitando o acúmulo de umidade livre.

Considerando que valores de aw inferiores a 0,98 dificultam o crescimento de microrganismos deterioradores, os dados reforçam que o uso de revestimentos comestíveis pode contribuir para a preservação da qualidade microbiológica e para o prolongamento da vida útil dos morangos durante o armazenamento (Popescu et al., 2022).

FIGURA 18 - ANÁLISE DAS AMOSTRAS DURANTE O ARMAZENAMENTO



NOTA: (A). perda de massa (B), umidade (C) sólidos solúveis totais (D), bolor e levedura (E), mesófilas (F).

FONTE: O autor (2025).

O teor de cinzas dos morangos variou ao longo do período de armazenamento (TABELA 7). No grupo controle, foi verificado um aumento inicial entre os dias 0 e 4 (de 0,57% para 0,70%), seguido por uma redução e subsequente elevação no dia 12, atingindo o valor máximo de 0,86%. Essas oscilações podem estar relacionadas à degradação dos tecidos, à perda de água e à consequente concentração relativa dos minerais remanescentes. O teor de cinzas é frequentemente utilizado como indicador do conteúdo total de minerais em alimentos e pode ser influenciado por processos como desidratação, alterações estruturais e migração de solutos (Phuong Ha *et al.*, 2022; Zahra *et al.*, 2025). Nas amostras submetidas aos tratamentos com revestimento comestível, um padrão semelhante de variação foi verificado, porém com flutuações menos acentuadas e maior estabilidade ao longo do tempo, principalmente nos tratamentos com 50% EC e 75% EC. O tratamento com 50% EC apresentou o perfil mais uniforme entre os tempos avaliados, atingindo o

maior valor de cinzas (0,89%) ao final do armazenamento (dia 16). Esse comportamento pode ser atribuído à atuação do revestimento como uma barreira semipermeável, que minimiza a perda de compostos minerais e retarda a degradação dos tecidos, contribuindo para a preservação do conteúdo de cinzas.

Adicionalmente, o aumento nos teores de cinzas ao final do armazenamento, particularmente nos grupos tratados, pode estar relacionado à concentração de sólidos provocada pela perda progressiva de umidade, corroborando com os valores de umidade e atividade de água.

No dia 0 de análise, observou-se que os morangos revestidos apresentaram um aumento de 42,72% nos sólidos solúveis totais ($^{\circ}$ Brix) em comparação à amostra controle (FIGURA 18d). Esse comportamento se repetiu ao longo de todos os tempos avaliados, nos quais os frutos com revestimento apresentaram valores de $^{\circ}$ Brix significativamente superior ao controle ($p < 0,05$). Esse aumento pode ser atribuído à composição do revestimento, que contém amido de mandioca e sorbitol, ambos ricos em compostos solúveis que contribuem para o acréscimo nos teores de sólidos solúveis totais. Ressalta-se que frutos com maior teor de sólidos solúveis tendem a apresentar melhor palatabilidade e maior aceitação sensorial, uma vez que o $^{\circ}$ Brix representa uma estimativa do teor total de açúcares solúveis presentes na fruta (Ikegaya *et al.*, 2021; Lee *et al.*, 2022).

Outra análise utilizada para avaliar o sabor dos morangos é a determinação da acidez, geralmente expressa em ácido cítrico. A combinação de maiores teores de sólidos solúveis totais e acidez está diretamente associada à maior palatabilidade dos frutos (Lee *et al.*, 2022; Zahra *et al.*, 2025). Nos dias 0, 4 e 12, não foram observadas diferenças significativas ($p > 0,05$) entre as amostras. No entanto, no 12º dia, a amostra controle e a 50% EC apresentaram teores de acidez significativamente menores em comparação às demais. Enquanto no último tempo de análise (16 dias), a amostra controle manteve-se inferior às revestidas. Essa redução da acidez ao longo do tempo pode estar relacionada a alterações metabólicas típicas do amadurecimento, como a utilização de ácidos orgânicos no processo respiratório (Chen *et al.*, 2025; Zahra *et al.*, 2025).

Morangos frescos apresentam pH naturalmente ácido variando de 3,00 a 3,90, a depender da cultivar e do estágio de maturação, sendo que valores

mais baixos de pH estão associados a maior estabilidade microbiológica e retardamento da deterioração (Khodaei, Hamidi-Esfahani e Rahmati, 2021). Com o amadurecimento e início da degradação, o pH pode se elevar devido à degradação de ácidos orgânicos, especialmente ácido cítrico e ácido málico, que são metabolicamente convertidos em açúcares como fonte de energia para o amadurecimento dos frutos (Phuong et al., 2023).

Nos morangos do grupo controle, houve um aumento significativo do pH no dia 4 (TABELA 7), indicando o início do amadurecimento, seguido por uma estabilização nos tempos posteriores, possivelmente relacionada à senescência e à degradação estrutural dos tecidos. Nas amostras tratadas com revestimento comestível, observou-se uma tendência de queda no pH ao longo do armazenamento, e na concentração de 25% de EC, que apresentou maior estabilidade, mantendo os valores próximos aos iniciais até o oitavo dia. Tal comportamento indica que o revestimento contribuiu para a preservação da acidez dos frutos, possivelmente por retardar o metabolismo respiratório e, consequentemente, o avanço do amadurecimento, favorecendo a manutenção da qualidade durante o armazenamento.

A avaliação instrumental de cor dos morangos ao longo do armazenamento demonstrou diferenças significativas entre o grupo controle e as amostras com revestimento. O grupo controle apresentou aumento significativo da coordenada L^* (luminosidade) ao longo do armazenamento, atingindo o maior valor no tempo final (16 dias), o que sugere clareamento excessivo da superfície, possivelmente relacionado à degradação dos pigmentos e à perda de frescor (Wigati et al., 2024). Em contrapartida, os frutos revestidos, especialmente nas concentrações de 25% EC e 50% EC, mantiveram os valores de L^* mais estáveis, indicando maior preservação da aparência visual e retardamento do processo de clareamento.

Em relação à coordenada cromática a^* (a tonalidade avermelhada da epiderme do morango), o grupo controle apresentou um pico no dia 4, seguido de redução nos tempos posteriores, comportamento característico de frutos que passaram por amadurecimento acelerado e início de deterioração. Já as amostras revestidas mantiveram os valores de a^* mais estáveis ao longo do tempo, demonstrando maior preservação da coloração vermelha associada ao frescor dos morangos. Na coordenada b^* , relacionada à tonalidade amarela, o

grupo controle apresentou variações acentuadas, enquanto os frutos revestidos demonstraram maior uniformidade, o que reforça a eficácia do revestimento comestível na manutenção da estabilidade visual dos morangos durante o armazenamento.

A aparência e a cor são importantes indicadores de qualidade para frutas, pois desempenham um papel essencial na decisão de compra pelos consumidores (Wigati et al., 2024). A cor e o brilho característicos da fruta são atrativos e indicando o frescor, sendo que, no caso dos morangos, a coloração vermelha vivo se deve principalmente à presença de antocianinas, como pelargonidina-3-glicosídeo e cianidina-3-glicosídeo (García-García et al., 2023; Wigati et al., 2024).

Conforme esperado durante o armazenamento de frutas frescas, foi evidenciado um aumento gradual na contagem de bolores e leveduras em todas as amostras ao longo do tempo (TABELA 7 e FIGURA 18e) (Muley e Singhal, 2020). No início do experimento (dia 0), as amostras não apresentaram diferenças significativas na contagem de bolores e leveduras, comportamento semelhante ao observado no último dia de análise (dia 16).

Entretanto, durante o armazenamento, as amostras controle e com 25% de revestimento comestível (EC) exibiram taxas microbianas inferiores às observadas nas formulações com 50% e 75% de EC. Destaca-se que a formulação com 50% de EC apresentou o maior crescimento de bolores e leveduras, atingindo 7,05 UFC/g no dia 4, indicando menor eficácia na inibição do desenvolvimento microbiológico neste estágio. Por outro lado, a formulação com 75% de EC manteve níveis de bolores e leveduras semelhantes aos demais tratamentos, apresentando um padrão de estabilidade entre os dias 4 e 16, o que sugere uma barreira física mais eficiente contra a proliferação de bolores e leveduras, possivelmente atribuída à limitação da oxigenação superficial.

Para a contagem de bactérias mesófilas aeróbias, não foram verificadas diferenças estatisticamente significativas entre as amostras nos dias 0 e 16 de armazenamento. Entretanto, ao longo do período experimental, a formulação com 25% de revestimento comestível (25% EC) apresentou comportamento mais estável em comparação às demais formulações. Esta amostra variou de 5,65 log UFC/g (dia 0) para 6,26 log UFC/g (dia 16), representando um aumento

de apenas 10,80%. Já o grupo controle apresentou variação semelhante, partindo de 5,91 log UFC/g no dia 0 para 6,26 log UFC/g no dia 16.

A amostra com 75% EC, registrou os maiores valores de contagem de mesófilas nos dias 8 e 12, atingindo um pico de 6,79 log UFC/g, evidenciando um comportamento menos eficaz na contenção microbiana em períodos intermediários do armazenamento. Ao comparar o desempenho entre as formulações ao longo do tempo, o grupo controle e a formulação 25% EC mantiveram níveis mais baixos de mesófilas em relação às amostras 50% EC e 75% EC.

O melhor desempenho da formulação com 25% EC, mesmo contendo menor concentração do extrato do fruto imaturo de *Ilex paraguariensis A. St. Hil.*, sugere uma possível ação sinérgica entre os compostos bioativos do extrato e os constituintes do morango, resultando em um efeito antimicrobiano mais eficiente a longo prazo. Esse resultado está alinhado com estudos prévios que demonstram que a eficácia de revestimentos comestíveis depende não apenas da concentração dos aditivos bioativos, mas também da interação com a matriz alimentar e da homogeneidade da cobertura aplicada (Chen *et al.*, 2025).

NÃO LOCALIZEI A DISCUSSÃO DA MICROBIOLÓGICA. E TEM UMA OS GRÁFICOS PERDIDOS NO MEIO DA DISCUSSÃO DA FÍSICO-QUÍMICA

3.3.3 Avaliação da digestibilidade dos morangos com e sem revestimentos

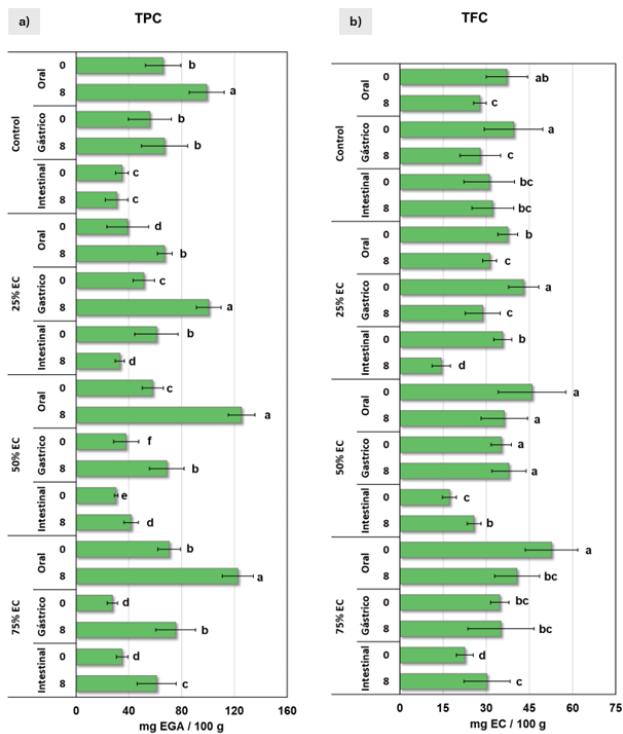
Variações significativas nos teores de compostos fenólicos totais (TPC) e flavonoides totais (TFC) entre os tratamentos e fases digestivas foram observadas ao longo de 8 dias de armazenamento (FIGURA 19a). O TPC quanto aumentou em média 56,43% o conteúdo nas amostras não digeridas aos 8 dias em relação ao tempo 0 dia, indicando que o armazenamento promoveu liberação de compostos anteriormente ligados à matriz. Esse efeito pode estar relacionado à degradação enzimática da parede celular, promovida por enzimas endógenas dos próprios morangos, facilitando a liberação de fenólicos e flavonoides, conforme relatado por Ding *et al.* (2021), Mthembu *et al.* (2023) e Mikulajová *et al.* (2024). Contudo, após a simulação da digestão, foi verificado uma redução desses compostos.

Para o TPC, a redução média nas amostras aos 8 dias foi de 24,70% na fase gástrica e de 59,76% na fase intestinal, em relação às respectivas amostras não digeridas. Essa queda reflete a instabilidade de muitos compostos fenólicos frente às condições digestivas, particularmente na fase intestinal, onde a ação da pancreatina e da bile pode promover transformações químicas, precipitação ou degradação oxidativa dos compostos, reduzindo da bioacessibilidade (Carbonell-Capella et al., 2014).

Os valores de TPC foram significativamente maiores na fase gástrica, com a amostra contendo 25% EC apresentando aumento de 66,88% em relação à amostra não digerida, sugerindo liberação de compostos ligados à matriz pela ação do pH ácido e das enzimas gástricas, ajudando a liberar mais polifenóis, tornando-os mais bioacessíveis (Cheng et al., 2023). No entanto, essa mesma amostra apresentou diminuição significativamente na fase intestinal, indicando baixa retenção até o final da digestão. Nas amostras com 50% e 75% EC, observou-se comportamento semelhante: teores mais elevados nas fases não digerida e gástrica aos 8 dias, seguidos por reduções significativas na fase intestinal.

Em todos os tratamentos, menores valores de TPC foram evidenciados na fase intestinal, independentemente do tempo de armazenamento. Esses resultados indicam que, apesar da maior liberação inicial promovida pelo armazenamento e pela digestão gástrica, a fração efetivamente bioacessível ao final da digestão é limitada. A redução pode ser atribuída à ação da pancreatina e da bile, que promovem transformações químicas, precipitação ou degradação oxidativa dos fenólicos, comprometendo a estabilidade e atividade antioxidante (Carbonell-Capella et al., 2014).

FIGURA 19 - COMPARATIVO DAS AMOSTRAS DURANTE A DIGESTIBILIDADE PARA TPC (A), TFC (B).



O autor (2025).

No caso do TFC (FIGURA 19b), os controles apresentaram os maiores valores no tempo 0 dias, mas não mantiveram a estabilidade ao longo dos 8 dias de armazenamento, comportamento semelhante ao observado por Ding et al., (2021), que relataram declínio contínuo no teor de flavonoides de morangos durante o armazenamento. Embora variações tenham sido observadas nas fases não digerida e gástrica entre os tratamentos e tempos, os maiores impactos foram verificados após a digestão, especialmente na fase intestinal, evidenciando perdas significativas no conteúdo de flavonoides bioacessíveis.

Nos morangos com 25% EC, o maior valor de TFC foi observado na fase gástrica aos 0 dias, seguido pelas fases não digerida e intestinal, que não diferiram estatisticamente entre si. Após 8 dias, TFC nas fases não digerida e gástrica foram similares, mas significativamente inferiores (16,80 e 33,26%, respectivamente) ao valor inicial. Entretanto, após a digestão intestinal, houve uma redução significativa (59,87%), sendo esta fase a que apresentou o menor valor entre todos os tempos e fases avaliadas, indicando baixa bioacessibilidade ao final do processo digestivo.

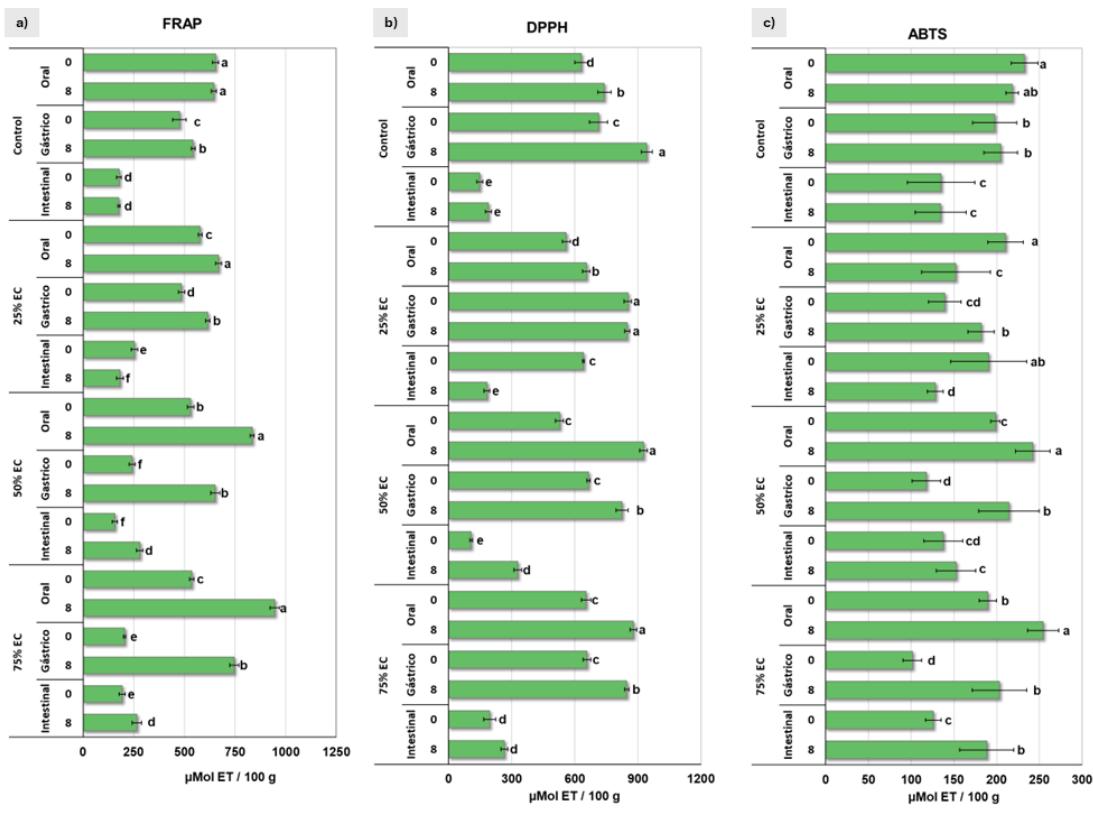
Para a amostra com 50% EC, os teores de TFC nas fases não digerida e gástrica permaneceram estáveis entre os tempos 0 e 8 dias. No entanto, a fase intestinal apresentou teores (cerca de 2 vezes) mais baixos, revelando perdas substanciais após a digestão.

Já para os morangos com 75% EC, o maior TFC foi registrado na fase não digerida aos 0 dias, seguida pela fase não digerida aos 8 dias e pelas fases gástricas nos dois tempos, que apresentaram valores estatisticamente semelhantes. A fase intestinal apresentou comportamento semelhante ao da amostra 50% EC, com teores reduzidos. Entretanto, cerca de 75% do TFC permaneceu bioacessível ao final da digestão, resultado superior aos 66% relatados por (Bortolini *et al.*, 2025) em morangos sem revestimento, demonstrando que o revestimento com 75% EC foi eficaz também na preservação dos flavonoides durante o processo digestivo.

A redução observada nos conteúdos de TPC e TFC ao longo das fases digestivas é consistente com a sensibilidade desses compostos às condições fisiológicas simuladas, sobretudo na fase intestinal. Contudo, a eficácia dos revestimentos comestíveis, especialmente na concentração de 75% EC, em preservar compostos bioativos durante a digestão gástrica sugere que essas camadas podem atuar como barreiras protetoras, retardando a degradação inicial. A maior retenção de TFC e TPC ao final da digestão gástrica nessa formulação indica um potencial diferencial na proteção de compostos fenólicos, possivelmente relacionado à interação entre eles e a matriz do revestimento. Embora a bioacessibilidade dos compostos fenólicos tenha se mostrado limitada na maioria dos tratamentos, a liberação inicial promovida pelo armazenamento aliada à ação do revestimento reforça a possibilidade de que essa tecnologia contribua para a melhora da estabilidade e funcionalidade dos compostos bioativos em morangos minimamente processados. Esses aspectos indicam que o uso de revestimentos pode influenciar não apenas a conservação durante o armazenamento, mas também a disponibilidade final dos compostos após a digestão, o que merece investigações adicionais.

(Bortolini *et al.*, 2025).

FIGURA 20 - COMPARATIVO DAS AMOSTRAS DURANTE A DIGESTIBILIDADE PARA ATIVIDADE ANTIOXIDANTE: FRAP (A), DPPH (B), ABTS (C).



O autor (2025).

A avaliação da atividade antioxidante das amostras de morango controle e com revestimentos, analisadas pelos métodos FRAP, DPPH e ABTS demonstrou diferenças significativas entre fases digestivas, tempos de armazenamento e concentrações do revestimento. Além disso, as formulações com 25%, 50% e 75% de revestimento ao 8º dia de armazenamento exibiram aumento nos valores antioxidantes em comparação ao tempo zero, sugerindo que o armazenamento pode favorecer a liberação de compostos antioxidantes. Para FRAP na fase gástrica, a amostra 75% EC apresentou o maior valor com 746,54 $\mu\text{mol Fe}^{2+}/100\text{g}$, seguido pela amostra 50 % EC (652,20 $\mu\text{mol Fe}^{2+}/100\text{g}$) e 25% EC (614,71 $\mu\text{mol Fe}^{2+}/100\text{g}$), enquanto o controle sem revestimento apresentou o menor valor (de 476,08 para 543,73 $\mu\text{mol Fe}^{2+}/100\text{g}$).

Esses resultados sugerem que os revestimentos, especialmente em concentrações mais elevadas, podem favorecer a proteção e/ou a liberação gradual dos compostos antioxidantes na fase gástrica (Bortolini et al., 2025; Wigati et al., 2023). A fase intestinal apresentou os menores valores de FRAP para todas as amostras, independentemente da concentração do revestimento,

indicando uma redução significativa na capacidade antioxidante após a digestão intestinal.

Para atividade antioxidante medida pelo DPPH, a fase gástrica resultou em aumento nos teores em todas as amostras, com maior valor verificado para o controle (942,13 $\mu\text{mol TE}/100\text{g}$), seguido pela formulação 75 % EC (847,61 $\mu\text{mol TE}/100\text{g}$), ambos ao 8º dia. As amostras não digeridas também demonstraram aumento na atividade antioxidante ao 8º dia, sendo a formulação 50% EC não digerida a que apresentou o maior aumento, de 527,81 para 927,05 $\mu\text{mol TE}/100\text{g}$. Na fase intestinal, a amostra 50% EC novamente teve o maior aumento de atividade antioxidante ao 8º dia (328,75 $\mu\text{mol TE}/100\text{g}$), valor mais de três vezes superior ao inicial (106,96 $\mu\text{mol TE}/100\text{g}$), sugerindo maior liberação de compostos antioxidantes durante a digestão. A formulação 75% EC também apresentou aumento na atividade antioxidante na fase intestinal (266,22 $\mu\text{mol TE}/100\text{g}$ no dia 8. Em contrapartida, a amostra 25% EC demonstrou redução significativa na fase intestinal, passando de 641,12 em 0 dias para 182,46 $\mu\text{mol TE}/100\text{g}$ em 8 dias, o que pode indicar degradação de compostos antioxidantes durante o armazenamento. Esses resultados evidenciam que os revestimentos, em especial a formulação 75% EC, foram eficazes em preservar e até mesmo potencializar a liberação de compostos antioxidantes durante a digestão (Dong *et al.*, 2022; Zahra *et al.*, 2025).

Para a atividade antioxidante avaliada pelo método ABTS, a amostra controle apresentou redução de 46,63% após a fase gástrica e de 33,69% após a fase intestinal, indicando perda de capacidade antioxidante ao longo do processo digestivo simulado. Por outro lado, os morangos revestidos com 50% e 75% de EC demonstraram aumento na atividade antioxidante ao 8º dia de armazenamento, em comparação ao dia 0, nas três condições analisadas: amostra não digerida, fase gástrica e fase intestinal. A exceção foi observada na formulação com 25% de EC, que apresentou maior atividade antioxidante no tempo 0 dias para as amostras não digeridas e após a fase intestinal. Já na fase gástrica da 25% EC, o valor mais elevado foi registrado no 8º dia. Esses resultados sugerem que a concentração de revestimento e o tempo de armazenamento influenciam de maneira distinta a estabilidade e a liberação dos compostos bioativos durante a digestão simulada. Maior eficiência foi verificada

para as formulações com 50% e 75% de EC na preservação ou potencialização da atividade antioxidante por ABTS ao longo do tempo.

Considerando que, após 8 dias de armazenamento, houve aumento nos teores de TPC e TFC nas amostras não digeridas e que, após a digestão simulada, principalmente na fase intestinal, foi observada uma redução significativa desses compostos, refletindo a instabilidade em condições fisiológicas, as formulações com 50% e 75% de EC apresentaram maior retenção de TPC e TFC, além de maior atividade antioxidante (FRAP, DPPH e ABTS) ao longo do tempo, evidenciando a proteção ou a liberação gradual de compostos bioativos conferida pelo revestimento.

3.4 CONCLUSÃO

A farinha obtida a partir do fruto verde de *Ilex paraguariensis* A. St. Hil apresenta baixa umidade e aw demonstrando a viabilidade para armazenamento prolongado. O perfil nutricional revela baixos teores de proteínas, lipídios e açúcares, associados a um conteúdo alto de fibras totais (62,88%), majoritariamente insolúveis, que favorecem a saciedade e a saúde intestinal. Além disso, contém minerais essenciais como potássio, magnésio, cálcio e ferro, contribuindo para o enriquecimento de formulações funcionais. Do ponto de vista bioativo, a farinha apresenta elevados níveis de compostos fenólicos e flavonoides, com destaque para o ácido clorogênico, rutina e queracetina-3-glicosídeo, os quais conferem elevada atividade antioxidante. Esses atributos tornam a farinha do FIP uma alternativa inovadora e funcional promissora para aplicações alimentares.

A aplicação de revestimentos comestíveis elaborados com extrato do fruto verde de *Ilex paraguariensis* A. St. Hil foi eficaz na preservação da qualidade pós-colheita de morangos durante o armazenamento refrigerado. Dentre as formulações testadas, o tratamento com 25% de FIP destacou-se por promover maior estabilidade na perda de massa, umidade e atividade de água, além de manter baixos níveis microbianos ao longo do tempo, indicando uma atuação eficiente como barreira semipermeável e antimicrobiana. A formulação com 50% EC, embora tenha apresentado comportamento microbílico menos estável, contribuiu significativamente para o aumento da bioacessibilidade de compostos

fenólicos e da atividade antioxidante durante a digestão in vitro, revelando um potencial funcional promissor. Já a formulação com 75% EC demonstrou efeito intermediário, com destaque para a preservação da coloração, estabilidade da acidez e elevação da atividade antioxidante nas fases gástrica e intestinal, o que pode ser atribuído à liberação controlada de compostos bioativos.

A manutenção dos teores de sólidos solúveis, a preservação da coloração vermelha característica e a estabilidade dos parâmetros de acidez e pH reforçam o papel dos revestimentos na conservação sensorial e microbiológica dos frutos. Além disso, os dados de digestibilidade indicam que os revestimentos não apenas preservam, mas também potencializam a liberação de compostos bioativos durante a digestão. Assim, os revestimentos comestíveis à base de FIP configuram-se como uma estratégia promissora para prolongar a vida útil, preservar a qualidade nutricional e sensorial, e aumentar o potencial funcional dos morangos. Estudos futuros devem explorar a aplicação desses revestimentos em outras frutas sensíveis e avaliar os efeitos em escala piloto e industrial.

4 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Os resultados obtidos nos dois estudos que compõem esta dissertação evidenciam o notável potencial do fruto verde de *Ilex paraguariensis* A. St. Hil como recurso funcional e tecnológico para a indústria de alimentos. Inicialmente, a caracterização detalhada das frações de casca e polpa, e semente revelou perfis nutricionais e bioativos distintos e complementares, destacando-se especialmente a casca e a polpa pelos elevados teores de fibras, atividade antioxidante, minerais essenciais e compostos fenólicos como: cálcio, ferro, rutina, quercetina-3-ramnosídeo e ácido cafeico, porém sem diferenças significativas entre as porções para atividade antimicrobiana. Esses achados avaliaram de maneira inovadora do fruto e sustentam a viabilidade do aproveitamento do fruto como fonte de ingredientes funcionais naturais, alinhando-se às tendências de valorização de resíduos agroindustriais e de desenvolvimento sustentável.

No segundo estudo, a aplicação da farinha integral do FIP em formulações de revestimentos comestíveis demonstrou não apenas a

funcionalidade tecnológica como barreira semipermeável e antimicrobiana, mas também a capacidade de preservar e potencializar a qualidade nutricional, microbiológica, sensorial e a cor de morangos durante o armazenamento. O destaque para formulações com 25% de extrato do fruto de *Ilex paraguariensis A. St. Hil* que apresentaram equilíbrio entre estabilidade pós-colheita e aumento da bioacessibilidade de compostos bioativos, reforça a aplicabilidade prática em sistemas alimentares reais.

De forma integrada, os achados desta dissertação corroboram a utilização do fruto verde de *Ilex paraguariensis A. St. Hil* como uma matéria-prima versátil, com aplicações promissoras tanto em ingredientes alimentares funcionais quanto em tecnologias de conservação pós-colheita. Tais evidências abrem caminho para futuras investigações que envolvam a padronização de extratos, validação em outras matrizes alimentares, e aplicação em escala industrial, contribuindo para o avanço da ciência de alimentos voltada à inovação, saúde e sustentabilidade.

REFERÊNCIAS

ADEYEMO-SALAMI, O. A.; AFOLABI, D. A.; AMUZAT, A. A.; ADEKANYE, J. O.; OLADOKUN, O. O. Effect of Acute Exposure of Swiss Mice to Chlorogenic Acid. **Basic & Clinical Pharmacology & Toxicology**, v. 136, n. 4, 12 abr. 2025.

ALOTAIBI, B.; EL-MASRY, T. A.; NEGM, W. A.; SALEH, A.; ALOTAIBI, K. N.; ALOSAIMI, M. E.; ELEKHNAWY, E. In Vivo and in Vitro Mitigation of *Salmonella Typhimurium* Isolates by *Fortunella Japonica* Fruit Extract. **Current Microbiology**, v. 81, n. 8, 1 ago. 2024.

AN, X.; LI, Z.; WEGNER, G.; ZUDE-SASSE, M. Effect of cell size distribution on mechanical properties of strawberry fruit tissue. **Food Research International**, v. 169, 1 jul. 2023.

ANDRIANI, V.; ABYOR HANDAYANI, N. Recent technology of edible coating production: A review. **Materials Today: Proceedings**, 2023a. Recent technology of edible coating production: A review. **Materials Today: Proceedings**, 2023.

AOAC. AOAC – ASSOCIATION OF OFFICIAL ANALYTICAL CHEMISTS. Official Methods of Analysis of AOAC International. v. 21, 2019. ÁVILA, S.; ZALAMANSKI, S.; TANIKAWA, L. M.; KRUGER, C. C. H.; FERREIRA, S. M. R. Influence of Cooking Methods on In Vitro Bioaccessibility of Phenolics, Flavonoids, and Antioxidant Activity of Red Cabbage. **Plant Foods for Human Nutrition**, v. 78, n. 1, p. 124–131, 1 mar. 2023.

BARBOSA, J. Z.; ZAMBON, L. M.; MOTTA, A. C. V.; WENDLING, I. Composição, solubilidade de elementos em água quente e valor nutricional de frutos e folhas de erva-mate. **Ciencia e Agrotecnologia**, v. 39, n. 6, p. 593–603, 1 nov. 2015.

BAVAY, C.; SYMONEAUX, R.; MAÎTRE, I.; KUZNETSOVA, A.; BROCKHOFF, P. B.; MEHINAGIC, E. Importance of fruit variability in the assessment of apple

quality by sensory evaluation. **Postharvest Biology and Technology**, v. 77, p. 67–74, mar. 2013.

BEUTER, D. A.; MEZA, B. E.; BRUMOVSKY, L. A.; PERALTA, J. M. Effect of yerba mate (*Ilex paraguariensis* St. Hil.) extract on the drying behavior of cassava starch films enriched with rebaudioside A. **Journal of Food Processing and Preservation**, v. 46, n. 12, 1 dez. 2022.

BLANCAS-BENITEZ, F. J.; MONTAÑO-LEYVA, B.; AGUIRRE-GÜITRÓN, L.; MORENO-HERNÁNDEZ, C. L.; FONSECA-CANTABRANA, Á.; ROMERO-ISLAS, L. DEL C.; GONZÁLEZ-ESTRADA, R. R. **Impact of edible coatings on quality of fruits: A review** *Food Control* Elsevier Ltd, , 1 set. 2022a. **Impact of edible coatings on quality of fruits: A review** *Food Control* Elsevier Ltd, , 1 set. 2022.

BONIN, A. M. F.; ÁVILA, S.; ETGETON, S. A. P.; LIMA, J. J. DE; SANTOS, M. P. DOS; GRASSI, M. T.; KRÜGER, C. C. H. Ripening stage impacts nutritional components, antiglycemic potential, digestibility and antioxidant properties of grumixama (*Eugenia brasiliensis* Lam.) fruit. **Food Research International**, v. 178, 1 fev. 2024.

BORTOLINI, D. G.; BARROS, L.; MACIEL, G. M.; PERALTA, R. M.; CORRÊA, V. G.; FINIMUNDY, T. C.; ISIDORO HAMINIUK, C. W. Bioaccessibility Performance of Phenolic Compounds from Red Fruits During Simulated Gastrointestinal Digestion and Colonic Fermentation. **ACS Food Science and Technology**, v. 5, n. 2, p. 569–577, 21 fev. 2025.

BRACESCO, N.; SANCHEZ, A. G.; CONTRERAS, V.; MENINI, T.; GUGLIUCCI, A. **Recent advances on *Ilex paraguariensis* research: Minireview** *Journal of Ethnopharmacology*, 14 jul. 2011a. **Recent advances on *Ilex paraguariensis* research: Minireview** *Journal of Ethnopharmacology*, 14 jul. 2011.

BRAND-WILLIAMS, W.; CUVELIER, M. E.; BERSET, C. Use of a free radical method to evaluate antioxidant activity. **LWT - Food Science and Technology**, v. 28, n. 1, p. 25–30, 1995.

BRASIL. Lei nº 11.346, de 15 de setembro de 2006. Sistema Nacional de Segurança Alimentar e Nutricional – SISAN com vistas em assegurar o direito humano à alimentação adequada e dá outras providências.
RESOLUÇÃO - RDC Nº 277, DE 22 DE SETEMBRO DE 2005. Disponível em: <https://bvsms.saude.gov.br/bvs/saudelegis/anvisa/2005/res0277_22_09_2005.html>. Acesso em: 9 nov. 2023.

RESOLUÇÃO-RDC Nº 263, DE 22 DE SETEMBRO DE 2005. Ministério da Saúde. Secretaria de Atenção à Saúde. Departamento de Atenção Básica. Política Nacional de Alimentação e Nutrição.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA (IBGE).

RESOLUÇÃO - RDC Nº 716, DE 1º DE JULHO DE 2022. Disponível em: <https://antigo.anvisa.gov.br/documents/10181/2718376/RDC_716_2022_.pdf/9c7579a7-9e06-4f64-9d6c-c5a224a73edc>. Acesso em: 9 nov. 2023.

BRITO, F. C. DE; ARENZON, A.; REICHERT, N.; LAZZAROTTO, M.; ÁVILA, S.; PACHECO, S. D. G.; KRUGER, I.; ROZINO, L.; VARGAS, V. M. F. Ecotoxicological evaluation of fruit extracts from yerba mate progenies (*Ilex paraguariensis* a St-Hil.): a natural biopesticide. **Journal of Environmental Science and Health - Part B Pesticides, Food Contaminants, and Agricultural Wastes**, v. 56, n. 8, p. 782–791, 2021.

Ecotoxicological evaluation of fruit extracts from yerba mate progenies (*Ilex paraguariensis* a St-Hil.): a natural biopesticide. **Journal of Environmental Science and Health - Part B Pesticides, Food Contaminants, and Agricultural Wastes**, v. 56, n. 8, p. 782–791, 2021.

BRITO, F. C. DE; GOSMANN, G.; OLIVEIRA, G. T. Extracts of the unripe fruit of *Ilex paraguariensis* as a potential chemical control against the golden apple

- snail *Pomacea canaliculata* (Gastropoda, Ampullariidae). **Natural Product Research**, v. 33, n. 16, p. 2379–2382, 18 ago. 2019.
- BRITO, F.; LAZZAROTTO, M. Estágios de maturação dos frutos de erva-mate, *Ilex paraguariensis*. 2019.
- BRODKORB, A. *et al.* INFOGEST static in vitro simulation of gastrointestinal food digestion. **Nature Protocols**, v. 14, n. 4, p. 991–1014, 1 abr. 2019.
- BUCHMANN, D.; SCHULTZE, N.; BORCHARDT, J.; BÖTTCHER, I.; SCHAUFLER, K.; GUENTHER, S. Synergistic antimicrobial activities of epigallocatechin gallate, myricetin, daidzein, gallic acid, epicatechin, 3-hydroxy-6-methoxyflavone and genistein combined with antibiotics against ESKAPE pathogens. **Journal of Applied Microbiology**, v. 132, n. 2, p. 949–963, 1 fev. 2022.
- CAGNIN, M.; PARISI, M.; AGR, E.; HENRIQUE, C. M. **PERDAS PÓS-COLHEITA: UM GARGALO NA PRODUÇÃO DE ALIMENTOS**. Disponível em: <www.aptaregional.sp.gov.br>.
- CEFOLA, M. *et al.* Innovative limonene and chitosan-based pads in improving shelf-life and preserving the volatile profile of fresh strawberries. **Postharvest Biology and Technology**, v. 204, 1 out. 2023.
- CHAKRABARTI, S.; LANZA, M.; SIDDIQUI, K. Editorial: Advances in the research of diabetic retinopathy. **Frontiers in Endocrinology**, v. 13, 25 out. 2022.
- CHEN, C.; DING, Y.; SUN, Y.; LI, X.; SUN, C.; GUO, F.; ZENG, X.; GONG, H.; FAN, X. Chitosan/pullulan edible coatings containing thyme essential oil nanoemulsion: Preparation, characterization and application in strawberry preservation. **International Journal of Biological Macromolecules**, v. 309, p. 143043, maio 2025.

CHENG, M.; HE, J.; GU, Y.; WU, G.; TAN, L.; LI, C.; XU, F.; ZHU, K. Changes in Phenolic Compounds and Antioxidant Capacity of *Artocarpus heterophyllus* Lam. (Jackfruit) Pulp during In Vitro Gastrointestinal Digestion. **Antioxidants**, v. 13, n. 1, p. 37, 23 dez. 2023.

CHETTRI, S.; SHARMA, N.; MOHITE, A. M. Edible coatings and films for shelf-life extension of fruit and vegetables. **Biomaterials Advances**, v. 154, 1 nov. 2023.

Edible coatings and films for shelf-life extension of fruit and vegetables. **Biomaterials Advances**, v. 154, 1 nov. 2023.

CLSI. M100-S23 performance standards for antimicrobial susceptibility testing; twenty-third informational supplement. **The Clinical Laboratory Standards Institute**, 2013.

CORDEIRO, L. M. *et al.* Toxicity of copper and zinc alone and in combination in *Caenorhabditis elegans* model of Huntington's disease and protective effects of rutin. **NeuroToxicology**, v. 97, p. 120–132, jul. 2023.

COSTA, B. P.; CARPINÉ, D.; IKEDA, M.; PAZZINI, I. A. E.; SILVA BAMBIRRA ALVES, F. E. DA; MELO, A. M. DE; RIBANI, R. H. Bioactive coatings from non-conventional loquat (*Eriobotrya japonica* Lindl.) seed starch to extend strawberries shelf-life: An antioxidant packaging. **Progress in Organic Coatings**, v. 175, p. 107320, fev. 2023.

DAHMER, T.; BERGER, M.; BARLETTE, A. G.; RECK, J.; SEGALIN, J.; VERZA, S.; ORTEGA, G. G.; GNOATTO, S. C. B.; GUIMARÃES, J. A.; VERLI, H.; GOSMANN, G. Antithrombotic effect of chikusetsusaponin IVa isolated from *Ilex paraguariensis* (Maté). **Journal of Medicinal Food**, v. 15, n. 12, p. 1073–1080, 1 dez. 2012.

Antithrombotic effect of chikusetsusaponin IVa isolated from *Ilex paraguariensis* (Maté). **Journal of Medicinal Food**, v. 15, n. 12, p. 1073–1080, 1 dez. 2012b.

DING, X.; ZHU, X.; ZHENG, W.; LI, F.; XIAO, S.; DUAN, X. Bth treatment delays the senescence of postharvest pitaya fruit in relation to enhancing antioxidant system and phenylpropanoid pathway. **Foods**, v. 10, n. 4, 1 abr. 2021.

DONG, X.; HE, Y.; YUAN, C.; CHENG, X.; LI, G.; SHAN, Y.; ZHU, X. Controlled Atmosphere Improves the Quality, Antioxidant Activity and Phenolic Content of Yellow Peach during the Shelf Life. **Antioxidants**, v. 11, n. 11, 1 nov. 2022. EBRAHIMI, F.; RASTEGAR, S. Preservation of mango fruit with guar-based edible coatings enriched with *Spirulina platensis* and *Aloe vera* extract during storage at ambient temperature. **Scientia Horticulturae**, v. 265, 30 abr. 2020. FAOSTAT. **Organização das Nações Unidas para a Alimentação e a Agricultura**, FAOSAT. 2021.

FERNANDES, C. E. F.; KUHN, F.; SCAPINELLO, J.; LAZAROTTO, M.; BOHN, A.; BOLIGON, A. A.; ATHAYDE, M. L.; ZANATTA, M. S.; ZANATTA, L.; DAL MAGRO, J.; OLIVEIRA, J. VLADIMIR. Phytochemical profile, antioxidant and hypolipemiant potential of *Ilex paraguariensis* fruit extracts. **Industrial Crops and Products**, v. 81, p. 139–146, mar. 2016.

FOOD AND NUTRITION BOARD INSTITUTE OF MEDICINE. **Dietary Reference Intakes for Vitamin A, Vitamin K, Arsenic, Boron, Chromium, Copper, Iodine, Iron, Manganese, Molybdenum, Nickel, Silicon, Vanadium, and Zinc**. Washington, D.C.: National Academies Press, 2001.

GALVÃO, F.; PINTO, E.; MARTINS, Z. E.; ALMEIDA, A. A.; FERREIRA, I. M. P. L. V. O.; LIMA, V. A. DE; FELSNER, M. L. Nutritional composition and minerals bioaccessibility of commercial fruit flours. **Journal of Food Measurement and Characterization**, v. 17, n. 3, p. 2547–2554, 12 jun. 2023.

GARCÍA-GARCÍA, D. J.; PÉREZ-SÁNCHEZ, G. F.; HERNÁNDEZ-COCOLETZI, H.; SÁNCHEZ-ARZUBIDE, M. G.; LUNA-GUEVARA, M. L.; RUBIO-ROSAS, E.; KRISHNAMOORTHY, R.; MORÁN-RAYA, C. Chitosan

Coatings Modified with Nanostructured ZnO for the Preservation of Strawberries. **Polymers**, v. 15, n. 18, p. 3772, 15 set. 2023.

GAUBA, A.; RAHMAN, K. M. **Evaluation of Antibiotic Resistance Mechanisms in Gram-Negative Bacteria** *Antibiotics* Multidisciplinary Digital Publishing Institute (MDPI).

GIUSTI, M. M.; WROLSTAD, R. E. Characterization and Measurement of Anthocyanins by UV-Visible Spectroscopy. **Current Protocols in Food Analytical Chemistry**, v. 00, n. 1, abr. 2001.

GOANAR, G.; TAFESSE, G.; FEREJA, W. M. In vitro antibacterial activity of fruit pulp extracts of *Tamarindus indica* against *Staphylococcus aureus* and *Klebsiella pneumoniae*. **BMC Complementary Medicine and Therapies**, v. 24, n. 1, 1 dez. 2024.

GULCIN, İ. Antioxidants and antioxidant methods: an updated overview. **Archives of Toxicology**, v. 94, n. 3, p. 651–715, 16 mar. 2020.

IKEGAYA, A.; OHBA, S.; TOYOIZUMI, T.; ARAI, E. Quality Evaluation of Strawberries Grown in Various Regions by Singaporeans and Japanese. **International Journal of Fruit Science**, v. 21, n. 1, p. 883–895, 1 jan. 2021. JENSEN, S. O.; LYON, B. R. Genetics of antimicrobial resistance in *Staphylococcus aureus*. **Future Microbiology**, v. 4, n. 5, p. 565–582, jun. 2009.

JIA, M.; MA, R.; LIU, C.; PAN, X.; SHEN, W.; TIAN, Y. Insight into the relationship between cell wall, intracellular starch structure and physicochemical properties of cassava cells from cassava varieties. **International Journal of Biological Macromolecules**, v. 288, p. 138728, fev. 2025.

JIANG, X.; CAO, Y.; JØRGENSEN, L. VON G.; STROBEL, B. W.; HANSEN, H. C. B.; CEDERGREEN, N. Where does the toxicity come from in saponin extract? **Chemosphere**, v. 204, p. 243–250, ago. 2018.

- JOLLY, A.; HOUR, Y.; LEE, Y.-C. An outlook on the versatility of plant saponins: A review. **Fitoterapia**, v. 174, p. 105858, abr. 2024.
- JULIANO COLUSSI, N. P. P. Frugivoria realizada por aves em Myrciaria trunciflora (Mart) O. Berg. (Myrtaceae), Eugenia uniflora L. (Myrtaceae) e Ilex paraguariensis St. Hil. no norte do estado do Rio Grande do Sul. **Revista Brasileira de Ornitologia**, 2011.
- KHODAEI, D.; HAMIDI-ESFAHANI, Z.; RAHMATI, E. Effect of edible coatings on the shelf-life of fresh strawberries: A comparative study using TOPSIS-Shannon entropy method. **NFS Journal**, v. 23, p. 17–23, jun. 2021.
- KOOLEN, H. H. F.; SILVA, F. M. A. DA; GOZZO, F. C.; SOUZA, A. Q. L. DE; SOUZA, A. D. L. DE. Antioxidant, antimicrobial activities and characterization of phenolic compounds from buriti (*Mauritia flexuosa* L. f.) by UPLC-ESI-MS/MS. **Food Research International**, v. 51, n. 2, p. 467–473, maio 2013.
- KTENIOUDAKI, A.; ESQUERRE, C. A.; NASCIMENTO NUNES, C. M. DO; O'DONNELL, C. P. A decision support tool for shelf-life determination of strawberries using hyperspectral imaging technology. **Biosystems Engineering**, v. 221, p. 105–117, 1 set. 2022.
- A decision support tool for shelf-life determination of strawberries using hyperspectral imaging technology. **Biosystems Engineering**, v. 221, p. 105–117, 1 set. 2022.
- KUBOLA, J.; SIRIAMORNPUN, S. Phytochemicals and antioxidant activity of different fruit fractions (peel, pulp, aril and seed) of Thai gac (*momordica cochinchinensis* spreng). **FoodChemistry**, fev. 2011.
- LANA, V. S. DE; ESTEVAM, P. N.; CASTRO, T. B. DE; SÃO JOSÉ, V. P. B. DE; BRITO-OLIVEIRA, T. C.; SANTOS, P. H.; OLIVEIRA, C. A. S.; CORRÊA, C. B.; ROSTAGNO, M. A.; MARTINO, H. S. D.; CARVALHO, I. M. M. DE. Nutritional and technological potential of umbu-caja and soursop co-product flours. **Food Research International**, v. 200, p. 115520, jan. 2025.

LEE, D.; SHAYAN, M.; GWON, J.; PICHA, D. H.; WU, Q. Effectiveness of cellulose and chitosan nanomaterial coatings with essential oil on postharvest strawberry quality. **Carbohydrate Polymers**, v. 298, p. 120101, dez. 2022.

LI, F.; ZHANG, L.; ZHANG, X.; FANG, Q.; XU, Y.; WANG, H. Rutin alleviates Pb-induced oxidative stress, inflammation and cell death via activating Nrf2/ARE system in SH-SY5Y cells. **NeuroToxicology**, v. 104, p. 1–10, set. 2024.

LIU, T.; ZHEN, X.; LEI, H.; LI, J.; WANG, Y.; GOU, D.; ZHAO, J. Investigating the physicochemical characteristics and importance of insoluble dietary fiber extracted from legumes: An in-depth study on its biological functions. **Food Chemistry**: X, v. 22, p. 101424, jun. 2024.

LOU, Z.; WANG, H.; ZHU, S.; MA, C.; WANG, Z. Antibacterial activity and mechanism of action of chlorogenic acid. **Journal of Food Science**, v. 76, n. 6, ago. 2011.

MARTIN, J. J. J.; WU, Q.; FENG, M.; LI, R.; ZHOU, L.; ZHANG, S.; YANG, C.; CAO, H. Lipidomic Profiles of Lipid Biosynthesis in Oil Palm during Fruit Development. **Metabolites**, v. 13, n. 6, p. 727, 6 jun. 2023.

MARYNIN, A.; PASICHNY, V.; LITVYNCHUK, S.; KHOMICHAK, L.; KUZNIETSOVA, I.; VYSOTSKA, S. Influence of water activity on the properties of wheat flour. **Ukrainian Food Journal**, v. 10, n. 2, p. 375–386, jun. 2021.

MESQUITA, M.; SANTOS, E.; KASSUYA, C. A.; SALVADOR, M. J. Chimarrão, terere and mate-tea in legitimate technology modes of preparation and consume: A comparative study of chemical composition, antioxidant, anti-inflammatory and anti-anxiety properties of the mostly consumed beverages of *Ilex paraguariensis* St. Hil. **Journal of Ethnopharmacology**, v. 279, 28 out. 2021.

Chimarrão, terere and mate-tea in legitimate technology modes of preparation and consume: A comparative study of chemical composition, antioxidant, anti-inflammatory and anti-anxiety properties of the mostly consumed beverages of

Ilex paraguariensis St. Hil. **Journal of Ethnopharmacology**, v. 279, 28 out. 2021.

MEYER, B.; FERRIGNI, N.; PUTNAM, J.; JACOBSEN, L.; NICHOLS, D.; MCLAUGHLIN, J. Brine Shrimp: A Convenient General Bioassay for Active Plant Constituents. **Planta Medica**, v. 45, n. 05, p. 31–34, 29 maio 1982. MILIĆ, S. Z.; POTKONJAK, N. I.; GORJANOVIĆ, S. Ž.; VELJOVIĆ-JOVANOVIĆ, S. D.; PASTOR, F. T.; SUŽNJEVIĆ, D. Ž. A polarographic study of chlorogenic acid and its interaction with some heavy metal ions. **Electroanalysis**, v. 23, n. 12, p. 2935–2940, dez. 2011.

MORADI, E.; FATHI, M. Production of cellulose nanocrystals from tomato pomace as a food waste and their application for stabilizing of Pickering emulsions. **Bioactive Carbohydrates and Dietary Fibre**, v. 30, 1 nov. 2023a. Production of cellulose nanocrystals from tomato pomace as a food waste and their application for stabilizing of Pickering emulsions. **Bioactive Carbohydrates and Dietary Fibre**, v. 30, 1 nov. 2023.

MORAES, C. C. DE; COSTA, F. H. DE O.; SILVA, A. L. DA; CÉSAR, A. DA S.; DELAI, I.; PEREIRA, C. R. Causes and prevention practices of food waste in fruit and vegetable supply chains: How is Brazil dealing with these issues? **Waste Management**, v. 154, p. 320–330, 1 dez. 2022.

MULEY, A. B.; SINGHAL, R. S. Extension of postharvest shelf life of strawberries (*Fragaria ananassa*) using a coating of chitosan-whey protein isolate conjugate. **Food Chemistry**, v. 329, p. 127213, nov. 2020. NATIONAL INSTITUTES OF HEALTH. **Nutrient Recommendations and Databases**.

NEWEHY, N. M. EL; ABD-ALHASEEB, M. M.; OMRAN, G. A.; HARRAZ, F. M.; SHAWKY, E. Comparative metabolomics reveal intraspecies variability in bioactive compounds of different cultivars of pomegranate fruit (*Punica granatum* L.) and their waste by-products. **Journal of the Science of Food and Agriculture**, v. 102, n. 13, p. 5891–5902, 1 out. 2022.

NGAHA, W. D.; TCHABO, W.; MATSINKOU, R. S.; NYAME, L. K.; FOMBANG, E. N. Formulation of low glycaemic index biscuits suitable for diabetics from unripe banana, okra, and stevia leaves / jujube fruit. **Food Production, Processing and Nutrition**, v. 5, n. 1, p. 32, 1 ago. 2023.

NGUYEN, T. L. A.; BHATTACHARYA, D. Antimicrobial Activity of Quercetin: An Approach to Its Mechanistic Principle. **Molecules**, v. 27, n. 8, 1 abr. 2022. ONU. **Sobre o nosso trabalho para alcançar os Objetivos de Desenvolvimento Sustentável no Brasil**.

PARACAMPO, N. E. N. P.; ABREU, L. F.; MENDONÇA, J. T. C. DE; JESUS, S. C. A. DE. Estimated shelf life of pupunha and tucumã flours. **Caderno Pedagógico**, v. 22, n. 6, p. e15536, 14 abr. 2025.

PAULO ERNANI RAMALHO CARVALHO. **Espécies Arbóreas Brasileiras**. Embrapa, 2003. v. Volume 1

PAVLÍKOVÁ, N. Caffeic Acid and Diseases—Mechanisms of Action. **International Journal of Molecular Sciences**, v. 24, n. 1, p. 588, 29 dez. 2022.

PHUONG HA, L.; NGOC, N. VAN; THI TRANG HUYEN, N.; THI THU HANG, L.; THI KIEU OANH, N.; THI TUYET, T.; THI MAI PHUONG, N.; THI HONG MINH, N. **TOTAL PHENOLIC, FLAVONOID CONTENTS AND ANTIOXIDANT ACTIVITY OF TAMARIND SEED AND PULP EXTRACTS**. *Vietnam Journal of Biotechnology*.

PHUONG, N. T. H.; KOGA, A.; NKEDE, F. N.; TANAKA, FUMINA; TANAKA, FUMIHIKO. Application of edible coatings composed of chitosan and tea seed oil for quality improvement of strawberries and visualization of internal structure changes using X-ray computed tomography. **Progress in Organic Coatings**, v. 183, p. 107730, out. 2023.

Application of edible coatings composed of chitosan and tea seed oil for quality improvement of strawberries and visualization of internal structure changes using X-ray computed tomography. **Progress in Organic Coatings**, v. 183, p. 107730, out. 2023.

POKHAREL, P.; DHAKAL, S.; DOZOIS, C. M. **The Diversity of Escherichia coli Pathotypes and Vaccination Strategies against This Versatile Bacterial Pathogen** *Microorganisms* MDPI, , 1 fev. 2023.

POPESCU, P.-A.; PALADE, L. M.; NICOLAE, I.-C.; POPA, E. E.; MITELUȚ, A. C.; DRĂGHICI, M. C.; MATEI, F.; POPA, M. E. Chitosan-Based Edible Coatings Containing Essential Oils to Preserve the Shelf Life and Postharvest Quality Parameters of Organic Strawberries and Apples during Cold Storage. **Foods**, v. 11, n. 21, p. 3317, 23 out. 2022.

PRADO MARTIN, J. G.; PORTO, E.; ALENCAR, S. M. DE; GLÓRIA, E. M. DA; CORRÊA, C. B.; CABRAL, I. S. R. **Antimicrobial activity of yerba mate (*Ilex paraguariensis* St. Hil.) against food pathogens** *Rev Argent Microbiol.* [s.l.: s.n.]. Disponível em: <www.elsevier.es/ram>.

RAKHA, A.; UMAR, N.; RABAIL, R.; BUTT, M. S.; KIELISZEK, M.; HASSOUN, A.; AADIL, R. M. Anti-inflammatory and anti-allergic potential of dietary flavonoids: A review. **Biomedicine & Pharmacotherapy**, v. 156, p. 113945, dez. 2022.

RAVICHANDRAN, K. S.; SILVA, E. S.; MONCADA, M.; PERKINS-VEAZIE, P.; LILA, M. A.; GREENLIEF, C. M.; THOMAS, A. L.; HOSKIN, R. T.; KRISHNASWAMY, K. Spray drying to produce novel phytochemical-rich ingredients from juice and pomace of American elderberry. **Food Bioscience**, v. 55, 1 out. 2023.

SATITMUNNAITHUM, J.; KITAZAWA, H.; AROFATULLAH, N. A.; WIDIASTUTI, A.; KHARISMA, A. D.; YAMANE, K.; TANABATA, S.; SATO, T. Microbial population size and strawberry fruit firmness after drop shock-induced

mechanical damage. **Postharvest Biology and Technology**, v. 192, 1 out. 2022.

SCHUBERT, A.; PEREIRA, D. F.; ZANIN, F. F.; ALVES, S. H.; BECK, R. C. R.; ATHAYDE, M. L. Comparison of antioxidant activities and total polyphenolic and methylxanthine contents between the unripe fruit and leaves of *Ilex paraguariensis* A. St. Hil. **Pharmazie**, v. 62, n. 11, p. 876–880, nov. 2007.

SCOTTI DO CANTO, G.; TRETER, J.; YANG, S.; LUÍS BORRÉ, G.; PAULA, M.; PEIXOTO, G.; GONZÁLEZ ORTEGA, G. **Evaluation of foam properties of saponin from *Ilex paraguariensis* A. St. Hil. (Aquifoliaceae) fruits** Article **Brazilian Journal of Pharmaceutical Sciences**. **Evaluation of foam properties of saponin from *Ilex paraguariensis* A. St. Hil. (Aquifoliaceae) fruits** Article **Brazilian Journal of Pharmaceutical Sciences**. 2010.

SILVA, C. G. F. DA; CASSEL, E.; VARGAS, R. M. F.; MARCZAK, L. D. F. Selective extraction of saponins from *Ilex paraguariensis* St.-Hil. unripe fruits. **Food and Bioproducts Processing**, v. 111, p. 72–82, 1 set. 2018.

SILVA, N. DA; JUNQUEIRA, V. C. A.; SILVEIRA, N. F. DE A.; OKAZAKI, M. M.; TANIWAKI, M. H.; GOMES, R. A. R. G. **Manual de Métodos de Análise Microbiológica de Alimentos e Água**. 1. ed. [s.l.] Blucher, 2017

SILVEIRA HORNUNG, P.; ÁVILA, S.; APEA-BAH, F. B.; LIU, J.; LOPES TEIXEIRA, G.; HOFFMANN RIBANI, R.; BETA, T. Sustainable Use of *Ilex paraguariensis* Waste in Improving Biodegradable Corn Starch Films' Mechanical, Thermal and Bioactive Properties. **Journal of Polymers and the Environment**, v. 28, n. 6, p. 1696–1709, 1 jun. 2020.

Sustainable Use of *Ilex paraguariensis* Waste in Improving Biodegradable Corn Starch Films' Mechanical, Thermal and Bioactive Properties. **Journal of Polymers and the Environment**, v. 28, n. 6, p. 1696–1709, 1 jun. 2020.

SOARES CARNEIRO, T.; CONCEIÇÃO PRUDÊNCIO DUTRA, M. DA; ANDRADE LIMA, D.; JÚLIA DE BRITO ARAÚJO, A.; LESSA CONSTANT, P. B.; SANTOS LIMA, M. DOS. Phenolic compounds in peel, seed and cold pressed pink pepper (*Schinus terebinthifolia* R.) oil and bioaccessibility of peel using a digestion model with intestinal barrier simulation. **Food Bioscience**, v. 49, p. 101930, out. 2022.

STALLINGS, V. A.; HARRISON, M.; ORIA, M. **Dietary Reference Intakes for Sodium and Potassium**. Washington, D.C.: National Academies Press, 2019. SUHAG, R.; KUMAR, N.; PETKOSKA, A. T.; UPADHYAY, A. **Film formation and deposition methods of edible coating on food products: A review** *Food Research International* Elsevier Ltd, , 1 out. 2020.

Film formation and deposition methods of edible coating on food products: A review *Food Research International* Elsevier Ltd, , 1 out. 2020.

TAKETA, A. T. C.; BREITMAIER, E.; SCHENKEL, E. P. **Triterpenes and Triterpenoidal Glycosides from the Fruits of *Ilex paraguariensis* (Maté)** *J. Braz. Chem. Soc.*

THI HANG PHUONG, N.; THI VAN, T.; NGWANE NKEDE, F.; TANAKA, FUMINA; TANAKA, FUMIHIKO. Preservation of strawberries using chitosan incorporated with lemongrass essential oil: An X-ray computed tomography analysis of the internal structure and quality parameters. **Journal of Food Engineering**, v. 361, 1 jan. 2024.

TRETER, J. P. M. P. G. ; G. R. B. ; H. C. L. ; R. P. M. ; T. T. O. G. G. Anti-Trichomonas vaginalis Activity of Saponins from *Ilex paraguariensis* ("Mate") Fruits. **Latin American Journal of Pharmacy**, 2010.

TURQUETT, L. C. D. G. B.; BASTOS, R. A.; LIMA, J. P. DE; VALENTE, G. DE F. S. Avaliação da cobertura comestível elaborada a partir de quitosana, farelo de arroz e fécula de mandioca na conservação pós-colheita de morangos / evaluation of edible cover made from chitosan, rice bran and cassava starch in

postharvest conservation of strawberries. **Brazilian Journal of Development**, v. 7, n. 3, p. 33153–33171, 2021.

UTAMI HATMI, R.; APRIYATI, E.; CAHYANINGRUM, N. Edible coating quality with three types of starch and sorbitol plasticizer. **E3S Web of Conferences**, v. 142, p. 02003, 21 jan. 2020.

VELHNER, M.; MILANOV, D.; ALEKSIĆ, N. **THE GLOBAL SPREAD AND EPIDEMIOLOGICAL CHARACTERISTICS OF SALMONELLA SPP., ESCHERICHIA COLI AND METHICILLINRESISTANT STAPHYLOCOCCUS AUREUS (MRSA): RELATED RESEARACH STUDIES IN SERBIA** Archives of Veterinary Medicine Scientific Veterinary Institute Novi Sad, , 1 ago. 2022. WANDERLEY, R. DE O. S. *et al.* Effect of drying temperature on antioxidant activity, phenolic compound profile and hygroscopic behavior of pomegranate peel and seed flours. **LWT**, v. 189, p. 115514, nov. 2023.

WANG, K.; LI, T.; CHEN, S.; LI, Y.; RASHID, A. The biochemical and molecular mechanisms of softening inhibition by chitosan coating in strawberry fruit (*Fragaria x ananassa*) during cold storage. **Scientia Horticulturae**, v. 271, 20 set. 2020.

WIGATI, L. P.; WARDANA, A. A.; JOTHI, J. S.; LEONARD, S.; VAN, T. T.; YAN, X.; TANAKA, FUMINA; TANAKA, FUMIHIKO. Biochemical and color stability preservation of strawberry using edible coatings based on jicama starch/calcium propionate/agarwood bouya essential oil during cold storage. **Journal of Stored Products Research**, v. 107, p. 102324, jun. 2024.

WIGATI, L. P.; WARDANA, A. A.; TANAKA, FUMINA; TANAKA, FUMIHIKO. Strawberry preservation using combination of yam bean starch, agarwood Aetoxylon bouya essential oil, and calcium propionate edible coating during cold storage evaluated by TOPSIS-Shannon entropy. **Progress in Organic Coatings**, v. 175, 1 fev. 2023.

Strawberry preservation using combination of yam bean starch, agarwood Aetoxylon bouya essential oil, and calcium propionate edible coating during cold storage evaluated by TOPSIS-Shannon entropy. **Progress in Organic Coatings**, v. 175, 1 fev. 2023.

YAASHIKAA, P. R.; KAMALESH, R.; SENTHIL KUMAR, P.; SARAVANAN, A.; VIJAYASRI, K.; RANGASAMY, G. **Recent advances in edible coatings and their application in food packaging** **Food Research International** Elsevier Ltd, , 1 nov. 2023.

Recent advances in edible coatings and their application in food packaging **Food Research International** Elsevier Ltd, , 1 nov. 2023.

YING, Y.; WU, Y.; HUANG, J. Preparation and characterization of chitosan/poly(vinyl alcohol)/graphene oxide films and studies on their antibiofilm formation activity. **Journal of Biomedical Materials Research Part A**, v. 108, n. 10, p. 2015–2022, 4 out. 2020.

ZAHRA, N. I.; SONGTIPYA, P.; SONGTIPYA, L.; PRODPRAN, T.; SENGSUK, T.; UTAMI, T. Xyloglucan based edible coating in combination with Borassus flabellifer seed coat extract for extending strawberry postharvest shelf life. **International Journal of Biological Macromolecules**, v. 285, p. 138288, jan. 2025.

ZHANG, Q.; CHEN, M.; LI, W.; LIANG, C.; HUANG, X.; HU, H.; HUANG, Z.; GAN, T.; ZHANG, Y. Effects of the addition of cassava starch and the size of water clusters on physicochemical and cooking properties of rice noodles. **Food Chemistry**, v. 470, p. 142665, abr. 2025.

Effects of the addition of cassava starch and the size of water clusters on physicochemical and cooking properties of rice noodles. **Food Chemistry**, v. 470, p. 142665, abr. 2025.

ZHAO, S.; DUFOUR, D.; SÁNCHEZ, T.; CEBALLOS, H.; ZHANG, P. Development of waxy cassava with different Biological and physico-chemical characteristics of starches for industrial applications. **Biotechnology and Bioengineering**, v. 108, n. 8, p. 1925–1935, 11 ago. 2011.

ZHISHEN, J.; MENGCHENG, T.; JIANMING, W. The determination of flavonoid contents in mulberry and their scavenging effects on superoxide radicals. **Food Chemistry**, v. 64, n. 4, p. 555–559, mar. 1999.

ZHU, F. Composition, structure, physicochemical properties, and modifications of cassava starch. **Carbohydrate Polymers**, v. 122, p. 456–480, maio 2015.

**5 APENDICE - EXSICATA DA PLANTA UTILIZADA NA PESQUISA (TOMBO
Nº 112288 – UFPR)**

Exsicata da planta utilizada na presente pesquisa foi confeccionada pelo autor e encontra-se depositada no acervo da universidade federal do paraná, sob o número de tombo 112288.

Universidade Federal do Paraná

UPCB 112288

Coleção Botânica

Universidade Federal do Paraná

Táxon

AQUIFOLIACEAE (ex paraguariense A St.-Hil.

Sulfo

Tombado

Tipo Espécie

Determinado por

Herbário

Slob, D.

Data determinação

Natureza Typus

6-12-2023

Notas sobre a determinação

Nomes Vulgares

Enra-mate

Coletor principal

Número da coleta

Slob, D.

s.n.

Outros coletores

Avila, Suelen; Alfredo, Natália; Elgelson, Scheina; Lima, Jair José de; Rodrigues,

Projeto/Espécie

Número coleta proj./espécie

Grupo de Alimento da Sociobiodiversidade

Data Coleta

Local da coleta

05-XI-2023

Brasil, Paraná, Prudentópolis

Nomes vulgares

Enra-mate

Latitude mínima

Longitude mínima

25°0'48"S

31°1'19"W

Latitude máxima

Longitude máxima

Descrição detalhada da localidade

Enval do Pedro Pereirópolis.

Unidade de conservação

Unidade de conservação (Lista)

Elev./Prof.

Elev./Prof. Máxima

Unid. medida

770

Ecosistema/Tipo vegetação

Descrição do ambiente

Sobre o espécime

Sigla Col. Origens Duplicatas

Qtd. Estoque

[] Existir

UPCB

0

[] Possui flor

Espécime em coleções correlatas (Código de barras)

[] Possui fruto

Citações Bibliográficas

[] Pl. pauciflora

[] Fr. imatura

[] Fr. maduro

[]

[]

[]

[]

[]

[]

[]

[]

[]

[]

[]

[]

[]

[]

[]

[]

[]

[]

[]

[]

[]

[]

[]

[]

[]

[]

[]

[]

[]

[]

[]

[]

[]

[]

[]

[]

[]

[]

[]

[]

[]

[]

[]

[]

[]

[]

[]

[]

[]

[]

[]

[]

[]

[]

[]

[]

[]

[]

[]

[]

[]

[]

[]

[]

[]

[]

[]

[]

[]

[]

[]

[]

[]

[]

[]

[]

[]

[]

[]

[]

[]

[]

[]

[]

[]

[]

[]

[]

[]

[]

[]

[]

[]

[]

[]

[]

[]

[]

[]

[]

[]

[]

[]

[]

[]

[]

[]

[]

[]

[]

[]

[]

[]

[]

[]

[]

[]

[]

[]

[]

[]

[]

[]

[]

[]

[]

[]

[]

[]

[]

[]

[]

[]

[]

[]

[]

[]

[]

[]

[]

[]

[]

[]

[]

[]

[]

[]

[]

[]

[]

[]

[]

[]

[]

[]

[]

[]

[]

[]

[]

[]

[]

[]

[]

[]

[]

[]

[]

[]

[]

[]

[]

[]

[]

[]

[]

[]

[]

[]

[]

[]

[]

[]

[]

[]

[]

[]

[]

[]

[]

[]

[]

[]

[]

[]

[]

[]

[]

[]

[]

[]

[]

[]

[]

[]

[]

[]

[]

[]

[]

[]

[]

[]

[]

[]

[]

[]

[]

[]

[]

[]

[]

[]

[]

[]

[]

[]

[]

[]

[]

[]

[]

[]

[]

[]

[]

[]

[]

[]

[]

[]

[]

[]

[]

[]

[]

[]

[]

[]

[]

[]

[]

[]

[]

[]

[]

[]

[]

[]

[]

[]

[]

[]

[]

[]

[]

[]

[]

[]

[]

[]

[]

[]

[]

[]

[]

[]

[]

[]

[]

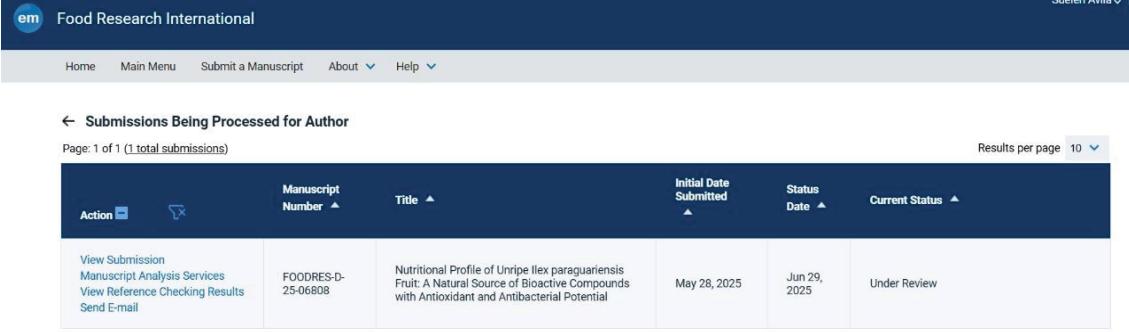
[]

[]

[]

6 ANEXO- ACEITE DO TRABALHO NA REVISTA FOOD RESEARCH INTERNATIONAL

Comprovante de aceite do trabalho intitulado “nutritional profile of unripe *Ilex paraguariensis* fruit: a natural source of bioactive compounds with antioxidant and antibacterial potential” na revista food research international (issn: 0022-474x)



The screenshot shows a web-based manuscript submission system. At the top, there is a header with the Food Research International logo and a search bar. Below the header, a navigation menu includes links for Home, Main Menu, Submit a Manuscript, About, and Help. The main content area is titled "Submissions Being Processed for Author" and shows a table of one submission. The table columns are: Action, Manuscript Number, Title, Initial Date Submitted, Status Date, and Current Status. The submission details are as follows:

Action	Manuscript Number	Title	Initial Date Submitted	Status Date	Current Status
View Submission Manuscript Analysis Services View Reference Checking Results Send E-mail	FOODRES-D-25-06808	Nutritional Profile of Unripe <i>Ilex paraguariensis</i> Fruit: A Natural Source of Bioactive Compounds with Antioxidant and Antibacterial Potential	May 28, 2025	Jun 29, 2025	Under Review

At the bottom of the page, there are links for "Page: 1 of 1 (1 total submissions)" and "Results per page: 10".