

**UNIVERSIDADE FEDERAL DA PARAÍBA
CENTRO DE CIÊNCIAS DA SAÚDE
DEPARTAMENTO DE NUTRIÇÃO**

ÍTALLO FERNANDES CIRILO

**DESENVOLVIMENTO E APLICAÇÃO DE REVESTIMENTO BIODEGRADÁVEL
À BASE DE ALGINATO DE SÓDIO E CULTURA MISTA DE BACTÉRIAS
LÁTICAS PARA BIOCONTROLE DA ANTRACNOSE EM FRUTAS**

João Pessoa

2025

ÍTALLO FERNANDES CIRILO

**DESENVOLVIMENTO E APLICAÇÃO DE REVESTIMENTO BIODEGRADÁVEL
À BASE DE ALGINATO DE SÓDIO E CULTURA MISTA DE BACTÉRIAS
LÁTICAS PARA BIOCONTROLE DA ANTRACNOSE EM FRUTAS**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao Departamento de Nutrição da Universidade Federal da Paraíba, como requisito obrigatório para aquisição do título de Bacharel em Nutrição.

Orientadora: Profa. Dra. Kataryne Árabe Rimá de Oliveira.

Coorientadora: Ma. Karina Felix Dias Fernandes.

João Pessoa

2025

Catálogo na publicação
Seção de Catalogação e Classificação

C578d Cirilo, Ítallo Fernandes.

Desenvolvimento e aplicação de revestimento biodegradável à base de alginato de sódio e cultura mista de bactérias lácticas para biocontrole da antracnose em frutas / Ítallo Fernandes Cirilo. - João Pessoa, 2025.

61 f. : il.

Orientação: Kataryne Árabe Rimá de Oliveira.

Coorientação: Karina Felix Dias Fernandes.

TCC (Graduação) - UFPB/CCS.

1. Colletotrichum spp - Controle biológico. 2. Antracnose. 3. Frutas tropicais. 4. Alginato de sódio - Revestimento. I. Oliveira, Kataryne Árabe Rimá de. II. Fernandes, Karina Felix Dias. III. Título.

UFPB/CCS

CDU 632:612.39(043.2)

ÍTALLO FERNANDES CIRILO

**DESENVOLVIMENTO E APLICAÇÃO DE REVESTIMENTO BIODEGRADÁVEL
À BASE DE ALGINATO DE SÓDIO E CULTURA MISTA DE BACTÉRIAS
LÁTICAS PARA BIOCONTROLE DA ANTRACNOSE EM FRUTAS**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao Departamento de Nutrição da Universidade Federal da Paraíba, como requisito obrigatório para a obtenção do título de bacharel em Nutrição, com linha específica em Microbiologia dos Alimentos.

Aprovado em 17 de abril de 2025

BANCA EXAMINADORA

Documento assinado digitalmente



KATARYNE ARABE RIMA DE OLIVEIRA

Data: 29/04/2025 16:58:27-0300

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

Profa. Dra. Kataryne Árabe Rimá de Oliveira – DN/CCS/UFPB

Orientadora

Documento assinado digitalmente



MARIA ELIEIDY GOMES DE OLIVEIRA

Data: 29/04/2025 21:12:52-0300

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

Profa. Dra. Maria Elieidy Gomes de Oliveira – DN/CCS/UFPB

Examinadora

Documento assinado digitalmente



VIVIANE PRISCILA BARROS DE MEDEIROS

Data: 29/04/2025 21:02:26-0300

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

Profa. Dra. Viviane Priscila Barros de Medeiros – PPGCN/CCS/UFPB

Examinadora

Dedico à minha família, especialmente aos meus pais, por todo esforço e suporte que me forneceram em toda minha vida. Todo meu amor a vocês.

AGRADECIMENTOS

À Universidade Federal da Paraíba (UFPB) pela oportunidade dada a mim como monitor bolsista, extensionista e estudante de iniciação científica (IC). Graças ao apoio da instituição pude experienciar todas essas atividades que agregaram na minha formação.

Ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq) pela concessão da bolsa de IC durante o meu primeiro ano no programa, o que possibilitou a realização da pesquisa.

Ao Departamento de Nutrição (DN) e aos Professores do curso de graduação em Nutrição (DN/CCS/ UFPB), pelos conhecimentos e momentos compartilhados durante a realização da graduação.

Ao Laboratório de Microbiologia e Bioquímica dos Alimentos (LMBA/DN/CCS/ UFPB) e a todos que fazem parte da equipe docente e discente, pela recepção, convivência, companheirismo, suporte e todos os ensinamentos prestados. Em especial a todos os alunos de IC que passaram pelo laboratório enquanto realizei este trabalho, vocês tornaram a minha experiência muito mais prazerosa.

Ao Laboratório de Bromatologia (DN/CCS/ UFPB) sob a coordenação da Professora Dra. Maria Elieidy Gomes de Oliveira, por conceder o espaço e equipamentos essenciais para a realização das análises do presente trabalho.

À Professora Dra. Kataryne Árabe Rimá de Oliveira, por aceitar ser minha orientadora, como também pelas inestimáveis oportunidades dadas a mim, que foram de extrema importância na minha formação acadêmica. Agradeço a sua confiança, disponibilidade, dedicação, profissionalismo e ensinamentos constantes.

Aos membros da banca examinadora, Professora Dra. Maria Elieidy Gomes de Oliveira e Professora Dra. Viviane Priscila Barros de Medeiros, pela disponibilidade e valiosas contribuições ao trabalho.

À Karina Felix Dias Fernandes, por aceitar ser coorientadora deste trabalho. Agradeço a confiança, apoio, parceria e todos os esforços realizados em prol do desenvolvimento deste trabalho, tanto na escrita como na realização dos experimentos. Sua parceria foi essencial na minha trajetória como estudante.

À Érika Weruska Gonzaga Fernandes Cirilo e Erivaldo Cirilo Ferreira, meus amados pais, por todo amor, dedicação, carinho e incentivo. Sem o seu apoio e luta diária eu não estaria aqui. Sei que vocês moveram o céu e a terra por mim, e por isso sou eternamente grato, amo

vocês. E à Evellyn Fernandes Cirilo por todo carinho, amor e companheirismo constantes. Amo-te irmã.

A toda minha família que sempre acreditou em mim, em especial aos meus tios Roberto Chaves e Lúcia Cirilo, e prima, Jussara Chaves, por todo apoio, carinho, amor e incentivo dados desde sempre.

À Caroline Feitosa Miranda Cunha, minha namorada, por todo amor, cuidado, companheirismo e incentivo diário. És minha luz nos dias de dúvida, meu alívio nos momentos de cansaço e minha maior inspiração. Seu apoio incondicional tornou este trabalho possível, e sua presença fez toda a diferença nessa jornada.

Aos meus amigos que fiz durante o curso de graduação, em especial a Luiz Felipe, Israel de Melo, Bianca Pimenta, Alba Inêz, Paulo Gustavo, Matheus Victor, Luísa Barbosa, Manuela Miranda e Soniellson de Lima por todo apoio durante o curso e além dele.

A todos que de alguma forma contribuíram para a realização desse trabalho, meu muito obrigado!

RESUMO

Manga (*Mangifera indica* L.) e goiaba (*Psidium guajava* L.) são frutas climatéricas, que possuem respiração e maturação acelerada, o que as tornam suscetíveis ao desenvolvimento de antracnose, doença pós-colheita causada por fungos do gênero *Colletotrichum* spp. Fungicidas químicos têm sido tradicionalmente usados no controle da antracnose, porém, os riscos causados pelo seu uso excessivo têm impulsionado a busca por alternativas. Nessa perspectiva, a aplicação de agentes de biocontrole, em combinação com materiais de revestimento é considerada uma estratégia inovadora de biopreservação. Assim, o presente trabalho tem por objetivo avaliar a eficácia do revestimento à base de alginato de sódio adicionado de cultura mista de bactérias lácticas (BAL) no controle da antracnose em goiaba e manga. Para tanto, uma cultura mista de cepas de BAL (9 - 10 log UFC/g), composta por *Levilactobacillus brevis* 59, *Lactiplantibacillus pentosus* 129 e *Limosilactobacillus fermentum* 263, foi liofilizada e adicionada ao revestimento de alginato de sódio (AS) (1,5%). A viabilidade das células de BAL adicionadas ao revestimento de alginato de sódio foi avaliada em diferentes condições de armazenamento (4 e 25 ± 2 °C; 15 dias), assim como a biodegradabilidade dos filmes de AS com e sem a adição de BAL. Os revestimentos formulados (AS + BAL, AS e controle negativo) foram aplicados nas frutas, que posteriormente foram artificialmente contaminadas com diferentes espécies de *Colletotrichum*. O percentual de redução do diâmetro da lesão de antracnose (%RDLA) e os parâmetros físicos e físico-químicos (sólidos solúveis totais (SST), acidez titulável (AT), pH, ácido ascórbico, perda de peso e cor) das frutas foram avaliados nos dias 6, 9, 12 e 15 de armazenamento a 25 ± 2 °C. As BAL mantiveram-se viáveis nos revestimentos durante os 15 dias de armazenamento, com log > 7 UFC/g ou UFC/mL quando armazenados a 4 °C ± 2 °C. A biodegradação dos materiais testados foi observada em água (potável e do mar) e em solo, com destaque para rápida biodegradabilidade em água potável. O %RDLA variou de 22,92% a 78,61% em goiabas, e de 29,13% a 79,94% em mangas. Durante o período de armazenamento, houve aumento dos SST e pH; redução na AT, ácido ascórbico e peso; e manutenção dos parâmetros de cor, havendo maior preservação dos parâmetros físicos e físico-químicos nas frutas revestidas com AS + BAL e AS. O revestimento produzido foi eficaz na manutenção das células de BAL viáveis ao longo do armazenamento, demonstrando potencial para o controle da antracnose e preservação das características de qualidade de goiabas e mangas, contribuindo para uma maior vida útil das frutas no período pós-colheita.

Palavras-chave: *Colletotrichum* spp; controle biológico; frutas tropicais; revestimento.

ABSTRACT

Mango (*Mangifera indica* L.) and guava (*Psidium guajava* L.) are climacteric fruits, which have accelerated respiration and maturation, making them more susceptible to the development of anthracnose, a post-harvest disease caused by fungi belonging to the *Colletotrichum* spp. genus. Chemical fungicides have traditionally been used to control anthracnose; however, the risks associated with their excessive use have driven the search for alternatives. From this perspective, the application of biocontrol agents, in combination with coating materials, is considered an innovative approach to biopreservation. Thus, the present study aims to evaluate the effectiveness of sodium alginate-based coating added with a mixed culture of lactic bacteria (LAB) in controlling anthracnose in guava and mango. For this purpose, a mixed culture of LAB strains ($9-10 \log \text{CFU/g}$), composed of *Levilactobacillus brevis* 59, *Lactiplantibacillus pentosus* 129, and *Limosilactobacillus fermentum* 263, was lyophilized and added to the sodium alginate (SA) coating (1.5%). The viability of the cells added to the sodium alginate coating was evaluated under different storage conditions (4 and $25 \pm 2^\circ\text{C}$; 15 days), and the biodegradability of the SA films with and without the BAL addition was evaluated. The formulated coatings (SA + LAB, SA, and negative control) were applied to the fruits, which were subsequently artificially contaminated by different *Colletotrichum* species. The anthracnose lesion diameter reduction percentage (ALDR%) and the fruit's physical and physicochemical parameters (total soluble solids (TSS), titratable acidity (TA), pH, ascorbic acid, weight loss, and fruit color) were evaluated on days 6, 9, 12, and 15 of storage at $25 \pm 2^\circ\text{C}$. The LAB remained viable in the coatings during the 15 days of storage, exceeding $7 \log \text{CFU/g}$ or CFU/mL when stored at $4^\circ\text{C} \pm 2^\circ\text{C}$. The biodegradation of the tested materials was observed in water (drinking and seawater) and in soil, with emphasis on rapid biodegradability in drinking water. The ALDR% ranged from 22.92% to 78.61% in guavas and from 29.13% to 79.94% in mangoes. During the storage period, there was an increase in TSS and pH; a reduction in TA, ascorbic acid, and weight; and maintenance of color parameters, with greater preservation of physical and physical-chemical parameters in fruits coated with SA + LAB and SA. The coating produced was effective in maintaining viable LAB cells throughout storage, demonstrating potential for controlling anthracnose and preserving quality characteristics in guavas and mangoes, contributing to a longer shelf life for the fruits in the post-harvest period.

Keywords: *Colletotrichum* spp; Biological control; tropical fruits; coating.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Goiaba cv. Paluma e manga cv. Palmer contaminadas artificialmente por <i>Colletotrichum</i> spp.	20
Figura 2 – Desenho experimental das etapas do trabalho.	26
Figura 3 – Esquema para obtenção do revestimento e do filme de alginato de sódio adicionado da cultura mista de bactérias lácticas (AS + BAL).	29
Figura 4 – Esquema ilustrativo do teste de biodegradabilidade dos filmes de alginato de sódio adicionado da cultura mista de bactérias lácticas (AS + BAL) e alginato de sódio (AS).	31
Figura 5 – Esquema ilustrativo da aplicação dos revestimentos formulados e análise da redução do diâmetro de lesão de antracnose em goiabas e mangas	32
Figura 6 – Viabilidade (média $\pm$ desvio padrão) da cultura mista de bactérias lácticas (BAL) adicionadas no revestimento (R) e no filme (F) de alginato de sódio durante o armazenamento a 4 °C e 25 $\pm$ 2 °C por 15 dias.	35
Figura 7 – Biodegradabilidade em solo do filme de alginato de sódio adicionado de bactérias lácticas (AS + BAL) e do filme de alginato de sódio (AS), na forma reticulada (R) e não reticulada (NR), durante 20 dias de armazenamento (25 $\pm$ 2 °C).	38
Figura 8 – Biodegradabilidade em água do mar e água potável do filme de alginato de sódio adicionado de bactérias lácticas (AS + BAL) e do filme de alginato de sódio (AS), na forma reticulada (R) e não reticulada (NR), durante 20 dias de armazenamento (25 $\pm$ 2 °C).	39

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Composição nutricional de goiaba vermelha e manga cv. Palmer por 100 gramas de parte comestível.	15
Tabela 2 – Percentual de redução do diâmetro da lesão de antracnose (média ± desvio padrão) em goiabas cv. Paluma revestidas com alginato de sódio adicionado de cultura mista de bactérias láticas (AS + BAL) ou com alginato de sódio (AS) e inoculadas com diferentes espécies de <i>Colletotrichum</i> , durante 15 dias de armazenamento (25 ± 2 °C).	40
Tabela 3 – Percentual de redução do diâmetro da lesão de antracnose (média ± desvio padrão) em mangas cv. Palmer revestidas com alginato de sódio adicionado de cultura mista de bactérias láticas (AS + BAL) ou com alginato de sódio (AS) e inoculadas com diferentes espécies de <i>Colletotrichum</i> , durante 15 dias de armazenamento (25 ± 2 °C).	41
Tabela 4 – Parâmetros físicos e físico-químicos (média ± desvio padrão) de goiabas cv. Paluma revestidas com alginato de sódio adicionado da cultura mista de bactérias láticas (AS + BAL), revestidas com alginato de sódio (AS), ou não revestidas (controle negativo) durante 15 dias de armazenamento (25 ± 2 °C).	45
Tabela 5 – Parâmetros físicos e físico-químicos (média ± desvio padrão) de mangas cv. Palmer revestidas com alginato de sódio adicionado da cultura mista de bactérias láticas (AS + BAL), revestidas com alginato de sódio (AS), ou não revestidas (controle negativo) durante 15 dias de armazenamento (25 ± 2 °C).	47

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	12
2 REFERENCIAL TEÓRICO	14
2.1 CARACTERÍSTICAS NUTRICIONAIS E COMERCIALIZAÇÃO DE GOIABA E MANGA.....	14
2.2 PERÍODO PÓS-COLHEITA DE FRUTAS.....	16
2.2.1 Modificações fisiológicas e físico-químicas no período pós-colheita de frutas .	16
2.2.2 Impactos dos fatores intrínsecos e extrínsecos na qualidade pós-colheita de frutas.....	17
2.2.3 Perdas pós-colheita de frutas	17
2.2.3.1 Perdas pós-colheita por fatores bióticos.....	18
2.3 ANTRACNOSE.....	19
2.4 BACTÉRIAS LÁTICAS COMO AGENTES DE BIOPRESERVAÇÃO DE FRUTAS	21
2.5 REVESTIMENTOS COMESTÍVEIS COMO MÉTODO DE PRESERVAÇÃO PÓS-COLHEITA EM FRUTAS.....	23
2.5.1 Alginato de sódio	24
3 MATERIAIS E MÉTODOS.....	26
3.1 LOCAIS DE EXECUÇÃO.....	26
3.2 OBTENÇÃO DAS FRUTAS E COMPONENTES DO REVESTIMENTO	26
3.3 ELABORAÇÃO DA CULTURA MISTA DE BACTÉRIAS LÁTICAS LIOFILIZADAS	27
3.4 ISOLADOS DE <i>Colletotrichum</i> spp. E CONDIÇÕES DE CRESCIMENTO.....	28
3.5 ELABORAÇÃO DO REVESTIMENTO DE ALGINATO DE SÓDIO ADICIONADO DA CULTURA MISTA DE BACTÉRIA LÁTICAS	28
3.6 AVALIAÇÃO DAS CARACTERÍSTICAS DE BIODEGRADAÇÃO DO FILME DE ALGINATO DE SÓDIO ADICIONADO DE BACTÉRIAS LÁTICAS.....	30
3.7 AVALIAÇÃO DOS EFEITOS DO REVESTIMENTO SOBRE DESENVOLVIMENTO E SEVERIDADE DE ANTRACNOSE EM GOIABA E MANGA	31
3.8 AVALIAÇÃO DOS EFEITOS DO REVESTIMENTO SOBRE PARÂMETROS FÍSICOS E FÍSICO-QUÍMICOS DE GOIABA E MANGA	32

3.9 ANÁLISES ESTATÍSTICAS	34
4 RESULTADOS E DISCUSSÃO	35
4.1 VIABILIDADE DA CULTURA MISTA DE BACTÉRIAS LÁCTICAS ADICIONADAS AO REVESTIMENTO DE ALGINATO DE SÓDIO.....	35
4.2 BIODEGRADABILIDADE DO FILME DE ALGINATO DE SÓDIO ADICIONADO DE BACTÉRIAS LÁCTICAS	37
4.3 EFEITO DO REVESTIMENTO NO DESENVOLVIMENTO E GRAVIDADE DA LESÃO DE ANTRACNOSE EM GOIABA E MANGA	39
4.4 EFEITO DO REVESTIMENTO NOS PARÂMETROS FÍSICOS E FÍSICO-QUÍMICOS DE GOIABA E MANGA DURANTE O ARMAZENAMENTO	42
5 CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	49
REFERÊNCIAS	50
APÊNDICE A – Características gerais de qualidade goiabas cv. Paluma revestidas com alginato de sódio adicionado de cultura mista de bactérias lácticas (AS + BAL); alginato de sódio (AS); ou sem revestimento (controle negativo), durante 15 dias de armazenamento (25 ± 2 °C).....	60
APÊNDICE B – Características gerais de qualidade de mangas cv. Palmer revestidas com alginato de sódio adicionado de cultura mista de bactérias lácticas (AS + BAL); alginato de sódio (AS); ou sem revestimento (controle negativo), durante 15 dias de armazenamento (25 ± 2 °C).....	61

1 INTRODUÇÃO

O Brasil é o terceiro maior produtor de frutas do mundo com aproximadamente 41 milhões de toneladas produzidas ao ano, arrecadando cerca de 59,3 bilhões de reais em 2022 (Kist *et al.*, 2023). Nesse contexto, o segmento da fruticultura mostra-se como um dos mais importantes para a agroindústria brasileira, constituindo-se como uma relevante atividade econômica, sobretudo na região Nordeste, onde está concentrada cerca de 52% das áreas cultivadas com frutas (Vidal, 2023). Dentre as frutas mais produzidas nessa região, destacam-se a manga (*Mangifera indica* L.) e a goiaba (*Psidium guajava* L.), que juntas alcançaram a marca de mais de 2,1 milhões de toneladas produzidas no Brasil em 2022 (Kist *et al.*, 2023; Vidal, 2023).

A goiaba e a manga são frutas tropicais amplamente consumidas e bem aceitas em todo o mundo devido a características, como o sabor atrativo, presença de fibras, vitaminas, minerais e compostos bioativos (Lebaka *et al.*, 2021; Naseer *et al.*, 2018). No entanto, por serem frutas climatéricas, a goiaba e a manga apresentam alta taxa de respiração e metabolismo pós-colheita, o que as tornam mais suscetíveis à ação de fitopatógenos, o que reduz seu período de armazenamento e comercialização, resultando em perdas significativas ao longo de toda a cadeia de abastecimento (Francisco *et al.*, 2020).

Os danos causados por fungos são um dos principais fatores de perda na produção de frutas, podendo reduzir em até 50% do volume total, quando em condições favoráveis de desenvolvimento (Bordoh *et al.*, 2020). A antracnose, doença causada por fungos do gênero *Colletotrichum* spp., é considerada uma das mais importantes doenças pós-colheita que afetam goiabas e mangas em diversas partes do mundo, devido à gravidade dos sintomas e às consideráveis perdas econômicas que provoca (De Oliveira *et al.*, 2020; Shah *et al.*, 2021).

Para o controle da antracnose, tradicionalmente, são utilizados fungicidas químicos (Ciofini *et al.*, 2022; Gandía, *et al.*, 2021). Entretanto, o uso indiscriminado destes agentes pode ocasionar efeitos nocivos à saúde humana e ao meio ambiente, além de aumentar a possibilidade de desenvolvimento de resistência microbiana (Shah *et al.*, 2021). Somados, esses fatores ressaltam a necessidade da busca por tecnologias seguras e alternativas aos fungicidas sintéticos, com ênfase em estratégias biológicas que apresentem potencial fungitóxico (Fernandes *et al.*, 2024; Shah *et al.*, 2021; Wu *et al.*, 2021).

Nos últimos anos, pesquisas têm demonstrado que as bactérias lácticas (BAL) são microrganismos capazes de exercer efeitos antagônicos frente a contaminantes alimentares, incluindo fungos fitopatógenos (Álvarez *et al.*, 2021b; Hirozawa *et al.*, 2023; Volentini *et al.*,

2023). Os principais mecanismos de ação estão associados à sua capacidade de produzir metabólitos secundários antimicrobianos, ativar o sistema defensivo das plantas e competir por nutrientes e espaço (Ibrahim *et al.*, 2021). Considerando que as BAL são reconhecidamente seguras para o consumo humano (GRAS — *Generally Recognized as Safe*) pela *Food and Drug Administration* (FDA) e apresentarem o *status* QPS (*Qualified Presumption of Safe*) pela *European Food Safety Authority* (EFSA), essas bactérias configuram-se como ferramentas biotecnológicas promissoras para uso em novas formulações e técnicas de manejo de doenças pós-colheita em frutas (De Simone *et al.*, 2021; Hirozawa *et al.*, 2023).

A aplicação de microrganismos antagonistas pode ser associada a outros tratamentos com o objetivo de potencializar seus efeitos, a exemplo da adição em revestimentos comestíveis (Miranda *et al.*, 2024). Essa abordagem sinérgica contribui para uma maior viabilidade dos microrganismos e, conseqüentemente, para o aumento de sua atividade antimicrobiana (Wang *et al.*, 2020).

Diferentes matrizes poliméricas vêm sendo investigadas para a adição de agentes de biocontrole, incluindo gelatina (Temiz; Özemir, 2021), quitosana (Speranza *et al.*, 2018), derivados de amido (Li *et al.*, 2020), carboximetil-celulose (Khodaei; Hamidi-Esfahani, 2019) e alginato de sódio (Álvarez *et al.*, 2021b). Nesse contexto, os revestimentos à base de alginato de sódio têm se mostrado tecnologicamente vantajosos em comparação a outras matrizes, especialmente quando associados a microrganismos antagonistas para aplicação em frutas, pois mantêm a viabilidade desses agentes de controle durante o armazenamento (Akman *et al.*, 2021).

Considerando as vantagens do uso de revestimentos como tecnologias alternativas para a preservação de frutas e as dificuldades que os produtores enfrentam para o controle da antracnose, a aplicação combinada de um revestimento carregado com BAL poderá proporcionar benefícios para a comercialização de frutas, podendo minimizar as perdas econômicas causadas por essa doença durante o período pós-colheita.

Dessa forma, o presente trabalho tem por objetivo avaliar a eficácia da aplicação do revestimento formulado com alginato de sódio adicionado de cultura mista de BAL no controle de antracnose causada por diferentes espécies de *Colletotrichum* em goiaba e manga. Adicionalmente, realizou-se a avaliação da viabilidade da cultura mista de BAL no revestimento e filme durante o armazenamento, bem como da taxa de biodegradabilidade do filme em solo vegetal, água potável e água do mar. Também foram determinados os efeitos do revestimento elaborado na redução do diâmetro de lesão de antracnose e sobre os parâmetros físicos e físico-químicos indicadores da qualidade de goiaba e manga ao longo do armazenamento.

2 REFERENCIAL TEÓRICO

2.1 CARACTERÍSTICAS NUTRICIONAIS E COMERCIALIZAÇÃO DE GOIABA E MANGA

As frutas fazem parte da alimentação humana há milhares de anos e, ao longo da história, civilizações antigas passaram a reconhecer seus benefícios à saúde, consolidando-as como componentes essenciais da dieta (Abobatta, 2021). Atualmente, diversas evidências científicas reforçam a relevância do consumo regular de frutas, destacando sua associação positiva com a promoção da saúde e a prevenção de doenças crônicas não transmissíveis, como enfermidades cardiovasculares, câncer, diabetes *mellitus* e obesidade (Kandylis, 2021; OMS, 2025).

A goiaba e a manga são frutas que estão distribuídas em regiões tropicais por todo o mundo (Anjum *et al.*, 2020; Sousa *et al.*, 2021). Apresentam características que agradam ao consumidor, tais como o sabor agradável, facilidade no acesso e presença de diversos nutrientes em sua composição, como açúcares, vitaminas, minerais, fibras, ácido ascórbico, carotenoides e compostos fenólicos (Anjum *et al.*, 2020; Siddiq; Brecht; Sidhu, 2017).

A composição nutricional de goiaba e manga está apresentada na Tabela 1. Com relação aos seus componentes, evidencia-se a alta quantidade de vitamina C e a concentração de carboidratos, dos quais parte são fibras dietéticas, solúveis e insolúveis (Lebaka *et al.*, 2021; Naseer *et al.*, 2018). Somado a isso, na distribuição centesimal destas frutas, ainda há a presença de compostos bioativos, como carotenoides (licopeno e β -caroteno) e compostos fenólicos, que atuam na proteção da fruta e quando consumidos, possuem atividade antioxidante, promovendo benefícios à saúde (Anjum *et al.*, 2020; Sousa *et al.*, 2021).

As goiabas, em específico, além de serem fonte de carotenóides e ácido ascórbico, contém compostos bioativos como saponinas, ácido oleanólico, quercetina, flavonoides e ácido cítrico, que juntos atuam promovendo atividade antimutagênica, anti-inflamatória, antioxidante e antimicrobiana (Naseer *et al.*, 2018). Em virtude dessas características, a goiaba e extratos da planta são utilizados pela medicina tradicional em regiões da África, Ásia e América Central, em casos de diarreia, gastroenterite e alívio geral da dor (Naseer *et al.*, 2018).

As mangas também são consumidas por populações indígenas ao redor do mundo com intuito de tratar doenças, como diarreia, febre, gastrite e úlceras (Lebaka *et al.*, 2021). Isso se deve a presença dos compostos bioativos em excelente quantidade, a exemplo de carotenóides, ácidos orgânicos (cítrico, málico e succínico), ácidos fenólicos (ferúlico, clorogênico e gálico),

flavonóides (quercetina, catequina), fitoesteróis e alcalóides. Somado a esses compostos, há a mangiferina, xantona, presente sobretudo na casca das mangas, que é conhecida por suas propriedades anticâncer, antimicrobiana, anti-inflamatória e imunomoduladora (Lebaka *et al.*, 2021).

Tabela 1 – Composição nutricional de goiaba vermelha e manga cv. Palmer por 100 gramas de parte comestível.

	Goiaba Vermelha	Manga cv. Palmer
Umidade (%)	85,0	79,7
Energia (kcal)	54,0	72,0
Proteínas (g)	1,1	0,4
Lipídios (g)	0,4	0,2
Carboidratos (g)	13,0	19,4
Fibras (g)	6,2	1,6
Vitamina C (mg)	80,9	65,5

Fonte: Tabela Brasileira de Composição de Alimentos – TACO, 2011.

No Brasil, as principais variedades de goiabas produzidas apresentam a polpa vermelha, nas quais se destacam a Paluma, Rica, Cortibel, Século XXI, Pedro Sato e Tailandesa (Borges *et al.*, 2022). No entanto, algumas cultivares de polpa branca também são produzidas, como a Cortibel 4, Kumagai, Branca Seleção da Florida e Ogawa Branca (Borges *et al.*, 2022). Dentre essas, a goiaba do cultivar Paluma é a mais plantada no Brasil, e apresenta dupla aptidão, sendo destinada tanto ao consumo *in natura*, quanto ao processamento, devido às suas características favoráveis como polpa macia e sabor doce (Galeano *et al.*, 2023). A utilização industrial desse cultivar destaca-se no mercado interno, sendo uma das principais matérias-primas na cadeia de processamento para a produção de sucos, doces e geleias, especialmente nos estados de São Paulo e Pernambuco (De Souza; Júnior, 2022; Galeano *et al.*, 2023).

Com relação à manga, essa fruta possui grande importância para exportações da fruticultura brasileira, destacando-se como a mais exportada em 2023, com 266 mil toneladas enviadas, gerando renda em cerca de US\$ 315 milhões. Os principais destinos das exportações foram os Países Baixos e os Estados Unidos. A região do Vale do São Francisco, especialmente os estados da Bahia e Pernambuco, foi a responsável por 93% da produção total dessa cultura (Kist *et al.*, 2023). Quando processada, essa fruta é usada como matéria-prima para a produção

de polpas, doces e sucos, devido ao elevado teor de açúcares (16 a 24 °Brix), textura com variação fibrosa e coloração atrativa após processamento (Carvalho Júnior, 2022).

2.2 PERÍODO PÓS-COLHEITA DE FRUTAS

2.2.1 Modificações fisiológicas e físico-químicas no período pós-colheita de frutas

O metabolismo das frutas apresenta comportamentos diferentes após a colheita, o que permite uma classificação com base em características fisiológicas como taxa respiratória, liberação de etileno (fito-hormônio gasoso que atua na maturação de frutas) e resposta ao etileno exógeno (Liu *et al.*, 2024). Dessa forma, as frutas que apresentam picos respiratórios evidentes antes do início da maturação, acompanhados pelo aumento na produção de etileno, são classificadas como climatéricas. Por outro lado, as frutas em que a taxa respiratória pós-colheita é inferior e o pico na liberação de etileno não ocorre, são classificadas como não climatéricas. (Liu *et al.*, 2024).

Devido às suas características fisiológicas, goiaba e manga são classificadas como frutas climatéricas, ou seja, continuam o processo de amadurecimento após a colheita, apresentando um tempo de prateleira reduzido quando expostas às condições ambientais (Anjum *et al.*, 2020; Sousa *et al.*, 2021). Na fase pós-colheita, essas frutas apresentam um aumento na taxa respiratória, na produção de etileno e na atividade enzimática, o que leva à perda de peso, ao amolecimento da fruta (devido à solubilização da pectina), à degradação da clorofila e dos ácidos orgânicos, além da elevação do teor de açúcares e sólidos solúveis totais, o que favorece a perecibilidade, bem como a depreciação qualitativa das frutas (Francisco *et al.*, 2020; Liu *et al.*, 2024; Sousa *et al.*, 2021).

As goiabas, quando armazenadas à temperatura ambiente, têm um tempo de prateleira de três a quatro dias (Oliveira *et al.*, 2018b), porém, quando mantidas em condições de refrigeração, tendem a ter a vida útil prolongada, não amadurecendo após 6 dias de armazenamento à temperaturas <11 °C (Germano *et al.*, 2019). Com relação à perecibilidade da manga, observa-se que, entre os diferentes cultivares existentes, o amadurecimento geralmente ocorre entre 8 e 12 dias após a colheita, à temperatura ambiente (Dieye *et al.*, 2022). Como descrito, durante esse período, ocorrem mudanças nos seus componentes, como a hidrólise do amido em açúcares solúveis (sacarose, glicose e frutose), o aumento do teor de carotenoides na polpa e a degradação da clorofila junto a biossíntese de antocianinas e carotenoides na casca (Dieye *et al.*, 2022).

2.2.2 Impactos dos fatores intrínsecos e extrínsecos na qualidade pós-colheita de frutas

A qualidade pós-colheita de frutas é influenciada por fatores intrínsecos e extrínsecos. Os intrínsecos são relacionados com características próprias da fruta, como a espécie, ponto de colheita, grau de maturação, presença de pico climatérico, textura e quantidade de nutrientes (Aakash *et al.*, 2023; Zhao *et al.*, 2022). Os fatores extrínsecos relacionam-se com o ambiente (clima, solo, temperatura, umidade relativa e atmosfera gasosa), bem como com as tecnologias empregadas no processo produtivo, como a forma de colheita, condições de transporte, armazenamento e comercialização, além dos tratamentos utilizados no controle de pragas e fitopatógenos (Aakash *et al.*, 2023; Zhao *et al.*, 2022).

Os fatores extrínsecos são aqueles que podem ser controlados ao longo da cadeia de produção. Em países em desenvolvimento, observa-se um controle inadequado desses parâmetros, como a coordenação entre produção, processamento e mercado; a previsão de demanda nas regiões produtoras; a logística; a cadeia fria; o tempo de plantio e semeadura; e a utilização de veículos especializados para o transporte (Anand; Barua, 2022; Magalhães; Ferreira; Silva, 2021). Esses aspectos são de grande importância, pois estima-se que 48% das perdas pós-colheita possa ser mitigada, exigindo atenção especial para a implementação de medidas que propiciem o crescimento econômico sustentável (Anand; Barua, 2022).

2.2.3 Perdas pós-colheita de frutas

As perdas na produção de frutas podem ocorrer em todos os estágios da cadeia produtiva, sendo mais significativas em países em desenvolvimento, com variações entre 25 e 40% da produção mundial (Kaur; Watson, 2024; Porat *et al.*, 2018). Cerca de 40% dessas perdas podem acontecer desde o período imediatamente após a colheita até a chegada ao varejo, diminuindo o retorno econômico para os produtores (Anand; Barua, 2022). Tal fato justifica-se pela presença de uma cadeia de abastecimento fragmentada, na qual o baixo acesso a técnicas e tecnologias de controle pós-colheita promovem altas temperaturas no transporte e armazenamento, umidade relativa não controlada, exposição à luz e pouca ventilação, fatores que predis põem o desenvolvimento de doenças pós-colheita (Bordoh *et al.*, 2020; Kaur; Watson, 2024).

Alterações na qualidade pós-colheita das frutas aceleram a atividade metabólica, a perda de água, e as mudanças na coloração, aumentando a suscetibilidade aos microrganismos

causadores de doenças pós-colheita (Sousa *et al.*, 2021). Aproximadamente 20-25% das frutas colhidas são deterioradas por patógenos durante os estágios pós-colheita, levando a perdas econômicas substanciais e comprometendo a segurança alimentar (Porat *et al.*, 2018).

Além do impacto econômico, as perdas pós-colheita geram um prejuízo ambiental significativo, resultante do uso e desperdício dos recursos naturais como o solo e água, assim como pelo dispêndio de recursos com a logística da cadeia de produção (embalagem, transporte e energia), que resulta na emissão de gases de efeito estufa, comprometendo diretamente a sustentabilidade ambiental e social (Anand; Barua, 2022; Haider; Choubey, 2024).

2.2.3.1 Perdas pós-colheita por fatores bióticos

O período pós-colheita das frutas é marcado por diversas mudanças fisiológicas e processos na cadeia de abastecimento, que as expõem e as tornam mais suscetíveis a deterioração (Haider; Choubey, 2024). Durante essa fase, a qualidade das frutas pode ser alterada por danos ambientais (calor, oxidação, umidade), fisiológicos (atividade enzimática) e biológicos (doenças pós-colheita) (Barboza *et al.*, 2022).

Dentre os principais responsáveis pelas perdas pós-colheita causadas por fatores bióticos em frutas, destacam-se os fungos fitopatogênicos (Kausar *et al.*, 2021). Esses fungos têm seu crescimento e sobrevivência favorecidos em estágios avançados de maturação das frutas, que oferecem um ambiente propício, com alto teor de carboidratos (açúcares) e níveis de pH adequados (Alegbeleye *et al.*, 2022; Moradinezhad; Ranjbar, 2023). Para contaminar as frutas, os fungos utilizam enzimas (pectinases, celulasas, hemicelulasas) que degradam a parede celular, podendo também ser favorecidos por lesões ocasionadas durante o transporte que facilitam a invasão e sobrevivência dos fungos no interior do tecido vegetal (Alegbeleye *et al.*, 2022; Moradinezhad; Ranjbar, 2023).

Os fungos podem infectar as frutas de duas maneiras: de forma imediata ou quiescente (Godana *et al.*, 2023). A infecção imediata ocorre quando a deterioração patológica se desenvolve rapidamente após a infecção, levando ao aparecimento de sintomas em um curto período de tempo (Godana *et al.*, 2023). Já a infecção quiescente acontece quando os fungos infectam as frutas antes de sua formação, mas os sintomas só se manifestam posteriormente, na fase de maturação (Ciofini *et al.*, 2022). Esse tipo de infecção pode dificultar a detecção precoce do problema, resultando em perdas significativas na qualidade do produto durante o armazenamento e o transporte (Godana *et al.*, 2023; Kausar *et al.*, 2021).

Entre os fungos fitopatógenos, os gêneros mais comuns encontrados em frutas são *Penicillium* spp. (responsável pela mancha azul e mancha verde), *Botrytis* spp. (mofo cinza), *Alternaria* spp. (mancha preta), *Fusarium* spp. (fusariose), *Colletotrichum* spp. (antracnose), *Aspergillus* spp. (mofo preto), e *Rhizopus* spp. (podridão mole) (Godana *et al.*, 2023; Matrose *et al.*, 2020). Estes gêneros representam um desafio para o setor da fruticultura, levando a perdas econômicas substanciais derivadas do desenvolvimento das doenças (Porat *et al.*, 2018).

2.3 ANTRACNOSE

A antracnose é uma doença causada por fungos do gênero *Colletotrichum* spp., sendo considerada uma das mais importantes doenças pós-colheita que acometem goiabas e mangas em todo o mundo (Benatar; Wibowo, 2021). O estabelecimento da infecção produz lesões necróticas que atingem as folhas, galhos, flores e frutos da planta (De Oliveira *et al.*, 2020; Li *et al.*, 2020; Shah *et al.*, 2021; Tovar *et al.* 2019).

A espécie *Colletotrichum gloesporioides* é considerada como o principal agente causal da antracnose no mundo (Fernandes *et al.*, 2024; Braga *et al.*, 2019). Entretanto, diferentes espécies do gênero *Colletotrichum* spp. também são associadas às lesões de antracnose em goiaba e manga cultivadas no Brasil, incluindo: *C. asianum*, *C. fructicola*, *C. tropicale*, *C. siamense*, *C. karstii*, *C. musae*, *C. brevisporum*, e *C. acutatum* (Fernandes *et al.*, 2024). Estas espécies apresentam comportamentos diferentes e elevada patogenicidade, sendo classificadas quanto ao modo de vida em necrotróficos, hemibiotróficos, quiescentes e endofíticos (Ciofini *et al.*, 2022). Destaca-se ainda que uma única espécie pode contaminar variados hospedeiros e modificar seu padrão de comportamento, dificultando o controle da doença (Fernandes; De Oliveira; De Souza, 2021).

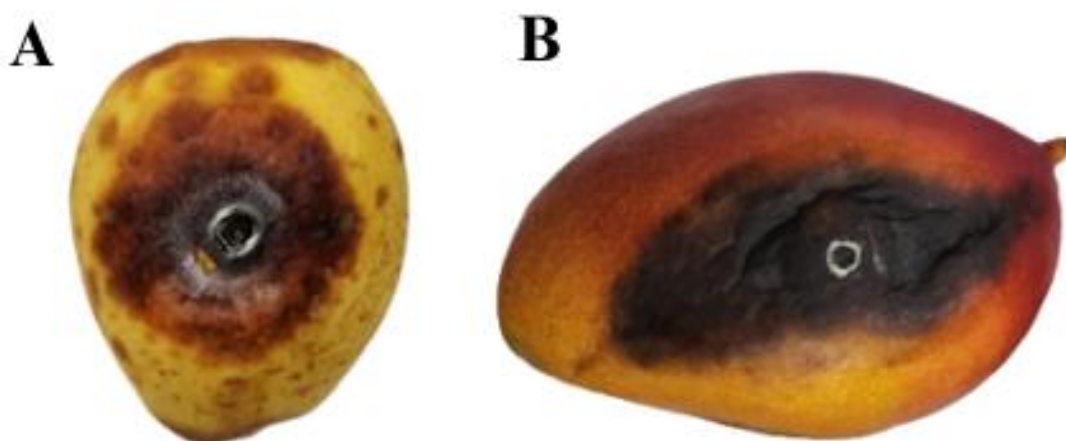
O *Colletotrichum* spp. sobrevive nos ramos, folhas e outros tecidos infectados da planta, e sua disseminação ocorre pelos respingos da água da chuva ou da irrigação, como também pelos insetos que entram em contato com as flores ou frutos maduros infectados (Brasil, 2025). Para o desenvolvimento da antracnose, a fruta deve ser exposta a longos períodos de alta umidade e temperaturas que variam de 20 a 30 °C (Aljawasim; Samtani; Rahman, 2023; Ciofini *et al.*, 2022). Frutas contaminadas com o *Colletotrichum* spp. têm seu período de armazenamento significativamente reduzido, podendo se deteriorar em até 12 dias após o contato com o fungo (Li *et al.*, 2020; Shah *et al.*, 2021).

A contaminação por *Colletotrichum* spp. pode ocorrer em qualquer estágio do desenvolvimento da fruta, contudo, quando imaturas, o fungo geralmente permanece latente até

que a fruta comece seu processo de amadurecimento (Brasil, 2025). A resistência da fruta imatura ao *Colletotrichum* acontece possivelmente devido a fatores como a atividade insuficiente de enzimas pectinolíticas, anatomia da fruta (espessura da casca), presença de compostos antifúngicos naturais, disponibilidade de nutrientes e presença de genes de resistência (Moraes; Escanferla; Massola Jr, 2015).

Os sintomas mais graves da antracnose após a colheita surgem durante o armazenamento ou no transporte de longa distância. Estes se caracterizam por lesões escuras, arredondadas, tornando-se irregulares, necróticas e com bordas ligeiramente elevadas, apresentando centro deprimido, onde são produzidas as massas de conídios caracterizadas pela presença de pontuações alaranjadas a rosáceas (Brasil, 2025; Tovar *et al.* 2019; Oliveira *et al.*, 2018a). Os sintomas típicos de antracnose em goiaba e manga estão ilustrados na Figura 1.

Figura 1 – Goiaba cv. Paluma e manga cv. Palmer contaminadas artificialmente por *Colletotrichum* spp.



Fonte: elaboração própria, 2025.

A: Goiaba cv. Paluma contaminada com *C. fruticola* LM 680; B: Manga cv. Palmer contaminada com *C. siamense* CMM 4077.

O tratamento pós-colheita para reduzir o desenvolvimento da antracnose envolve a aplicação, isolada ou combinada, de fungicidas químicos e imersão dos frutos em água quente (52-55 °C) por 5 minutos. A imersão em banho frio de fungicida é frequentemente utilizada, embora seja menos eficiente (Brasil, 2025). Uma combinação de radiações, água quente e fungicida também tem sido explorada para o controle pós-colheita da antracnose (Brasil, 2025).

Dentre os fungicidas sintéticos mais utilizados pelos fruticultores, destacam-se as classes dos benzimidazóis (tiabendazol), estrobilurinas (azoxistrobina) e os inibidores da biossíntese de ergosterol (IBEs), como imazalil (Damasceno *et al.*, 2019). Além desses, também

são empregados fungicidas não sistêmicos à base de cobre, como o oxicleto de cobre e o hidróxido de cobre (Lombardo *et al.*, 2023; Pruthviraj *et al.*, 2024). Todavia, sabe-se que o uso excessivo desses agroquímicos representa um risco à saúde humana devido ao seu acúmulo no organismo, especialmente os benzimidazóis, que são classificados como substâncias cancerígenas (He *et al.*, 2024; Damasceno *et al.*, 2019).

Em resposta a esses problemas, o controle da antracnose tem sido direcionado para métodos não químicos, como fertilizantes minerais contendo diferentes níveis de cobre, zinco e manganês; óleos essenciais; e cloridrato de quitosana (Lombardo *et al.*, 2023). Além disso, com o objetivo de buscar soluções mais seguras e ecológicas, também estão sendo investigados microrganismos antagonistas (leveduras e bactérias), como potenciais agentes de controle biológico para a prevenção da antracnose em frutas no período pós-colheita (Wu *et al.*, 2021; Lombardo *et al.*, 2023).

2.4 BACTÉRIAS LÁTICAS COMO AGENTES DE BIOPRESERVAÇÃO DE FRUTAS

As tecnologias aplicadas às frutas no estágio pós-colheita devem estar alinhadas ao desenvolvimento sustentável. Assim, essas técnicas precisam conservar efetivamente a qualidade das frutas e controlar o patógeno-alvo, além de serem seguras, ecologicamente corretas, econômicas e compatíveis com as práticas comerciais de manuseio (Germano *et al.*, 2019; Shah *et al.*, 2021). Diante disso, a exploração de microrganismos antagonistas como potenciais agentes de biopreservação para controle de doenças pós-colheita tem ganhado destaque devido aos efeitos inibitórios observados (Fernandes; De Oliveira; De Souza, 2021). Esses agentes de biocontrole tem demonstrado potencial na redução ou substituição do uso de fungicidas sintéticos, apresentando efeitos frente a diferentes fitopatógenos (Álvarez *et al.*, 2021b; Damasceno *et al.*, 2019).

Quando aplicados nas superfícies das frutas, esses agentes são capazes de colonizá-las e atuar por meio de diversos mecanismos para suprimir os patógenos, como a competição por espaço e nutrientes, a produção de enzimas hidrolíticas, a redução do pH e a indução de resistência no hospedeiro, impedindo a contaminação e o progresso do patógeno nos seus estágios iniciais de desenvolvimento (Fugaban *et al.*, 2023; Ibrahim *et al.*, 2021).

As BAL, que incluem os gêneros *Lactobacillus* e outros relacionados, apresentam morfologia variada, como cocos, coco-bacilos ou bastonetes. São caracterizadas como Gram-positivas, resistentes ao ácido, não esporuladas, catalase-negativas e podem ser tanto anaeróbias quanto aeróbias facultativas. Essas bactérias são mesófilas, com temperatura ótima de

crescimento entre 30 e 37 °C, ou termófilas, com temperatura ótima entre 45 e 50 °C (Stefanovic; Fitzgerald; Mcauliffe, 2017). O nome "bactérias láticas" deriva do fato de produzirem principalmente ácido láctico durante a fermentação de hexoses (Stefanovic; Fitzgerald; Mcauliffe, 2017).

As bactérias dos gêneros *Bifidobacterium* e *Lactobacillus* são os microrganismos benéficos utilizados com maior frequência no setor alimentício (Shigematsu *et al.*, 2018). Como agentes de biocontrole, essas bactérias demonstram grande plasticidade metabólica, sendo capazes de se desenvolver e se adaptar a ambientes com restrições de nutrientes e condições de temperatura desfavoráveis, o que é essencial para um potencial efeito antagonista pós-colheita (Dukare *et al.*, 2019).

Dentre os efeitos positivos das BAL, destacam-se sua capacidade antimicrobiana, estímulo à melhoria da função de barreira intestinal, efeito imunomodulatório e atividade anti-inflamatória, que pode contribuir para a redução do risco de diversas doenças crônicas (Saha; Saroj, 2022). Além dos benefícios para a saúde humana, essas bactérias, quando adicionadas em alimentos, podem auxiliar no retardo do crescimento de microrganismos deteriorantes e patogênicos, aumentando o tempo de vida dos produtos com a manutenção da qualidade ideal de consumo (Barbosa *et al.*, 2021).

O efeito antagônico de cepas de *Lactobacillus* spp. e gêneros relacionados frente a fungos patogênicos em frutas vem sendo investigado na literatura (De Simone *et al.*, 2024a; Fernandes *et al.*, 2024). A capacidade antifúngica *Lactiplantibacillus paraplantarum* CRL 1905 contra *Penicillium digitatum* e *Penicillium italicum* foi analisada em limões (Volentini *et al.*, 2023). Os compostos produzidos reduziram em 80% a incidência da doença, sendo esse efeito atribuído aos metabólitos ácidos (ácido láctico, acético, propiônico e fenil-lático), uma vez que, com a neutralização do pH, essa atividade foi reduzida (Fugaban *et al.*, 2023; Volentini *et al.*, 2023). Também foi observada uma atividade antifúngica eficaz de cepas de BAL contra os fungos responsáveis pelo mofo-preto (*Aspergillus niger*), fusariose (*Fusarium* spp.) e podridão mole (*Rhizopus stolonifer*), com destaque para *Lactiplantibacillus plantarum* A6 (Melo *et al.*, 2021).

Ao analisar o efeito do sobrenadante livre de células de cepas de *Lactiplantibacillus plantarum* em kiwis minimamente processados artificialmente contaminados com *Botrytis cinerea*, observou-se retardo no crescimento do fitopatógeno e o prolongamento a vida útil da fruta (De Simone *et al.*, 2021). Este efeito foi justificado pela alta concentração de ácido láctico, reduzindo o pH e aumentando a ação antagonista (De Simone *et al.*, 2021), assim como, pela

presença de outros compostos orgânicos voláteis que, combinados, promovem efeito sinérgico (Siedler; Balti; Neves, 2019).

Contudo, embora promissora, a utilização de bactérias isoladamente em frutas pode ser sensorialmente desfavorável devido à alteração do *flavor*, causada pela produção de ácidos orgânicos e compostos voláteis, como monoterpenos e cetonas, que tornam a fruta menos atraente para o consumidor (Mandha *et al.*, 2022; Álvarez *et al.*, 2021a). Além disso, a aplicação isolada de BAL pode impactar na diminuição da sua adesão, viabilidade e sobrevivência na fruta (Shahrampour *et al.*, 2020). Dessa forma, a combinação desses microrganismos antagonistas em revestimentos comestíveis foi proposta como estratégia para melhorar a estabilidade das cepas. Essa abordagem foi inicialmente aplicada através da formulação de um revestimento à base de alginato e gelatina contendo *Bifidobacterium lactis* Bb-12 em chips de mamão e maçã (Tapia *et al.*, 2007).

2.5 REVESTIMENTOS COMESTÍVEIS COMO MÉTODO DE PRESERVAÇÃO PÓS-COLHEITA EM FRUTAS

Os revestimentos comestíveis são camadas finas aplicadas sobre a superfície dos alimentos, funcionando como uma barreira física que ajuda a proteger o produto contra os fatores externos, como umidade, oxigênio e a ação de microrganismos (Barboza *et al.*, 2022). Além disso, esses revestimentos podem inibir processos fisiológicos, contribuindo para prolongar a vida útil e preservar a qualidade do produto (Barboza *et al.*, 2022; Wang *et al.*, 2023). Compostos por materiais naturais, como lipídeos, proteínas e polissacarídeos, os revestimentos comestíveis são seguros para consumo e podem ser aplicados por métodos como imersão, *spray* (pulverização) ou revestimento por pincel (Hernández-Nolasco *et al.*, 2024; Wang *et al.*, 2023).

Como características adicionais, os revestimentos comestíveis são capazes de retardar o processo de respiração, amadurecimento, desidratação e deterioração microbiana em frutas (Braga *et al.*, 2019; Parreidt *et al.*, 2019). Dessa forma, configuram-se como uma alternativa ecológica aos métodos tradicionais de controle da podridão, assim como da qualidade pós-colheita de frutas (Barboza *et al.*, 2022). Além disso, os revestimentos comestíveis obtidos de fontes naturais têm características adicionais que representam vantagens em relação aos sintéticos, como a biodegradabilidade, sustentabilidade e biocompatibilidade (Sousa *et al.*, 2021).

Para aplicação em alimentos, os polímeros usados devem ser isentos de componentes não digeríveis, tóxicos ou alergênicos, e de preferência, para adesão industrial, devem ser de fácil produção e economicamente viáveis (Fernandes; De Oliveira; De Souza, 2021). Os biopolímeros à base de polissacarídeos são utilizados comumente na produção de revestimentos devido à sua comestibilidade e excelente biocompatibilidade (Joshy *et al.*, 2020). Esses polímeros são capazes de carrear substâncias ativas, que conferem uma barreira extra de proteção contra fitopatógenos, a exemplo de óleos essenciais (Popescu *et al.*, 2022), extratos naturais de plantas (Bajaj *et al.*, 2023) e microrganismos antagonistas, como bactérias (De Oliveira; Fernandes; De Souza, 2021) e leveduras (Du *et al.*, 2023).

Dentre as matrizes à base de polissacarídeos utilizadas para carrear microrganismos antagonistas, estão o alginato de sódio (Speranza *et al.*, 2018), quitosana (Speranza *et al.*, 2018), derivados da celulose e do amido (Khodaei; Hamidi-Esfahani, 2019; Li *et al.*, 2020), frutooligossacarídeos (FOS) (De Oliveira; Fernandes; De Souza, 2021), *Konjac glucomannan* (Hashemi; Jafarpour, 2021) e exopolissacarídeos (Álvarez, *et al.*, 2021a). Todavia, ao aplicar de forma conjunta os revestimentos comestíveis e microrganismos antagonistas, a matriz utilizada deve ser capaz de fornecer os requisitos necessários para a manutenção da estabilidade microbiana e/ou seus compostos antagonistas durante o período de armazenamento e comercialização (Marín; Atarés; Chiralt, 2017). Além disso, deve promover proteção física, ao formar uma barreira protetora ao redor do microrganismo; melhorar a aderência às superfícies; e servir como fonte de nutrientes, favorecendo sua colonização na fruta (Miranda *et al.*, 2024).

2.5.1 Alginato de sódio

O alginato de sódio é um polímero linear extraído de algas marinhas e é amplamente utilizado em conjunto com microrganismos devido à sua atoxicidade, biodegradabilidade, biocompatibilidade e baixo custo (Fernandes; De Oliveira; De Souza, 2021; Li *et al.*, 2022). Devido a essas características, o alginato de sódio é ideal para revestir frutas, pois possui uma estrutura química favorável e propriedades de gelificação, espessamento, estabilização, suspensão e formação de filmes (Barboza *et al.*, 2022; De Oliveira; Fernandes; De Souza, 2021). Além disso, produz revestimentos transparentes e termo-irreversíveis à temperatura ambiente (Barboza *et al.*, 2022; De Oliveira; Fernandes; De Souza, 2021; Hernández-Nolasco *et al.*, 2024).

Revestimentos e filmes à base de alginato de sódio são reticulados com íons cálcio para alterar suas estruturas e torná-los impermeáveis (Parreidt *et al.*, 2019). Quando aplicado em

frutas, o alginato de sódio adere à superfície do produto, criando uma permeabilidade seletiva que reduz a perda de água e controla as trocas gasosas. Esse processo previne o desenvolvimento microbiano e a oxidação lipídica, mantendo a textura da fruta estável e evitando alterações de cor na superfície, resultando em efeitos semelhantes aos do armazenamento sob atmosfera modificada (Barboza *et al.*, 2022; Parreidt *et al.*, 2019; Sousa *et al.*, 2021).

Vários outros compostos aditivos podem ser adicionados ao alginato de sódio para melhorar suas propriedades mecânicas e formar emulsões estáveis, tais como emulsificantes ou surfactantes, como os polissorbatos (*tweens*), que reduzem a tensão superficial entre as fases da dispersão, melhoram a estabilidade, garantem bom espalhamento e adesão do revestimento à superfície do alimento; plastificantes, como o glicerol, que diminui as forças intermoleculares entre as cadeias poliméricas, resultando em maior flexibilidade, alongamento e tenacidade do filme; e lipídios, como o óleo de girassol, que reduzem a permeabilidade à umidade presente no filme (Barboza *et al.* 2022; Hernández-Nolasco *et al.*, 2024).

Os revestimentos à base de alginato de sódio, combinados com agentes de biocontrole para aplicação em frutas, têm demonstrado grande potencial na conservação dos produtos. Isso se deve ao fato de garantirem a sobrevivência das bactérias adicionadas durante o período de armazenamento, trazendo pouco impacto sobre as propriedades de cor, odor, sabor e textura do produto revestido (Barboza *et al.*, 2022; Akman *et al.*, 2021). Recentemente, diversas pesquisas foram publicadas com a aplicação de revestimentos à base de alginato de sódio em frutas *in natura* e minimamente processadas como, maçã (Alvarez *et al.*, 2021b); mirtilo (Xu *et al.*, 2020), melão (Speranza *et al.*, 2018), morango (Li *et al.*, 2024), goiaba e manga (Fernandes; De Oliveira; De Souza, 2021). De maneira geral, os resultados são promissores em termos de conservação, preservação do grau de maturação e manutenção das características gerais de qualidade pós-colheita das frutas.

Considerando os dados apresentados sobre o uso combinado de alginato de sódio e bactérias lácticas em frutas, essa abordagem pode se configurar como uma alternativa inovadora, ambientalmente segura, economicamente viável e de fácil aplicação para a indústria, podendo vir a ser aplicada para reduzir a severidade da antracnose causada por fungos do gênero *Colletotrichum*, além de melhorar os parâmetros físicos e físico-químicos durante o armazenamento, preservando a qualidade pós-colheita de goiaba e manga, e diminuindo as perdas ao longo da cadeia produtiva.

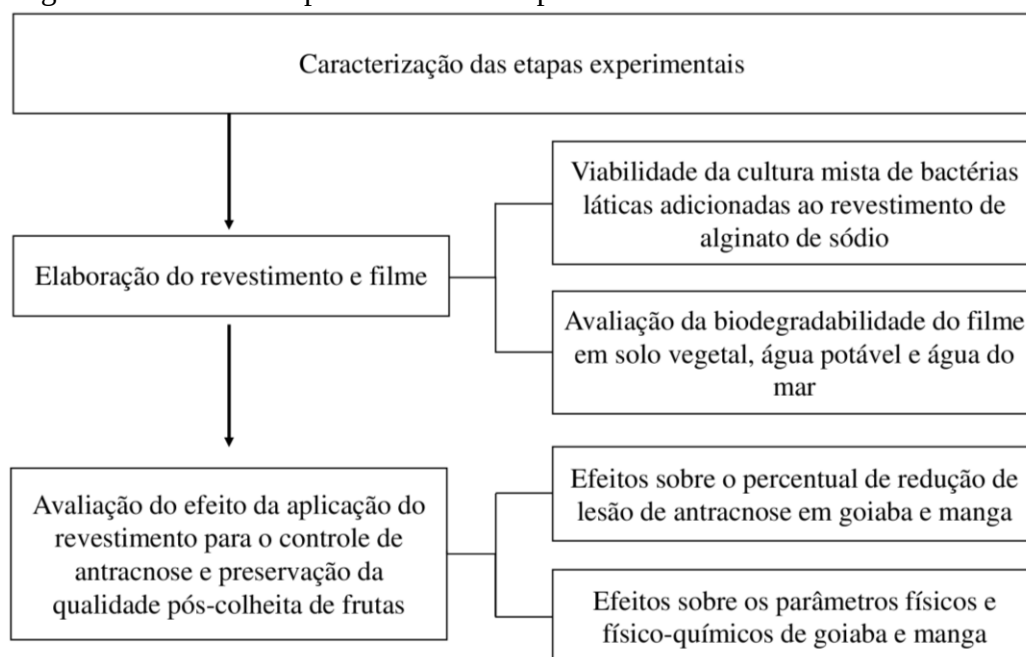
3 MATERIAIS E MÉTODOS

O desenho deste estudo caracterizou-se como analítico experimental de abordagem quantitativa, a partir da avaliação da atividade antifúngica do revestimento de alginato de sódio adicionado da cultura mista de cepas de BAL para o biocontrole da antracnose em goiabas e mangas (Tako; Kameo, 2023).

3.1 LOCAIS DE EXECUÇÃO

As análises foram realizadas no Laboratório de Microbiologia e Bioquímica dos Alimentos e no Laboratório de Bromatologia, ambos vinculados ao Departamento de Nutrição, pertencente ao Centro de Ciências da Saúde da Universidade Federal da Paraíba (Campus I). As diferentes etapas metodológicas estão apresentadas na Figura 2.

Figura 2 – Desenho experimental das etapas do trabalho.



Fonte: elaboração própria, 2025.

3.2 OBTENÇÃO DAS FRUTAS E COMPONENTES DO REVESTIMENTO

Goiabas cv. Paluma, caracterizadas por estarem no segundo estágio de maturação, ou seja, com até 80% de casca verde e Brix ≥ 10 (De Oliveira *et al.*, 2020), e mangas cv. Palmer, caracterizadas por estarem em estágio de maturação médio com 50% da casca verde ou

vermelha e °Brix ≥ 12 (Sousa *et al.*, 2021), foram adquiridas na Empresa Paraibana de Abastecimento e Serviços Agrícolas (EMPASA, João Pessoa, Paraíba, Brasil). As frutas obtidas apresentavam ausência de lesões físicas e de sinais visíveis de infecção, sendo selecionadas com base no tamanho, aparência, cor e forma. Antes de sua utilização, as frutas foram higienizadas com detergente neutro e água corrente potável, desinfetadas superficialmente por meio de imersão em hipoclorito de sódio (150 ppm, pH 7,2 ajustado com NaOH a 1M) por 15 minutos, enxaguadas com água esterelizada e secas por duas horas em cabine de segurança, sob temperatura ambiente (25 ± 2 °C) (Fernandes; De Oliveira; De Souza, 2021).

O alginato de sódio (Dinâmica Química Contemporânea Ltda., Indaiatuba, São Paulo, Brasil), glicerol (Química Moderna, Barueri, São Paulo, Brasil), óleo de girassol (Cargill Agrícola SA, Recife, PE, Brasil) e tween 80 (Sigma - Aldrich, St. Louis, MO, EUA) foram utilizados para formular o revestimento. O cloreto de cálcio (PA) (Synth, Diadema, São Paulo, Brasil) foi aplicado nas frutas revestidas para formar um gel por meio de reticulação com alginato de sódio.

3.3 ELABORAÇÃO DA CULTURA MISTA DE BACTÉRIAS LÁTICAS LIOFILIZADAS

Três diferentes cepas de BAL (*Levilactobacillus brevis* 59, *Lactiplantibacillus pentosus* 129 e *Limosilactobacillus fermentum* 263) foram selecionadas para uso na formulação do revestimento com base em resultados anteriores que demonstraram sua capacidade antifúngica frente à *Colletotrichum* spp. (Fernandes; De Oliveira; De Souza, 2021). Essas cepas foram isoladas de subprodutos do processamento de polpas de frutas e apresentaram propriedades potencialmente probióticas, destacando-se a atividade antimicrobiana frente a microrganismos contaminantes de alimentos (Garcia *et al.*, 2016).

As culturas isoladas foram mantidas em estoques em caldo de Man, Rogosa e Sharpe (MRS) (Kasvi Ltda., São José dos Pinhais, Paraná, Brasil) com glicerol (Sigma Aldrich; 20 mL/100 mL) e armazenadas a -20 ± 2 °C. Antes do uso nos ensaios experimentais, cada cepa de BAL testada foi cultivada em caldo MRS a 37 ± 2 °C por 20 a 24 horas sob anaerobiose (Anaerobic System Anaerogen, Oxoid, Hampshire, UK). Posteriormente, as células foram coletadas por centrifugação, lavadas em solução salina tamponada com fosfato esterelizada e ressuspensas em água destilada esterelizada adicionada de frutooligossacarídeo (FOS, 20% p/v; Farmácia Majestic Ltda., São Roque, SP, Brasil) como crioprotetor, para obtenção de uma suspensão com contagens de células viáveis entre 9 e 10 UFC/mL (Unidades Formadoras de

Colônia/mL). A suspensão celular mista foi preparada com a mistura das suspensões de cada cepa (proporção 1:1:1) (Freire *et al.*, 2021).

Para a liofilização, a suspensão da cultura mista de BAL adicionada de FOS (20% p/v) foi transferida para frascos de vidro com tampas (10 mL de suspensão em cada frasco) e submetidas ao congelamento (-80 °C, 24 horas). O processo de liofilização aconteceu sob temperatura de -55 ± 2 °C, com pressão de vácuo de <138 µHG e um taxa de liofilização de 1 mm/h, por aproximadamente 10 horas em liofilizador de bancada (modelo L-101, Liotop, São Carlos, São Paulo, Brasil) (Sampaio *et al.*, 2021).

3.4 ISOLADOS DE *Colletotrichum* spp. E CONDIÇÕES DE CRESCIMENTO

Oito diferentes isolados de *Colletotrichum*, nomeadamente *C. asianum* CMM 4057, *C. fructicola* CMM 4069, *C. tropicale* CMM 4071 e *C. siamense* CMM 4077, obtidos de mangas, e *C. fructicola* LM 680, *C. siamense* LM 681; *C. tropicale* LM 679 e *C. chrysophilum* LM 685 obtidos de goiabas, fornecidos pela coleção de cultura de Fungos Fitopatogênicos “Prof. Maria Menezes” (UFRPE, Recife, Pernambuco, Brasil) e pela coleção do Laboratório de Micologia (Universidade Federal Rural de Pernambuco, Recife, Brasil) foram utilizadas como microrganismos alvo. Esses isolados foram previamente identificados com inferência filogenética, tendo a capacidade de induzir sintomas característicos da antracnose em goiaba e manga (Lima *et al.*, 2015; Soares *et al.*, 2024). Para os ensaios de atividade antifúngica, foram utilizadas as culturas estoque cultivadas em Ágar Batata Dextrose – ABD (Kasvi Ltda., São José dos Pinhais, Paraná, Brasil) durante sete dias a 25 ± 2 °C.

Para confirmação da capacidade fitopatogênica, cada isolado fúngico foi inoculado separadamente nas regiões equatoriais de goiabas e mangas, a depender da sua matriz original, e armazenado por sete dias a 25 ± 2 °C. Os isolados de *Colletotrichum* induziram lesões características nas frutas, condizentes com a antracnose, apresentando manchas marrons irregulares, afundadas, no caso das goiabas, e manchas arredondadas de cor marrom escuro a preto para mangas (Fernandes; De Oliveira; De Souza, 2021).

3.5 ELABORAÇÃO DO REVESTIMENTO DE ALGINATO DE SÓDIO ADICIONADO DA CULTURA MISTA DE BACTÉRIA LÁTICAS

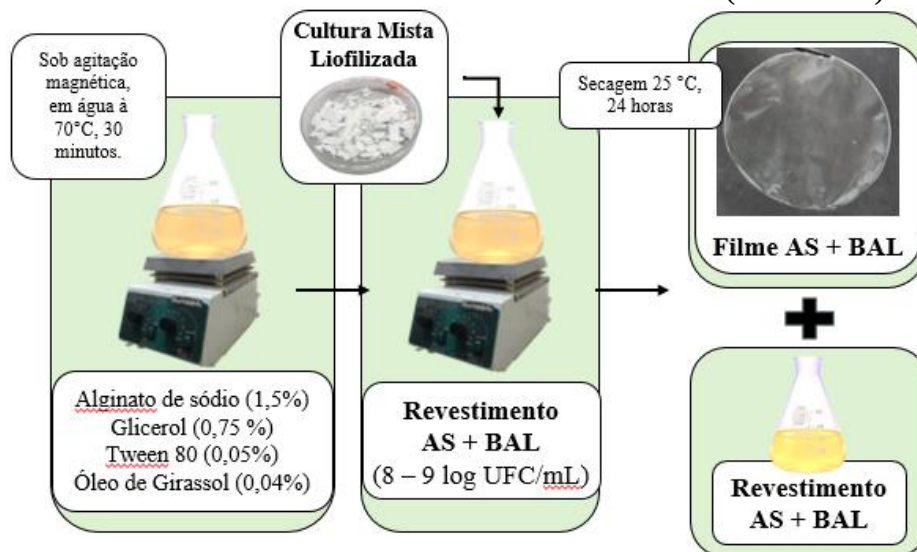
O revestimento foi produzido com alginato de sódio (1,5 g/100 mL) dissolvido em água destilada esterilizada (70 °C) sob agitação magnética (MARCONI, MA 085, 240 rpm) durante

30 minutos. Em sequência, foram adicionados glicerol (0,75 g/100 g), tween 80 (0,05 g/100 g) e o óleo de girassol (0,04 g/100 g), os quais foram agitados por 10 minutos (25 ± 2 °C) até dissolução completa dos componentes (Shigematsu *et al.*, 2018).

Após o resfriamento, a cultura mista de BAL liofilizada foi ressuspensa na dispersão (AS + BAL) (Khodaei; Hamidi-Esfahani, 2019), de modo a alcançar uma concentração celular final entre 8 e 9 log UFC/mL (Speranza *et al.*, 2018). Além disso, foram formulados um revestimento contendo alginato de sódio sem adição de BAL (AS) e controle negativo, constituído por uma solução de água destilada esterilizada com adição de glicerol (2,5 mL/100mL).

Após a produção do revestimento adicionado de BAL, 10 mL da dispersão foram transferidos assepticamente para placas de Petri estéreis e submetidos à secagem sob temperatura ambiente (25 ± 2 °C, 24 horas) para formação do filme (Figura 3) (Fernandes; De Oliveira; De Souza, 2021). As amostras do revestimento líquido e dos filmes obtidos foram armazenadas a 25 °C e a 4 °C (± 2 °C) sob diferentes intervalos de armazenamento (0, 1, 6, 9, 12 e 15 dias), para avaliação da sobrevivência da cultura mista de BAL. Para tanto, as amostras de filme (reidratadas na proporção de 1:9 com água peptonada esterilizada) e dos revestimentos foram submetidas a diluições seriadas, seguidas de plaqueamento em ágar MRS pela técnica de inoculação de microgota (10 µL) (Sanhueza *et al.*, 2015). Após o período de incubação (37 ± 2 °C, 48 horas) em condições anaeróbicas, as colônias visíveis foram enumeradas e os resultados expressos como log UFC/g ou UFC/mL (Araújo *et al.*, 2020).

Figura 3 – Esquema para obtenção do revestimento e do filme de alginato de sódio adicionado da cultura mista de bactérias lácticas (AS + BAL).



Fonte: elaboração própria, 2025.

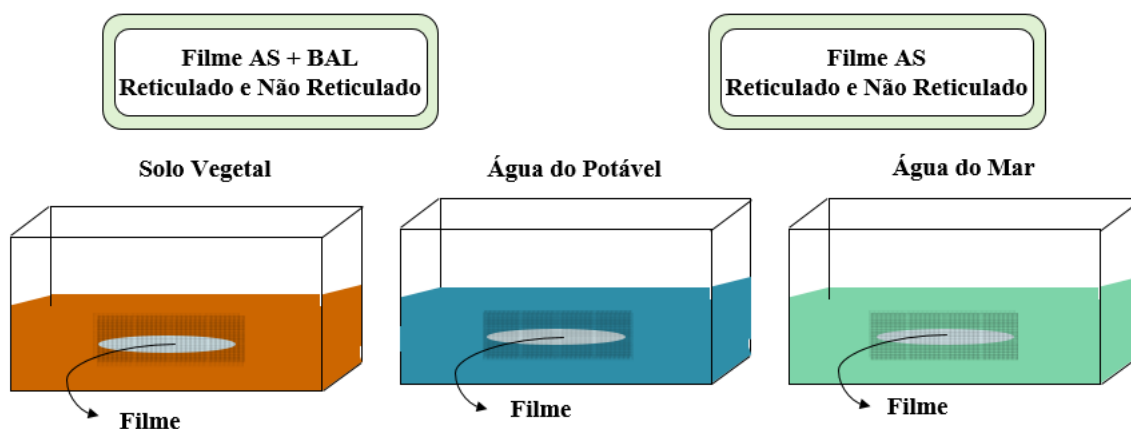
3.6 AVALIAÇÃO DAS CARACTERÍSTICAS DE BIODEGRADAÇÃO DO FILME DE ALGINATO DE SÓDIO ADICIONADO DE BACTÉRIAS LÁTICAS

A taxa de biodegradação do filme formulado com AS + BAL e do filme de alginato de sódio sem adição de BAL (AS) não reticulado (NR) e após o processo de reticulação (R) foi determinada pelo método *soil burial* (Magalhães; Andrade, 2009). Esse método consiste no enterramento dos corpos de prova em solo, sob condições controladas de laboratório, durante o período de armazenamento. Para a reticulação, parte dos filmes formulados (2,5 x 2,5 cm) foi submersa em solução de cloreto de cálcio (2 g/100 mL) por 1 minuto, visando promover modificações estruturais na cadeia polimérica do alginato de sódio.

Os corpos de prova (2,5 x 2,5 cm) foram colocados individualmente em malhas de polietileno e enterrados no solo vegetal (Mogifertil, Mogi Mirim, São Paulo, Brasil) contendo esterco, fibra de coco, cinzas e adubo NPK (Nitrogênio, Fósforo e Potássio) presente em um container de plástico de 500 mL. Nos dias 0, 6, 9, 15 e 20 após o enterramento (25 ± 2 °C), as amostras foram retiradas do solo, limpas e fotografadas, sendo avaliadas quanto à degradação visível do filme ao longo do tempo (Magalhães; Andrade, 2009).

O teste de biodegradação em água do mar e água potável foi realizado de acordo com metodologia descrita por Accinelli *et al.*, (2012), com modificações. Os filmes produzidos foram cortados (2,5 cm x 2,5 cm), colocados em malhas para garantir a fixação da amostra, e, posteriormente, foram submersos individualmente em 300 mL de água potável e em 300 mL de água do mar (Figura 4). A água do mar utilizada neste teste foi coletada na praia do Bessa (João Pessoa, Paraíba, Brasil) em área comprovadamente própria para banho, conforme dados da Superintendência de Administração do Meio Ambiente (SUDEMA), João Pessoa, Paraíba. Nos dias 0, 6, 9, 15 e 20 de imersão (25 ± 2 °C), as amostras foram cuidadosamente retiradas da água, submetidas à secagem em temperatura ambiente e fotografadas quando completamente secas, sendo avaliadas quanto à degradação visível do filme ao longo do tempo.

Figura 4 – Esquema ilustrativo do teste de biodegradabilidade dos filmes de alginato de sódio adicionado da cultura mista de bactérias lácticas (AS + BAL) e alginato de sódio (AS).



Fonte: elaboração própria, 2025.

3.7 AVALIAÇÃO DOS EFEITOS DO REVESTIMENTO SOBRE DESENVOLVIMENTO E SEVERIDADE DE ANTRACNOSE EM GOIABA E MANGA

Para avaliação dos efeitos do revestimento sobre o desenvolvimento e a severidade de antracnose, a epiderme de cada fruta (goiaba e manga) foi ferida cinco vezes com o uso de agulha esterilizada (3 mm de profundidade e 2 mm de largura) na região central da fruta. Posteriormente, cada fruta foi imersa em 400 mL da dispersão formadora do revestimento de alginato de sódio adicionado da cultura mista de cepas de BAL (AS + BAL) por 2 minutos, e, em seguida, imersa em solução de cloreto de cálcio (2 g/100 mL) por 1 minuto como forma de promover a reticulação do polímero de alginato de sódio. Após a secagem ($25\text{ }^{\circ}\text{C} \pm 2\text{ }^{\circ}\text{C}$, 2 horas), um disco de ágar (5 mm de diâmetro) contendo estruturas do isolado de *Colletotrichum* alvo (obtidas da margem de uma colônia cultivado em ABD por sete dias a $25 \pm 2\text{ }^{\circ}\text{C}$) foi inoculado no ponto de punção da fruta. Como controles foram testadas as frutas imersas em revestimento de alginato de sódio sem adição de cepas de BAL (AS) e em água destilada esterilizada adicionada de glicerol (2,5 mL/100 mL) (controle negativo).

Após esta etapa, as frutas foram acondicionadas individualmente em recipientes de polietileno sobrepostos com papel toalha umedecido com água destilada estéril, e, então, encobertas com saco plástico comercialmente esterilizado para formar uma câmara úmida e manter a umidade relativa do ar de aproximadamente 85% (Figura 5). As frutas foram mantidas em incubadora tipo *Biochemical Oxygen Demand* (BOD) ($25 \pm 2\text{ }^{\circ}\text{C}$) (De Oliveira *et al.*, 2017) e, após 48 horas, a câmara de umidade foi retirada. Durante o período de armazenamento (dias 6, 9, 12 e 15, $25 \pm 2\text{ }^{\circ}\text{C}$), as frutas foram examinadas quanto ao progresso dos sintomas

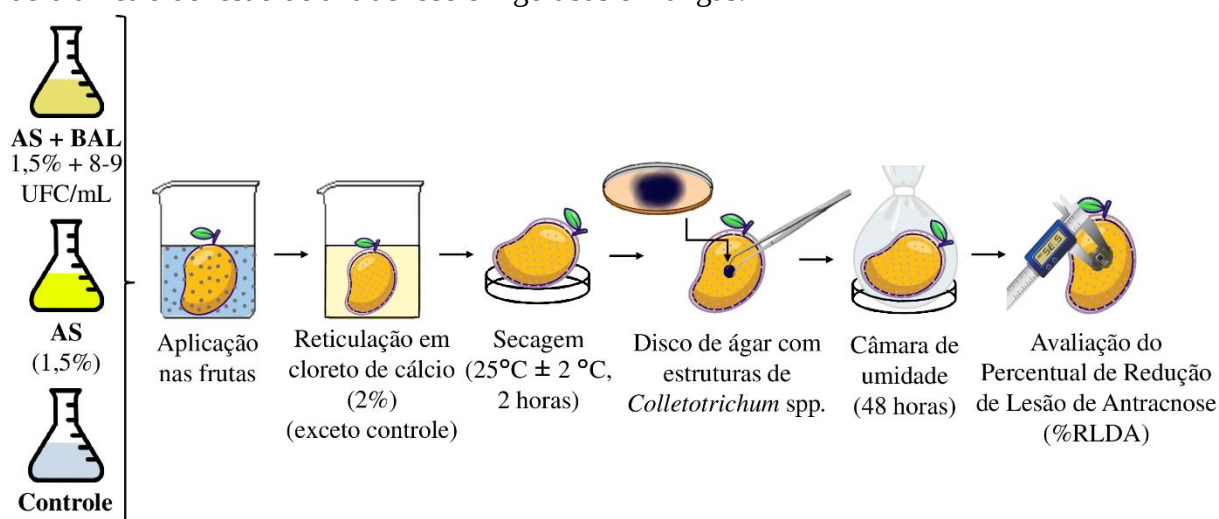
característicos de antracnose através da medição do diâmetro da lesão de antracnose (Braga *et al.*, 2019).

Os resultados foram expressos como porcentagem de redução do diâmetro da lesão de antracnose (%RDLA), calculado com a equação (1) (Braga *et al.*, 2019):

$$\%RDLA = [(N - F) / N] \times 100 \quad (1)$$

Onde: N é o diâmetro da lesão de antracnose em frutas não tratadas (controle negativo) e F é o diâmetro da lesão de antracnose em frutas revestidas com alginato de sódio adicionado ou não da cultura mista de BAL.

Figura 5 – Esquema ilustrativo da aplicação dos revestimentos formulados e análise da redução do diâmetro de lesão de antracnose em goiabas e mangas.



Fonte: elaboração própria, 2025.

AS: Alginato de sódio. BAL: Bactérias lácticas. UFC: Unidades Formadoras de Colônias.

3.8 AVALIAÇÃO DOS EFEITOS DO REVESTIMENTO SOBRE PARÂMETROS FÍSICOS E FÍSICO-QUÍMICOS DE GOIABA E MANGA

A determinação de parâmetros físicos e físico-químicos das frutas submetidas as diferentes formulações de revestimento, porém não infectadas com *Colletotrichum*, foi realizada imediatamente após a aplicação do revestimento e nos dias 6, 9, 12 e 15 de armazenamento (25 ± 2 °C, 55% de umidade relativa). As análises realizadas incluíram a perda de peso, cor, sólidos solúveis totais (SST), acidez titulável (AT), potencial de Hidrogênio (pH) e teor de ácido ascórbico.

A perda de peso das frutas foi determinada a partir da diferença entre o peso inicial (dia zero) e o peso da fruta em cada período de armazenamento. Os resultados foram expressos como porcentagem da perda de peso inicial (De Oliveira *et al.*, 2020).

A análise de cor foi realizada em quatro pontos equidistantes da casca da fruta, utilizando um colorímetro digital portátil CR 400 (Konica Minolta, Tóquio, Japão) operando nos sistemas de cor CIEL*a*b e CIEL*C*h, que utilizam, respectivamente, coordenadas retangulares e cilíndricas, padronizado com um campo de visão de 10° e com iluminante D65 (Konica Minolta, 2015; Shu; Kim-Lee; Sun, 2024). Dessa forma, nas medições, o equipamento forneceu os valores de L* (luminosidade), a* (coordenada verde/vermelho), b* (coordenada azul/amarelo), bem como, a C* (cromaticidade) e o °Hue.

Para a determinação dos SST, as frutas foram preparadas de acordo com suas características morfológicas. As goiabas foram cortadas longitudinalmente em duas metades, e a polpa foi extraída da fruta inteira. As mangas, por sua vez, foram cortadas longitudinalmente em regiões adjacentes à semente, sendo a casca e a semente removidas para obtenção da polpa. A polpa de ambas as frutas foi individualmente homogeneizada em um processador doméstico (Turbomix Pro, Arno SA, Recife, Pernambuco, Brasil) e, em seguida, filtrada para extração do líquido. O extrato obtido foi aplicado no prisma de um refratômetro digital (Brix/RI Chek Model, Reichert Analytical Instruments, Depew, NY, EUA) e os resultados foram corrigidos para $20 \pm 0,5$ °C e expressos em graus Brix (°Brix) (AOAC, 2023, método 932.12).

A AT foi determinada a partir da titulação da amostra (polpa triturada) diluída em água esterilizada na proporção 1:10 e homogeneizada, seguida da filtragem com filtro qualitativo. Realizou-se a titulação com NaOH 0,1 M na presença de fenolftaleína como indicador. Os resultados foram expressos em gramas de ácido cítrico por 100 g de fruta (AOAC, 2023, método 942.15).

Os valores de pH foram determinados após diluição e homogeneização da amostra em água esterilizada na proporção 1:10, seguida da filtragem com filtro qualitativo. Para aferição do pH foi utilizado potenciômetro com eletrodo de vidro combinado (Modelo Q400AS, Quimis®, São Paulo, Brasil) calibrado com solução tampão com pH 7 e 4 (AOAC, 2016; Método 981.12).

O conteúdo de ácido ascórbico foi determinado pelo método de titulação por neutralização com solução de 2,6-diclorofenol indofenol (IAL, 2008; Método 365/IV). Para isso, 0,1 g de polpa triturada foram homogeneizados e diluídos em 30 mL de ácido oxálico 0,5%. Uma alíquota de 10 mL foi removida da solução final para titulação com 2,6-diclorofenol

indofenol até aparecimento de tonalidade rosa claro. O volume de titulação foi usado na seguinte equação (2):

$$\text{Ácido ascórbico (mg/100g)} = (V \times F / A) \times 100 \quad (2)$$

Onde: V é o volume da solução de 2,6-diclorofenol indofenol gasto na titulação; F é o fator de correção da solução de 2,6-diclorofenol indofenol e A é a quantidade em mL da amostra utilizada. Os resultados foram expressos em mg de ácido ascórbico por 100 g de polpa (IAL, 2008; Método 365/IV).

3.9 ANÁLISES ESTATÍSTICAS

Todos os experimentos foram conduzidos em triplicata e em três experimentos distintos. Foi utilizada a estatística descritiva (média e desvio padrão), como também a inferencial. Como pré-requisito para os testes inferenciais, o teste de normalidade de Kolmogorov–Smirnov foi executado para avaliar se os dados obtidos tinham distribuição normal. O teste de Levene foi realizado para avaliar se os dados satisfaziam a suposição de homogeneidade (variância igual). A análise de variância (ANOVA), seguida pelos testes *post hoc* de Tukey ou de Duncan foram executados para determinar diferenças ($p \leq 0,05$) entre os resultados obtidos nos diferentes grupos do estudo através do *software* Sigma Stat. 3.5 (Jandel Scientific Software, San Jose, Califórnia).

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

A cultura mista de cepas de BAL adicionadas ao revestimento de alginato de sódio apresentou contagem de células viáveis superior a 6 log UFC/g em todas as condições de armazenamento, com melhores valores observados quando armazenadas a 4 ± 2 °C. Também foi possível constatar o potencial de biodegradabilidade dos filmes formulados em solo vegetal e em água do mar e potável sendo observada a degradação completa ao longo dos 20 dias de armazenamento.

Quando aplicada em goiabas e mangas, a formulação com alginato de sódio e cultura mista de BAL foi eficaz para controlar o desenvolvimento e severidade das lesões de antracnose causada por diferentes espécies de *Colletotrichum*. O revestimento aplicado nas frutas também foi capaz de preservar os parâmetros físicos e físico-químicos indicadores da qualidade pós-colheita, com destaque para perda de peso e alterações colorimétricas em menor escala em goiabas, bem como maior preservação dos níveis de pH e de ácido ascórbico em mangas.

Portanto, a aplicação do revestimento formulado com alginato de sódio e cultura mista de BAL caracterizou-se como uma estratégia promissora para controle da antracnose em goiabas e mangas, podendo também ser aplicada como alternativa para melhorar a qualidade pós-colheita dessas frutas, prologando sua vida útil e reduzindo as perdas pós-colheita na cadeia de produção. Contudo, ressalta-se que mais pesquisas deverão ser realizadas para avaliar as características sensoriais das frutas e a aceitação do produto pelo mercado consumidor. Bem como, caracterizar o revestimento desenvolvido com relação as suas propriedades reológicas, mecânicas, térmicas, estruturais e de barreira para então torná-lo aplicável pela agroindústria.

REFERÊNCIAS

- AAKASH *et al.* Post-harvest Technology for Fruits. In: THAKUR, S. *et al.* **Recent trends in agriculture**. Delhi: Integrated Publications, 2023. p. 53-72. Disponível em: <https://www.integratedpublications.in/books/1677312411-recent-trends-in-agriculture>. Acesso em: 29 dez. 2024.
- ABOBATTA, W. F. Nutritional and healthy benefits of fruits. **Diabetes**, [s.l.], v. 40, n. 2, p. 31979-31983, 2021.
- ACCINELLI, C. *et al.* Deterioration of bioplastic carrier bags in the environment and assessment of a new recycling alternative. **Chemosphere**, [s.l.], v. 89, n. 2, p. 136-143, 2012.
- AKMAN, P. K. *et al.* Fabrication and characterization of probiotic *Lactobacillus plantarum* loaded sodium alginate edible films. **Journal of Food Measurement and Characterization**, [s.l.], v. 15, p. 84-92, 2021.
- ALEGBELEYE, O. *et al.* Microbial spoilage of vegetables, fruits and cereals. **Applied Food Research**, [s.l.], v. 2, n. 1, p. 100122, 2022.
- ALJAWASIM, B. D.; SAMTANI, J. B.; RAHMAN, M. New insights in the detection and management of anthracnose diseases in strawberries. **Plants**, [s.l.], v. 12, n. 21, p. 3704, 2023.
- ÁLVAREZ, A. *et al.* Use of an exopolysaccharide-based edible coating and lactic acid bacteria with antifungal activity to preserve the postharvest quality of cherry tomato. **Lwt**, [s.l.], v. 151, p. 112225, 2021a.
- ALVAREZ, M. V. *et al.* Prebiotic-alginate edible coating on fresh-cut apple as a new carrier for probiotic lactobacilli and bifidobacteria. **Lwt**, [s.l.], v. 137, p. 110483, 2021b.
- ANAND, S.; BARUA, M. K. Modeling the key factors leading to post-harvest loss and waste of fruits and vegetables in the agri-fresh produce supply chain. **Computers and electronics in agriculture**, [s.l.], v. 198, p. 106936, 2022.
- ANJUM, M. A. *et al.* Effect of gum arabic and Aloe vera gel based edible coatings in combination with plant extracts on postharvest quality and storability of 'Gola' guava fruits. **Scientia Horticulturae**, [s.l.], v. 271, p. 109506, 2020.
- AOAC. **Official Methods of Analysis of AOAC International**, 18 ed., New York: AOAC Publications, 2016.
- AOAC. **Official Methods of Analysis of AOAC International**, 22 ed., New York: AOAC Publications, 2023. Disponível em: <https://doi.org/10.1093/9780197610145.001.0001>. Acesso em: 11 nov. 2024.
- ARAÚJO, C. M. *et al.* Protective effects of tropical fruit processing coproducts on probiotic *Lactobacillus* strains during freeze-drying and storage. **Microorganisms**, [s.l.], v. 8, n. 1, p. 96, 2020.

BAJAJ, K. *et al.* Edible coatings enriched with plant-based extracts preserve postharvest quality of fruits: A review. **Progress in Organic Coatings**, [s.l.], v. 182, p. 107669, 2023.

BARBOSA, J. R. *et al.* Microbial degradation of food products. In: INAMUDDIN; AHAMED, M. I.; PRASAD, R. **Recent Advances in Microbial Degradation**. Singapore: Environmental and Microbial Biotechnology. p. 155-172, 2021. Disponível em: https://link.springer.com/chapter/10.1007/978-981-16-0518-5_6. Acesso em: 19 jan. 2025.

BARBOZA, H. T. G. *et al.* Filmes e revestimentos comestíveis: conceito, aplicação e uso na pós-colheita de frutas, legumes e vegetais. **Research, Society and Development**, [s.l.], v. 11, n. 9, p. e9911931418-e9911931418, 2022.

BENATAR, G. V.; WIBOWO, A. First report of *Colletotrichum asianum* associated with mango fruit anthracnose in Indonesia. **Crop Protection**, [s.l.], v. 141, p. 105432, 2021.

BORDOH, P. K. *et al.* A review on the management of postharvest anthracnose in dragon fruits caused by *Colletotrichum* spp. **Crop Protection**, [s.l.], v. 130, p. 105067, 2020.

BORGES, A. L. **Boas práticas agrícolas para produção orgânica de goiaba**. Cruz das Almas: Embrapa Mandioca e Fruticultura. Documentos 254. 2022. Disponível em: <https://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/infoteca/bitstream/doc/1150159/1/Documento254-AnaLucia-2022-AINFO-2.pdf>. Acesso em: 01 mar. 2025.

BRAGA, S. P. *et al.* Application of coatings formed by chitosan and *Mentha* essential oils to control anthracnose caused by *Colletotrichum gloesporioides* and *C. brevisporum* in papaya (*Carica papaya* L.) fruit. **International Journal of Biological Macromolecules**, Guildford, v. 139, p. 631-639, 2019.

BRASIL. Ministério da Agricultura Pecuária e Abastecimento. **Sistema de agrotóxicos fitossanitários**. 2025. Disponível em: https://agrofit.agricultura.gov.br/agrofit_cons/principal_agrofit_cons. Acesso em: 09 jan. 2025.

CARVALHO JÚNIOR, J. E. V. **Diversidade e seleção de híbridos de mangueira no semiárido do Brasil**. 2022. Tese (Doutorado em agronomia) – Universidade Federal do Piauí. Teresina, 2022. Disponível em: <http://repositorio.ufpi.br:8080/handle/123456789/2944>. Acesso em: 24 mar. 2025.

CHEN, M. *et al.* Exogenous ethylene promotes peel color transformation by regulating the degradation of chlorophyll and synthesis of anthocyanin in postharvest mango fruit. **Frontiers in Nutrition**, [s.l.], v. 9, p. 911542, 2022.

CIOFINI, A. *et al.* Management of post-harvest anthracnose: current approaches and future perspectives. **Plants**, [s.l.], v. 11, n. 14, p. 1856, 2022.

DAMASCENO, C. L. *et al.* Postharvest biocontrol of anthracnose in bananas by endophytic and soil rhizosphere bacteria associated with sisal (*Agave sisalana*) in Brazil. **Biological Control**, [s.l.], v. 137, p. 104016, 2019.

DE OLIVEIRA, K. Á. R. *et al.* Synergistic mixtures of chitosan and *Mentha piperita* L. essential oil to inhibit *Colletotrichum* species and anthracnose development in mango cultivar Tommy Atkins. **Food Microbiology**, [s.l.], v. 66, p. 96-103, 2017.

DE OLIVEIRA, K. Á. R.; FERNANDES, K. F. D.; DE SOUZA, E. L. Current advances on the development and application of probiotic-loaded edible films and coatings for the bioprotection of fresh and minimally processed fruit and vegetables. **Foods**, [s.l.], v. 10, n. 9, p. 2207, 2021.

DE OLIVEIRA, L. I. G. *et al.* Characterization and efficacy of a composite coating containing chitosan and lemongrass essential oil on postharvest quality of guava. **Innovative Food Science & Emerging Technologies**, [s.l.], v. 66, p. 102506, 2020.

DE SIMONE, N. *et al.* Antifungal activity of *Lactiplantibacillus plantarum* isolated from fruit and vegetables and detection of novel antifungal VOCs from fungal-LAB co-cultures. **Food Bioscience**, [s.l.], v. 58, p. 103824, 2024a.

DE SIMONE, N. *et al.* Inclusion of Antifungal and Probiotic *Lactiplantibacillus plantarum* strains in Edible Alginate Coating as a Promising Strategy to Produce Probiotic Table Grapes and Exploit Biocontrol Activity. **Horticulturae**, [s.l.], v. 10, n. 4, p. 419, 2024b.

DE SIMONE, N. *et al.* Screening of lactic acid bacteria for the bio-control of *Botrytis cinerea* and the potential of *Lactiplantibacillus plantarum* for eco-friendly preservation of fresh-cut kiwifruit. **Microorganisms**, [s.l.], v. 9, n. 4, p. 773, 2021.

DE SOUZA, L. A. F.; JÚNIOR, E. F. Perspectivas para o Mercado da Goiaba: cenário atual e principais desafios. **Revista Interface Tecnológica**, [s.l.], v. 19, n. 1, p. 198-209, 2022.

DIEYE, M. *et al.* Storage time as an index for varietal prediction of mango ripening: A systemic approach validated on five senegalese varieties. **Foods**, [s.l.], v. 11, n. 23, p. 3759, 2022.

DU, X. *et al.* Evaluating the Fungal Pathogens' Inhibition Efficiency of Composite Film Combined with Antagonistic Yeasts and Sodium Alginate on Peach. **Coatings**, [s.l.], v. 13, n. 2, p. 417, 2023.

DUKARE, A. S. *et al.* Exploitation of microbial antagonists for the control of postharvest diseases of fruits: a review. **Critical Reviews in Food Science and Nutrition**, Boca Raton, v. 59, p. 1498-1513, 2019.

ELABD, M. A. Development of bioactive packaging: Probiotic coating for improving fresh-cut apples quality. **International Journal of Technical Research & Science**, [s.l.], v. 4, p. 17-24, 2019.

FERNANDES, K. F. D.; DE OLIVEIRA, K. Á. R.; DE SOUZA, E. L. Application of potentially probiotic fruit-derived lactic acid bacteria loaded into sodium alginate coatings to control anthracnose development in guava and mango during storage. **Probiotics and Antimicrobial Proteins**, [s.l.], p. 1-15, 2021.

FERNANDES, K. F. D. *et al.* Interventions based on alternative and sustainable strategies for postharvest control of anthracnose and maintain quality in tropical fruits. **Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety**, [s.l.], v. 23, n. 5, p. e13427, 2024.

FILIPINI, G. da S.; ROMANI, V. P.; MARTINS, V. G. Biodegradable and active-intelligent films based on methylcellulose and jambolão (*Syzygium cumini*) skins extract for food packaging. **Food Hydrocolloids**, [s.l.], v. 109, p. 106139, 2020.

FRANCISCO, C. B. *et al.* Shelf-life of guavas coated with biodegradable starch and cellulose-based films. **International journal of biological macromolecules**, Guildford, v. 152, p. 272-279, 2020.

FREIRE, M. O. L. *et al.* Effects of a Mixed *Limosilactobacillus fermentum* Formulation with Claimed Probiotic Properties on Cardiometabolic Variables, Biomarkers of Inflammation and Oxidative Stress in Male Rats Fed a High-Fat Diet. **Foods**, [s.l.], v. 10, n. 9, p. 2202, 2021.

FRENT, O. D. *et al.* Sodium alginate—Natural microencapsulation material of polymeric microparticles. **International Journal of Molecular Sciences**, [s.l.], v. 23, n. 20, p. 12108, 2022.

FUGABAN, J. I. I. *et al.* Evaluation of Antifungal Metabolites Produced by Lactic Acid Bacteria. **Probiotics and Antimicrobial Proteins**, [s.l.], v. 15, p. 1447-1463, 2023.

GALEANO, E. A. V. **Cadeia produtiva da goiaba no Espírito Santo**. Vitória: Incaper, 2023. 148 p. Disponível em: <https://biblioteca.incaper.es.gov.br/digital/bitstream/item/4480/1/Livro-goiaba.pdf>. Acesso em: 17 dez. 2024.

GANDÍA, M. *et al.* Potential of antifungal proteins (AFPs) to control *Penicillium* postharvest fruit decay. **Journal of Fungi**, [s.l.], v. 7, n. 6, p. 449, 2021.

GARCIA, E. F. *et al.* Identification of lactic acid bacteria in fruit pulp processing byproducts and potential probiotic properties of selected *Lactobacillus* strains. **Frontiers in microbiology**, [s.l.], v. 7, p. 1371, 2016.

GERMANO, T. A. *et al.* Galactomannan-carnauba wax coating improves the antioxidant status and reduces chilling injury of ‘Paluma’ guava. **Postharvest Biology and Technology**, [s.l.], v. 149, p. 9-17, 2019.

GODANA, E. A. *et al.* Biotechnological and biocontrol approaches for mitigating postharvest diseases caused by fungal pathogens and their mycotoxins in fruits: A review. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, [s.l.], v. 71, n. 46, p. 17584-17596, 2023.

HAIDER, I.; CHOUBEY, V. K. Identifying fruit and vegetable losses and waste causing factors in supply chain towards achieving sustainable consumption and production. **Environment, Development and Sustainability**, [s.l.], p. 1-30, 2024.

HASHEMI, S. M. B.; JAFARPOUR, D. Bioactive edible film based on *Konjac glucomannan* and probiotic *Lactobacillus plantarum* strains: Physicochemical properties and shelf life of fresh-cut kiwis. **Journal of Food Science**, [s.l.], v. 86, n. 2, p. 513-522, 2021.

HE, J. *et al.* Network toxicological and molecular docking to investigate the mechanisms of toxicity of agricultural chemical Thiabendazole. **Chemosphere**, [s.l.], v. 363, p. 142711, 2024.

HERNÁNDEZ-NOLASCO, Z. *et al.* Optimization of sodium alginate, taro starch and lactic acid based biodegradable films: Antimicrobial effect on a meat product. **LWT**, [s.l.], v. 192, p. 115718, 2024.

HIROZAWA, M. T. *et al.* Lactic acid bacteria and *Bacillus* spp. as fungal biological control agents. **Journal of Applied Microbiology**, [s.l.], v. 134, n. 2, p. lxac083, 2023.

IAL - INSTITUTO ADOLFO LUTZ. **Métodos físico-químicos para análise de alimentos**. 4 ed. São Paulo: Instituto Adolfo Lutz, 2008. Disponível em: https://www.ial.sp.gov.br/resources/editorinplace/ial/2016_3_19/analisedealimentosial_2008.pdf. Acesso em: 26 abr. 2025.

IBRAHIM, S. A. *et al.* Lactic Acid Bacteria as Antimicrobial Agents: Food Safety and Microbial Food Spoilage Prevention. **Foods**, [s.l.], v. 10, n. 12, p. 3131, 2021.

JOSHY, K. S. *et al.* Application of novel zinc oxide reinforced xanthan gum hybrid system for edible coatings. **International journal of biological macromolecules**, [s.l.], v. 151, p. 806-813, 2020.

KANDYLIS, P. Grapes and their derivatives in functional foods. **Foods**, [s.l.], v. 10, n. 3, p. 672, 2021.

KAUR, R.; WATSON, J. A. A scoping review of postharvest losses, supply chain management, and technology: Implications for produce quality in developing. **Journal ASABE**, [s.l.], v. 67, n. 5, p. 1103-1131, 2024.

KAUSAR, R. *et al.* Molecular characterization of *Fusarium solani* and *Fusarium oxysporum* phyto-pathogens causing mango maturity malconformation. **Archives of Phytopathology and Plant Protection**, [s.l.], v. 54, n. 17-18, p. 1372-1390, 2021.

KHODAEI, D.; HAMIDI-ESFAHANI, Z. Influence of bioactive edible coatings loaded with *Lactobacillus plantarum* on physicochemical properties of fresh strawberries. **Postharvest Biology and Technology**, [s.l.], v. 156, p. 110944, 2019.

KIST, B. B. *et al.* **Anuário brasileiro de Horti&Fruti 2024**. Santa Cruz do Sul: Gazeta Santa Cruz, 2023. Disponível em: https://editoragazeta.com.br/wp-content/uploads/2024/04/HF_2024_DUPLAS.pdf. Acesso em: 17 dez. 2024.

KONICA MINOLTA. **Precise Color Communication**. [s.l.: s.n.], 2015. Disponível em: https://www.konicaminolta.com/instruments/knowledge/color/pdf/color_communication.pdf. Acesso em: 17 ago. 2024.

KUMAR, N. *et al.* Effect of Chitosan-Pullan Composite Edible Coating Functionalized with Pomaegranate Peel Extract on Shelf Life of Mango (*Mangifera indica*). **Coatings**, [s.l.], v. 11, n. 7, p. 764, 2021.

- KUMARI, P. *et al.* Mineral composition, pigments, and postharvest quality of guava cultivars commercially grown in India. **Journal of Agriculture and Food Research**, [s.l.], v. 2, p. 100061, 2020.
- LEBAKA, V. R. *et al.* Nutritional composition and bioactive compounds in three different parts of mango fruit. **International journal of environmental research and public health**, [s.l.], v. 18, n. 2, p. 741, 2021.
- LI, D.; WEI, Z.; XUE, C. Alginate-based delivery systems for food bioactive ingredients: An overview of recent advances and future trends. **Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety**, [s.l.], v. 20, n. 6, p. 5345-5369, 2021.
- LI, H. *et al.* Bioactive edible sodium alginate films incorporated with tannic acid as antimicrobial and antioxidative food packaging. **Foods**, [s.l.], v. 11, n. 19, p. 3044, 2022.
- LI, N. *et al.* An alginate-based edible coating containing lactic acid bacteria extends the shelf life of fresh strawberry (*Fragaria* × *ananassa* Duch.). **International Journal of Biological Macromolecules**, [s.l.], v. 274, p. 133273, 2024.
- LI, S. *et al.* Cassava starch/carboxymethylcellulose edible films embedded with lactic acid bacteria to extend the shelf life of banana. **Carbohydrate Polymers**, [s.l.], v. 248, p. 116805, 2020.
- LIMA, N. B. *et al.* Comparative epidemiology of *Colletotrichum* species from mango in northeastern Brazil. **European Journal of Plant Pathology**, [s.l.], v. 141, p.679-688, 2015.
- LIU, M. *et al.* Ethylene biosynthesis and signal transduction during ripening and softening in non-climacteric fruits: An overview. **Frontiers in Plant Science**, [s.l.], v. 15, p. 1368692, 2024.
- LOMBARDO, M. F. *et al.* Assessing copper-alternative products for the control of pre-and postharvest citrus anthracnose. **Plants**, [s.l.], v. 12, n. 4, p. 904, 2023.
- LÓPEZ-DÍAZ, A. S. *et al.* Characterization of pitahaya (*Hylocereus undatus*) mucilage-based films. **Applied Food Research**, [s.l.], v. 3, n. 1, p. 100266, 2023.
- MA, Q. *et al.* Melatonin treatment delays postharvest senescence and maintains the organoleptic quality of ‘Newhall’ navel orange (*Citrus sinensis* (L.) Osbeck) by inhibiting respiration and enhancing antioxidant capacity. **Scientia Horticulturae**, [s.l.], v. 286, p. 110236, 2021.
- MAGALHÃES, N. F.; ANDRADE, C. T. Thermoplastic corn starch/clay hybrids: Effect of clay type and content on physical properties. **Carbohydrate Polymers**, [s.l.], v. 75, n. 4, p. 712-718, 2009.
- MAGALHÃES, V. S. M; FERREIRA, L. M. D. F; SILVA, C. Using a methodological approach to model causes of food loss and waste in fruit and vegetable supply chains. **Journal of cleaner production**, [s.l.], v. 283, p. 124574, 2021.

MANDHA, J. *et al.* Effect of lactic acid fermentation on volatile compounds and sensory characteristics of mango (*Mangifera indica*) juices. **Foods**, [s.l.], v. 11, n. 3, p. 383, 2022.

MARÍN; ATARÉS; CHIRALT. Improving function of biocontrol agents incorporated in antifungal fruit coatings: a review. **Biocontrol Science and Technology**, Abingdon, v. 27, p. 1220 -1241, 2017.

MATROSE, N. A. *et al.* Plant extracts and other natural compounds as alternatives for post-harvest management of fruit fungal pathogens: A review. **Food Bioscience**, [s.l.], v. 41, p. 100840, 2021.

MELO, J. J. M. *et al.* Antagonistic activity of lactic acid bacteria against phytopathogenic fungi isolated from cherry tomato (*Solanum lycopersicum* var. cerasiforme). **Current Microbiology**, New York, v. 78, p. 1399-1408, 2021.

MIRANDA, M. *et al.* Fundamentals of edible coatings and combination with biocontrol agents: A strategy to improve postharvest fruit preservation. **Foods**, [s.l.], v. 13, n. 18, p. 2980, 2024.

MORADINEZHAD, F.; RANJBAR, A. Advances in postharvest diseases management of fruits and vegetables: A review. **Horticulturae**, [s.l.], v. 9, n. 10, p. 1099, 2023.

MORAES, S. R. G.; ESCANFERLA, M. E.; MASSOLA JR, N. S. Prepenetration and Penetration of *Colletotrichum gloeosporioides* into Guava Fruit (*Psidium guajava* L.): Effects of Temperature, Wetness Period and Fruit Age. **Journal of Phytopathology**, [s.l.], v. 163, n. 3, p. 149-159, 2015.

NASEER, S. *et al.* The phytochemistry and medicinal value of *Psidium guajava* (guava). **Clinical phytoscience**, [s.l.], v. 4, n. 1, p. 1-8, 2018.

NASROLLAHZADEH, A. *et al.* Antifungal preservation of food by lactic acid bacteria. **Foods**, [s.l.], v. 11, n. 3, p. 395, 2022.

NOGUEIRA, G. F.; FAKHOURI, F. M.; DE OLIVEIRA, R. A. Incorporation of spray dried and freeze dried blackberry particles in edible films: Morphology, stability to pH, sterilization and biodegradation. **Food packaging and shelf life**, [s.l.], v. 20, p. 100313, 2019.

Núcleo de estudos e pesquisas em alimentação – NEPA. **Tabela Brasileira de Composição de Alimentos – TACO**. 4. ed. Revisada e ampliada. Campinas: NEPA – UNICAMP. 2011.

OLIVEIRA, P. D. L. *et al.* Control of anthracnose caused by *Colletotrichum* species in guava, mango and papaya using synergistic combinations of chitosan and *Cymbopogon citratus* (DC ex Nees) Stapf. essential oil. **International Journal of Food Microbiology**, Amsterdam, v. 266, p. 87-94, 2018a.

OLIVEIRA, V. R. L. *et al.* Use of biopolymeric coating hydrophobized with beeswax in post-harvest conservation of guavas. **Food Chemistry**, [s.l.], v. 259, p. 55–64, 2018b.

OMS. Organização Mundial da Saúde. **Noncommunicable diseases**. 2025. Disponível em: <https://www.emro.who.int/noncommunicable-diseases/causes/unhealthy-diets.html>. Acesso em: 25 abr. 2025.

PARREIDT, T. S. *et al.* The development of a uniform alginate-based coating for cantaloupe and strawberries and the characterization of water barrier properties. **Foods**, [s.l.], v. 8, p. 203, 2019.

PELEG, M. A new look at models of the combined effect of temperature, pH, water activity, or other factors on microbial growth rate. **Food Engineering Reviews**, [s.l.], v. 14, n. 1, p. 31-44, 2022.

POPESCU, P. A. *et al.* 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**, [s.l.], v. 11, n. 21, p. 3317, 2022.

PORAT, R. *et al.* Postharvest losses of fruit and vegetables during retail and in consumers' homes: Quantifications, causes, and means of prevention. **Postharvest Biology and Technology**, [s.l.], v. 139, p. 135–149, 2018.

PRUTHIVIRAJ *et al.* *In vitro* and *in vivo* evaluation of fungicides against anthracnose disease on pomegranate (*Punica granatum* L.) caused by *Colletotrichum gloeosporioides*. **Crop Protection**, [s.l.], v. 178, p. 106598, 2024.

SAHA, U. B.; SAROJ, S. D. Lactic acid bacteria: prominent player in the fight against human pathogens. **Expert Review of Anti-infective Therapy**, [s.l.], v. 20, n. 11, p. 1435-1453, 2022.

SAMPAIO, K. B. *et al.* Development and *in vitro* evaluation of novel nutraceutical formulations composed of *Limosilactobacillus fermentum*, quercetin and/or resveratrol. **Food Chemistry**, [s.l.], v. 342, p. 128264, 2021.

SANHUEZA, E. *et al.* Effect of pH in the survival of *Lactobacillus salivarius* strain UCO_979C wild type and the pH acid acclimated variant. **Electronic Journal of Biotechnology**, [s.l.], v. 18, n. 5, p. 343-346, 2015.

SANTOS, L.G.; ALVES-SILVA, G. F.; MARTINS, V. G. Active-intelligent and biodegradable sodium alginate films loaded with *Clitoria ternatea* anthocyanin-rich extract to preserve and monitor food freshness. **International Journal of Biological Macromolecules**, [s.l.], v. 220, p. 866-877, 2022.

SHAH, S. *et al.* Pre-storage chitosan-thyme oil coating control anthracnose in mango fruit. **Scientia Horticulturae**, [s.l.], v. 284, p. 110139, 2021.

SHAHRAMPOUR, D. *et al.* Development and characterization of alginate/pectin edible films containing *Lactobacillus plantarum* KMC 45. **Lwt**, [s.l.], v. 118, p. 108758, 2020.

SHAIKH, S.; YAQOOB, M.; AGGARWAL, P. An overview of biodegradable packaging in food industry. **Current Research in Food Science**, [s.l.], v. 4, p. 503-520, 2021.

SHIGEMATSU, E. *et al.* Edible coating with probiotic as a quality factor for minimally processed carrots. **Journal of Food Science and Technology**, [s.l.], v. 55, p. 3712-3720, 2018.

SHU, C.; KIM-LEE, B.; SUN, X. Chitosan coating incorporated with carvacrol improves postharvest guava (*Psidium guajava*) quality. **Horticulturae**, [s.l.], v. 10, n. 1, p. 80, 2024.

SIDDIQ, M.; BRECHT, J. K.; SIDHU, J. S. **Handbook of mango fruit: production, postharvest science, processing technology and nutrition**. New Jersey: John Wiley & Sons, 2017.

SIEDLER, S.; BALTI, R.; NEVES, A. R. Bioprotective mechanisms of lactic acid bacteria against fungal spoilage of food. **Current opinion in biotechnology**, [s.l.], v. 56, p. 138-146, 2019.

SIGMASTAT (programa de computador). Versão 3.5. Point Richmond (Califórnia): Comercial, 2006.

SILVA, D. F. P. *et al.* Correlação entre características físicas e químicas de frutos de manga 'Ubá'. **Cultura Agronômica**, Ilha Solteira, v.27, n.2, p.356-362, 2018

SILVA, S. P. M. *et al.* Application of an alginate-based edible coating with bacteriocin-producing *Lactococcus* strains in fresh cheese preservation. **Lwt**, [s.l.], v. 153, p. 112486, 2022.

SINGH, K. *et al.* Physico-chemical Attributes and Shelf-life of Guava as Influenced by Post-harvest Treatments and Packaging Materials. **Journal of Agriculture and Food Research**, [s.l.], v. 1, p. 47-58, 2021.

SNYDER, A. B. *et al.* Nature abhors a vacuum: highly diverse mechanisms enable spoilage fungi to disperse, survive, and propagate in commercially processed and preserved foods. **Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety**, [s.l.], v. 18, n. 1, p. 286-304, 2019.

SOARES, W. R. O. *et al.* Diversity of *Colletotrichum* causing anthracnose on *Psidium guajava* in varied Brazilian physiographic regions. **Plant Pathology**, [s.l.], v. 73, n. 5, p. 1213-1228, 2024.

SOUSA, F. F. *et al.* Conservation of 'palmer' mango with an edible coating of hydroxypropyl methylcellulose and beeswax. **Food Chemistry**, [s.l.], v. 346, p. 128925, 2021.

SPERANZA, B. *et al.* Viability of *Lactobacillus plantarum* on fresh-cut chitosan and alginate-coated apple and melon pieces. **Frontiers in Microbiology**, [s.l.], v. 9, p. 2538, 2018.

STEFANOVIC, E.; FITZGERALD, G.; MCAULIFFE, O. Advances in the genomics and metabolomics of dairy lactobacilli: A review. **Food Microbiology**, London, v. 61, p. 33 - 49, 2017.

TAKO, K. V.; KAMEO, Simone Yuriko. **Metodologia da pesquisa científica**: dos conceitos teóricos à construção do projeto de pesquisa. Ámpla Editora, 2023.

TAPIA, M. S. *et al.* Alginate and gellan based edible films for probiotic coatings on fresh-cut fruits. **Journal of food science**, Chicago, v. 72, p. 190-196, 2007.

TEMİZ, N. N.; ÖZDEMİR, K. S. Microbiological and physicochemical quality of strawberries (*Fragaria × ananassa*) coated with *Lactobacillus rhamnosus* and inulin enriched gelatin films. **Postharvest Biology and Technology**, [s.l.], v. 173, p. 111433, 2021.

TOVAR, C. D. G. *et al.* *Colletotrichum gloesporioides* inhibition in situ by chitosan-*Ruta graveolens* essential oil coatings: effect on microbiological, physicochemical, and organoleptic properties of guava (*Psidium guajava* L.) during room storage. **Biomolecules**, Basel, v. 9, n. 9, p. 1-26, 2019.

VIDAL, M. F. **Fruticultura**. Escritório Técnico de Estudos Econômicos do Nordeste - ETENE. v. 8, n. 280, p. 1-18, 2023.

VOLENTINI, S. I. *et al.* Biological control of green and blue molds on postharvest lemon by lactic acid bacteria. **Biological Control**, [s.l.], v. 185, p. 105303, 2023.

WANG, T. *et al.* Effect of different coating methods on coating quality and mango preservation. **Food Packaging and Shelf Life**, [s.l.], v. 39, p. 101133, 2023.

WANG, X. *et al.* Microencapsulating alginate-based polymers for probiotics delivery systems and their application. **Pharmaceuticals**, [s.l.], v. 15, n. 5, p. 644, 2022.

WANG, Z. *et al.* Biological control of postharvest fungal decays in citrus: a review. **Critical Reviews in Food Science and Nutrition**, [s.l.], v. 62, n. 4, p. 861-870, 2020.

WITTKE, A. *et al.* The effect of extraction techniques on calcium concentrations and isotope ratios of marine pore water. **Isotopes in Environmental and Health Studies**, [s.l.], v. 56, n. 1, p. 51-68, 2020.

WU, Y. M. *et al.* *Bacillus amyloliquefaciens* strains control strawberry anthracnose through antagonistic activity and plant immune response intensification. **Biological Control**, [s.l.], v. 157, p. 104592, 2021.

XU, L. *et al.* Preparation and characterization of antifungal coating films composed of sodium alginate and cyclolipopeptides produced by *Bacillus subtilis*. **International Journal of Biological Macromolecules**, Guildford, v. 143, p. 602-609, 2020.

ZHAO, P. *et al.* Microbial spoilage of fruits: A review on causes and prevention methods. **Food Reviews International**, [s.l.], v. 38, n. 1, p. 225-246, 2022.