



UNIVERSIDADE ESTADUAL DO SUDOESTE DA BAHIA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM AGRONOMIA
ÁREA DE CONCENTRAÇÃO EM FITOTECNIA

**QUALIDADE PÓS-COLHEITA DE MANGA ‘PALMER’
REVESTIDA COM COBERTURAS BIODEGRADÁVEIS À BASE
DE AMIDO DE MANDIOCA E ÓLEO ESSENCIAL DE CAPIM-
LIMÃO NANOENCAPSULADO**

MATHEUS FERREIRA ALMEIDA

VITÓRIA DA CONQUISTA
BAHIA – BRASIL
2022

MATHEUS FERREIRA ALMEIDA

**QUALIDADE PÓS-COLHEITA DE MANGA ‘PALMER’ REVESTIDA COM
COBERTURAS BIODEGRADÁVEIS À BASE DE AMIDO DE MANDIOCA E
ÓLEO ESSENCIAL DE CAPIM-LIMÃO NANOENCAPSULADO**

Dissertação apresentada à Universidade Estadual do Sudoeste da Bahia, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Agronomia, área de concentração em Fitotecnia, para a obtenção do título de “Mestre”.

Orientadora: *D.Sc.* Cristiane Martins Veloso

Coorientadora: *D.Sc.* Sylvana Naomi Matsumoto

VITÓRIA DA CONQUISTA
BAHIA – BRASIL
2022

A449q

Almeida, Matheus Ferreira.

Qualidade de pós-colheita de manga 'Palmer' revestida com coberturas biodegradáveis à base de amido de mandioca e óleo essencial de capim-limão nanoencapsulado. / Matheus Ferreira Almeida, 2022.

97f. : il.

Orientador (a): D.Sc. Cristiane Martins Veloso.

Dissertação (mestrado) – Universidade Estadual do Sudoeste da Bahia, Programa de Pós-Graduação em Agronomia, Área de concentração em Fitotecnia. Vitória da Conquista, 2022.

Inclui referência F. 76 - 97.

1. Manga - Variedade Palmer. 2. *Mangifera indica*. 3. Revestimento comestível. 4. Embalagem. I. Veloso, Cristiane Martins. II. Universidade Estadual do Sudoeste da Bahia, Programa de Pós-Graduação em Agronomia. T.III.

CDD. 634.34

Catálogo na fonte: **Juliana Teixeira de Assunção – CRB 5/1890**

UESB – Campus Vitória da Conquista – BA

UNIVERSIDADE ESTADUAL DO SUDOESTE DA BAHIA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM AGRONOMIA
Área de Concentração em Fitotecnia

Campus de Vitória da Conquista, BA

DECLARAÇÃO DE APROVAÇÃO

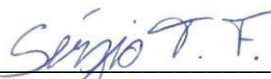
**TÍTULO: QUALIDADE PÓS-COLHEITA DE MANGA 'PALMER' REVESTIDA
COM COBERTURA À BASE DE AMIDO DE MANDIOCA E ÓLEO ESSENCIAL
DE CAPIM-LIMÃO NANOENCAPSULADO**

Autor: Matheus Ferreira Almeida

Aprovado como parte das exigências para obtenção do Título de MESTRE EM AGRONOMIA, ÁREA DE CONCENTRAÇÃO EM FITOTECNIA, pela seguinte Banca Examinadora:



Cristiane Martins Veloso, D.Sc., Presidente (UEBS)



Sergio Tonetto de Freitas, D.Sc. (EMBRAPA)



Fabiana Fumi Cerqueira Sasaki, D.Sc. (EMBRAPA)

Data de realização: 17 de Agosto de 2022

Estrada do Bem Querer, Km 4, CEP 45031-900, Caixa Postal 95, Vitória da Conquista,
Bahia, Brasil Telefone: (77) 3425-9383, e-mail: ppgagronomia@uesb.edu.br

DEDICATÓRIA

A Deus, que com sua infinita sabedoria foi e sempre será meu guia na vida;
Aos meus familiares, por acreditarem sempre em mim;
Aos amigos que fizeram parte dessa jornada.

Dedico.

AGRADECIMENTOS

A Deus, toda honra e toda glória, pois o Senhor é conhecedor de tudo e de todos e nos dá a possibilidade de viver cada momento intensamente. Obrigado por sempre me capacitar e me permitir chegar até aqui e por me instigar a ir além;

Aos meus pais, Domingos e Maria de Fátima, que sempre me apoiaram e me deram forças durante toda essa minha caminhada acadêmica;

Aos meus irmãos: Viviane, Joaquim e meu gêmeo Marcos; aos meus cunhados e minha sobrinha Valentina, que estão ao meu lado e compartilham comigo todas as alegrias;

Às minhas avós, Maria Madalena e Ana (*In memorian*); e meu avô, Quinca de Beija (*In memorian*), que agora e durante sua vida souberam acolher esses momentos com muita alegria e companheirismo;

À minha Orientadora, *D.Sc.* Cristiane Martins Veloso, que se propôs a me orientar, desde o meu segundo semestre da graduação. Gratidão pelo companheirismo, confiança, força, paciência, dedicação, conhecimentos compartilhados e por nossa amizade que se fortaleceu durante todos esses anos. A ti externo toda a minha admiração, carinho e respeito pela profissional e pessoa que és;

À professora *D.Sc.* Sylvana Naomi Matsumoto, pela coorientação durante todo o trabalho;

Ao professor *D.Sc.* Leandro Soares Santos, pelo apoio, disponibilidade de materiais e reagentes e pelas orientações na realização da pesquisa;

Aos meus amigos da vida, Beatriz (Bianca) e Raul, palavras não são capazes de descrever o tamanho do meu carinho e gratidão por tudo que sempre fizeram e fazem por mim. Muito obrigado por tudo e por tanto!

Aos meus amigos da pós-graduação (PPGA e PPGEAL): Gabriela, Bruna, Dioneire (Dica), Eduardo e Leonardo, por todo o carinho, força, dedicação e paciência, principalmente, por todos os conselhos durante esse período;

Aos meus amigos Gabriel, Maiara e Carlos que não mediram esforços durante a realização de todo experimento. Saibam que podem contar sempre comigo;

Ao grupo das najas, que sempre estiveram presentes durante todo o curso. Obrigado pela força e carinho de sempre;

A todos os meus amigos da pós-graduação em agronomia, pelo carinho, confiança e todo apoio durante esse percurso;

À banca examinadora, *D.Sc.* Sérgio Tonetto de Freitas e *D.Sc.* Fabiana Fumi Cerqueira Sasaki, que muito contribuíram com conhecimento e dedicaram esse tempo especial para avaliação do trabalho;

À coordenação e todos os professores do Programa de Pós-graduação em Agronomia, em especial, aos membros do colegiado, que me acolheram como representante discente e compartilharam de muitos conhecimentos;

À Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (Embrapa) Mandioca e Fruticultura, em especial, à Pesquisadora D.Sc. Ronielli Cardoso Reis e toda equipe do Laboratório de Ciência e Tecnologia de Alimentos (LCTA), pela disponibilização da estrutura e todo acolhimento durante a realização das análises;

À Universidade Estadual do Sudoeste da Bahia (UESB), pela disponibilização da estrutura para realização e condução dos experimentos, particularmente, ao Laboratório Biofábrica, na pessoa do Professor D.Sc. Alcebíades, pela estrutura ali disponibilizada;

À Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (Capes), pela concessão da bolsa de estudos;

A todos que, direta ou indiretamente, contribuíram para que essa conquista fosse alcançada.

Muito obrigado!

*Pois dele, por ele e para ele são todas as coisas.
A ele seja a glória para sempre! Amém.*

Romanos 11:36

RESUMO

ALMEIDA, M. F. **Qualidade pós-colheita de manga ‘Palmer’ revestida com coberturas biodegradáveis à base de amido de mandioca e óleo essencial de capim-limão nanoencapsulado.** Vitória da Conquista – BA, UESB, 2022. 97p. (Dissertação: Mestrado em Agronomia; Área de Concentração: Fitotecnia)*

Os revestimentos comestíveis à base de amido de mandioca com a adição do óleo de capim-limão podem promover a manutenção da qualidade pós-colheita de frutas frescas, bem como o aumento da vida útil de prateleira. Este estudo teve por objetivo avaliar o efeito da aplicação de revestimentos comestíveis à base de amido de mandioca (*Manihot sculenta* Crantz) oxidado, com adição de emulsão de óleo essencial de capim-limão (*Cymbopogon citratus* (D.C.) Stapf) em mangas (*Mangifera indica* L.) ‘Palmer’ armazenadas sob refrigeração. O estudo foi conduzido em laboratório, com a utilização de BOD a 12 ± 1 °C para o armazenamento da manga, que se encontravam no estágio 2 de amadurecimento. Para o desenvolvimento dos revestimentos comestíveis, utilizou-se o amido de mandioca fermentado e oxidado, caracterizado quanto as suas propriedades físicas, químicas e tecnológicas, além da nanoemulsão de óleo essencial (O.E) de capim-limão. Utilizou-se o delineamento inteiramente casualizado, arranjado em esquema fatorial 5 x 3, com cinco tipos de revestimento (CO: sem cobertura; T1: 0,1; T2: 0,3; T3: 0,6 e T4: 0,9% de O.E) e três tempos de avaliação (01, 07 e 15 dias após o tratamento). Foram avaliados como parâmetros de qualidade pós-colheita, alterações físicas e químicas, perda de massa, firmeza de polpa e casca, transformações bioquímicas relacionadas aos pigmentos e coloração da polpa e casca da manga. Utilizando a técnica de análise de componentes principais, observou-se que foram necessários dois Componentes Principais (CPs) para explicar a variação dos dados de propriedades físicas e químicas dos frutos, na qual CP1 e CP2 explicaram 84,56% da variância total dos dados de pH, acidez titulável, sólidos solúveis, ácido ascórbico, firmeza da polpa, firmeza da casca e perda de massa. A perda de massa foi reduzida em cerca de 83,7% e 63% para as frutas cobertas com o revestimento com 0,9% de O.E, em relação aos frutos sem revestimento, no primeiro e último dia de avaliação, respectivamente. Para os parâmetros de cor, clorofilas e carotenoides, CP1 e CP2 explicaram 70,11% da variância dos dados. Uma redução de 24,15 % do conteúdo de clorofilas foi observada para as frutas cobertas com o revestimento com 0,9% de O.E, enquanto que, no tratamento sem revestimento, essa redução foi de 82%. CP1 e CP2 explicaram 66,73% da variância dos dados de cor da polpa e casca, sendo as frutas cobertas com o revestimento, com 0,9% de O.E, as que tiveram as menores alterações nestes parâmetros. Além disso, observou-se o efeito antimicrobiano e ausência de sintomas de antracnose nas frutas em que o revestimento com o 0,9 % de O.E foi aplicado. Assim, mangas ‘Palmer’, revestidas com coberturas biodegradáveis com adição de 0,9% de nanoemulsão de O.E, foram as que apresentaram um retardo no amadurecimento, durante o armazenamento refrigerado.

Palavras-chave: Atmosfera modificada; embalagem; *Mangifera indica*; revestimento comestível.

* **Orientadora:** Cristiane Martins Veloso, D.Sc., UESB.

Coorientadora: Sylvana Naomi Matsumoto, D.Sc., UESB.

ABSTRACT

ALMEIDA, M.F. **Postharvest quality of 'Palmer' mango coated with cassava starch-based biodegradable coatings containing nanoencapsulated lemongrass essential oil.** Vitória da Conquista – BA, UESB, 2022. 85p. (Dissertation: Master Science in Agronomy; Area of Concentration: Crop Science)*

Edible cassava starch-based coatings with addition of lemongrass oil can promote maintenance of postharvest quality of fresh fruit, as well as an increase in its shelf life. This study aimed to evaluate the effect of the application of edible coatings based on oxidized cassava (*Manihot sculenta* Crantz) starch, with the addition of lemongrass (*Cymbopogon citratus* (D.C.) Stapf) essential oil emulsion on 'Palmer' mangoes (*Mangifera indica* L.) stored under refrigeration. The study was conducted in the laboratory, using BOD at 12 ± 1 °C for the storage of mangoes, which were in stage 2 of ripening. For the development of edible coatings, fermented and oxidized cassava starch was used, and characterized in terms of its physical, chemical and technological properties, in addition to the nanoemulsion of essential oil (E.O) of lemongrass. A completely randomized design was used in study, arranged in a 5 x 3 factorial scheme, with five types of coating (CO: no coverage; T1: 0.1; T2: 0.3; T3: 0.6 and T4: 0.9 % of EO) and three evaluation times (01, 07 and 15 days after treatment). Postharvest quality parameters, physical and chemical changes, weight loss, pulp and peel firmness, biochemical transformations related to pigments and mango pulp and peel color were evaluated. Using the principal component analysis technique, it was observed that two Principal Components (PCs) were needed to explain the variation in the data of physical and chemical properties of the fruits, where CP1 and CP2 explained 84.56% of the total variance of the data of pH, titratable acidity, soluble solids, ascorbic acid, pulp firmness, skin firmness and weight loss. The weight loss was reduced by about 83.7% and 63% for the fruits covered with the coating with 0.9% E.O, in relation to the fruits without coating, on the first and last day of evaluation, respectively. For the parameters of color, chlorophylls and carotenoids, CP1 and CP2 explained 70.11% of the variance of the dataset. A 24.15% reduction in chlorophyll content was observed for fruits coated with the 0.9% E.O coating, while in the uncoated treatment, this reduction was 82%. CP1 and CP2 explained 66.73% of the variance of the pulp and peel color data, and the fruits covered with the coating with 0.9% E.O coating were those that obtained the smallest changes in these parameters. In addition, the antimicrobial effect and absence of anthracnose symptoms were observed in the fruits coated with the use of 0.9% O.E coating. Thus, 'Palmer' mangoes coated with biodegradable coatings with the addition of 0.9% E.O nanoemulsion showed a delay in ripening during cold storage.

Keywords: Modified atmosphere; packing; *Mangifera indica*; edible coating.

* **Advisor:** Cristiane Martins Veloso, D.Sc., UESB.

Coadvisor: Sylvana Naomi Matsumoto, D.Sc., UESB.

LISTA DE FIGURAS

- Figura 1 – Perfil de viscosidade de amido de mandioca (*Manihot sculenta* Crantz.) fermentado e oxidado naturalmente, pelo Rapid Visco Analyzer – RVA.....44
- Figura 2 – Nanoemulsão OE de óleo essencial de capim-limão (*Cymbopogon citratus* (D.C.) Stapf)46
- Figura 3 – RFIRC - redução da firmeza da casca (A) e RFIRP - redução da firmeza da polpa (B) e perda de massa (C) de mangas ‘Palmer’ sem revestimento (SEM) e revestidas com diferentes concentrações de nanoemulsão de óleo essencial de capim-limão. Os dados apresentados são as médias de cada tratamento e a barra representa o erro padrão da média.....47
- Figura 4 – pH (A), acidez titulável (B), conteúdo de sólidos solúveis (C) e conteúdo de ácido ascórbico (D) de mangas ‘Palmer’ sem revestimento (SEM) e revestidas com diferentes concentrações de nanoemulsão de óleo essencial de capim-limão. Os dados apresentados são as médias de cada tratamento e a barra representa o erro padrão da média.....48
- Figura 5 – Frutos de manga ‘Palmer’ no primeiro e último dia de avaliação: (A) sem revestimento 1º dia; (B) revestimento com 0,9 % de O.E 1º dia; (C) sem revestimento 15º dia; (D) revestimento com 0,9 % de O.E 15º dia.....50
- Figura 6 – Análise de componentes principais (ACP): gráfico de carga fatorial de variáveis físicas e químicas de manga ‘Palmer’ ao longo do Componente Principal 1 e 2 (CP1 e CP2)53
- Figura 7 – Análise de componentes principais (ACP): distribuição das amostras em gráficos de dispersão para o tipo de revestimento (A); época de avaliação (B); e a interação (tratamentos) (C) de variáveis físico-químicas de manga ‘Palmer’ ao longo do Componente Principal 1 e 2 (CP1 e CP2).....54

Figura 8 – Clorofilas totais (A), carotenoides (B), croma - C (C), ângulo Hue - °h (D), diferença de cor total - ΔE (E) de mangas ‘Palmer’ sem revestimento (SEM) e revestidas com diferentes concentrações de nanoemulsão de óleo essencial de capim-limão. Os dados apresentados são as médias de cada tratamento e a barra representa o erro padrão da média.....	56
Figura 9 – Análise de componentes principais (ACP): gráfico de carga fatorial de variáveis de cor, conteúdo de clorofila total e carotenoides de manga ‘Palmer’ ao longo do componente principal 1 e 2 (CP1 e CP2)	59
Figura 10 – Análise de componentes principais (ACP): distribuição das amostras em gráficos de dispersão para o tipo de revestimento (A); época de avaliação (B); e a interação (tratamentos) (C) de variáveis de cor, conteúdo de clorofila total e carotenoides de manga ‘Palmer’ ao longo do Componente Principal 1 e 2 (CP1 e CP2)	61
Figura 11 – Croma - C (A), ângulo Hue - °h (B), diferença de cor total - ΔE (C), de mangas ‘Palmer’ sem revestimento (SEM) e revestidas com diferentes concentrações de nanoemulsão de óleo essencial de capim-limão. Os dados apresentados são as médias de cada tratamento e a barra representa o erro padrão da média	62
Figura 12 - Análise de componentes principais (ACP): gráfico de carga fatorial de variáveis cor da casca e polpa de manga ‘Palmer’ ao longo do Componente Principal 1 e 2 (CP1 e CP2)	65
Figura 13 – Análise de componentes principais (ACP): distribuição das amostras em gráficos de pontuação para o tipo de revestimento (A); época de avaliação (B); e a interação (tratamentos) (C) de variáveis de cor da polpa e casca de manga ‘Palmer’ ao longo do Componente Principal 1 e 2 (CP1 e CP2)	67
Figura 14 – Incidência de manchas de antracnose em frutos de manga ‘Palmer’ não revestidos (A - B), revestidos com a concentração 0,3% (C), 0,6% (D) e 0,9% de óleo essencial de capim-limão (E - F)	68

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Caracterização química de amido de mandioca fermentado e oxidado naturalmente	41
Tabela 2 – Propriedades tecnológicas de amido de mandioca fermentado e oxidado naturalmente	42
Tabela 3 – Atributos de cor de amido de mandioca fermentado e oxidado naturalmente	43
Tabela 4 – Propriedades de pasta de amido mandioca (<i>Manihot sculenta</i> Crantz.) fermentado e oxidado naturalmente por Rapid Visco Analyzer (RVA)	44
Tabela 5 – Coeficientes de Correlação de Pearson para os parâmetros físico-químicos de manga var. Palmer, para os componentes principais (CPs) 1 e 2	52
Tabela 6 – Coeficientes de Correlação de Pearson para os parâmetros: conteúdo de clorofilas totais, carotenoides e cor da casca de manga var. Palmer, para os componentes principais (CPs) 1 e 2	59
Tabela 7 – Coeficientes de Correlação de Pearson para os parâmetros físicos (cor da casca e polpa) de manga var. Palmer, para os componentes principais (CPs) 1 e 2	64

LISTA DE ABREVIATURAS, SIGLAS E SÍMBOLOS

DCFI	2,6 – dicolorofenol indofenol
ACC	Ácido 1-carboxílico-1-aminociclopropano
ACCO	Ácido 1-carboxílico-1-aminociclopropano oxidase
H₂SO₄	Ácido sulfúrico
ANVISA	Agência Nacional de Vigilância Sanitária
α	Alfa
ACP	Análise de Componentes Principais
h°	Ângulo Hue
AOAC	<i>Association Official Analytical Chemists</i>
ATM	Atmosfera Modificada
β	Beta
CL	Capim-limão
CaCO₃	Carbonato de cálcio
cP	Centipoise
CP	Componente Principal
C	Croma
ΔE	Diferença de cor total
DMSO	Dimetilsulfóxido
CO₂	Dióxido de carbono
EROs	Espécies reativas de oxigênio
NaOH	Hidróxido de sódio
IAA	Índice de absorção de água
YI	Índice de amarelecimento
WI	Índice de brancura
IS	Índice de solubilidade em água
KI	Iodeto de potássio
I₂	Iodo metálico
OA	Emulsão óleo em água
OE	Óleo essencial
O₂	Oxigênio
PI	Poder de inchamento
pH	Potencial Hidrogeniônico
PB	Proteína bruta
RVA	<i>Rapid Visco Analyzer</i>
SST	Sólidos solúveis totais
Tw80	<i>Tween 80</i>

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	14
2 REFERENCIAL TEÓRICO.....	16
2.1 A manga: aspectos gerais	16
2.1.1 A variedade Palmer	17
2.1.2 A pós-colheita de frutos de manga.....	18
2.2 Revestimentos comestíveis.....	20
2.2.1 Revestimentos comestíveis à base de amido	21
2.3 Amido.....	23
2.4 Óleos essenciais	26
2.4.1 Óleo essencial de capim-limão	28
2.5.2 Emulsão com adição de óleo essencial.....	29
3 MATERIAL E MÉTODOS.....	31
3.1 Local, frutos e óleo essencial.....	31
3.2 Caracterização física, química e tecnológica do amido	31
3.2.1 Determinação do teor de umidade, cinzas e pH.....	31
3.2.2 Determinação do teor de lipídeos totais e proteínas.....	32
3.2.3 Determinação do teor de amilose aparente.....	32
3.2.4 Determinação do teor de amido total	32
3.2.5 Determinação do poder de inchamento e índice de solubilidade em água.....	33
3.2.6 Determinação do índice de absorção de água (IAA).....	34
3.2.7 Determinação das propriedades de pasta do amido	34
3.2.8 Determinação da cor instrumental do amido oxidado.....	35
3.3 Preparo das formulações de revestimentos comestíveis	35
3.3.1 Preparo da emulsão de óleo essencial de capim-limão	35
3.3.2 Caracterização da nanoemulsão de óleo essencial de capim-limão	35
3.3.3 Preparo das soluções de revestimentos comestíveis	36

3.3.4 Revestimento dos frutos com as formulações de revestimentos comestíveis.....	36
3.4 Determinação dos parâmetros de qualidade pós-colheita de manga.....	37
3.4.1 Determinação da perda de massa	37
3.4.2 Determinação da firmeza da polpa e da casca	37
3.4.3 Coloração das frutas	37
3.4.4 Determinação de sólidos solúveis (SS) e pH.....	38
3.4.5 Determinação da acidez titulável	38
3.4.6 Conteúdo de clorofilas e carotenoides.....	38
3.4.7 Determinação do conteúdo de ácido ascórbico.....	39
3.5 Planejamento e análise estatística	40
4 RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	40
4.1 Caracterização física, química e tecnológica do amido	40
4.2 Propriedades de pasta do amido de fermentado e oxidado de mandioca	43
4.3 Caracterização da nanoemulsão de óleo essencial de capim-limão.....	45
4.4 Parâmetros de qualidade pós-colheita de manga	46
4.4.1 Parâmetros físicos e químicos.....	46
4.4.2 Conteúdo de clorofilas totais, carotenoides e cor da casca.....	55
4.4.3 Cor da casca e polpa.....	60
4.5 Efeito antimicrobiano da emulsão do óleo essencial de capim-limão	66
5 CONCLUSÕES	70
REFERÊNCIAS	72

1 INTRODUÇÃO

A manga é uma fruta com produção elevada e bastante consumida em países de clima tropical que tem ganhado espaço entre os países desenvolvidos. No Brasil, o cultivo da manga, que, por muitos anos, concentrou suas produções em pequenos pomares e sem manejo adequado, hoje é destaque dentre as exportações de frutos, principalmente para os Estados Unidos e a União Europeia. As frutas têm um sabor apreciado tanto pelo mercado interno, quanto pelo mercado internacional, com predominância do consumo *in natura*. Seu elevado valor nutritivo faz com que a cultura seja uma das mais apreciada na fruticultura mundial, em especial, no Brasil (Abdul Aziz et al., 2012; Bambalele et al., 2021).

A manga foi a fruta mais exportada no ano de 2021 (Abrafrutas, 2022), com crescimento de 18% em relação à safra anterior, alcançando, portanto, maiores receitas. Nos centros produtores mundiais, as colheitas se concentram entre os meses de abril e agosto. Isso garante a maior exportação brasileira, haja vista que, no semiárido nordestino (maiores destaques de produção), as condições climáticas proporcionam colheitas mais tardias, principalmente na entressafra, quando a oferta mundial é menor (Reis et al., 2011).

As frutas destinadas à exportação devem possuir atributos de qualidade, estabelecidos por normas internacionais de comercialização, e ainda com especificações distintas para alguns países, dentre os quais, pode-se citar: frutas intactas, firmes e com aparência fresca, sadias, limpas, livre de pragas e doenças, danos mecânicos, manchas, odores estranhos e, principalmente, padronização de tamanho, cor e peso. Essas exigências do mercado internacional refletem diretamente na tecnificação da mangicultura nacional, como as técnicas de indução floral, colheita e pós-colheita adequados (Munawar et al., 2016; Sivakumar et al., 2011).

A manga é um fruto climatérico, ou seja, aquele cujo período de amadurecimento é caracterizado por uma série de alterações bioquímicas iniciadas pela produção autocatalítica de etileno e aumento da taxa de respiração (Tharanathan et al., 2006). À medida que o amadurecimento avança, todas as condições ótimas, como açúcares, acidez e características sensoriais como cor e a firmeza, tornam-se adequadas para o consumo *in natura* (Vazquez-Salinas e Lakshminarayana, 1985).

Em face do metabolismo climatérico, danos de ordem mecânica, durante e após a colheita, oriundos de manuseio e embalagem inadequados, além de insetos e doenças pós-colheita, aceleram o metabolismo das frutas, causando a perda dos padrões exigidos para

o consumo e exportação, levando ainda a perdas significativas de valor econômico e de mercado, em virtude da redução da vida útil (Al-Dairi et al., 2022; Hussein et al., 2019).

Nesse sentido, o aumento da vida útil pós-colheita de manga é essencial para a garantia de produtos de qualidade para o consumo *in natura*. Por esse motivo, técnicas de conservação pós-colheita, que vão desde a colheita, transporte, armazenamento e embalagem, devem ser aplicadas a esses frutos. A utilização de técnicas de baixo custo se caracteriza como alternativas economicamente viáveis para este fim. Uma das técnicas amplamente estudada em produtos hortícolas frescos é a utilização de revestimentos comestíveis ou biofilmes à base de amido (Jiménez et al., 2012; Matta et al., 2015; Nawab et al., 2017; Ochoa-Velasco et al., 2021; Thakur et al., 2019).

O amido ou fécula de mandioca é uma alternativa biodegradável para obtenção de filmes e revestimentos comestíveis, pois o mesmo é capaz de formar películas incolores que não alteram a cor da casca da fruta e com espessuras desejadas. No entanto, os filmes e revestimentos à base de amido possuem elevada hidrofiliabilidade, sendo solúveis em água, não evitando, portanto, as perdas excessivas de água pelo fruto; apresenta também alta suscetibilidade à decomposição térmica e baixa resistência à temperatura e tensão (Ghasemlou et al., 2013; Pelissari et al., 2009).

Para superar os limites da utilização apenas de amido nas formulações de revestimentos, a adição de substâncias hidrofóbicas, a exemplo dos lipídeos, constitui-se como alternativa. Nesse contexto, a utilização de óleos essenciais na formulação dos revestimentos é crescente, além de possuírem ainda constituintes químicos que são capazes de exercer atividade antimicrobiana, capazes de reduzir a incidência de doenças pós-colheita (Das et al., 2021a, 2021b; Yousuf et al., 2021). Além disso, amido de mandioca, quando modificado naturalmente pelo processo oxidativo (fermentação), pode ter suas propriedades tecnológicas alteradas, favorecendo o desenvolvimento de filmes e revestimentos comestíveis com propriedades mais adequadas (Dias et al., 2007).

Neste estudo, considera-se a hipótese de que os revestimentos comestíveis à base de amido de mandioca podem promover a manutenção da qualidade pós-colheita de mangas, com conseqüente prolongamento da vida útil de prateleira. Assim, o objetivo deste trabalho foi avaliar o efeito da aplicação de revestimentos comestíveis à base de amido de mandioca (*Manihot sculenta* Crantz) oxidado, com adição de emulsão de óleo essencial de capim-limão (*Cymbopogon citratus* (D.C.) Stapf) em mangas (*Mangifera indica* L.) ‘Palmer’ armazenadas sob refrigeração.

2 REFERENCIAL TEÓRICO

2.1 A manga: aspectos gerais

Nativa do continente asiático, mais especificamente ao sudeste do continente, na Índia, a manga (*Mangifera indica* L.) se deslocou pelo mundo todo pelas rotas marítimas comerciais, desde o início do século XVI, e foi introduzida no Brasil pelos portugueses no ano de 1700, na costa da Bahia, com mudas vindas diretamente da Índia, país de origem (Yadav e Singh, 2017).

A manga está entre as frutas mais consumidas e mais populares em todo mundo, principalmente na sua forma *in natura*. Entretanto, boa parte da produção é destinada à indústria de processamento, aproveitando ao máximo, principalmente as frutas impróprias para o consumo *in natura*. Possui sabor agradável e é rica em vitaminas (pró-vitamina A, vitamina B2 e C), sais minerais e açúcares, características estas que atraem o mercado de polpas, impulsionado pelo aumento da demanda e exigência dos consumidores por produtos mais práticos. Embora a família da manga possua inúmeras outras espécies comestíveis, a *M. indica* é a única cultivada comercialmente em larga escala (Costa et al., 2008; Arora et al., 2018).

No Brasil, a expansão da mangicultura inicialmente se deu no Estado de São Paulo, onde se concentrou as pesquisas em desenvolvimento de variedades cultivadas em todo o país. Na região Nordeste, aliado à tecnificação das lavouras, a expansão da mangicultura se deu principalmente nas regiões do Vale do São Francisco e outras regiões de Pernambuco, Rio Grande do Norte, Sergipe e Piauí. Além da maior tecnificação da cultura nessa região, atualmente, esta se representa como a principal produtora de frutas para o mercado internacional (Abrafrutas, 2022).

Segundo Bally et al. (2021), as variedades de manga mais comercializadas nos maiores mercados consumidores do mundo (Estados Unidos e Europa) são Tommy Atkins, Keitt e Kent, cujas seleções foram realizadas na Flórida (EUA). No Brasil, a ‘Tommy Atkins’ é responsável por 80% dos cultivos, enquanto que, no México, as exportações dessa variedade são na ordem de 50%. No entanto, a manga ‘Palmer’ vem ganhando o mercado internacional, devido à sua elevada doçura, pouco ou nenhuma fibra, dentre outras características peculiares à variedade.

Entretanto, a escolha da variedade a ser produzida sofrerá influência de diversos fatores, como aqueles relacionados à produção, como adaptação, elevadas produtividades, resistência a pragas e doenças, características sensoriais e nutricionais

desejáveis e no manejo da cultura como um todo, bem como a fisiologia das próprias frutas, seja na pré-colheita, como na pós-colheita (De Oliveira Araújo et al., 2017).

2.1.1 A variedade Palmer

A manga ‘Palmer’ tem se destacado no mercado de frutas nos últimos anos devido as suas propriedades sensoriais, sendo de melhor sabor e aroma devido ao maior teor de sólidos solúveis, além de menor ou nenhum teor de fibras (Brito Araújo et al., 2021; Farina et al., 2020). As suas propriedades nutricionais, como, por exemplo, alto teor de antioxidantes, como ácido ascórbico, flavonoides e polifenóis, são as principais características que a diferenciam de outras variedades (Modesto et al., 2016).

Originária na Flórida (EUA), a variedade Palmer apresenta-se com uma copa aberta. Os seus frutos possuem casca roxa, quando “de vez”; e vermelhos, quando maduros. Possuem uma elevada relação polpa/frutos (cerca de 72%), demonstrando, assim, um menor tamanho de semente. Essa variedade está cada vez mais presente nas propriedades e, no Brasil, mais especificamente no Vale do São Francisco, é, atualmente, mais explorada (50 %) que a variedade Tommy Atkins (30%), até então, a mais comercializada internacionalmente. Na região de Livramento de Nossa Senhora e Dom Basílio, regiões da Chapada Diamantina, Bahia, a segunda região produtora do país, a variedade Palmer é explorada em 70% das propriedades (Oliveira Costa et al., 2010; Pinto et al., 2002).

É uma variedade de época tardia, que é muito aceita pelos consumidores europeus, e, por isso, as exportações dessa variedade aumentaram em cerca de 12% no ano de 2020, com preço médio de R\$ 3,47/kg (Cepea, 2020). É suscetível à antracnose, bem como é menos susceptível a desordens fisiológicas internas (Santos Filho e Matos, 2010). As frutas apresentam uma média de tamanho de 15 cm, massa média de 350g a 500g, apresentando um teor de açúcares médio de 21 °Brix, um dos principais motivos da sua maior preferência. Segundo Kiloes et al. (2022), estudando o que os consumidores preferem em mangas frescas, constatou-se a crescente busca por mangas *in natura*, principalmente com as características de mercado desejado, como frescor, cor e tamanho, além do aroma e aparência agradáveis, e livre de patógenos e doenças. Nesse mesmo estudo, eles detectaram que o mercado tem exigido padrões cada vez mais rigorosos e, com isso, alguns destes tem rejeitado frutas, principalmente pelo excesso de resíduos químicos oriundos dos pesticidas utilizados em pré e pós-colheita, ou pela infestação de pragas e doenças. Como a manga ‘Palmer’ está em crescente ascensão no mercado, nesse

mesmo estudo, os autores verificaram que no Brasil e em alguns países da União Europeia tem uma maior preferência por essa variedade, em virtude de suas qualidades.

Nesse contexto, faz-se necessária a busca sempre por novas tecnologias que mantenham a qualidade dos frutos durante a logística de comercialização para ambos os mercados, e que esses cheguem com qualidades sensoriais e nutricionais que possam ser apreciadas pelos consumidores (Kiloes et al., 2022).

2.1.2 A pós-colheita de frutos de manga

Atualmente, a qualidade é a chave no mercado externo de frutas, embora o mercado brasileiro seja ainda incipiente quanto à garantia de frutas com qualidade pós-colheita elevada, razão pela qual o índice de exportação ainda pode ser considerado baixo, levando em consideração outros países produtores, e as perdas pós-colheita chegam a índices elevados. A qualidade da fruta reúne, além dos atributos sensoriais, o valor nutritivo e a segurança alimentar (Chitarra e Chitarra, 2005).

A melhoria da qualidade de mangas é dependente de fatores genéticos, do ponto ideal de colheita, qualidade nutricional e sensorial, bem como das condições ambientais e de manejo. Aspectos físicos, químicos e sensoriais das frutas, como a cor da casca, conteúdo de açúcares, acidez e desordens fisiológicas, são fatores responsáveis pela variação da vida de prateleira, comercialização do produto e aceitação do produto (Sudheeran et al., 2019).

De acordo com Kour et al. (2018), a manga é classificada como padrão de respiração climatérico, ou seja, completa a maturação mesmo depois de colhida, quando o amadurecimento ocorre rapidamente após a colheita, dependendo da cultivar, do estágio de maturação no momento da colheita e de condições pós-colheita. Portanto, mudanças rápidas no amadurecimento das frutas após a colheita levam a uma vida pós-colheita curta (Vásquez-Caicedo et al., 2004). Os frutos climatéricos mantêm o seu metabolismo fisiológico e bioquímico ativo, durante o período de amadurecimento, e nesses frutos são observados um aumento da taxa respiratória, concomitante ao aumento da produção de etileno. A manga pode apresentar uma taxa respiratória de 60 mL de CO₂ kg⁻¹ h⁻¹ e uma resistência difusiva de 1,5 L de CO₂ kg⁻¹ h⁻¹ a 20 °C (Cosme Silva et al., 2017). De acordo com Ntsoane et al. (2019), durante o amadurecimento, a taxa de produção de CO₂ aumenta de cerca de 40–50 mg kg⁻¹ h⁻¹ a 20 °C para 160–200 mg kg⁻¹ h⁻¹ à 20 °C. Sousa et al. (2021) observaram uma taxa respiratória para a ‘Palmer’ em torno de 40 mL CO₂ kg⁻¹ h⁻¹, no último dia de armazenamento refrigerado, para os frutos sem revestimento.

Nos frutos climatéricos, há uma particularidade quanto à produção do etileno, que é a sua produção autocatalítica (Wei et al., 2021). Cua e Lizada (1990) encontraram $0,125 \text{ mL L}^{-1} \text{ h}^{-1}$ de etileno em mangas ‘Carabao’ antes do completo amadurecimento do mesocarpo mais externo, embora os níveis de etileno tenham sido comparáveis ao mesocarpo íntegro. Burg e Burg (1962) relatam uma concentração endógena em manga de $0,05\text{-}3,0 \mu\text{L L}^{-1}$.

O etileno induz a síntese de enzimas que são responsáveis pelas modificações bioquímicas, como degradação de amido, clorofilas, síntese de carotenoides, degradação de fibras, diminuição da firmeza da polpa e síntese de compostos presentes em frutos maduros (Zaharah et al., 2013).

Durante a pós-colheita da manga, no período de amadurecimento, há a diminuição da firmeza da polpa, variação no conteúdo de sólidos solúveis totais, como, por exemplo, a variedade Tommy Atkins que, no início da maturação, apresenta 12% de sólidos solúveis e, no final, em torno de 18%. A acidez titulável é diminuída, haja vista a maior degradação dos compostos orgânicos voláteis e não voláteis (Chitarra e Chitarra, 2005), assim como o aumento do pH. Quando maduras, as mangas são doces, ricas em pró-vitamina A, apresentam elevado teor de vitamina C e são altamente aromáticas (Tharanathan et al., 2006).

Todas as características nutricionais e sensoriais dos frutos de manga são influenciadas pelo manejo adequado durante a pré-colheita, colheita e pós-colheita. Por se tratar de uma fruta com atividade respiratória e produção de etileno elevadas, assim como a deterioração mais acentuada (sua vida pós-colheita varia de 3 a 8 dias), o manejo deve ser o mais cuidadoso possível, tendo em vista que alterações, principalmente nas características sensoriais, reduzem a qualidade final das frutas (Dos Santos et al., 2011).

A temperatura também influencia diretamente na aceleração do metabolismo fisiológico e bioquímico, concomitante com as alterações dos parâmetros químicos, como açúcares, pigmentos e características sensoriais, como cor, sabor e flavor. Os frutos em condições ambientais normais, sem nenhum tipo de tratamento pós-colheita, tendem a uma perda excessiva de massa, em virtude da maior atividade transpiratória e elevada atividade respiratória. Bhowmik e Pan (1992) relatam que, no processo de respiração, os carboidratos são oxidados e o carbono destes é perdido como CO_2 para a atmosfera e, junto com o processo de perda de umidade, desencadeiam aspectos indesejáveis na superfície dos frutos, como enrugamento da casca e perda de brilho, além de um maior escurecimento (Bhowmik e Pan, 1992; Chitarra e Chitarra, 2005).

As doenças pós-colheita em frutos de manga também são consideradas como os maiores problemas de deterioração da qualidade e das perdas de frutos na cadeia produtiva. A antracnose é uma das principais doenças da cultura, causada pelo fungo *Colletotrichum gloeosporioides* Penz, e seus sintomas na pós-colheita são a formação de lesões escuras, irregulares e deprimidas, conhecidas como pinta e mancha-de-lágrima, medindo cerca de 5 mm. Essas lesões podem coalescer e atingir grande superfície da fruta, causando podridão da polpa (Hu et al., 2014). A podridão peduncular da fruta, causada por *Lasiodiplodia theobromae* [Pat], também se configura como uma importante doença de pós-colheita em manga, causando o apodrecimento das frutas armazenadas (Perumal et al., 2017). Outras doenças pós-colheita relatadas na literatura é a mancha preta de *Alternaria* (*Alternaria alternata*) (Ntsoane et al., 2019), e *Phoma mangiferae*, causador de manchas e posterior podridão nas frutas (Diedhiou et al., 2007).

Uma alternativa de manejo pós-colheita, com vistas à melhoria da qualidade pós-colheita, bem como à redução da incidência de doenças, em ascensão na fruticultura mundial é a utilização de filmes e revestimentos comestíveis.

2.2 Revestimentos comestíveis

O revestimento comestível é definido como a fina camada de material comestível, que é aplicada na superfície do alimento na forma líquida. Diferentemente dos filmes e embalagens convencionais, o revestimento é uma película fina que se forma sobre o alimento após a imersão, escovagem ou pulverização, utilizando uma solução filmogênica, seguida de secagem, e a reorganização da estrutura, sem afetar diretamente a qualidade das frutas (Dhall, 2013). Já os filmes comestíveis são primeiramente formados como finas camadas sólidas ou folhas, que são então aplicadas como um invólucro sobre o produto alimentício (Ju et al., 2019).

Dentre as suas funções básicas, destaca-se a proteção do produto contra danos mecânicos, reação química e como barreira à umidade, permeação dos gases e trocas entre o ambiente interno e externo (Ju et al., 2019).

Os revestimentos comestíveis são capazes de formar uma atmosfera modificada (ATM) em torno do fruto, reduzindo as trocas gasosas e conseqüente redução da taxa respiratória e biossíntese de etileno, assim como a perda de umidade e massa e manutenção das características sensoriais (Vargas et al., 2017).

A cera de carnaúba é muito utilizada para o revestimento de manga, principalmente aquelas destinadas à exportação. Muangdech (2016), estudando os

revestimentos à base desse material, na vida útil pós-colheita de manga, verificou que a cera de carnaúba, nas concentrações de 2%, 4% e 6%, foram mais eficientes na manutenção dos parâmetros físicos e químicos (firmeza, perda de massa e acidez titulável sem maiores alterações). No entanto, essa matéria-prima é cara e não está acessível a todos os produtores, sendo necessário, portanto, o desenvolvimento de coberturas mais acessíveis, e que sejam ainda biodegradáveis, levando em consideração a não geração de resíduos sólidos (Maqbool et al., 2011).

Dentre os materiais utilizados nas formulações dos revestimentos comestíveis, há um maior destaque para o amido, por ser um material biodegradável e abundante na natureza, além de possuir características desejáveis para a formulação dos revestimentos, como barreiras aos gases O₂ e CO₂ e é insípido e transparente (Henrique et al., 2008; Hassan et al., 2018). Além disso, os revestimentos podem carregar, em sua formulação, substâncias atóxicas aos seres humanos, naturais, com características antimicrobianas, em substituição a tratamentos pós-colheita com o uso dispendioso de resíduos químicos (Maqbool et al., 2011).

2.2.1 Revestimentos comestíveis à base de amido

Em busca do aumento da vida útil pós-colheita de frutas e hortaliças frescas, com menor impacto ambiental, visando o suprimento da indústria de alimentos mais saudáveis e sustentáveis, além do maior requerimento por parte dos consumidores que valorizam uma dieta diária mais natural, saudável e sustentável, nos últimos anos, houve um maior interesse no desenvolvimento de revestimentos comestíveis e/ou biodegradáveis. Isso se deve, principalmente, às preocupações ambientais em relação ao acúmulo de embalagens não biodegradáveis e oportunidades para criar alternativas de mercado para produção de filmes de fontes renováveis. Configura-se também como uma estratégia para reduzir os efeitos prejudiciais no processamento mínimo, por exemplo. Além disso, os revestimentos comestíveis podem contribuir para prolongar a vida útil de frutas e hortaliças, processadas ou não (Danalache et al., 2016; Das et al., 2022; Han, 2013).

Nesse sentido, a utilização de polímeros, como o amido, é crescente, haja vista as suas características desejáveis na formação dos filmes, embalagens e revestimentos comestíveis, além de sua abundância na natureza em diversas fontes vegetais e sua disponibilidade a baixos custos, além de apresentar elevada biodegradabilidade (Henrique et al., 2008).

No processo de síntese dos revestimentos à base de amido, deve ocorrer a destruição da estrutura semicristalina original do grânulo, durante o processo de gelatinização em temperaturas acima de 70 °C em presença de água, para que, quando resfriado, haja a formação de um filme resistente e translúcido, semelhante à estrutura de uma película fina de celulose (Corradini et al., 2005; De Pauli et al., 2011).

Os revestimentos à base de amido têm potencial para substituir os revestimentos convencionais em algumas aplicações, pois há numerosos estudos que relatam a eficiência dos polímeros na redução das trocas de CO₂ e O₂, com conseqüente redução da atividade respiratória, síntese do hormônio etileno, retardando, assim, o amadurecimento e a senescência, e aumentando a vida útil de frutas e hortaliças (Tahir et al., 2019; Jafarzadeh et al., 2021). No entanto, o amido apresenta elevada afinidade com a água, ou seja, é hidrofílico. Dessa forma, os revestimentos à base de amido são pouco flexíveis e se tornam quebradiços, o que dificulta o processamento para a produção de embalagens (Rocha et al., 2014). Nesse sentido, a adição de agentes plastificantes, como os poliálcoois, como o glicerol, auxilia na melhoria das propriedades mecânicas dos revestimentos formados, sendo esse mais flexível e capaz de cobrir toda a superfície dos órgãos vegetais, além de evitar rachaduras durante a secagem e armazenamento das frutas e hortaliças (Dai et al., 2020; Dai et al., 2019; Galus e Kadzińska, 2015).

A aplicação de revestimentos comestíveis à base de amido é muito empregada por não apresentarem cheiro ou sabor, além de reduzirem as trocas de gases (Sánchez-Ortega et al., 2016), mostrando-se eficazes na preservação das características sensoriais e nutricionais dos alimentos (Vargas et al., 2017).

Quanto a sua solubilidade em água, os revestimentos à base de amido possuem limitações quanto à redução da perda de umidade e conseqüente perda de massa, ou seja, perda de CO₂ oriundo da oxidação dos carboidratos em frutas e hortaliças. A perda de umidade dos frutos, bem como a perda de massa é um dos principais responsáveis pelo decréscimo da qualidade pós-colheita de frutas e hortaliças, no que se referem à firmeza, aspectos visuais, que diminuem o valor comercial, além das doenças pós-colheita (Xu et al., 2003).

Portanto, filmes e revestimentos formados por um único material, como os polímeros de amido, não conferem todas as características requeridas para um eficiente revestimento. Os lipídeos são eficientes na redução da perda de umidade, haja vista seu caráter hidrofóbico. Assim, a combinação do amido com os lipídeos atóxicos é uma alternativa viável, pois o mesmo melhora as propriedades de barreira à umidade dos

revestimentos e melhora a sua eficiência na qualidade pós-colheita de frutas e hortaliças. Os lipídeos, por sua vez, como os óleos essenciais, são ainda capazes de exercer atividade antimicrobiana sobre os órgãos vegetais, reduzindo, assim, a incidência de doenças pós-colheita (Bourtoom e Chinnan, 2009; Yousuf et al., 2021).

2.3 Amido

O amido é considerado a principal fonte de carboidratos da dieta humana. É encontrado em abundância na natureza, e está presente em todos os órgãos vegetais, no entanto, seu conteúdo varia conforme a fonte, e consiste no principal polissacarídeo de reserva presente nos tecidos fotossintéticos. É um homopolissacarídeo, formado por polímeros de glicose, como unidade básica. É considerado um biopolímero, devido a sua origem natural, e é constituído por dois homopolímeros básicos, com estruturas diferentes, a amilose e amilopectina. A amilose apresenta-se na forma linear, com ligações do tipo α -1,4, e a amilopectina é ramificada, com ligações do tipo α -1,4 e α -1,6. Apresenta-se em grânulos, no entanto, a morfologia, tamanho, bem como o conteúdo de amilose e amilopectina dependem da fonte botânica (Bello Perez e Agama-Acevedo, 2017; Punia, 2020; Sweedman et al., 2013).

Embora a amilose seja tipicamente representada como uma estrutura de cadeia linear, que acumula até 15-35% dos grânulos na maioria das plantas, a mesma frequentemente é helicoidal. Já a amilopectina, basicamente por ser reconhecida pelas ligações do tipo α -1,6, possui também a parte linear formada pelas ligações do tipo α -1,4 (Pérez e Bertoft, 2010).

Esses dois homopolímeros representam de 97 a 99% do amido, e ainda há a presença de alguns componentes menores, como lipídios e proteínas que podem interagir com os polissacarídeos. A amilose tem uma alta tendência a retrogradar e produzir géis resistentes e filmes fortes. A amilopectina, dispersa em água, é mais estável e produz géis macios e filmes fracos. Emaranhados entre amilose e amilopectina, a presença de fosfolipídios e lipídios também tem efeitos importantes nas propriedades físicas. Nesse sentido, tem-se buscado fontes de amido com conteúdo de amilose superiores, tendo em vista sua aplicação na produção de embalagens mais resistentes (Li et al., 2011; Wang et al., 2022).

Além da fonte botânica, o grau de maturação do órgão influencia diretamente no conteúdo dessas duas macromoléculas principais. O teor relativo de amilose e amilopectina determina a cristalinidade dos grânulos de amido, uma vez que a

amilopectina confere regiões mais densas e cristalinas. A parte linear das moléculas de amilopectina forma estruturas helicoidais duplas, que se encontram estabilizadas por ligações de hidrogênio entre grupamentos hidroxila, dando origem às regiões cristalinas dos grânulos (Souza e Andrade, 2000), enquanto que a região amorfa é composta pelas cadeias de amilose e pelas ramificações da amilopectina (Pérez e Bertoft, 2010).

Essas macromoléculas podem influenciar diretamente nas propriedades do amido, como a formação das pastas e géis, bem como nas propriedades tecnológicas do amido. O teor de amilose é muito importante para a estabilidade estrutural do polímero (Wang et al., 2014), e para a formação de filmes, o seu conteúdo está relacionado com a força de tensão e alongamento (Koch et al., 2010; Li et al., 2015). Filmes elaborados a partir de amido com alto teor de amilose apresentam melhores propriedades mecânicas e de barreira ao vapor, quando comparado com filmes produzidos com polímero de baixo teor de amilose (Li et al., 2015).

Levando em consideração as limitações inerentes ao amido nativo, principalmente relacionadas a sua estrutura básica, para melhores propriedades físicas, químicas, funcionais e para aplicações industriais, os amidos nativos são geralmente modificados, seja por meios físicos, químicos e enzimáticos, ou por suas combinações chamadas de modificação dupla. Os métodos físicos usam técnicas térmicas e não térmicas. Já as modificações químicas introduzem grupos funcionais na molécula de amido, usando reações de derivatização (por exemplo, eterificação, esterificação, reticulação), ou envolvem reações de quebra (por exemplo, hidrólise e oxidação), e a modificação enzimática envolve enzimas (Singh et al., 2007; Deka e Sit, 2016; Punia, 2020).

A fermentação natural é um método antigo de processamento de alimentos que é muito utilizado, principalmente, para pão, macarrão de arroz, vinho, cerveja e vinagre (Mylona et al., 2016). No amido, esse processo altera a região amorfa do grânulo de amido e os componentes químicos. Yang e Tao (2008) relataram que os microrganismos utilizam os carboidratos para produzir gases, ácidos e enzimas, que alteram, posteriormente, a estrutura do amido, tornando os produtos amiláceos soltos e porosos, com aroma agradável e, ocasionalmente, caracterizado pelo sabor azedo. Esses mesmos amidos, com fermentação natural, podem ser secos ao sol; e a exposição à radiação solar UV, na etapa de secagem, promove a oxidação que, na presença desses compostos orgânicos, resultam em alguma modificação, formando uma massa plástica com expansão de cozimento (Brito et al., 2021).

Dias et al. (2007) relataram que o amido de mandioca fermentado e exposto à secagem ao sol (oxidação natural) apresenta uma maior capacidade de expansão do cozimento. Esses resultados sugerem a ocorrência de uma modificação oxidativa das moléculas de amido, como a despolimerização, devido à ação conjunta de fermentação e secagem ao sol.

2.3.1 Fontes de amido

Abundante na natureza e disponível a custos baixos, já que a maioria dos órgãos vegetais das plantas superiores é rica em amido. Pode ser encontrado convencionalmente em grãos cereais, como o trigo, milho (um dos mais explorados e comercializados) e arroz; em raízes e tubérculos, como a mandioca e batata; e rizomas, como a araruta. O conteúdo de amido, nesses órgãos vegetais, é variável, assim como a sua constituição química (Tagliapietra et al., 2021).

Raízes e tubérculos, leguminosas e frutas imaturas (verdes) têm geralmente alto teor de amido (40-80%, m^{-1} , base seca), sendo que raízes e tubérculos geralmente contêm 70 a 80% de umidade e 16 a 24% de amido. Um grande número de raízes e tubérculos é cultivado nos trópicos para fins comestíveis, incluindo inhame, batata-doce, mandioca, taro e gengibre (Halley e Avérous, 2014; Khlestkin et al., 2018).

Os amidos dos grãos cereais, bem como os extraídos das raízes e tubérculos, são os principais produtos comerciais e, em grande parte, dominam o mercado global de amido (Khlestkin et al., 2018). Segundo Waterschoot et al. (2015), até o ano de 2015, mais de 85 milhões de toneladas/ano foram produzidas e comercializadas no mundo, com predominância da comercialização do amido de milho (cerca de 80%).

Existem ainda as fontes não convencionais de amido, com estudos relatando a caracterização físico-química e tentativas de aplicação de amidos não convencionais para o desenvolvimento de filmes; alguns deles são o amido de caroço de manga e banana verde (Nawab et al., 2017; Pelissari et al., 2017).

Waterschoot et al. (2015) relatam ainda que, de 12 a 20% do amido comercializado no mundo, eram extraídos de raízes, principalmente da mandioca. O Brasil se configura como um dos maiores produtores de mandioca e amido no mundo. Além do elevado rendimento percentual de amido das raízes tuberosas de mandioca, o mesmo possui propriedades tecnológicas desejáveis para a indústria de alimentos (Garcia et al., 2012).

Comparados ao amido de cereais, os polímeros de amido de fontes tuberosas possuem maior peso molecular e são encontrados em grânulos de maior diâmetro. O teor de amilose do amido de mandioca, relatado na literatura, varia de 15 a 25%, enquanto que a amilopectina varia de 85 a 75% (Pinto et al., 1992; Rolland-Sabaté et al., 2012). O amido tuberoso também apresenta um maior conteúdo de grupos fosfato. Considerando sua alta carga de grupos funcionais, bem como sua origem natural, pode-se esperar que o amido tenha um alto potencial de modificação, seja por meio de métodos de síntese orgânica ou por meio de biotransformações. Com isso, as transformações diretas em uma etapa permitem evitar o isolamento de produtos intermediários ou sequências complicadas de adição de reagentes e, portanto, são econômicas e bastante atraentes para aplicação industrial (Khlestkin et al., 2018).

O amido de mandioca (fécula) é um material que apresenta propriedades adequadas para a formação de revestimentos comestíveis que diminuem de forma eficiente a taxa de respiração e a perda de água, quando aplicado a frutas minimamente processadas (Chiumarelli et al., 2010; Garcia et al., 2012). Algumas propriedades que são preferidas no amido de mandioca incluem alta transparência, alta resistência à acidez e alta viscosidade, quando em solução. O uso do amido de mandioca para desenvolver filmes e revestimentos comestíveis foi considerado em algumas pesquisas encontradas na literatura (Krochta e Mulder-Johnston, 1994; Bierhals et al., 2011). O revestimento comestível do amido de mandioca é barato, insípido, inodoro, incolor, não tóxico, biodegradável, seguro e apresenta baixa permeabilidade ao oxigênio (Pareta e Edirisinghe, 2006).

Garcia et al. (2012), verificando o efeito do revestimento comestível de amido com propriedades antimicrobianas na vida útil de morangos frescos, observaram que os revestimentos comestíveis de amido de mandioca, com ou sem sorbato de potássio, foram eficientes na redução da perda de massa, perda de propriedades mecânicas e taxa respiratória de morangos minimamente processados, armazenados por 15 dias a 5 °C. Oriani et al. (2014) também verificaram que a aplicação de revestimentos comestíveis à base de amido de mandioca em fatias de maçã aumentou sua resistência ao vapor d'água e diminuiu sua taxa de respiração em comparação com frutas não revestidas.

2.4 Óleos essenciais

A utilização de fontes renováveis ou naturais como agentes antimicrobianos, como, por exemplo, de resíduos da indústria, bem como os componentes oriundos da

diversidade florística mundial têm se destacado frente à utilização de aditivos químicos alimentares, utilização de agroquímicos, como os fungicidas e bactericidas, tanto durante o cultivo, quanto na pós-colheita (Guetat et al., 2017). A busca por alimentos mais seguros, naturais, e a mudança da sociedade como um todo, que busca a adoção de medidas alimentares sustentáveis e livre de produtos químicos, impulsiona cada vez mais a busca por parte da comunidade científica e industrial, por fontes naturais e renováveis de aditivos alimentares (Bizzo et al., 2009).

Os óleos essenciais são compostos líquidos, complexos, bioativos, voláteis, com odor e cor característicos, formados a partir de metabólitos secundários de plantas, presentes em todos os órgãos desta, como brotos, flores, folhas, caules, galhos, sementes, frutas e cascas (Wińska et al., 2019). Eles são formados principalmente por classes de ésteres de ácidos graxos, mono e sesquiterpenos, terpenos, fenilpropanonas, álcoois e aldeídos. A atividade antimicrobiana dos óleos essenciais geralmente está associada a compostos como eugenol, alicina, timol e carvacrol; e a substâncias como o linalol, sabineno, mentol, mirceno e camphene. Em virtude de sua característica hidrofóbica, os princípios ativos atuam rompendo a membrana microbiana, fazendo-a perder sua funcionalidade (Prakash et al., 2014; Moro et al., 2015; Prakash et al., 2018).

Nas condições naturais, os óleos essenciais têm potencial para serem usados no controle de microrganismos, reduzindo a necessidade de aditivos, a contaminação em alimentos, e melhorando as tecnologias de prolongamento da vida de prateleira. Os mesmos podem eliminar patógenos indesejáveis e retardar a deterioração dos produtos, além da redução dos riscos à saúde dos consumidores (Tajkarimi et al., 2010).

Na natureza, os óleos essenciais têm a função de proteger as plantas contra o ataque de insetos e microrganismos, bem como a atração de polinizadores e a dispersão do pólen e de sementes. Seus constituintes, que lhes conferem as inúmeras características, são armazenados em células secretoras, epidérmicas, cavidades, canais ou tricomas glandulares, presentes em todos os órgãos das plantas (Bakkali et al., 2008).

Assim como os extratos de plantas, os óleos essenciais são classificados como aromatizantes naturais e podem ser utilizadas como aditivos alimentares (Brasil, 2007). Em virtude das propriedades antimicrobianas de alguns óleos essenciais, os mesmos estão sendo largamente estudados e explorados pelas indústrias alimentícias, no desenvolvimento de revestimentos comestíveis e embalagens ativas para extensão da vida útil de alimentos (Sharma et al., 2022) e para redução da incidência de doenças pós-

colheita, que diminuem a qualidade e o valor comercial de frutas e hortaliças frescas (Teixeira et al., 2022).

Os óleos essenciais podem ser extraídos por diferentes métodos, como a hidrodestilação, destilação a vapor, extração por solventes orgânicos, extração por fluido supercrítico e prensagem a frio. No entanto, as características e rendimento de extração dos óleos dependem de vários fatores, sendo o método de extração um deles, assim como a escolha da planta, o horário e temperatura do momento da colheita (Yusoff et al., 2011; Prakash et al., 2018).

Ainda são incipientes os estudos sobre como as substâncias constituintes dos óleos essenciais agem eliminando os microrganismos. Entretanto, o mecanismo de ação para as bactérias se dá com o rompimento/degradação da membrana microbiana e, com o rompimento da barreira permeável, a função dos constituintes celulares são comprometidas, paralisando, assim, o metabolismo desses microrganismos (Nazzaro et al., 2013). Já para os fungos, os óleos essenciais afetam as barreiras de proteção dos esporos, ou podem agir antes de sua formação, promovendo o desenvolvimento anormal ou, ainda, o rompimento dos tubos germinativos (Dantigny e Nanguy, 2009).

Os óleos essenciais podem atuar em conjunto com os revestimentos comestíveis na redução da permeação dos gases O₂ e CO₂ nos tecidos vegetais, com consequente redução da taxa respiratória, assim como a síntese e ação do etileno, retardando a síntese de enzimas responsáveis pelas transformações bioquímicas durante o amadurecimento, e consequente retardamento do amadurecimento e da senescência. A incorporação de óleos essenciais em matrizes poliméricas pode melhorar a resistência à permeação ao vapor de água, aumentando a fração hidrofóbica do filme, reduzindo, desse modo, a perda de umidade, e consequente perda de massa. Essa redução pode evitar a deterioração das qualidades sensoriais, como o menor enrugamento da casca e aumento dos aspectos de frutos frescos, assim como a redução da queda da firmeza, características estas que reduzem o valor comercial dos produtos frescos (Sánchez-González et al., 2011).

2.4.1 Óleo essencial de capim-limão

Cymbopogon spp. são ciperáceas perenes do tipo C4, de rápido crescimento, da família Poaceae, e são cultivadas principalmente por seus óleos essenciais. Essas gramíneas aromáticas são de grande interesse comercial, devido às suas aplicações em diversas indústrias, como alimentícia, farmacêutica e cosmética (Mukarram et al., 2022b).

O capim-limão (*Cymbopogon citratus* (D.C.) Stapf), também chamado de capim Cochin, tem amplo potencial como alimento e forragem, devido à sua riqueza em vitaminas A, C, E, folato, niacina e riboflavina, proteínas, antioxidantes e nutrientes minerais (Mukarram et al., 2022a).

A Índia é um grande exportador e o principal produtor de óleo de capim-limão (300 - 350 toneladas anuais⁻¹), sendo 80% da produção exportada (Lal et al., 2013). Este óleo essencial contém citral (uma mistura de neral e geranial), limoneno, geraniol e acetato de geranila, entre outros, que são conhecidos em virtude de suas propriedades antimicrobianas, anticancerígenas e alelopáticas, e estão sendo utilizados, inclusive, na preparação de pesticidas (Mukarram et al., 2021).

O óleo, assim como o extrato de capim-limão, tem sido utilizado de forma eficaz no combate a microrganismos. Seu potencial antimicrobiano contra bactérias, fungos e vírus já é elucidado por alguns autores (Farias et al., 2019; Lee et al., 2020; Wani et al., 2021). Segundo Kalemba e Kunicka (2005), os compostos químicos dos óleos essenciais apresentam grupos funcionais com diferentes níveis de potencial antimicrobiano, nos quais os fenóis e aldeídos exercem maiores atividades, enquanto os ésteres e hidrocarbonetos demonstram as menores atividades.

Em se tratando do óleo de capim-limão, a sua maior atividade antimicrobiana está relacionada ao citral (3,7-dimetil-2,6-octadienal - aldeído) (Alagawany et al., 2021), sendo encontrado nas formas α -citral, β -citral. Além das propriedades antimicrobianas, é conhecido por suas propriedades anti-inflamatórias, imunomoduladoras, antioxidantes e antissépticas (Bachiega e Sforcin, 2011).

No tocante à atividade antifúngica, Helal et al. (2007) relataram que o óleo essencial causou ruptura da membrana plasmática e desorganização das mitocôndrias, resultando em vazamento de Ca^{2+} , K^{+} e Mg^{2+} . A perda de íons pode afetar ainda mais a transdução de sinal e a germinação de fungos. Além disso, os compostos voláteis podem atuar diretamente na dupla camada lipídica, além de induzir a redução do tamanho celular fúngico, com consequente inibição da germinação de esporos (Mukarram et al., 2022a).

2.5.2 Emulsão com adição de óleo essencial

As emulsões são definidas como dispersões compostas por duas fases líquidas imiscíveis que são misturadas por meio de cisalhamento mecânico e tensoativo. Moléculas tensoativas anfifílicas são chamadas de surfactantes e são responsáveis por

reduzir as forças atrativas, naturalmente existentes na forma de tensão superficial (Kale e Deore, 2017). Essas duas fases imiscíveis são geralmente água e óleo (Campelo et al., 2017) que podem ser classificadas em dois grupos: emulsões simples (água/óleo ou óleo/água) e emulsões múltiplas (água/óleo/água ou óleo/água/óleo). As emulsões múltiplas constituem um sistema mais sofisticado. Essa emulsão geralmente é composta por gotículas aquosas que são dispersas dentro de gotas oleosas, sendo essas gotas oleosas dispersas em uma fase aquosa externa (Grossiord e Sellier, 2001).

Em relação ao tamanho das gotas, as emulsões são classificadas como macroemulsões, microemulsões e nanoemulsões. Macroemulsões apresentam gotículas com diâmetro variando de 0,1 a 100 μm . Esses tamanhos permitem a dispersão da luz e conferem cor branca a esses sistemas. Já nas microemulsões, o tamanho varia de 100 μm a 100 nm. As nanoemulsões apresentam um diâmetro de gotículas médio de 20–100 nm (Bouyer et al., 2012).

Os óleos essenciais apresentam dificuldades de incorporação direta nas formulações, devido a sua alta volatilidade, baixa solubilidade em água e alta suscetibilidade a condições ambientais, assim como sua baixa capacidade de dispersão e perdas da função ativa antimicrobiana, com o uso do aquecimento durante o processamento (Li et al., 2011). Na utilização direta em revestimentos comestíveis, os óleos essenciais não se dispersam bem dentro da matriz polimérica à base de água. A utilização das emulsões, assim como a sua redução a escalas nanométricas, pode melhorar a solubilidade destes, bem como aumentar sua estabilidade e eficácia (Kah et al., 2013). A incorporação de óleos essenciais em nanoemulsões pode trazer diversas vantagens, como diminuição da volatilidade, aumento da estabilidade e obviamente da dispensabilidade da água (Giunti et al., 2019).

No campo da pesquisa científica, as nanoemulsões têm sido mais estudadas, pois as mesmas exibem uma melhor estabilidade à separação gravitacional e agregação do que as emulsões convencionais (raio > 100 nm), atribuída ao menor tamanho de gota (Donsì et al., 2011; Zhang et al., 2022).

Além de garantir uma proteção dos óleos essenciais contra a degradação ou evaporação, as microcápsulas e nanocápsulas geralmente não afetam a atividade antimicrobiana. Os sistemas de tamanho nanométrico, devido ao tamanho subcelular, podem aumentar os mecanismos de absorção celular passiva, promovendo uma redução da transferência de massa e aumentando a atividade antimicrobiana, principalmente nas

regiões onde se tem um maior conteúdo de água, que se torna propenso ao desenvolvimento dos microrganismos (Donsi et al., 2011).

3 MATERIAL E MÉTODOS

3.1 Local, frutos e óleo essencial

O experimento foi desenvolvido no Laboratório de Química III, no *Campus* da Universidade Estadual do Sudoeste da Bahia (UESB), localizada na cidade de Vitória da Conquista, BA.

Foram utilizados, neste estudo, mangas (*Mangifera indica* L.) ‘Palmer’ obtidas na região produtora do Planalto da Conquista, Caraíbas e Anagé, Sudoeste do Estado da Bahia. As frutas foram selecionadas de acordo com o grau de maturação, estágio 2, segundo escala Protrade (1992), consideradas no ponto ideal de colheita, casca verde claro, para a comercialização nos mercados interno e externo, bem como o tamanho, peso e coloração da casca.

Para o desenvolvimento dos revestimentos comestíveis, o amido de mandioca (*Manihot esculenta* Crantz) ‘Platinão’, oxidado de forma natural, foi obtido em produtores da região de Belo Campo, BA, situado a 15°06’13” S e 41°17’55” W, com uma altitude média de 875 m e clima do tipo *Aw*, segundo a classificação de Köppen-Geiger (Peel et al., 2007). Todas as amostras de amido foram obtidas com o mesmo padrão de oxidação (mesmo número de dias de fermentação), e utilizou-se óleo essencial de capim-limão (*Cymbopogon citratus* (D.C.) Stapf) (Laszlo ©, Belo Horizonte-MG, Brasil) e óleo de canola (*Brassica napus* L.) no preparo das emulsões.

3.2 Caracterização física, química e tecnológica do amido

A caracterização física, química e tecnológica do amido de mandioca foi realizada conforme metodologias descritas a seguir.

3.2.1 Determinação do teor de umidade, cinzas e pH

A umidade foi determinada pelo método AOAC nº 92510, e as cinzas foram identificadas de acordo com a técnica nº 92303 (AOAC, 1997). Já a determinação do potencial hidrogeniônico foi realizada de acordo com a metodologia proposta por AOAC (2007), utilizando 2 g de amido em 20 mL de água destilada.

3.2.2 Determinação do teor de lipídeos totais e proteínas

O teor de lipídios totais do amido foi determinado segundo método descrito por Folch et al. (1957).

Na análise do conteúdo de proteínas, foi determinado o teor de nitrogênio total, utilizando o método de Kjeldahl (Instituto Adolfo Lutz, 2008), com as amostras sendo submetidas à digestão, à destilação e, finalmente, à titulação. O fator utilizado para conversão do teor de nitrogênio em proteína bruta (PB) foi de 5,75 (Fujihara et al., 2008) e os resultados foram expressos em base (g de proteína bruta 100 g⁻¹ da amostra).

3.2.3 Determinação do teor de amilose aparente

Para a determinação do teor de amilose aparente, foi empregado o método colorimétrico do iodo simplificado, que se baseia na transmissão de luz através de um complexo colorido formado com a reação da amilose com o iodo, de acordo com a metodologia de Martinez e Cuevas (1989), com modificações. Amostras de amido foram desengorduradas em hexano P.A por três dias, sob refrigeração. Após esse período, foram secas em estufa à 40 °C ± 2 °C, por 30 min. Amostras de 0,025 g de amido foram pesadas em tubos de ensaio e dispersas com 9 mL de hidróxido de sódio (NaOH) 1 mol L⁻¹ e 1 mL de etanol 95% (v/v), seguido por homogeneização.

As amostras foram então aquecidas em banho termostatizado, a 100 °C, por 10 min, e deixado esfriar por 30 min. Em seguida, as amostras foram transferidas quantitativamente para balão volumétrico de 250 mL e completado o volume com água destilada. De cada solução obtida, foram pipetados 5 mL e transferidos para um balão de 100 mL, com adição de 1 mL de ácido acético (1 mol L⁻¹), sob agitação, 2 mL de solução de iodo (preparado anteriormente com 0,2 g de I₂ e 2 g de KI, deixado em repouso por 3 h com 50 mL de água e, posteriormente, avolumado para 100 mL) e completado o volume com água destilada. As soluções foram homogeneizadas e deixadas em repouso por 30 min. Um branco foi preparado em um balão volumétrico de 100 mL, onde foi adicionado 1 mL de etanol (95%), 9 mL de NaOH (1 mol L⁻¹) e 2 mL de solução de iodo. O volume foi completado com água destilada e deixado em repouso por 30 min. As leituras foram realizadas em espectrofotômetro em comprimento de onda de 590 nm.

3.2.4 Determinação do teor de amido total

O método para a determinação do amido total foi realizado conforme determinado pela Instrução Normativa nº 20 (Brasil, 1999), com modificações. O princípio desse

método baseia-se na determinação espectrofotométrica a 620 nm do composto colorido, formado pela reação entre a antrona e a glicose proveniente da hidrólise do amido. Desse modo, uma amostra de 0,25 g de amido, desengordurado previamente, foi adicionada à 5 mL de H₂SO₄ 0,5 mol L⁻¹, e aquecida à 100 °C, por 1 h. Após este período, a amostra foi resfriada e transferida para um balão de 250 mL, e o volume foi completado com água destilada. Uma alíquota de 1 mL dessa solução, resfriada à 0 °C; e 5 mL de solução de antrona 0,005 mol L⁻¹, também à 0 °C, foram adicionadas em um tubo de ensaio. Após esse procedimento, a mistura foi aquecida à 100 °C, por 11 min, seguida de resfriamento em temperatura ambiente, para posteriores leituras.

3.2.5 Determinação do poder de inchamento e índice de solubilidade em água

O poder de inchamento (PI, g. g⁻¹) e o índice de solubilidade (IS, %) do amido foram determinados à 95 °C, de acordo com a metodologia de Leach et al. (1959), com modificações. Pesou-se 1,0 g do amido em tubo de centrífuga de 50 mL, previamente pesados, adicionando-se 20 mL de água destilada, sendo a suspensão homogeneizada por 1 min em agitador vórtex. Em seguida, os tubos foram levados ao banho termostatizado, por 30 min, à 95 °C, com agitação eventual. Após a gelatinização, as suspensões foram resfriadas e centrifugadas por 17 min, a 2160g.

Para a determinação do IS (%) das amostras, o sobrenadante foi cuidadosamente transferido para placas de Petri, previamente pesadas, e o volume seco em estufa à 105°C ± 2 °C até massa constante. Já o PI foi determinado através do precipitado (gel) que se acumula no fundo do tubo de centrífuga. O mesmo foi pesado, obtendo-se a massa do precipitado. Ambas as propriedades foram determinadas de acordo com as Equações 1 e 2, respectivamente.

$$IS (g g^{-1}) = \frac{m_{ss}}{m_a} \quad (1)$$

$$PI (g g^{-1}) = \frac{m_{gel}}{m_a - (m_{ss})} \quad (2)$$

Em que: m_{ss} é a massa do sobrenadante seco (g); m_{gel} , a massa do gel (g) e m_a é a massa da amostra (g).

3.2.6 Determinação do índice de absorção de água (IAA)

Utilizou-se o método proposto por Anyasi et al. (2015), com modificações, para a determinação do índice de absorção de água do amido. Em tubos de centrifuga previamente pesados, foram adicionados 2,5 g de amido e 30 mL de água destilada. Os tubos foram levados ao banho termostatizado à 30 °C, por 30 min, com agitação eventual. Decorrido o tempo, as amostras foram centrifugadas a 2160g por 85 min. Em seguida, os tubos foram posicionados a 45° por alguns minutos, até que fosse observada a total separação das fases. O sobrenadante foi transferido cuidadosamente para placas de Petri, devidamente pesadas, e levadas para estufa à 105 °C ± 2 °C, por aproximadamente 2 h, até peso constante. O IAA foi determinado de acordo com a Equação 3.

$$IAA (g g^{-1}) = \frac{m_p}{m_a} \quad (3)$$

Em que: m_p (g) é a massa do amido precipitado e o m_a (g) é a massa da amostra.

3.2.7 Determinação das propriedades de pasta do amido

As propriedades de pasta foram determinadas por meio do *Rapid Visco Analyzer* - RVA (RVA 4500, *Perten Instruments, Newport Scientific*, Austrália), no Laboratório de Ciência e Tecnologia de Alimentos da Embrapa Mandioca e Fruticultura. Para a análise, foi utilizada 4 g de amido de mandioca, com umidade corrigida para 14 %; e, em seguida, foi adicionada água destilada até a obtenção do peso final de 28 g, conforme metodologia descrita por Brito et al. (2021). O padrão de análise utilizado foi o *Standart 2* (CNPMPF: POP 014.2.4.01.4.008), sendo as amostras mantidas à 25 °C, por 2 min, e posteriormente aquecidas até 95 °C por 5 min, permanecendo nessa temperatura durante 3 min, seguido de resfriamento até 25°C, também por 5 min, deixando amostra na temperatura de 25 °C por mais 5 min, totalizando 20 minutos de análise. As amostras foram inicialmente homogeneizadas à 960 rpm por 10 s e mantidas sobre agitação à 160 rpm até o final da análise. Os parâmetros medidos foram: viscosidade máxima (cP), viscosidade mínima (cP), viscosidade final (cP), quebra de viscosidade (breakdown) (cP) e tendência à retrogradação (setback) (cP), além da temperatura de pasta (°C).

3.2.8 Determinação da cor instrumental do amido oxidado

A cor instrumental do amido de mandioca foi medida utilizando um colorímetro portátil (CR400, Konica Minolta, Osaka, Japão), com a utilização do sistema CIELab. Os valores L^* , a^* e b^* foram obtidos com três leituras, em regiões equidistantes do amido, disposto sobre uma superfície de papel, e foram utilizados para calcular o valor de croma (C), o índice de brancura (WI) e o índice de amarelecimento (YI), conforme Equações 4, 5 e 6, respectivamente (Mehdizadeh et al., 2012).

$$C = \sqrt{a^{*2} + b^{*2}} \quad (4)$$

$$WI = 100 - \sqrt{[(100 - L^*)^2 + a^{*2} + b^{*2}]} \quad (5)$$

$$YI = \frac{142,86 \times b^*}{L^*} \quad (6)$$

3.3 Preparo das formulações de revestimentos comestíveis

3.3.1 Preparo da emulsão de óleo essencial de capim-limão

Para o preparo da emulsão óleo em água (OA), foram utilizados óleo essencial de capim-limão (*Cymbopogon citratus* (D.C.) Stapf) e óleo de canola (*Brassica napus* L.) comercial, além do Tween80 P.A., como agente anfifílico, na proporção 1:5:6 (v/v/v), respectivamente, conforme metodologia proposta por Prakash et al. (2020), com modificações.

Os volumes dos componentes foram medidos com auxílio de uma pipeta graduada, adicionados a um tubo de centrífuga de 50 mL, e agitados em vórtex por 5 min. Em seguida, a emulsão foi transferida para um béquer e o tubo lavado com água destilada, que foi transferida para emulsão até o volume de 100 mL. A emulsão foi então agitada em agitador mecânico, na velocidade máxima, por 10 min, para a incorporação de todos os materiais. Posteriormente, a emulsão foi levada ao banho ultrassom 40 kHz, por 30 min.

3.3.2 Caracterização da nanoemulsão de óleo essencial de capim-limão

A determinação do tamanho das gotículas (cápsulas) foi realizada por microscopia ótica, utilizando lâminas de microscópio previamente limpas e secas em álcool 70% (v/v). Uma solução formada por 1 mL da nanoemulsão de capim-limão, diluída em 1 mL de água destilada, foi utilizada nas análises. Uma gota da solução de nanoemulsão foi

disposta sobre as lâminas e levadas para análise em microscópio óptico, com aumento de 100X (Leica, DM2000 Wetzlar, Alemanha), com câmera acoplada a um microcomputador, com utilização do *software* para medida dos tamanhos e fotografias *Leica Application Suite* (LAS), versão 4.12.0.

3.3.3 Preparo das soluções de revestimentos comestíveis

Para o preparo das formulações de revestimentos comestíveis, amido de mandioca oxidado (3% m/v, definido em testes preliminares) foi disperso em água destilada, com adição de glicerol 35 % (m/m) sob agitação em agitador magnético, em velocidade máxima, por 30 min, até a hidratação completa. Após esse período, a solução foi aquecida em banho termostaticado, à 85 °C, por 20 min, sob agitação suave.

Posteriormente, foi incorporada às formulações a emulsão do óleo essencial de capim-limão (CL), em diferentes concentrações: 0,1, 0,3, 0,6 e 0,9% (m/m, em relação à massa de amido utilizada). A solução foi agitada novamente, em agitador mecânico, em velocidade máxima, por 30 min, para promover a incorporação da emulsão. O volume da formulação foi de 1000 mL, e isso inclui o amido, água, o glicerol e a emulsão.

Em seguida, a formulação foi levada ao banho de ultrassom, com frequência de 40 kHz, por 1 h, para quebra das bolhas formadas durante a agitação. Durante o processo de agitação, formou-se espuma, e esse excesso foi retirado com auxílio de uma peneira de 80 mesh.

3.3.4 Revestimento dos frutos com as formulações de revestimentos comestíveis

Mangas ‘Palmer’ foram selecionadas de acordo com a padronização estabelecida, como tamanho, peso e coloração, assim como o estágio de maturação 2 (de vez), com a cor da casca verde claro (Protrade, 1992). Os frutos foram imersos em uma solução de hipoclorito de sódio 10 mL L⁻¹, por 15 min. Após a higienização, os frutos foram secos em toalhas de papel e mantidos à temperatura ambiente.

Os frutos previamente higienizados foram imersos nas soluções de revestimentos comestíveis por 30 min. Para secagem e formação da película protetora, os frutos foram acomodados em suportes perfurados para drenar o excesso da solução de revestimento, em temperatura controlada (21 ± 2 °C), por 24 h.

Depois de secos, os frutos foram armazenados em ambiente refrigerado (B.O.D 12 ± 2 °C) (Lucadema – LUCA-161/01, São Paulo, Brasil), acondicionados em embalagens de polietileno, por até 15 dias, para posteriores análises.

3.4 Determinação dos parâmetros de qualidade pós-colheita de manga

Os parâmetros físicos, químicos e de qualidade pós-colheita foram avaliados em três tempos de avaliação (1, 7 e 15 dias após a aplicação do revestimento), conforme metodologias descritas abaixo.

3.4.1 Determinação da perda de massa

Após a aplicação do revestimento nas frutas e secagem, as mesmas foram pesadas em balança analítica. Os resultados foram expressos em porcentagem de perda de massa, calculado pela Equação 7 (Chiumarelli et al., 2010).

$$WL (\%) = \frac{M_i - M_f}{M_i} \times 100 \quad (7)$$

Em que: M_i é a massa inicial; M_f é a massa final, em cada período de avaliação.

3.4.2 Determinação da firmeza da polpa e da casca

Para a determinação da firmeza das frutas, nos períodos de avaliação, foi utilizado um penetrômetro (TR turani, Itália). As medidas foram realizadas em três pontos diferentes da polpa e da casca. Os resultados foram expressos como força em Newton (N) (Sousa et al., 2007)

3.4.3 Coloração das frutas

A cor da casca e da polpa das frutas foi medida a 25 ± 1 °C com colorímetro portátil (CR400, Konica Minolta, Osaka, Japão). Utilizou-se o sistema CIElab para medir a luminosidade (L^* 0: escuro, 100: branco), a^* (valor negativo: verde, valor positivo: vermelho) e b^* (valor negativo: azul, valor positivo: amarelo). Os valores de L^* , a^* e b^* foram obtidos com três leituras, em regiões equidistantes da casca da fruta e da polpa, e foram utilizados para calcular o valor de croma (C), ângulo Hue (h°) e a diferença de cor total (ΔE), conforme Equações 4, 8, 9 e 10, respectivamente (Oliveira et al., 2020; Resende et al., 2018; Hernández-Guerrero et al., 2020).

$$h^\circ = \arctan \left(\frac{b^*}{a^*} \right) \text{ quando } a > 0 \text{ e } b \geq 0 \quad (8)$$

$$h^\circ = 180 + \arctan \left(\frac{b^*}{a^*} \right) \text{ quando } a < 0 \quad (9)$$

$$\Delta E = \sqrt{\Delta a *^2 + \Delta b *^2 + \Delta L *^2} \quad (10)$$

3.4.4 Determinação de sólidos solúveis (SS) e pH

O teor de SST foi medido com um refratômetro digital Brix (%) Atago (Pocket Refractometer, PAL-1, Tóquio, Japão) e expresso como ° Brix (Método 932.12) padrão (AOAC, 2016). Para a determinação dos SST, uma porção da polpa das frutas foi triturada em mixer, filtrada em tecido tipo organza. Em seguida, três gotas do filtrado foram colocadas no aparelho. O refratômetro foi zerado, utilizando água destilada como padrão.

Para a determinação do pH das amostras, o extrato das frutas triturado foi separado em recipientes menores e medido com um potenciômetro digital (Método 981.12) (AOAC, 2016).

3.4.5 Determinação da acidez titulável

A acidez titulável foi determinada pelo método titulométrico, utilizando solução de NaOH 0,1 mol L⁻¹, como agente titulante. Pesou-se aproximadamente 5 g de extrato de frutas triturado e 40 mL de água destilada. Utilizou-se fenolftaleína 1% como indicador ácido-base. Os resultados foram expressos em g equivalente de ácido cítrico por 100 g de fruta (Oliveira, 2010).

3.4.6 Conteúdo de clorofilas e carotenoides

Para a determinação dos teores dos pigmentos presentes na casca da manga, três discos das cascas (1,12 cm² de área) foram colocados em um tubo de vidro contendo 4 mL de dimetilsulfóxido (DMSO), saturado com CaCO₃ (Hiscox e Israelstam, 1979), por 12 h, em ambiente escuro, onde permaneceram para extração de clorofilas a e b e carotenoides. Os teores dos pigmentos foram determinados em espectrofotômetro, tendo como referência os comprimentos de onda 665, 649 e 480 nm para as quantificações de clorofilas a e b, carotenoides e clorofilas totais, respectivamente, conforme Equações 10-13. Foram obtidas curvas de calibração para cada um dos pigmentos estudados e os resultados foram expressos em µg cm⁻², de acordo com o método de Lee et al. (1987).

$$\text{Clorofila } a = [(12 \times A_{663,8} - 3,11 \times A_{646,8}) \times V] / (1000 \times W) \quad (10)$$

$$\text{Clorofila } b = [(20 \times A_{646,8} - 4,68 \times A_{663,8}) \times V] / (1000 \times W) \quad (11)$$

$$\text{Carotenoides} = [(1000 \times A_{480} - 1,12 \times \text{Cla} - 34,07 \times \text{Clb}) / 245] / 1000 \times W \quad (12)$$

$$\text{Clorofilas totais} = \text{Clorofila a} + \text{Clorofila b} \quad (13)$$

Em que: A: Absorbância no comprimento de onda indicado (nm); V: Volume final do extrato clorofila em DMSO (mL); e W: Área do disco foliar (cm²); Cla: Clorofila a; Clb: Clorofila b.

3.4.7 Determinação do conteúdo de ácido ascórbico

Para a determinação do conteúdo de vitamina C, utilizou-se a metodologia proposta por Oliveira (2010), por meio da reação do ácido ascórbico com o 2,6-diclorofenol indofenol sódico (DCFI), com posterior detecção espectrofotométrica, por meio da redução do DCFI, com alteração da coloração azul, quando oxidado, para uma coloração rosa-arroxeadada, quando reduzido. A solução de DCFI foi preparada na concentração de 0,03 mg mL⁻¹ do reagente P.A, aquecendo a água destilada à 60 °C, com posterior filtragem. Utilizou-se também ácido oxálico P.A. 0,4%.

Para determinação do conteúdo de vitamina C, inicialmente foi feita a pesagem de aproximadamente 7 g do extrato triturado das frutas, diluindo-os em solução de ácido oxálico 0,4%, e avolumando para 100 mL. Em seguida, filtrou-se as soluções em papel de filtro quantitativo, sendo a solução recolhida armazenada para as posteriores análises. Em dois tubos de ensaio foi adicionada uma alíquota de 1 mL do filtrado. Em um dos tubos, foi adicionado 9 mL de água destilada, para o branco da amostra; e no outro, 9 mL de DCFI para a amostra. Os tubos com as amostras foram agitados em agitador vórtex, para as posteriores leituras a 520 nm. O branco geral foi preparado utilizando-se 1 mL de ácido oxálico 4% e 9 mL de água destilada em um tubo, e outros dois com 1 mL de ácido oxálico 4% e 9 mL de DCFI.

Utilizou-se o branco geral para zerar o espectrofotômetro e as duas amostras com DCFI foram utilizadas para a leitura. Após as leituras das amostras de ácido oxálico com DCFI, adicionou-se aos tubos contendo as amostras uma porção pequena de ácido ascórbico P.A, até que as amostras ficassem sem cor, e, posteriormente, realizou-se as leituras.

Uma curva de calibração do ácido ascórbico foi preparada para a quantificação da vitamina C. Os resultados foram expressos em mg de ácido ascórbico por 100 g de polpa.

3.5 Planejamento e análise estatística

A caracterização física, química e tecnológica do amido de mandioca, assim como a sua coloração foi realizada em triplicata, e os dados foram expressos em média \pm desvio padrão. As propriedades de pasta foram determinadas com análise de amostras em duplicatas e os dados foram expressos em média \pm desvio padrão.

O experimento com o revestimento das frutas foi conduzido em delineamento inteiramente casualizado (DIC), arranjado em esquema fatorial 5 x 3, sendo cinco tipos de revestimento (CO: sem revestimento, 0,1; 0,3; 0,6 e 0,9 % m m⁻¹ de óleo essencial de capim-limão), e três tempos de avaliação (1, 7 e 15 dias após a aplicação dos revestimentos comestíveis), totalizando 15 tratamentos e quatro repetições, com cada repetição contendo 10 frutos de manga, selecionados conforme descrito anteriormente.

Os dados foram apresentados em gráficos de médias com o erro padrão da média para cada momento de avaliação. Já para a verificação do efeito dos tratamentos nos parâmetros de qualidade pós-colheita das frutas, foi realizada a análise de Componentes Principais (ACP). Para a determinação dos componentes principais (CP's), utilizou-se o "Proc Princomp Statement" como procedimento. O processamento dos dados foi realizado utilizando-se o programa *Statistical Analysis System (SAS) University*.

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1 Caracterização física, química e tecnológica do amido

Os resultados para a caracterização química do amido de mandioca fermentado e oxidado naturalmente estão apresentados na Tabela 1.

O teor de água do amido de mandioca está dentro dos padrões estabelecidos pela Agência Nacional de Vigilância Sanitária – ANVISA, ou seja, menor que 15% (Brasil, 2005). Essa característica está diretamente ligada à qualidade do amido, tendo em vista a garantia da não deterioração microbiológica (Cordeiro et al., 2018).

Cinzas, proteínas e lipídeos foram encontrados em valores baixos. A soma desses três parâmetros é inferior a 1%, demonstrando, portanto, um elevado grau de pureza (>99%) para o amido de mandioca fermentado e oxidado naturalmente (Peroni et al., 2006). O conteúdo de cinzas evidencia a eficiência do método de extração convencional de amido de mandioca, pelos produtores familiares, no que tange ao controle da presença de impurezas do solo no momento da oxidação (secagem) e na fermentação (período dentro dos recipientes ao ar livre) (De Sena Aquino et al., 2016).

O amido apresentou um pH ácido, o que já era esperado, haja vista que o mesmo foi fermentado e este processo ocorre na presença de ácidos orgânicos, sendo o ácido láctico o mais predominante (Brito et al., 2021). Macron et al. (2006) relataram que o processo fermentativo, que se inicia com a produção de açúcar a partir do amido, envolve microrganismos amilolíticos. A partir dessa fonte de açúcares, bactérias e leveduras iniciam a produção de ácidos, compostos aromáticos e vitaminas, dentre várias outras substâncias (Avancini et al., 2007).

Tabela 1. Caracterização química de amido de mandioca fermentado e oxidado naturalmente

Parâmetros						
Umidade (%)	Cinzas (%)	pH	Proteínas (%)*	Lipídeos (%)*	Amilose aparente (%)*	Amido total (%)*
11,76 ± 0,52	0,06 ± 0,02	4,76 ± 0,05	0,48 ± 0,05	0,01 ± 0,002	41,94 ± 1,35	86,05 ± 1,79

* Resultados expressos em base seca. Os valores relatados são as médias ± D.P (n = 3).

O conteúdo de amilose aparente é considerado elevado para a espécie amilácea estudada (41,94% ± 1,35%). Rolland-Sabaté et al. (2012) relatam que o conteúdo de amilose do amido de mandioca varia entre 15 e 25%. Essa discrepância nos valores encontrados em relação aos relatados na literatura está relacionada principalmente à variação que ocorre nos amidos nas diferentes variedades, assim como aos procedimentos de extração. Neste caso, com a fermentação, seguida de oxidação, o amido sofre modificações enzimáticas e ácidas que podem promover alterações em sua estrutura ou em seus constituintes (Marcon et al., 2006). Além disso, o método de quantificação da amilose empregado pode influenciar no conteúdo final determinado, pois o mesmo mede um complexo azul, formado pela reação entre as ligações α -1,4 da amilose e iodo. Sendo que a extensão deste complexo pode variar essencialmente com base nas características de sua formação, ou seja, a depender da massa molecular da amilose e a concentração de iodeto, ocorre o aumento da absorbância com o aumento dessas variáveis (Cordeiro et al., 2018).

O conteúdo de amido total está dentro dos padrões estabelecidos pela RDC nº 263 (Brasil, 2005) que determina um teor mínimo de 80%.

Para as propriedades tecnológicas do amido de mandioca, os valores de índice de absorção de água (IAA), poder de inchamento (PI) e índice de solubilidade em água (IS) estão apresentados na Tabela 2.

O IAA mede o volume ocupado pelo amido após intumescimento em excesso de água e indica a integridade do amido em dispersão aquosa. O valor de IAA encontrado neste trabalho está relacionado com a estrutura coesa dos grânulos de amido, assim como sua estrutura regular e uniforme, que dificulta a penetração de moléculas de água em sua estrutura. Leonel et al. (2009) encontraram valores superiores ao obtido neste trabalho (4,19 a 6,41 g g⁻¹), podendo estar relacionado ao processo fermentativo e oxidativo do amido de mandioca.

Tabela 2. Propriedades tecnológicas de amido de mandioca fermentado e oxidado naturalmente

Parâmetros		
IAA (g g ⁻¹)	PI (g g ⁻¹)	IS (g g ⁻¹)
1,87 ± 0,03	7,16 ± 0,67	0,26 ± 0,08

Os valores relatados são as médias ± D.P (n = 3); PI: Poder de inchamento; IS: Índice de solubilidade em água; IAA: Índice de absorção de água.

O poder de inchamento determina a tendência de uma substância se hidratar e poder ser empregada como uma das formas de medir a qualidade dos alimentos. O resultado encontrado neste trabalho mostra que houve inexpressiva ruptura das estruturas internas dos grânulos, pois a fermentação seguida de oxidação pode promover um rearranjo interno dos grânulos, proporcionando maiores interações entre os grupos funcionais, como, por exemplo, complexo amido-lipídeos, ou até mesmo o próprio rompimento dos cristalitos do amido e aumento da cristalinidade (Bemiller e Huber, 2015; Hoover, 2010; Wang e Copeland, 2015) Para amido de mandioca nativo, Onyango et al. (2013) verificaram valores superiores (9,76 g g⁻¹) em relação a este trabalho.

Já o índice de solubilidade em água, que está relacionado diretamente com o teor de amilose (Cordeiro et al., 2018), foi considerado baixo, tendo em vista que o teor de amilose para este amido estudado foi elevado. De acordo com Cai et al. (2015), a amilose é o principal componente solúvel do sobrenadante, durante o inchamento do amido, e isso resulta diretamente na solubilidade em água que aumenta com o aumento do teor de amilose no amido. Segundo Trela et al. (2020), tanto o IS quanto o PI dependem do tipo de modificação, principalmente quanto ao grau de substituição e temperatura. Além disso, esses dependem diretamente da origem do amido (fontes botânicas - composição química variada), o que pode explicar os dados encontrados neste trabalho e as flutuações nos resultados encontrados na literatura.

Para os atributos de cor, a luminosidade do amido de mandioca está próxima ao valor máximo (Tabela 3), evidenciando, portanto, que o processo convencional de extração de amido por agricultores e produtores familiares é eficaz na manutenção da coloração branca do mesmo, com a garantia de menores perdas de luminosidade.

Tabela 3. Atributos de cor de amido de mandioca fermentado e oxidado naturalmente

Parâmetros					
L*	a*	b*	C	WI	YI
98,58 ± 0,01	-0,24 ± 0,05	3,51 ± 0,04	3,52 ± 0,04	94,40 ± 0,05	5,09 ± 0,06

Os valores relatados são as médias ± D.P (n = 3); h°: Ângulo Hue; C: Cromo; WI: Índice de brancura; YI: Índice de amarelecimento

O índice de brancura (WI) também está dentro daquilo que se espera para os amidos, tendo em vista a sua coloração, com o valor próximo ao máximo. O índice de amarelecimento (YI) mostra que o amido tem uma pequena tendência para uma coloração amarela. Essa característica pode estar relacionada à coloração da variedade da mandioca estudada, cuja cor da polpa e casca pode influenciar na coloração final do amido (Ronko et al., 2020). Os valores para a* e b* sugerem um amido branco, haja vista que os mesmos encontram-se na região do cinza, e o L* está acima de 90. O valor de croma (C) evidencia uma menor intensidade da cor da amostra percebida pelo olho humano, pois a mesma tem uma luminosidade alta e um WI também elevado (Ronko et al., 2020).

4.2 Propriedades de pasta do amido fermentado e oxidado de mandioca

As propriedades de pasta do amido de mandioca fermentado e oxidado naturalmente estão apresentadas na Figura 1 e Tabela 4.

A fermentação seguida de oxidação pode ter promovido alterações nas propriedades de pasta do amido, pois, segundo Pourmohammadi et al. (2018), que avaliaram em seu estudo as propriedades do amido nativo de mandioca, o pico de viscosidade foi relativamente superior (7355 cP). Nesse mesmo trabalho, estes autores encontraram valores superiores para viscosidade final e inferiores para a quebra da viscosidade, 5038 e 4736 cP, respectivamente. Esses resultados podem estar relacionados ao processo fermentativo que, por consequência, apresenta maior temperatura durante a fermentação, em função da atividade dos microrganismos fermentativos, por um certo período de tempo, podendo promover uma alteração da parte amorfa da estrutura dos grânulos do amido (Atichokudomchai et al., 2002).

A temperatura de pasta pode ser atribuída à hidratação dos grânulos de amido. Muitos autores relatam uma temperatura de pasta inferior para amido nativo em relação às encontradas neste trabalho (Abera e Rakshit, 2003; Chisenga et al., 2019). Dessa forma, a elevação da temperatura de pasta se dá em virtude de alterações na estrutura do amido, promovida pela modificação enzimática durante o processo fermentativo e oxidativo, com formação de grânulo mais rígido e resistente à desintegração devido à melhoria da estabilidade granular, assim como maior interação amilose-amilose e amilose-amilopectina, resultando em uma maior energia necessária para desintegração (Anggreini et al., 2021).

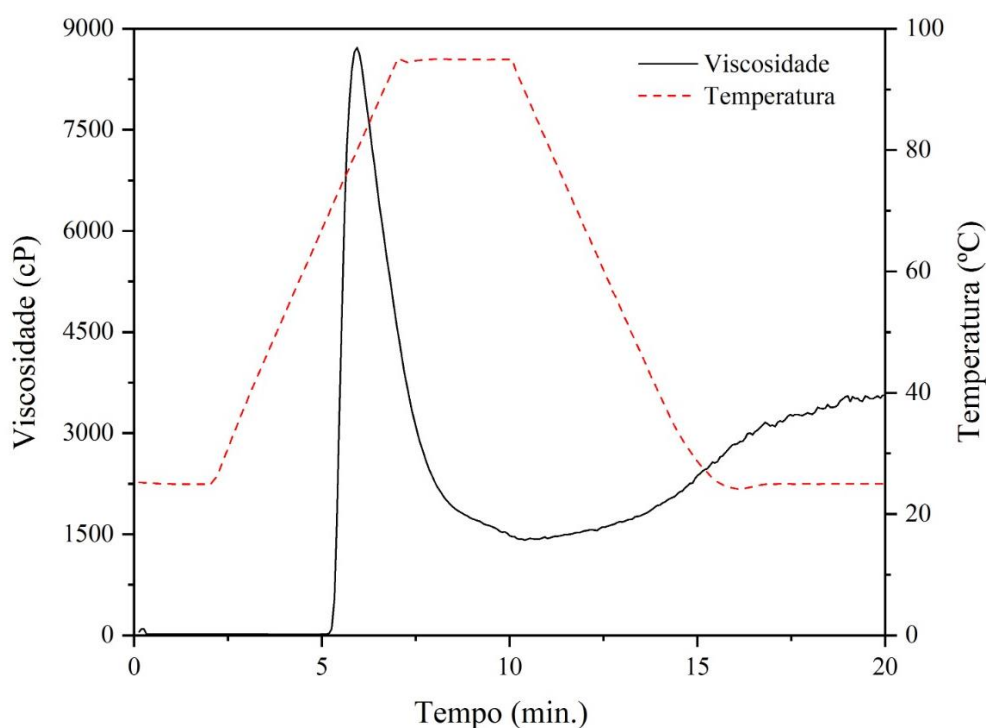


Figura 1. Perfil de viscosidade de amido de mandioca (*Manihot sculenta* Crantz.) fermentado e oxidado naturalmente, pelo *Rapid Visco Analyzer* – RVA.

Tabela 4. Propriedades de pasta de amido de mandioca (*Manihot sculenta* Crantz.) fermentado e oxidado naturalmente, por *Rapid Visco Analyzer* (RVA)

Parâmetros	Resultados
Pico de viscosidade (cP)	8717,5 ± 0,28
Viscosidade mínima (cP)	1693,0 ± 0,25
Quebra da viscosidade (cP)	7024,5 ± 0,29
Viscosidade final (cP)	3561,0 ± 1,39
Tendência a retrogradação (cP)	1868,0 ± 2,88
Tempo de pico (min)	5,9 ± 0,00
Temperatura de empastamento (°C)	69,2 ± 0,87

Os valores relatados são as médias ± D.P (n = 2).

Palavecino et al. (2020), estudando os efeitos da modificação de amido de sorgo e mandioca, verificaram uma temperatura de pasta semelhante à encontrada neste trabalho para o amido nativo e o acetilado, 69,5 e 69,8 °C, respectivamente.

A tendência à retrogradação, observada neste trabalho, foi relativamente maior que os resultados encontrados na literatura para o amido nativo de mandioca (Kazerski et al., 2022; Palavecino et al., 2020). Essa maior tendência à retrogradação pode estar associada ao elevado conteúdo de amilose do amido (Tabela 1), pois a amilose é a principal molécula envolvida na primeira etapa da retrogradação. Já a amilopectina retrograda de forma lenta, depois de alguns dias de armazenamento (Costas, 1998). Viana et al. (2022) relatam que essa maior tendência à retrogradação mostra que os grânulos têm menor capacidade de expansão, mas alta capacidade de retenção de expansão.

4.3 Caracterização da nanoemulsão de óleo essencial de capim-limão

O encapsulamento do óleo essencial de capim-limão, na emulsão óleo em água, pode ser verificado na Figura 2. Foi possível verificar que o óleo essencial foi, de fato, encapsulado dentro das gotículas, onde, na primeira camada, encontra-se o óleo de canola, e, no interior, as camadas de água e OE.

As gotículas (cápsulas) da emulsão apresentam tamanho médio inferior a 100 nm, não sendo possível a determinação exata com o aumento empregado na análise (100x). Essas eram observadas em alguns agrupamentos, conforme observa-se na Figura 2. Esse processo foi ainda mais dificultado em face das mesmas se movimentarem com muita facilidade na superfície da lâmina durante a análise. As maiores gotículas apresentam tamanho entre 1000 e 5000 nm. Ao observar a imagem (círculos vermelhos), é possível inferir que o emaranhado de gotículas menores, observados em quantidade elevada, é formado, em sua maioria, por microcápsulas menores que 100 nm, sendo, portanto, caracterizada como uma nanoemulsão (Figura 2).

Em virtude das barreiras de utilização do óleo essencial diretamente na solução de revestimento, como alta volatilidade, perda das propriedades antimicrobianas, má miscibilidade e separação das fases, o encapsulamento do óleo essencial em emulsões de óleo em água melhora a compatibilidade com diferentes matrizes comestíveis, o que também pode melhorar as propriedades funcionais dos O.E (Shen et al., 2021).

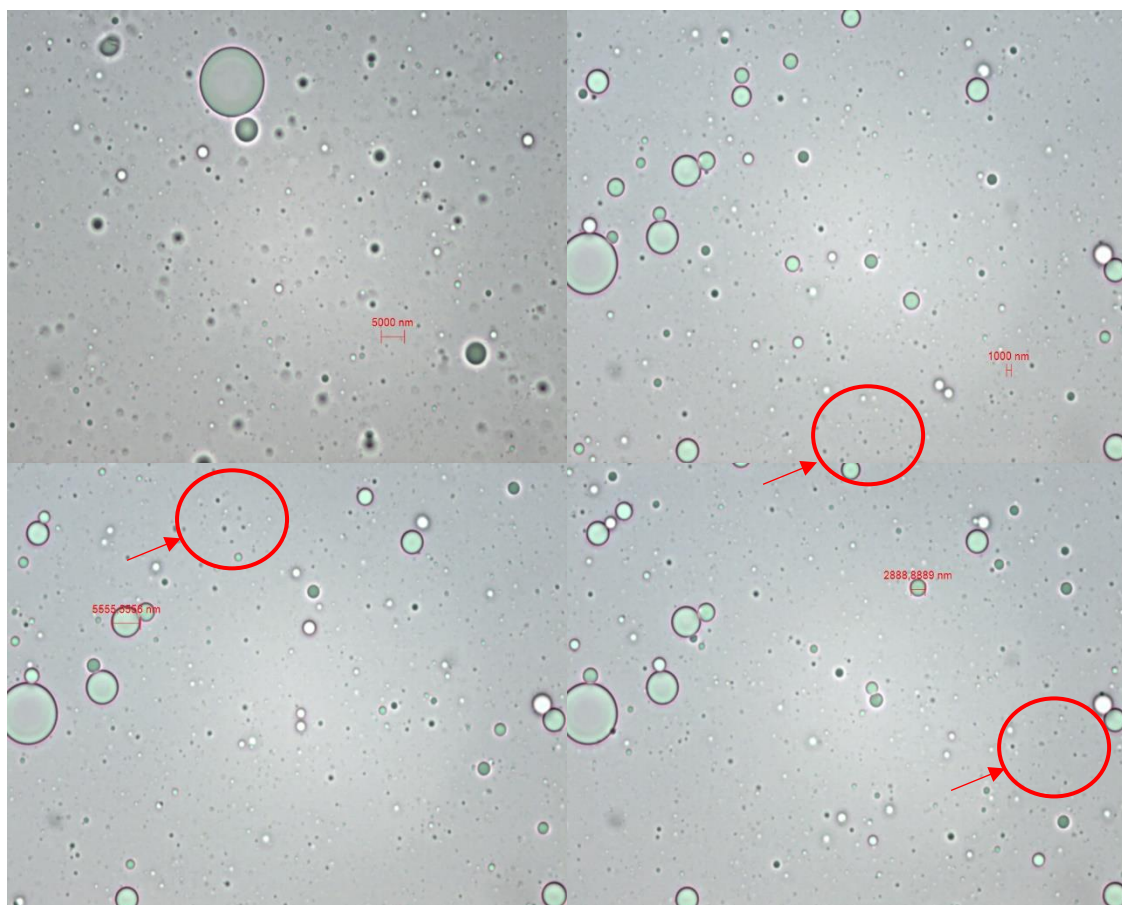


Figura 2. Nanoemulsão OA de óleo essencial de capim-limão (*Cymbopogon citratus* (D.C.) Stapf).

4.4 Parâmetros de qualidade pós-colheita de manga

4.4.1 Parâmetros físicos e químicos

Dentre os parâmetros físicos e químicos estudados em mangas ‘Palmer’ não revestidas e revestidas com diferentes concentrações de óleo essencial de capim-limão (O.E), observa-se que, considerando a firmeza de casca e polpa para o primeiro dia como 100%, as frutas sem cobertura e aquelas revestidas com as coberturas com 0,1% (R0,1) e 0,3 % (R0,3) de O.E foram aqueles que apresentaram maiores reduções, tanto para casca, quanto para polpa, no 7º e 15º dias de avaliação (Figura 3A e B).

As frutas com os revestimentos contendo 0,6% de O.E (R0,6) apresentaram uma menor redução na firmeza de polpa e casca, quando comparadas com as frutas com o revestimento com 0,9% de O.E (R0,9). No entanto, quando se observa os dias de avaliação, as frutas revestidas com R0,9 foram aquelas que tiveram as menores reduções de firmeza do 7º dia para o 15º dia de avaliação, principalmente para a casca (Figura 3A).

A perda de massa percentual (Figura 3C) foi relativamente maior (19,8 %) para as frutas sem revestimento. As frutas com os revestimentos R0,1 e R0,9 foram aquelas que apresentaram maiores reduções para este parâmetro, com valores percentuais de perda de massa de 6,25% e 7,27%, respectivamente, no 15º dia de avaliação (Figura 3C).

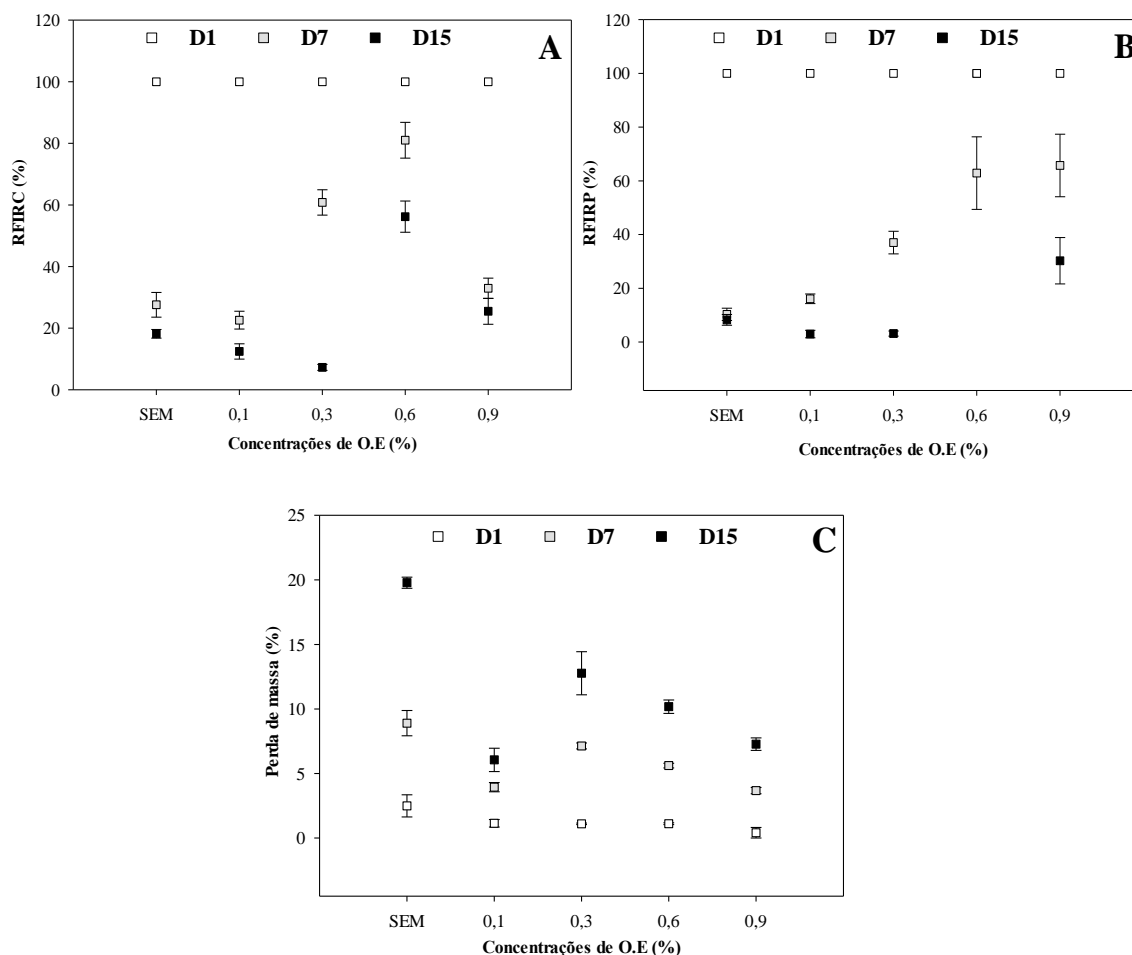


Figura 3. RFIRC – redução da firmeza da casca (A) e RFIRP - redução da firmeza da polpa (B) e perda de massa (C) de mangas ‘Palmer’ sem revestimento (SEM) e revestidas com diferentes concentrações de nanoemulsão de óleo essencial de capim-limão. Os dados apresentados são as médias de cada tratamento e a barra representa o erro padrão da média.

O pH das frutas analisadas variou tanto naquelas sem revestimento, quanto nas revestidas. A maior variação de pH foi observada nas frutas sem nenhum tipo de revestimento. Estas também foram as que apresentaram maior valor de pH ao final do tempo de armazenamento (3,97) (Figura 4A). As frutas com os revestimentos com R0,6

e R0,9 foram as que apresentaram menores variações de pH ao longo do tempo de armazenamento.

Durante o amadurecimento das frutas, as reações de síntese e degradação, promovidas pelo metabolismo do etileno e da respiração, promovem alterações nas suas propriedades físicas e químicas (Fagundes et al., 2015), dentre as quais, destaca-se a diminuição da acidez titulável, tendo em vista a degradação dos ácidos orgânicos, neste caso, o ácido cítrico. Neste trabalho, observou-se este comportamento, sendo as maiores reduções para as frutas sem revestimento e com o revestimento R0,3 (Figura 4B). Para sólidos solúveis (Figura 4C), houve um aumento significativo, principalmente para as frutas sem revestimento. As menores variações, ao longo do período de avaliação, foram para as frutas com os revestimentos R0,6 e R0,9 (37,23% e 29,23%, respectivamente).

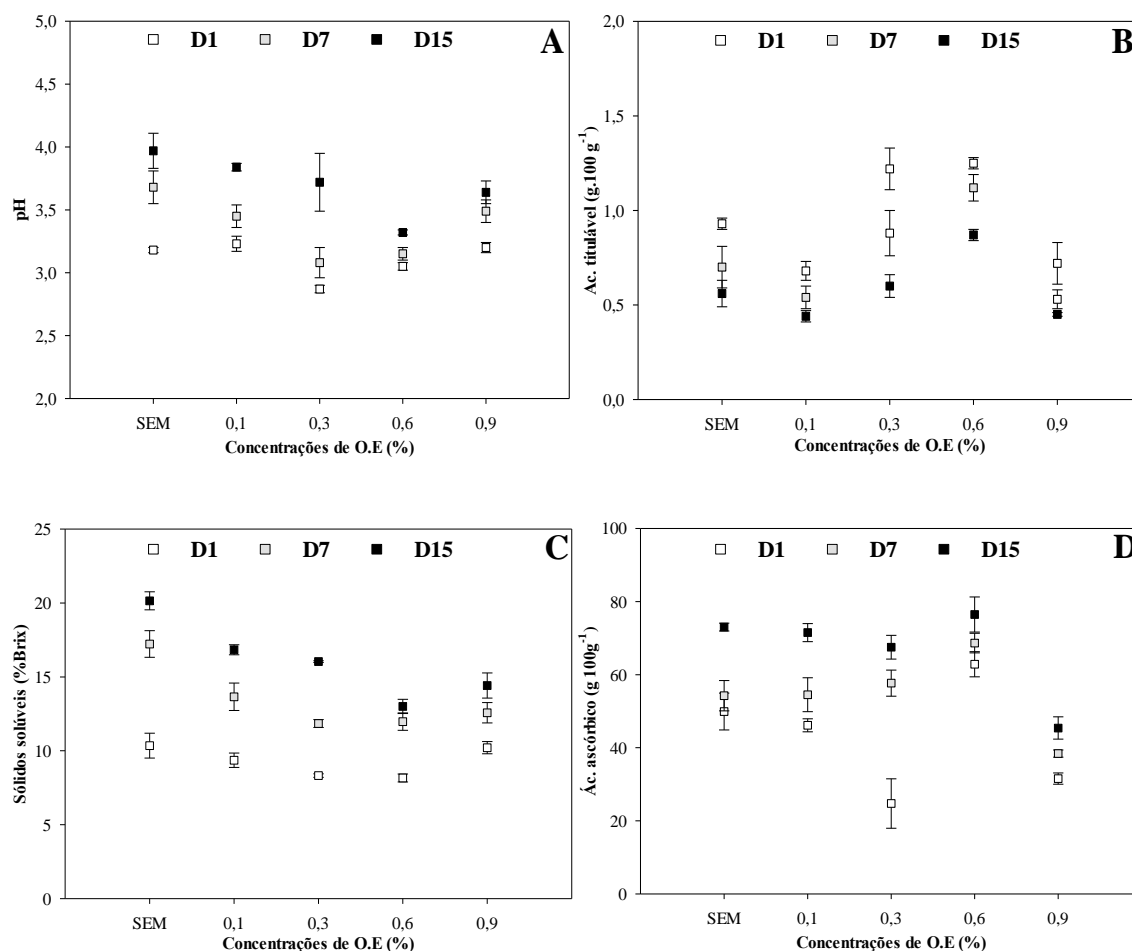


Figura 4. pH (A), acidez titulável (B), conteúdo de sólidos solúveis (C) e conteúdo de ácido ascórbico (D) de mangas ‘Palmer’ sem revestimento (SEM) e revestidas com diferentes concentrações de nanoemulsão de óleo essencial de capim-limão. Os dados

apresentados são as médias de cada tratamento e a barra representa o erro padrão da média.

O conteúdo de ácido ascórbico aumentou em todos os tratamentos, no entanto, houve uma redução neste aumento para as frutas revestidas com R0,9 (Figura 4D).

À medida que se prolonga o armazenamento, essas características vão se alterando, como aumento de algumas (perda de massa, SS, perda de firmeza da polpa e casca, pH) e diminuição de outras (acidez titulável), que é normal em função do metabolismo das frutas.

Os frutos revestidos com R0,9 foram aqueles que apresentaram menores taxas de perda de massa (redução de cerca de 83,7% e 63%) no primeiro e último dia de avaliação. Esses resultados demonstram que a interação das moléculas de água com a parte apolar da emulsão (hidrofobicidade) foi dificultada, formando, assim, uma barreira à umidade.

Esse efeito pode estar correlacionado diretamente com o conteúdo de nanoemulsão utilizada, e não apenas com a concentração do óleo essencial, já que o volume utilizado desta foi maior, em face que a determinação da concentração de óleo foi realizada com base na porcentagem em massa para que, assim, se garantisse a concentração real de O.E utilizado. Ainda em relação aos tratamentos, os frutos não revestidos no 15º dia de avaliação foram aqueles que apresentaram uma maior perda de massa e um maior conteúdo de ácido ascórbico e, conseqüentemente, uma menor firmeza de polpa e casca e acidez titulável (Figuras 3C e 4B, respectivamente). Vilvert et al. (2022) obtiveram resultados semelhantes para o tratamento sem utilização de embalagens para armazenamento de manga 'Palmer', no que se refere à perda de massa, SS, firmeza da polpa, acidez titulável.

A incorporação da emulsão, formada com o óleo de canola e o óleo essencial de capim-limão na matriz polimérica de amido, foi capaz de reduzir a afinidade com a água do revestimento e, com isso, reduzir a perda de massa pela transpiração durante o amadurecimento dos frutos. A perda de massa é uma das características marcantes nos frutos, durante o armazenamento, e está associada à perda de qualidade, pois uma elevada perda de massa está associada à má aparência da fruta que tende a murchar (Figura 5) e, assim, reduzir sua aceitação por parte do consumidor (Sousa et al., 2021).

Como as partículas da emulsão apresentam, em sua maioria, tamanhos menores que 100 nm, os resultados deste trabalho sugerem que as gotículas foram distribuídas mais uniformemente na matriz polimérica, o que dificultou a permeação da água e dos

gases. Ayomide et al. (2022) obtiveram resultados semelhantes para frutos de tomate revestidos com coberturas com nanoemulsão de óleo de canela. Resultados semelhantes também foram encontrados por Chu et al. (2020) para morangos.

A aplicação dos revestimentos, principalmente os frutos com R0,1 e R0,9, foram eficientes na manutenção da qualidade pós-colheita de manga, tendo em vista a redução da alteração dos parâmetros físicos e químicos estudados. Esse comportamento pode ser explicado pela redução da atividade respiratória e produção de etileno que, por consequência, reduz as transformações bioquímicas, como conversão de carboidratos em açúcares e utilização de ácidos orgânicos formados, que ocorrem durante o amadurecimento de frutas (Nandane et al., 2017; Rohani et al., 1997).



Figura 5. Frutos de manga ‘Palmer’ no primeiro e último dia de avaliação: (A) sem revestimento 1º dia; (B) revestimento com 0,9 % de O.E 1º dia; (C) sem revestimento 15º dia; (D) revestimento com 0,9 % de O.E 15º dia.

Sousa et al. (2021) relataram que os revestimentos alteram a atmosfera dentro da fruta e, com isso, há uma diminuição da pressão parcial de O_2 e da atividade respiratória. Devido à barreira formada sobre as frutas, o CO_2 , produto da respiração, se acumula no meio interno, atuando na desaceleração dos processos fisiológicos. O aumento da concentração de CO_2 e concentrações baixas de O_2 alteram o ciclo de síntese do etileno

por meio da ação da enzima ACCO (ácido 1-carboxílico-1-aminociclopropano oxidase), mantendo a fruta na fase pré-climática por mais tempo. Além disso, com a diminuição do metabolismo das frutas, há a diminuição do crescimento de microrganismos, como os fungos (Klangmuang e Sothornvit, 2016; Zimmer et al., 1999).

A redução da firmeza da polpa e da casca, ao longo do armazenamento, é um processo natural do amadurecimento de frutas, caracterizado, principalmente, pelas alterações que ocorrem na parede celular, promovidas pela ação de enzimas hidrolíticas, com a degradação de carboidratos, hidrólise de amido e a própria perda de massa (Sánchez Aldana et al., 2021). A utilização de embalagens com atmosfera modificada (ATM), utilizada neste trabalho, foi capaz de reduzir a perda de firmeza da polpa e da casca ao longo do armazenamento.

O maior aumento do conteúdo de SS nos frutos não revestidos está relacionado diretamente com a redução da firmeza da polpa e da casca, pois há aumento da degradação de amido em açúcares menores, principalmente sacarose, glicose e frutose, que conferem o sabor doce às frutas (Li et al., 2020).

O ambiente refrigerado, assim como a utilização do revestimento comestível, pode ter sido essencial para o aumento e/ou manutenção do conteúdo de ácido ascórbico dos frutos de manga, uma vez que esse tende a reduzir ao longo do armazenamento (Robles-Sánchez et al., 2013).

O aumento do conteúdo de ácido ascórbico nos frutos não revestidos e aqueles revestidos com os revestimentos R0,1, R0,3 e R0,6 pode ser explicado pelo efeito concentração, levando em consideração a elevada perda de massa. Com a elevada perda de massa nos frutos sem revestimento, principalmente no 15º dia de avaliação, observa-se uma maior concentração de ácido ascórbico (Figura 4D). Quando comparado com as frutas com o revestimento R 0,9, observa-se que o incremento no conteúdo de vitamina C foi menor, em consequência de uma menor perda de massa.

Esses resultados também se justificam, pois a alteração na concentração de O₂, no ambiente de armazenamento, e uso das ATM reduzem a perda de ácido ascórbico, que é favorecida pela respiração. Desse modo, o uso dos revestimentos, com efeito no retardo do amadurecimento, preservou o conteúdo de ácido ascórbico, com aumento menos acentuado (Oms-Oliu et al., 2008). O ácido ascórbico é fundamental na captura de elétrons e proteção das células contra as EROs (espécies reativas de oxigênio), que são danosas ao metabolismo, além de estar diretamente ligado à alta atividade antioxidante,

que está estritamente relacionada à proteção dos órgãos vegetais contra estresses (Akram et al., 2017).

O maior conteúdo de ácido ascórbico, nas frutas revestidas com o R0,1, R0,3 e R0,6, pode estar relacionando ao estresse oxidativo promovido pelo ambiente de armazenamento (a frio) sendo, assim, fundamental para evitar os mesmos durante o amadurecimento nessas condições, assim como pode também ser menos requerido, haja vista que a utilização de ATM pode auxiliar na redução de metabolismo oxidativo (Qu et al., 2022). Além disso, o ácido ascórbico também é importante cofator para várias enzimas no metabolismo vegetal e, dentre elas, destaca-se a ACCO, que participa da última etapa de conversão de ACC em etileno. Sua relação com o amadurecimento é bem elucidada e leva ao entendimento de que a redução do O₂, devido ao emprego de ambiente refrigerado, aliado à utilização de ATM, promoveu uma menor síntese de etileno e um maior acúmulo de vitamina C, corroborando os dados encontrados neste trabalho (Murphy et al., 2014). Chien et al. (2007) obtiveram resultados semelhantes aos deste trabalho, com aumento do conteúdo de ácido ascórbico de manga fatiada, utilizando um revestimento à base de quitosana.

Com o objetivo de encontrar uma correlação entre os tratamentos e os parâmetros físicos e químicos avaliados durante o armazenamento de mangas ‘Palmer’, utilizou-se da técnica de Análise de Componentes Principais (ACP). Através do critério de Kaiser dos fatores interpretáveis e da observação do *ScreePlot*, foi possível determinar que são necessários dois componentes principais para explicar a variabilidade dos dados, como pode ser observado na Tabela 5.

Todas as características, pH, acidez titulável, sólidos solúveis (SS), ácido ascórbico, firmeza da polpa, firmeza da casca e perda de massa, correlacionaram significativamente ($p < 0,05$) com o Componente Principal 1 (CP1). Acidez titulável, ácido ascórbico e perda de massa correlacionaram-se significativamente ($p < 0,05$) com o Componente Principal 2 (CP2).

Tabela 5. Coeficientes de Correlação de Pearson para os parâmetros físico-químicos de manga var. Palmer, para os componentes principais (CPs) 1 e 2

	pH	Acidez Titulável	SS	Ác. Ascórbico	Firmeza da polpa	Firmeza da casca	Perda de massa
CP1	0,911 *	-0,772 *	0,926 *	0,469 *	-0,891 *	-0,895 *	0,784 *
CP2	-0,057 ^{ns}	0,504 *	0,147 ^{ns}	0,790 *	0,220 ^{ns}	0,242 ^{ns}	0,442 *

n = 60; *: Significativo ($p < 0,05$); ^{ns}: Não significativo ($p > 0,05$); SS: Sólidos solúveis.

Os autovalores da matriz de covariância demonstram que os dois primeiros componentes principais (CPs) representaram 84,56% da variância total no conjunto de dados de pH, acidez titulável, sólidos solúveis (SS), ácido ascórbico, firmeza da polpa, firmeza da casca e perda de massa (Figura 6). CP1 explicou 67,33 % da variância no conjunto de dados, enquanto o CP2 explicou 17,23 %. De acordo com a matriz de correlação de Pearson (Tabela 5) e de acordo com o gráfico de carga fatorial (Figura 6), CP1 foi correlacionado positivamente com a perda de massa, sólidos solúveis e pH. Por outro lado, acidez titulável e firmeza da polpa e da casca foram correlacionadas negativamente com CP1. O CP2 foi correlacionado positivamente com ácido ascórbico. Acidez titulável (quadrante negativo) e perda de massa (quadrante positivo) apresentaram correlação significativa com o CP2, no entanto, essa correlação pode ser considerada mais fraca que as demais.

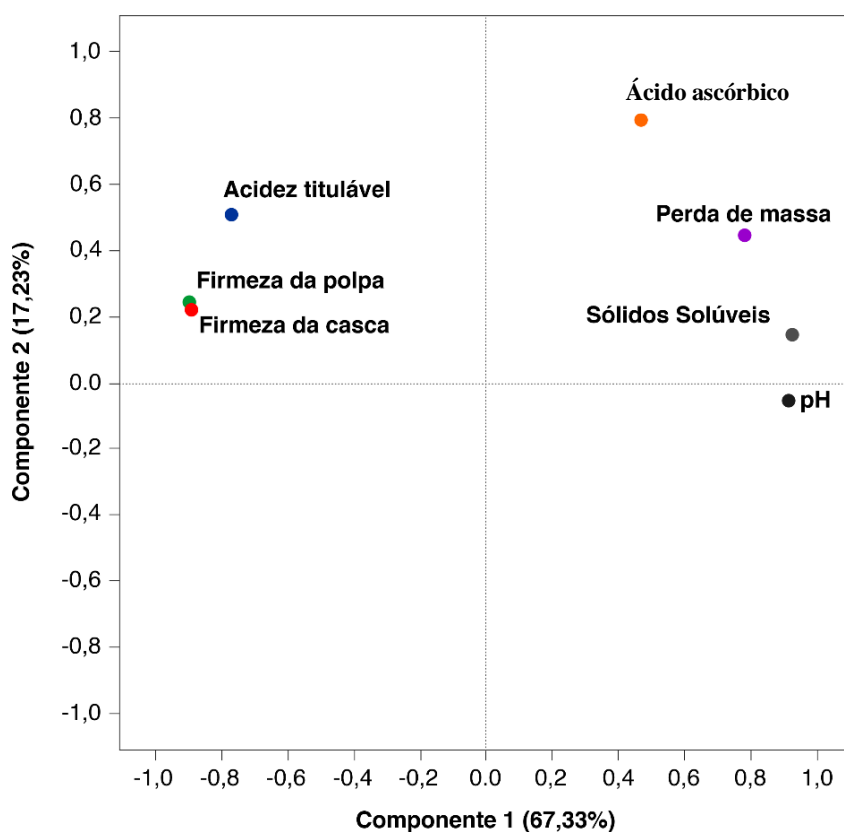


Figura 6. Análise de componentes principais (ACP): gráfico de carga fatorial de variáveis físicas e químicas de manga ‘Palmer’ ao longo do Componente Principal 1 e 2 (CP1 e CP2).

Como discutido anteriormente, a firmeza da polpa e da casca diminui à medida que se prolonga o tempo de armazenamento, mesmo com os frutos submetidos à refrigeração. O mesmo acontece com a acidez titulável.

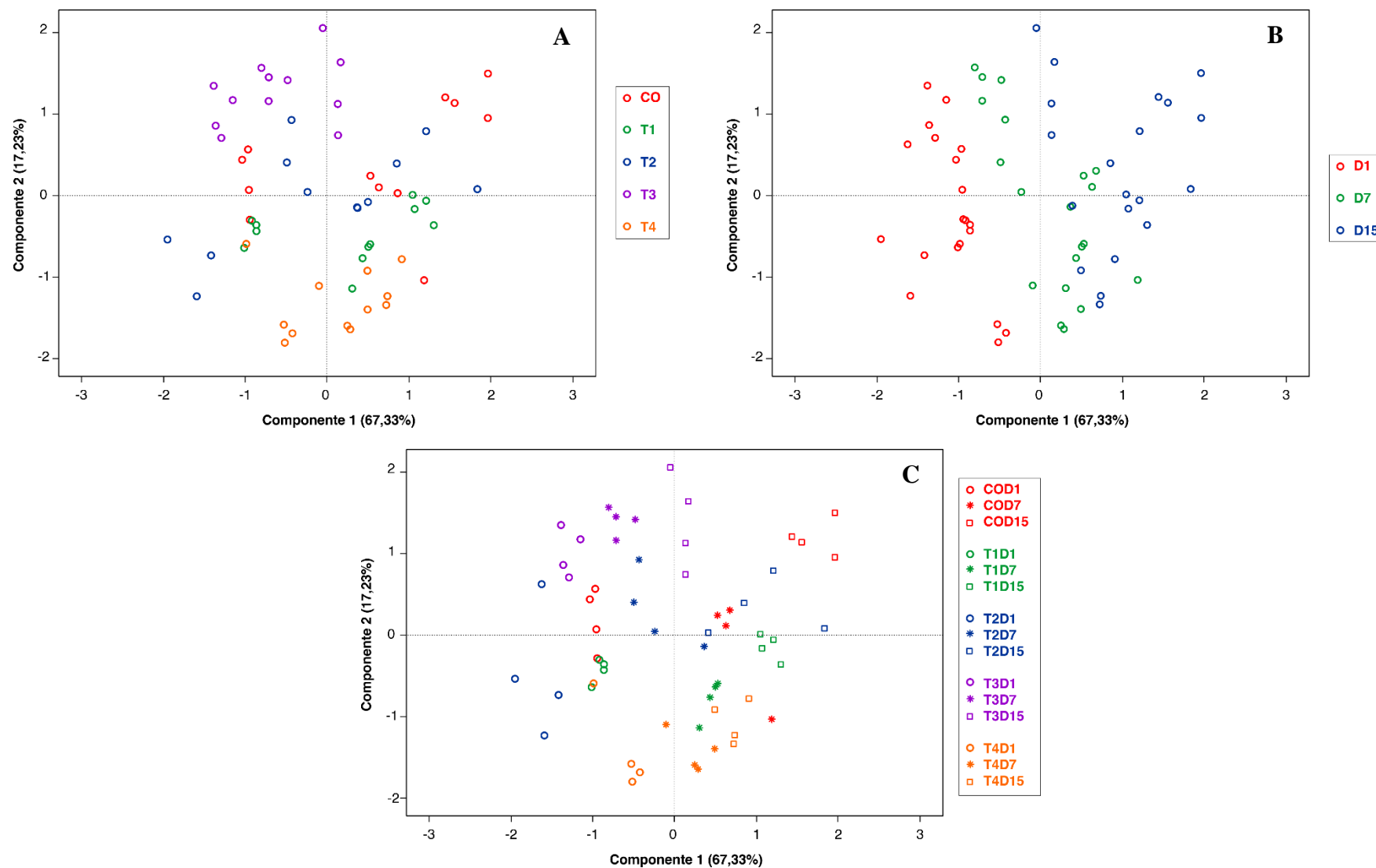


Figura 7. Análise de componentes principais (ACP): distribuição das amostras em gráficos de dispersão para o tipo de revestimento (A); época de avaliação (B); e a interação (tratamentos) (C) de variáveis físico-químicas de manga ‘Palmer’ ao longo do Componente Principal 1 e 2 (CP1 e CP2).

A perda de massa, o teor de sólidos solúveis, ácido ascórbico e pH aumentam ao longo do armazenamento, devido ao processo de amadurecimento. Nesse contexto, é possível observar que, à medida que se aumenta a perda de massa, a firmeza da polpa e da casca diminui, mesmo sendo propriedades que não se correlacionam (Figura 6). O mesmo acontece em relação ao pH e acidez titulável. Os eixos negativo e positivo do CPI indicam esse comportamento.

Quando comparados os tipos de revestimento, observou-se que as frutas sem revestimento e com o R0,3 se correlacionaram mais com a perda de massa e vitamina C (Figura 7A). Ainda em relação ao tipo de revestimento, observa-se que as frutas revestidas com o R0,9 são aquelas que se concentram do lado oposto (quadrante negativo CP2) em relação ao ácido ascórbico, evidenciando que o mesmo foi capaz de reduzir o aumento do seu teor, com conseqüente retardamento do amadurecimento.

Observa-se que, no 15º dia de avaliação, ocorreu uma maior dispersão dos dados, principalmente para perda de massa, sólidos solúveis e ácido ascórbico, localizados no quadrante negativo do CP2. Esse comportamento demonstra que alguns tratamentos retardam o amadurecimento (Figura 7B). No entanto, de acordo com a dispersão das amostras (Figura 7B), observa-se um padrão de amadurecimento ao longo do tempo de armazenamento, principalmente pelo agrupamento dos dados ao longo dos dias, como, por exemplo, menores perdas de firmeza de polpa e casca no primeiro dia de avaliação, assim como menor perda de massa, de SS, pH, maior acidez titulável.

Ao analisar a interação dos fatores (revestimentos x dia de avaliação), foi possível observar que, para os parâmetros físico e químicos analisados, os tratamentos T1D7, T1D15, T4D1, T4D7 e T4D15 foram aqueles que apresentaram melhores resultados para a variável perda de massa (redução de cerca de 55,7%, 69,0%, 83,7%, 58,7% e 63%, respectivamente), firmeza da polpa e casca, vitamina C, pH, SS e acidez titulável (Figura 7C) ao longo do armazenamento, sugerindo, portanto, um retardo no amadurecimento e aumento da vida útil pós-colheita.

4.4.2 Conteúdo de clorofilas totais, carotenoides e cor da casca

O conteúdo de clorofilas totais e carotenoides variou ao longo do tempo de armazenamento para as frutas revestidas e sem revestimento (Figura 8A). As frutas sem revestimento foram aquelas que apresentaram uma maior redução no conteúdo de clorofilas totais, principalmente para o 15º dia de avaliação. As frutas revestidas com o R0,9 foram aquelas que apresentaram uma menor perda do conteúdo desses pigmentos

na casca, sendo observado uma menor redução deste índice, principalmente para o 15º dia de avaliação.

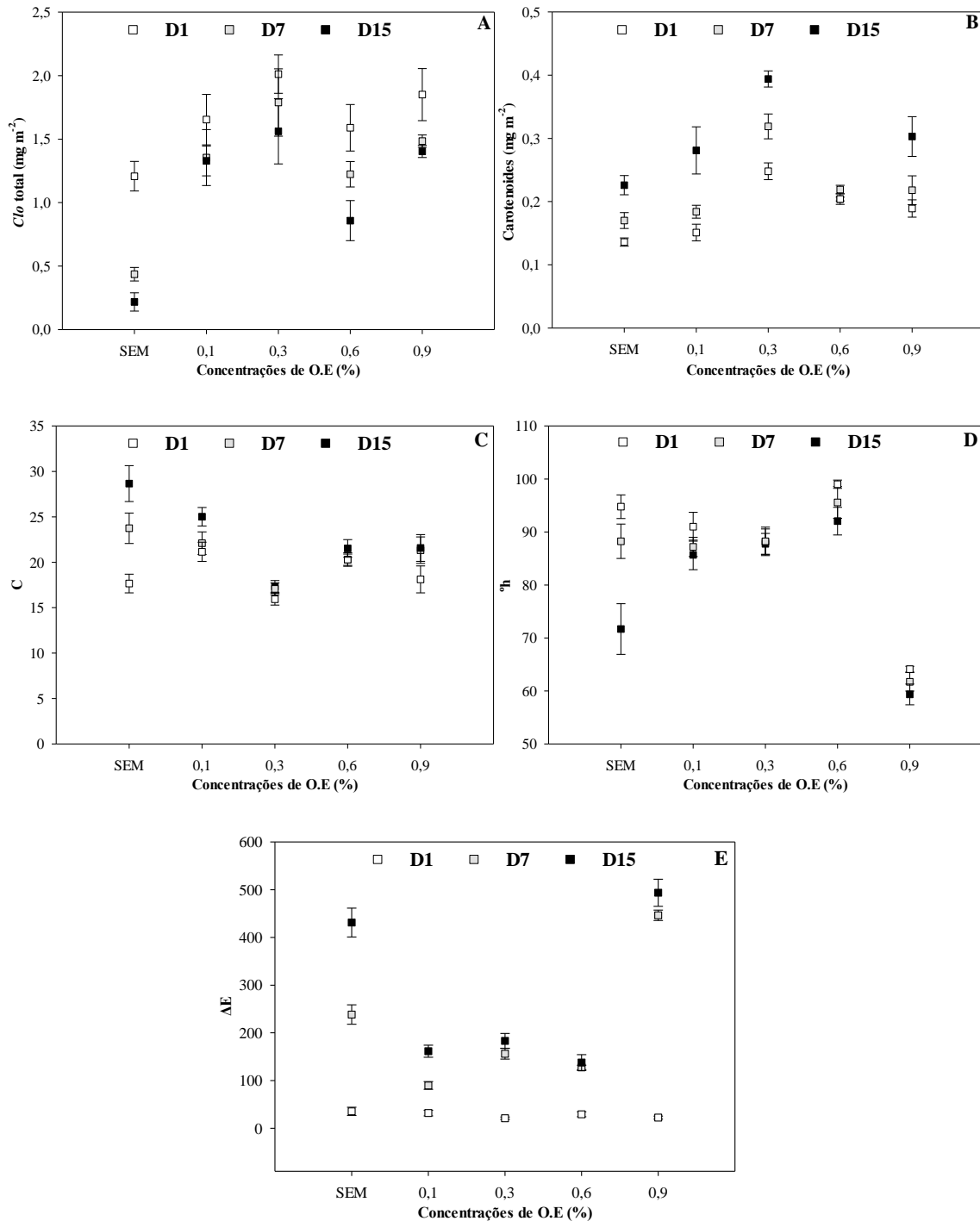


Figura 8. Clorofilas totais (A), carotenoides (B), croma - C (C), ângulo Hue - °h (D), diferença de cor total - ΔE (E) de mangas ‘Palmer’ sem revestimento (SEM) e revestidas com diferentes concentrações de nanoemulsão de óleo essencial de capim-limão. Os dados apresentados são as médias de cada tratamento e a barra representa o erro padrão da média.

No tratamento controle, sem o uso de revestimentos, as frutas apresentaram uma redução de cerca de 82% do conteúdo de clorofilas totais, entre o primeiro e o último dia de avaliação, enquanto que o conteúdo de carotenoides apresentou um incremento de cerca de 39,75%. Já para as frutas revestidas com o revestimento R0,9, a redução do conteúdo de clorofilas foi de apenas 24,15%, e o aumento de carotenoides de 37,8% (Figura 8B). Essa diferença pode ser observada com análise da aparência dos frutos (Figura 5).

A cromaticidade (C) aumentou significativamente para as frutas sem revestimento, principalmente entre o 1º e o 7º dia de avaliação. As frutas cobertas com o R0,3, R0,6 e R0,9 foram aquelas em quem o C apresentou uma menor variação (Figura 8C).

O ângulo Hue (°h), que diminui ao longo do amadurecimento de mangas, apresentou uma menor variação para as frutas revestidas com o R0,9, nos dias de avaliação (Figura 8D), enquanto que, para as frutas sem revestimentos, observou-se uma maior variação no ângulo de tonalidade, evidenciando, assim, que as frutas do tratamento com a maior concentração de óleo essencial de capim-limão (R0,9) apresentaram uma redução no amadurecimento.

Quanto à variação de cor total (ΔE), as frutas com o R0,9 apresentaram uma maior variação, com um aumento considerável, principalmente entre o 1º e o 7º dia de avaliação (Figura 8E). Esse efeito pode estar relacionado ao maior brilho conferido pela película formada, levando em consideração a maior concentração de emulsão utilizada (Agarwal et al., 2020).

A cor é um dos atributos de qualidade mais importantes de frutas e vegetais frescos, pois é a sua aparência visual que os consumidores utilizam, na maioria das vezes, para definir a escolha (Pathare et al., 2013). O croma representa a saturação, que está diretamente ligada à concentração do elemento corante e é considerado um atributo quantitativo de intensidade. Dessa forma, quanto maior o croma, maior a saturação de cores que são perceptíveis aos olhos humanos. No caso da manga ‘Palmer’, representa uma mudança na cor da casca, que vai do verde fosco ao amarelo avermelhando intenso (Nunes et al., 2007).

O ângulo Hue (h°) ou ângulo de tonalidade é considerado o atributo qualitativo da cor, e é determinado de acordo como as cores foram tradicionalmente definidas, como avermelhadas, esverdeadas, sendo utilizado para definir a diferença de uma determinada

cor em relação à cor cinza com a mesma leveza (Pathare et al., 2013). O h° para os frutos não revestidos foi cerca de 32,2% menor entre o primeiro e o último tempo de avaliação. Já os frutos revestidos (R0,1 e R0,9) apresentaram um menor decréscimo de h° , demonstrando que não houve elevada degradação do conteúdo de clorofilas da casca. Para o tratamento sem revestimento, o ângulo de tonalidade variou na faixa do amarelo ao verde azulado.

A diferença de cor total do tratamento controle variou entre os dias de avaliação. A diferença de cor total do primeiro para o segundo tempo de avaliação foi relativamente elevada para todos os tratamentos. No entanto, do segundo para o terceiro tempo de avaliação, esse aumento foi menos acentuado.

Foi possível observar, ainda, que, para o tratamento controle sem revestimento, esse aumento na diferença de cor total foi maior que nos tratamentos com utilização dos revestimentos comestíveis, sendo os valores de 40,60%, 39,55%, 8,05%, 6,49% e 9,57%, para as frutas sem revestimentos e com revestimentos com concentrações de R0,1, R0,3, R0,6 e R0,9, respectivamente.

Passafiume et al. (2020) relataram que esse comportamento pode estar associado à presença dos polissacarídeos e agentes antioxidantes nos revestimentos, presentes no óleo essencial utilizado neste estudo, que desaceleram os processos de maturação. Kumar et al. (2021) verificaram um maior aumento, assim como neste trabalho, com o tempo de duração, principalmente nos frutos sem revestimento. De acordo com Sharma et al. (2019), o revestimento comestível pode reduzir a diferença de cor de frutas e vegetais, durante o período de armazenamento, devido ao controle do escurecimento enzimático e retardamento das transformações na pigmentação.

Utilizando a ACP, dois componentes principais foram necessários para explicar a variabilidade dos dados dos parâmetros de cor e teor de pigmentos da casca de manga 'Palmer'. O conteúdo de clorofila total, Cromo (C), ângulo Hue (h°) e diferença de cor total (ΔE) apresentaram uma correlação significativa ($p < 0,05$) com o CP1, enquanto que carotenoides correlacionaram significativamente ($p < 0,05$) com o CP2 (Tabela 6) e essa correlação pode ser considerada forte, pois seu valor encontra-se acima de 0,6.

Tabela 6. Coeficientes de Correlação de Pearson para os parâmetros conteúdo de clorofilas totais, carotenoides e cor da casca de manga var. Palmer, para os componentes principais CP1 e CP2

	Clorofila total	Carotenoides	C	h°	ΔE
CP1	-0,657 *	-0,084 ^{ns}	0,676 *	-0,624 *	0,817 *
CP2	0,496 *	0,706 *	-0,515 *	-0,583 *	0,452 *

n = 60; *: Significativo ($p < 0,05$); ^{ns}: Não significativo ($p > 0,05$); C: Croma; h°: Ângulo Hue; ΔE : Diferença de cor total.

Os componentes principais CP1 e CP2 representaram 70,11% da variância total do conjunto de dados de cor e pigmentos da casca (Figura 9). CP1 explicou 39,05%, correlacionando-se positivamente com ΔE e croma da casca, e negativamente com clorofila e h°. O CP2 explicou 31,06% da variância no conjunto de dados, correlacionando-se positivamente com carotenoides e negativamente com h° (Figura 9).

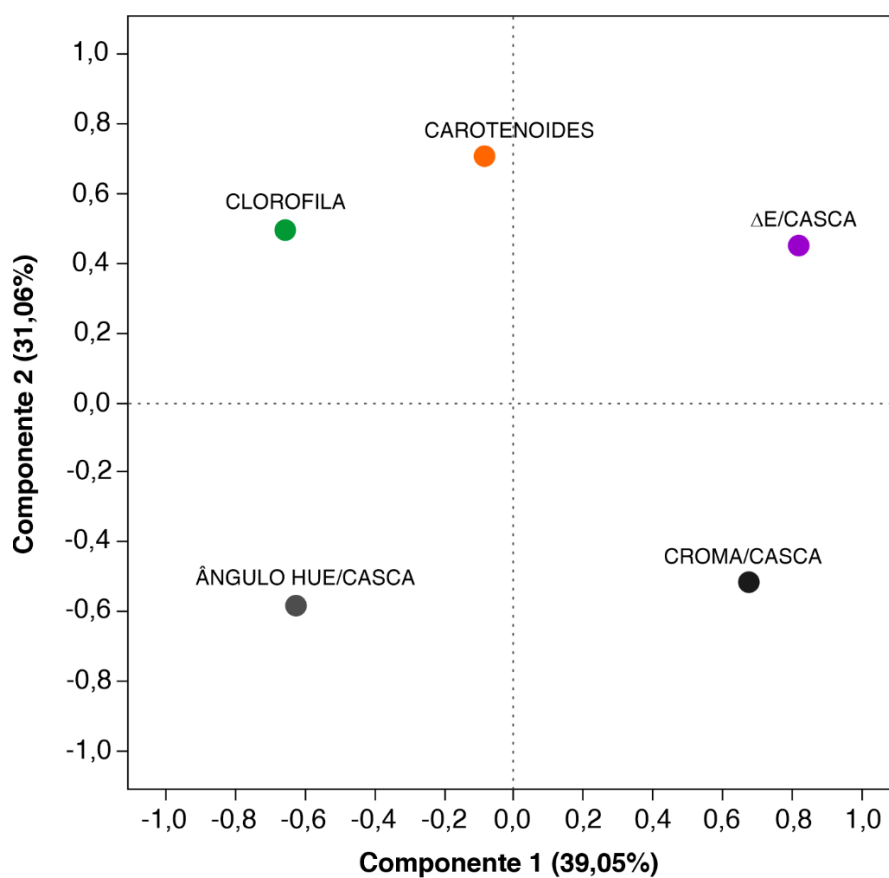


Figura 9. Análise de componentes principais (ACP): gráfico de carga fatorial de variáveis de cor, conteúdo de clorofila total e carotenoides de manga ‘Palmer’ ao longo do componente principal 1 e 2 (CP1 e CP2).

A cromaticidade encontra-se em lado oposto (quadrante negativo inferior direito) ao conteúdo de clorofilas totais (quadrante positivo superior esquerdo) (Figura 9). Esses dados sugerem que houve uma degradação de clorofilas ao longo do tempo de armazenamento e, com isso, uma alteração no croma.

Quando comparados os tipos de revestimento, R0,9 foi o que se agrupou do lado oposto (quadrante superior direito) às variáveis C e h° (Figura 10A). Isso reflete

diretamente na manutenção do conteúdo de clorofilas totais e, portanto, na manutenção da cor da casca, como consequente retardamento do amadurecimento, bem como do metabolismo da fruta.

As frutas sem revestimento (CO) encontram-se no quadrante inferior esquerdo e direito do gráfico de dispersão, demonstrando maiores alterações do C e h°, em relação aos frutos de R0,9 (Figura 10A).

Esses resultados indicam, portanto, maiores transformações e alterações dos pigmentos da casca. Na Figura 10C, observa-se que, de fato, houve efeito dos revestimentos utilizados ao longo do tempo de armazenamento na manutenção dos pigmentos da casca, sendo estes mais próximos aos valores de clorofila e carotenoides.

Segundo Formiga et al. (2019), isso ocorre devido à atmosfera modificada formada na casca da fruta que recebeu o revestimento, que modifica o ambiente interno deste, dado o aumento da concentração de CO₂ no interior do fruto e redução do consumo de O₂, com consequente redução dos processos enzimáticos, em função da redução de síntese e ação do etileno e atividade respiratória. Tran et al. (2015) relataram que, em ambientes com baixa concentração de O₂, a maturação dos frutos é retardada devido à inibição da expressão de genes relacionados à senescência. Desse modo, o metabolismo oxidativo é minimizado e, conseqüentemente, a degradação de clorofilas e carotenoides. Entretanto, neste trabalho, não se pode mensurar a alteração da concentração de O₂, em função da utilização de ATM.

4.4.3 Cor da casca e polpa

A polpa e a casca de manga sofrem variações durante o armazenamento em virtude do amadurecimento (Figuras 8 e 11). Mangas ‘Palmer’ apresentaram, neste estudo, variações quanto ao ângulo de tonalidade da polpa (h°). Em geral, a média dos frutos revestidos e não revestidos, no primeiro dia de avaliação encontravam-se dentro da faixa do amarelo (96,3° a 95,61°, respectivamente), com os valores de b variando entre 38 e 58, respectivamente (Figura 11B).

À medida que se prolongou o armazenamento, os valores de b tenderam a um aumento, enquanto os valores de a variaram positivamente e negativamente.

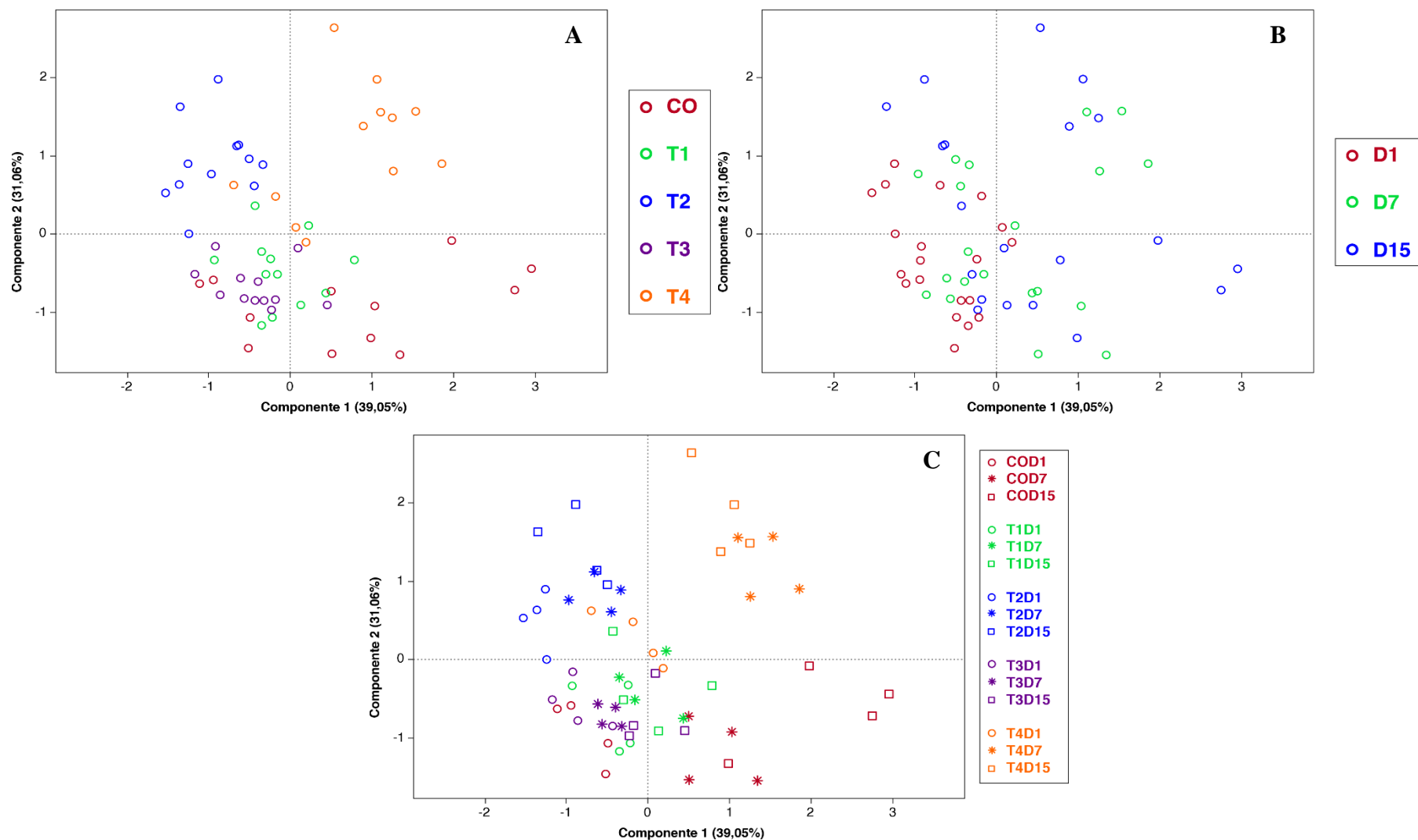


Figura 10. Análise de componentes principais (ACP): distribuição das amostras em gráficos de dispersão para o tipo de revestimento (A); época de avaliação (B); e a interação (tratamentos) (C) de variáveis de cor, conteúdo de clorofila total e carotenoides de manga ‘Palmer’ ao longo do Componente Principal 1 e 2 (CP1 e CP2).

O h° , ao longo do armazenamento, diminui, principalmente para as frutas sem revestimentos, sendo observado um decréscimo de cerca de 10%. Já para as frutas revestidas, principalmente com R0,9, o decréscimo do ângulo de tonalidade foi de apenas 1,9% do primeiro para o último dia de avaliação (Figura 11B).

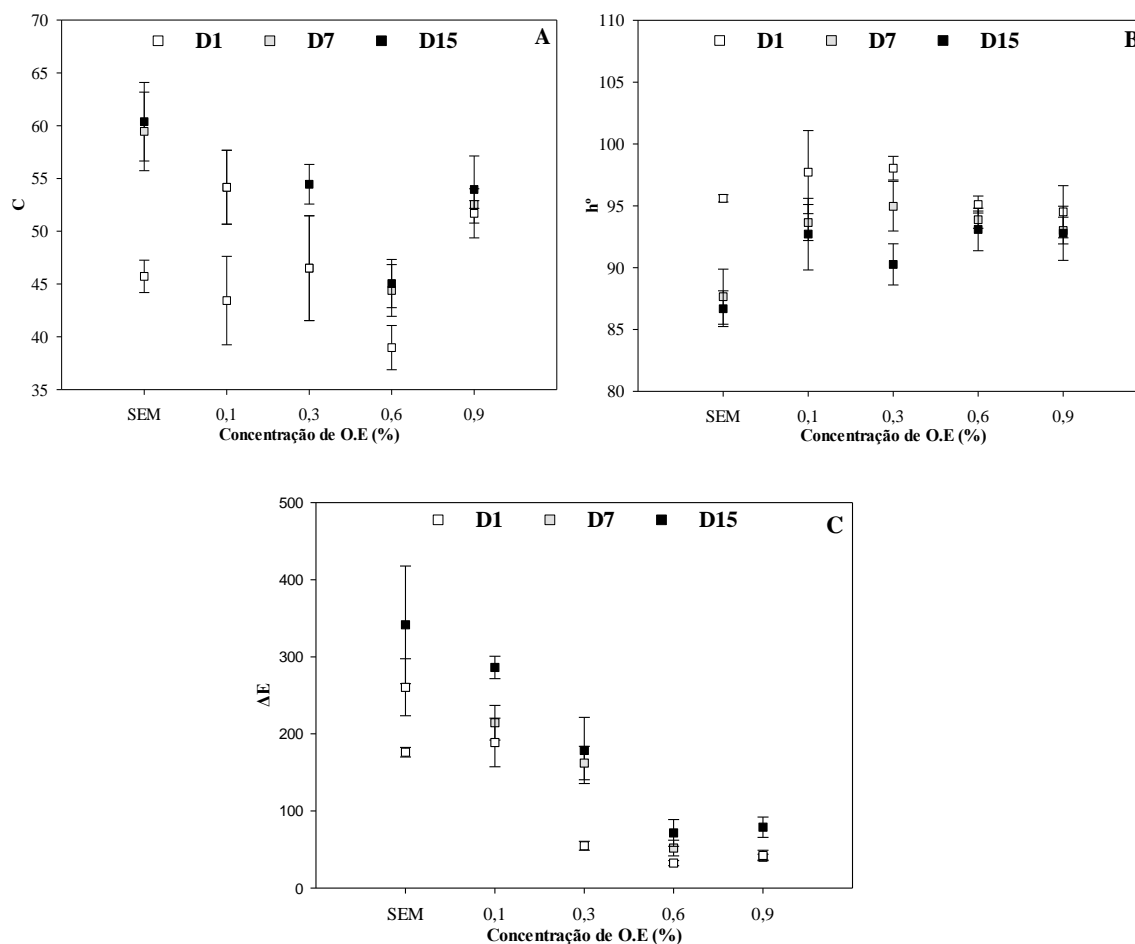


Figura 11. Cromo - C (A), ângulo Hue – h° (B), diferença de cor total - ΔE (C), de mangas ‘Palmer’ sem revestimento (SEM) e revestidas com diferentes concentrações de nanoemulsão de óleo essencial de capim-limão. Os dados apresentados são as médias de cada tratamento e a barra representa o erro padrão da média.

Dessa forma, considera-se que, durante o amadurecimento dos frutos, com a cor da polpa passando de um amarelo mais claro (maior conteúdo de clorofila) para um amarelo mais intenso (quase alaranjado), o h° tende ao decréscimo, e isso foi mais evidente nos frutos do tratamento controle (CO). Assim, é possível inferir que o uso dos revestimentos foi essencial no retardamento do amadurecimento e manutenção da qualidade sensorial (visual) de mangas ao longo do armazenamento refrigerado.

Hernández-Guerrero et al. (2020) obtiveram resultados semelhantes aos deste trabalho, estudando mangas ‘Ataulfo’ com utilização de ATM à base de amido.

A coloração da casca e polpa de frutas e vegetais está diretamente relacionada aos pigmentos naturais que conferem às mesmas as variações de tonalidade e cor particulares (Martins e Silva, 2002). Dessa maneira, os pigmentos nos frutos sofrem transformações direcionadas e específicas durante o amadurecimento e, portanto, seu conteúdo e composição representam um marcador visual da maturação da fruta, das condições de amadurecimento e qualidade.

Assim, compreender a composição dos pigmentos, bem como suas alterações metabólicas nas frutas, antes e após a colheita, é importante para otimizar as condições de armazenamento e prolongar a vida pós-colheita (Solovchenko et al., 2019).

Inúmeros fatores podem afetar o conteúdo de clorofilas da casca e da polpa. Dentre esses fatores, pode se citar a temperatura e tratamentos pós-colheita, como a utilização de embalagens (Shin e Bhowmik, 1995; Aghofack-Nguemezi et al., 2019). As alterações do conteúdo destes se dá por meio de transformações químicas e bioquímicas, com a formação da feofitina (perda de íons de magnésio do anel de porfirina). Além disso, processos físicos também podem afetar o metabolismo das clorofilas (Anjani et al., 2021). O oxigênio é importante no processo de degradação de clorofilas. No entanto, como neste trabalho, reduziu-se a concentração de oxigênio com a utilização do revestimento comestível, aliado, ainda, à utilização do ambiente refrigerado. As frutas tratadas com a película de amido e emulsão de óleo essencial de capim-limão sofreram menores alterações nos parâmetros de cor avaliados, evidenciando, portanto, o papel importante dos tratamentos pós-colheita na qualidade das frutas (Chi et al., 2019).

O ângulo de tonalidade da polpa dos frutos de manga ‘Palmer’ diminuiu ao longo do armazenamento. Essa tendência pode ser devido ao fato de que as amostras de manga continham muitos pigmentos amarelos, e isso está diretamente relacionado à maior síntese de β -caroteno, principal carotenoide presente nos frutos de manga (Sousa et al., 2021). No entanto, conforme já mencionado, os tratamentos com utilização das coberturas biodegradáveis retardaram essas transformações químicas e bioquímicas que remetem diretamente às características sensoriais, e, assim, obteve-se frutos com qualidade superior ao final do armazenamento.

A maior variação de cor total, tanto na polpa, quanto na casca, pode estar relacionada com as modificações inerentes à biossíntese dos carotenoides. Nas frutas não revestidas, aquelas que obtiveram maiores conteúdos desses pigmentos ao longo do

armazenamento, o aumento se justifica, além da coloração final padrão, característica das frutas maduras (amarelo alaranjado), visto que esses pigmentos também contribuem significativamente para o sabor e a qualidade nutricional (Solovchenko et al., 2019).

Na literatura, é relatado que o etileno está diretamente relacionado aos genes carotenogênicos, principalmente, no aumento dos teores de β -caroteno (Ma et al., 2015; Ma et al., 2018). Com a utilização das embalagens de atmosfera modificada, ocorre a redução da permeação dos principais gases relacionados com o amadurecimento, com uma possível diminuição do O_2 interno, assim como um aumento do CO_2 , e consequente diminuição da síntese e atividade do etileno, que é dependente de oxigênio. Com isso, observou-se maior conteúdo de carotenoides nas frutas não revestidas, diferentemente das frutas revestidas, com variações mais acentuadas nas características visuais (coloração das frutas CO) da casca e da polpa.

Solovchenko et al. (2019) relataram que reduzir a temperatura, o tempo de processamento, a presença de oxigênio e incorporar antioxidantes podem diminuir bastante as perdas de carotenoides, corroborando os dados obtidos no presente estudo.

A partir da matriz de correlação de Pearson, é possível observar que croma (C), h° e diferença de cor total (ΔE) foram significativamente ($p < 0,05$) correlacionados com o Componente Principal 1 (CP1). Com o Componente Principal 2 (CP2), apenas C não apresentou correlação significativa ($p < 0,05$) (Tabela 7).

Tabela 7. Coeficientes de Correlação de Pearson para os parâmetros físicos (cor da casca e polpa) de manga var. Palmer, para os componentes principais (CPs) 1 e 2

	Casca			Polpa		
	C	h°	ΔE	C	h°	ΔE
CP1	0.490 *	-0.591 *	0.731 *	0.818 *	-0.784 *	0.274 *
CP2	0.177 ^{ns}	0.682 *	-0.489 *	0.211 ^{ns}	-0.366 *	0.780 *

n = 60; *: Significativo ($p < 0,05$); ^{ns}: Não significativo ($p > 0,05$); C: Croma; h° : Ângulo Hue; ΔE : Diferença de cor total.

Ao analisar a matriz de covariância, observa-se que os dois primeiros componentes principais (CPs) representaram 66,73% da variância total desse conjunto de dados (Figura 8). CP1 explicou 41,37%, enquanto o CP2 explicou 25,36% da variância no conjunto de dados. O CP1 correlacionou-se positivamente com C da polpa e casca (mais fraco), e ΔE da casca. Já CP2 correlacionou-se positivamente com ΔE da polpa e h° da casca. De acordo com a matriz de correlação e o gráfico de autovalores, h° da polpa foi correlacionado negativamente como CP1 (Figura 12).

Os frutos não revestidos se correlacionaram mais com a diferença de cor total da polpa, C da polpa e casca (Figura 13A). Logo, é possível observar que, nos frutos não revestidos, o metabolismo fisiológico do amadurecimento não foi retardado o suficiente durante o período de armazenamento, evidenciando, portanto, as mudanças nessas características físicas, como uma maior diferença de cor total da polpa, menor h° e maior C da polpa e casca. Os frutos revestidos com R0,9 foram aqueles que mais se distanciaram dessas características, permanecendo no lado oposto (quadrante inferior direito) no gráfico de distribuição da dispersão das amostras ao longo dos CPs (Figura 13A).

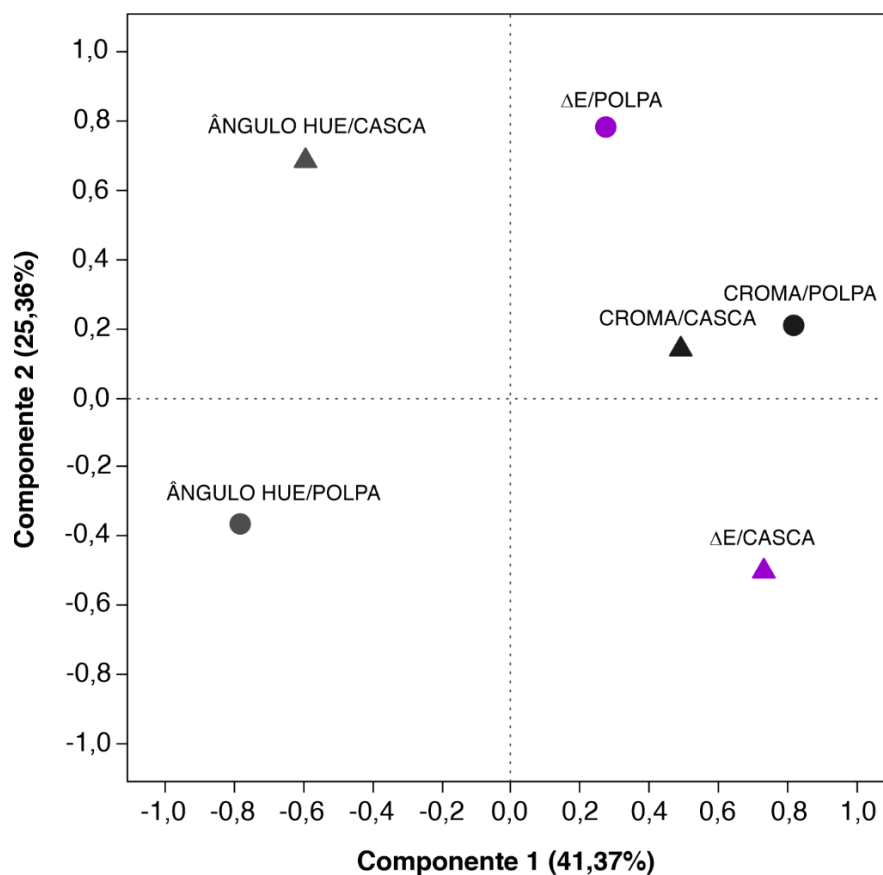


Figura 12. Análise de componentes principais (ACP): gráfico de carga fatorial de variáveis cor da casca e polpa de manga ‘Palmer’ ao longo do Componente Principal 1 e 2 (CP1 e CP2).

Em relação ao tempo de avaliação, observa-se que, no primeiro dia (D1) (Figura 13B), os autovalores correlacionam-se mais com h° da polpa e da casca. As variáveis físicas de cor de casca e polpa não sofreram alterações significativas nesse período de avaliação, haja vista que as avaliações foram realizadas um dia após o tratamento. Dessa

forma, no gráfico de distribuição de autovalores, esses se correlacionam e tem-se uma menor dispersão, quando comparados aos outros dias de avaliação.

Quando se observa ao longo dos dias de avaliação, D7 e D15 se correlacionam principalmente com as variáveis ΔE da polpa e casca, assim como o C. Logo, de acordo com o gráfico de dispersão (Figura 13B), quanto maiores os valores de escores (positivo) para CP1 e CP2 de uma amostra, maior será o C da polpa e casca e ΔE de polpa e casca. No entanto, verifica-se que alguns dados se distanciam dessa correlação, principalmente D15. Com isso, pode-se inferir que a utilização dos revestimentos foi fundamental na manutenção dessas características ao longo do armazenamento, como consequência do retardo do amadurecimento.

Na interação entre o conjunto de fatores estudados (Figura 13C), fica evidente que as frutas revestidas com R0,9, ao longo do tempo de avaliação, encontram-se correlacionadas mais do lado oposto a aquelas em que se correlacionaram a maioria das variáveis estudadas.

Além disso, os tratamentos com utilização de revestimentos comestíveis à base de amido de mandioca e emulsão de óleo essencial de capim-limão se agruparam mais próximos ao centro do gráfico de dispersão das amostras. Isso é importante, pois, na avaliação do efeito dos revestimentos comestíveis sobre o amadurecimento dos frutos, foi possível constatar que a utilização da ATM é fundamental para manutenção, mesmo que não tão evidente, quanto nas frutas revestidas com as coberturas R0,9 da qualidade pós-colheita dos frutos frescos, tendo em vista o amadurecimento mais lento.

4.5 Efeito antimicrobiano da emulsão do óleo essencial de capim-limão

A aplicação de revestimentos biodegradáveis à base de amido e com adição de nanoemulsão de óleo essencial em mangas ‘Palmer’, armazenadas em ambiente refrigerado, proporcionou efeitos satisfatórios quanto à atividade antimicrobiana da embalagem ativa.

Desse modo, além do efeito barreira a umidade e gases, promovida pela nanoemulsificação do O.E, eles também evitam o crescimento de microrganismos, manutenção e melhoria na cor e aparência de diferentes alimentos e resultam em menor oxidação em comparação com as embalagens convencionais (Ahari e Naeimabadi, 2021). Segundo Sharma et al. (2022), as nanoemulsões também agregam valor aos diferentes produtos alimentícios, modificando uma série de propriedades dos alimentos, como sabor, intensidade da cor, textura, biodisponibilidade e solubilidade.

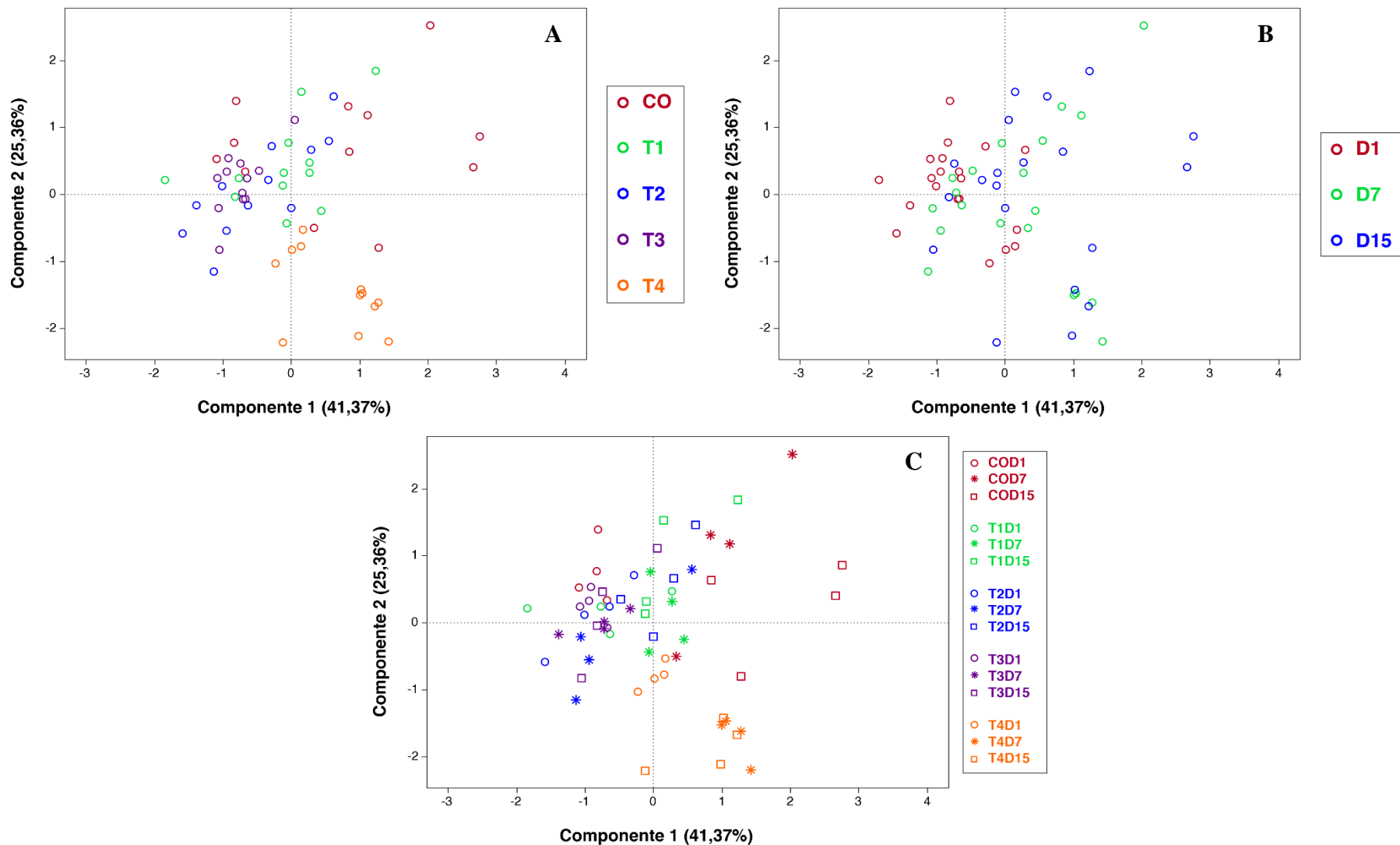


Figura 13. Análise de componentes principais (ACP): distribuição das amostras em gráficos de pontuação para o tipo de revestimento (A); época de avaliação (B); e a interação (tratamentos) (C) de variáveis de cor da polpa e casca de manga ‘Palmer’ ao longo do Componente Principal 1 e 2 (CP1 e CP2).

De acordo com Almasi et al. (2020), as nanoemulsões apresentam melhores propriedades físicas e químicas, mais estabilidade, melhoria na liberação controlada dos compostos bioativos, e uma atividade biológica do O.E mais eficiente em relação à macroemulsão.

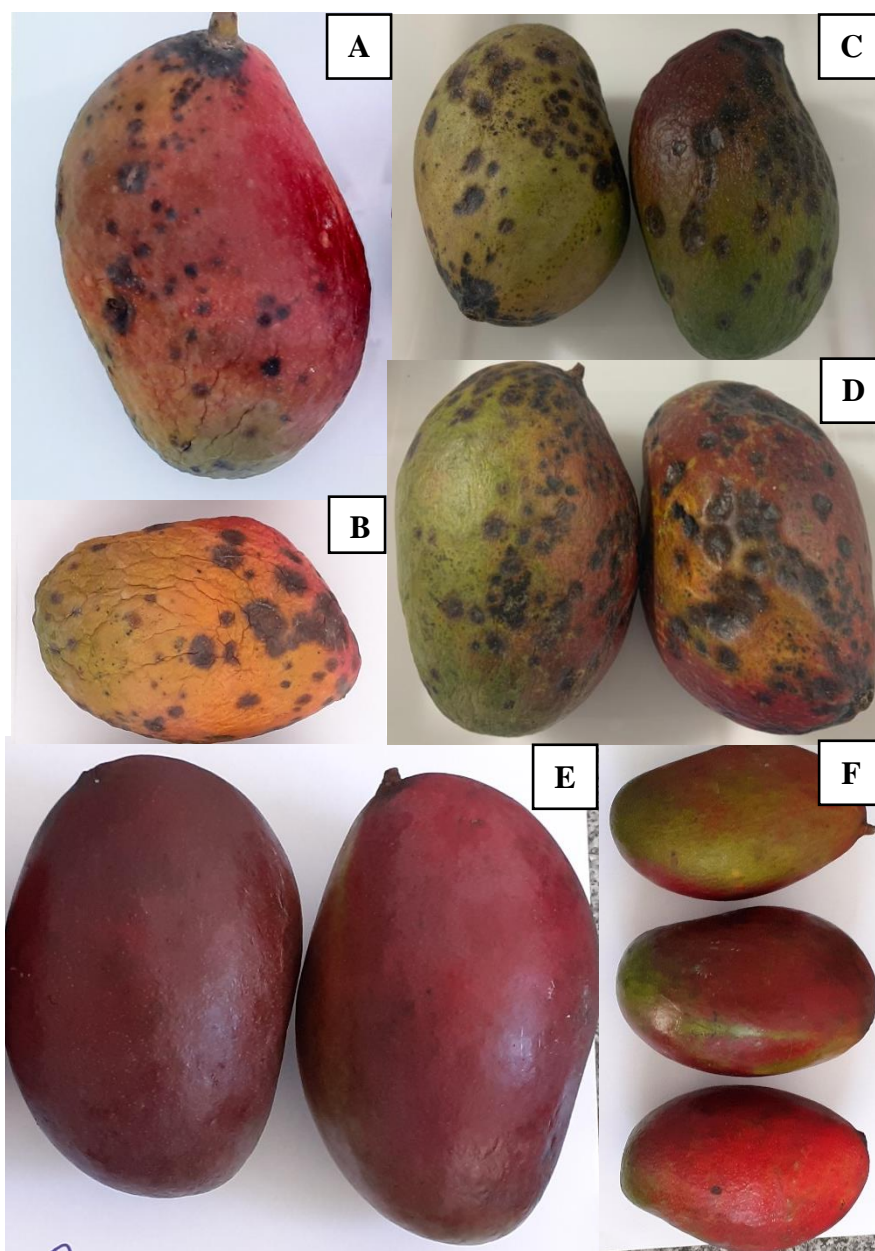


Figura 14. Incidência de manchas de antracnose em frutos de manga ‘Palmer’ não revestidos (A - B), revestidos com a concentração 0,3% (C), 0,6% (D) e 0,9% de óleo essencial de capim-limão (E - F).

Nesse contexto, observa-se, neste trabalho que as frutas revestidas com R0,9 apresentaram melhoria na aparência, bem como na intensidade das cores e um maior

brilho (Figura 14B). Nessas mesmas frutas, ao longo do armazenamento, o efeito positivo da utilização do óleo foi verificado na manutenção da qualidade sensorial, como, por exemplo, redução da oxidação (efeito antioxidante do O.E) da casca dos frutos, assim como ausência e/ou redução do escurecimento da casca.

O efeito antimicrobiano da emulsão do óleo essencial de capim-limão também foi verificado neste estudo. As frutas com utilização dos revestimentos comestíveis R0,1, R0,3 e R0,6 apresentaram uma menor incidência de antracnose, causada pelo fungo *Colletotrichum gloeosporioides*. Essa redução foi verificada antes do 10º dia de armazenamento. No 15º dia de armazenamento, algumas frutas apresentaram manchas na casca, característica da doença pós-colheita (Figura 14A à 14D). As frutas não revestidas também apresentaram as manchas causadas pela doença, verificadas com maior intensidade a partir do 7º dia de avaliação.

As frutas revestidas com o R0,9 não apresentaram desenvolvimento de doenças pós-colheita, como a antracnose, ao final do período de armazenamento (Figura 14E-F).

Os mecanismos pelos quais as nanoemulsões exercem a sua atividade antimicrobiana, inibindo o crescimento microbiano, dependem da natureza dos agentes antimicrobianos encapsulados que elas contêm (como, por exemplo, óleos essenciais, proteínas, carboidratos e surfactantes), bem como da natureza das próprias gotículas da nanoemulsão (tamanho, carga, com posição). A interação entre as gotículas e o microrganismo é melhorada, com um maior controle do sistema antimicrobiano, pois a nanoencapsulação promove uma liberação dos compostos ativos do óleo essencial lentamente e, a depender da natureza das cargas dos componentes, assim como dos microrganismos, como as bactérias *gran* positivas e negativas, a atração eletrostática pode promover um maior efeito no controle de patógenos (McClements e Rao, 2011).

A utilização do óleo essencial na concentração de 0,9%, durante o período de avaliação, além do efeito de barreira à umidade, foi eficiente no controle do desenvolvimento de microrganismos, principalmente de *C. gloeosporioides*, fungo causador da antracnose em pós-colheita de manga. A superfície dos frutos permaneceu sem alterações de coloração, principalmente escurecimento enzimático e oxidativo, e não se observou o desenvolvimento da doença por meio das manchas escuras (principal sintoma). Esses resultados sugerem que o óleo apresenta atividade antioxidante, assim como antimicrobiana (Figura 14E - F)

O efeito do óleo essencial de capim-limão na atividade antimicrobiana, nos frutos de manga ‘Palmer’, pode estar relacionado ao elevado conteúdo de citral (75% de sua

composição), principal componente volátil (Mohamed Hanaa et al., 2012). De acordo com Perdana et al. (2021), os componentes bioativos voláteis do OE de capim-limão, em sua maioria, terpenos, podem se ligar à superfície da célula e, depois disso, penetrar através da parede e membrana celular dos fungos, resultando na ruptura da integridade estrutural e perda de nutrientes, e do metabolismo celular. Além disso, a penetração no interior da célula do microrganismo pode promover um menor desenvolvimento deste, reduzindo a germinação de esporos (Mukarram et al., 2022a).

Outro efeito importante da utilização da nanoencapsulação dos óleos essenciais, em especial o de capim-limão, é a redução de alterações no sabor e odor dos alimentos aos quais são submetidos (Sedaghat Doost et al., 2020).

Os sistemas de entrega que se utilizam da nanotecnologia são os mais promissores para a utilização em alimentos e na conservação pós-colheita de frutas e hortaliças. O tamanho do sistema carreador que apreende uma substância dentro de um material inerte é essencial para uma liberação prolongada, com aumento da biodisponibilidade e bioacessibilidade do composto encapsulado, melhorando sua reatividade pelo aumento da superfície-volume. Além disso, a incorporação de sistemas de entrega de tamanho nano, em aplicações de alimentos, pode melhorar seus atributos sensoriais, como textura, retenção de sabor, força de coloração e propriedades tecnológicas, como processabilidade e estabilidade durante a vida útil (Prakash et al., 2018).

5 CONCLUSÕES

A fermentação, seguida de oxidação pela exposição do amido aos raios solares UV, promoveu a modificação do amido em sua estrutura, melhorando as propriedades de pasta, assim como aumentou o conteúdo de amilose que pode promover um desenvolvimento de filmes e revestimentos com melhores características estruturais, além de ser biodegradável e, assim, sem geração de resíduos sólidos ao meio ambiente.

A utilização de revestimentos comestíveis à base de amido de mandioca fermentado e oxidado, com a adição da emulsão de óleo de capim-limão na concentração 0,9% ($m\ m^{-1}$), retardou o amadurecimento, reduzindo a alteração das características físicas e químicas e de pigmentos da casca da manga 'Palmer' e mantendo o conteúdo de carotenoides.

A utilização da nanoemulsão de óleo essencial de capim-limão, na concentração 0,9% ($m\ m^{-1}$), apresentou atividade antimicrobiana, com efeito no controle dos sintomas

e incidência da antracnose, doença causada por fungos em pós-colheita de manga 'Palmer'.

As frutas que não receberam o tratamento com revestimentos comestíveis demonstraram um metabolismo fisiológico e bioquímico mais ativo durante o amadurecimento, refletindo na qualidade final e aparência dos frutos que, ao final do armazenamento, encontravam-se com menores firmezas de polpa e casca, assim como uma aparência murcha, em decorrência da elevada perda de massa.

REFERÊNCIAS

Abdul Aziz, N.A.; Wong, L.M.; Bhat, R.; Cheng, L.H. Evaluation of processed green and ripe mango peel and pulp flours (*Mangifera indica* var. Chokanan) in terms of chemical composition, antioxidant compounds and functional properties. **Journal of the Science of Food and Agriculture**, v. 92, p. 557–563, 2012.

<https://doi.org/10.1002/JSFA.4606>

Abera, S.; Rakshit, S.K. Comparison of physicochemical and functional properties of cassava starch extracted from fresh root and dry chips. **Starch/Staerke** v. 55, p. 287–296, 2003. <https://doi.org/10.1002/star.200390072>

Abrafrutas – Associação Brasileira dos Produtores Exportadores de Frutas e Derivados. **Fruticultura – Manga**. 2022. Disponível em: <<https://abrafrutas.org/2022/01/manga-foi-a-fruta-mais-exportada-pelo-brasil-em-2021/>> Acesso em 04 julho de 2022.

Agarwal, S.; Hoque, M.; Mohapatra, N.; Syed, I.; Dhumal, C.V.; Bose, S.; Biswas, P.K.; Kar, P.; Bishoyi, N.; Sarkar, P. **Oil-entrapped films, Biopolymer-Based Formulations: Biomedical and Food Applications**. Elsevier Inc., 2020.

<https://doi.org/10.1016/B978-0-12-816897-4.00019-9>

Aghofack-Nguemezi, J.; Hoffmann, T.; Schwab, W. Effects of bio-based coatings on the ripening and quality attributes of tomato (*Solanum lycopersicum*) fruits. **Journal of the Science of Food and Agriculture**, v. 99, p. 1842–1849, 2019.

<https://doi.org/10.1002/JSFA.9378>

Ahari, H.; Naeimabadi, M. Employing Nanoemulsions in Food Packaging: Shelf Life Enhancement. **Food Engineering Reviews**, v. 134, n. 13, p. 858–883, 2021.

<https://doi.org/10.1007/S12393-021-09282-Z>

Akram, N.A.; Shafiq, F.; Ashraf, M. Ascorbic acid-a potential oxidant scavenger and its role in plant development and abiotic stress tolerance. **Frontiers in Plant Science**, v. 8, p. 613, 2017. <https://doi.org/10.3389/FPLS.2017.00613/BIBTEX>

Alagawany, M.; El-Saadony, M.T.; Elnesr, S.S.; Farahat, M.; Attia, G.; Madkour, M.; Reda, F.M. Use of lemongrass essential oil as a feed additive in quail's nutrition: its effect on growth, carcass, blood biochemistry, antioxidant and immunological indices, digestive enzymes and intestinal microbiota. **Poultry Science** v. 100, p. 101172, 2021.

<https://doi.org/10.1016/J.PSJ.2021.101172>

Al-Dairi, M.; Pathare, P.B.; Al-Yahyai, R.; Opara, U.L. Mechanical damage of fresh produce in postharvest transportation: Current status and future prospects. **Trends Food Science e Technology**, v.124, p. 195–207, 2022.

<https://doi.org/10.1016/J.TIFS.2022.04.018>

Almasi, H.; Azizi, S.; Amjadi, S. Development and characterization of pectin films activated by nanoemulsion and Pickering emulsion stabilized marjoram (*Origanum*

majorana L.) essential oil. **Food Hydrocolloids** v. 99, p. 105338, 2020.
<https://doi.org/10.1016/J.FOODHYD.2019.105338>

Anggreini, A.; Choiriyah, N.A.; Athennia, A. Modification of *Sorghum bicolor* (L) Moench Starch: Review of HMT (Heat Moisture Treatment), Autoclaving Cooling, and Annealing Methods. **International Journal of Advance Tropical Food (IJATF)** v. 3, p. 57–66, 2021. <http://dx.doi.org/10.26877/ijatf.v3i2.9927>

Anjani, A.M.; Setiawan, C.K.; Utama, N.A. Effect of CaCl₂ and Alginate-Essential Oil Edible Coating in Maintaining Quality and Antioxidant Content in Rose Apple cv. Dalhari. **IOP Conference Series: Earth and Environmental Science**, v. 752, 2021. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/752/1/012004>

Anyasi, T.A.; Jideani, A.I.O.; McHau, G.R.A. Effect of organic acid pretreatment on some physical, functional and antioxidant properties of flour obtained from three unripe banana cultivars. **Food Chemistry**, v. 172, p. 515–522, 2015
<https://doi.org/10.1016/J.FOODCHEM.2014.09.120>

AOAC- Association of Official Analytical Chemists: “**Official Methods of Analysis**”, Gaithersberg, USA, 1997.

AOAC. Official Methods of Analysis of AOAC International. **In Association of Official Analysis Chemists International**, 2016.

Arora, A.; Banerjee, J.; Vijayaraghavan, R.; MacFarlane, D.; Patti, A.F. Process design and techno-economic analysis of an integrated mango processing waste biorefinery. **Industrial Crops and Products**, v. 116, p. 24–34, 2018.
<https://doi.org/10.1016/J.INDCROP.2018.02.061>

Atichokudomchai, N.; Varavinit, S.; Chinachoti, P. A study of annealing and freeze-thaw stability of acid-modified tapioca starches by differential scanning calorimetry (DSC). **Starch/Staerke**, v. 54, p. 343–349, 2002.
[https://doi.org/10.1002/1521-379X\(200208\)](https://doi.org/10.1002/1521-379X(200208))

Avancini, S.R.P.; Faccin, G.L.; Vieira, M.A.; Rovaris, A.A.; Podestá, R.; Tramonte, R.; de Souza, N.M.A.; Amante, E.R. Cassava starch fermentation wastewater: Characterization and preliminary toxicological studies. **Food and Chemical Toxicology**, v. 45, p. 2273–2278, 2007. <https://doi.org/10.1016/J.FCT.2007.06.006>

Ayomide, O.B.; Ajayi, O.O.; Ajayi, A.A.; Aisyah, Y.; Murlida, E.; Maulizar, T.A. Effect of the edible coating containing cinnamon oil nanoemulsion on storage life and quality of tomato (*Lycopersicon esculentum* Mill) fruits. **IOP Conference Series: Earth and Environmental Science**, v. 951, p. 012048, 2022.
<https://doi.org/10.1088/1755-1315/951/1/012048>

Bachiega, T.F.; Sforcin, J.M. Lemongrass and citral effect on cytokines production by murine macrophages. **Journal of Ethnopharmacology** v. 137, p. 909–913, 2011.
<https://doi.org/10.1016/J.JEP.2011.07.021>

Bakkali, F.; Averbeck, S.; Averbeck, D.; Idaomar, M. Biological effects of essential oils – A review. **Food and Chemical Toxicology**, v. 46, p. 446–475, 2008.
<https://doi.org/10.1016/J.FCT.2007.09.106>

Bally, I.S.E.; Bombarely, A.; Chambers, A.H.; Cohen, Y.; Dillon, N.L.; Innes, D.J.; Islas-Osuna, M.A.; Kuhn, D.N.; Mueller, L.A.; Ophir, R.; Rambani, A.; Sherman, A.; Yan, H. The ‘Tommy Atkins’ mango genome reveals candidate genes for fruit quality. **BMC Plant Biology**, v. 21, p. 1–18, 2021. <https://doi.org/10.1186/s12870-021-02858-1>

Bambalele, N.L.; Mditshwa, A.; Magwaza, L.S.; Tesfay, S.Z. Recent Advances on Postharvest Technologies of Mango Fruit: A Review. **International Journal of Fruit Science**, v. 21, p. 565–586, 2021. <https://doi.org/10.1080/15538362.2021.1918605>

Bello Perez, L.A.; Agama-Acevedo, E. **Starch, Starch-Based Materials in Food Packaging: Processing, Characterization and Applications**. Elsevier Inc., 2017.
<https://doi.org/10.1016/B978-0-12-809439-6.00001-7>

Bemiller, J.N.; Huber, K.C. Physical modification of food starch functionalities. **Annual Review of Food Science and Technology**, v. 6, p. 19–69, 2015.
<https://doi.org/10.1146/annurev-food-022814-015552>

Bhowmik, S.R.; Pan, J.C. Shelf Life of Mature Green Tomatoes Stored in Controlled Atmosphere and High Humidity. **Journal of Food Science**, v. 57, p. 948–953, 1992.
<https://doi.org/10.1111/j.1365-2621.1992.tb14331.x>

Bierhals, V.S.; Chiumarelli, M.; Hubinger, M.D. Effect of Cassava Starch Coating on Quality and Shelf Life of Fresh-Cut Pineapple (*Ananas Comosus* L. Merrill cv “Pérola”). **Journal of Food Science**, v. 76, p. E62–E72, 2011. <https://doi.org/10.1111/J.1750-3841.2010.01951.X>

Bizzo, H.R.; Ana Maria, C.H.; Rezende, C.M. Óleos essenciais no Brasil: aspectos gerais, desenvolvimento e perspectivas. **Química Nova** v. 32, p. 588–594, 2009.
<https://doi.org/10.1590/S0100-40422009000300005>

Bourtoom, T.; Chinnan, M.S. Improvement of water barrier property of rice starch-chitosan composite film incorporated with lipids. **Food Science and Technology International**, v. 15, p. 149–158, 2009. <https://doi.org/10.1177/1082013208105993>

Bouyer, E.; Mekhloufi, G.; Rosilio, V.; Grossiord, J.L.; Agnely, F. Proteins, polysaccharides, and their complexes used as stabilizers for emulsions: Alternatives to synthetic surfactants in the pharmaceutical field? **International Journal of Pharmaceutics**, v. 436, p. 359–378, 2012.
<https://doi.org/10.1016/J.IJPHARM.2012.06.052>

Brasil. Agência Nacional de Vigilância Sanitária. **Resolução RDC N° 2**, de 15 de janeiro de 2007: Aditivos aromatizantes produzidos e comercializados nos territórios dos Estados Partes do MERCOSUL. Ministério da Saúde: Anvisa, 19 p., 2007.

Brasil. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. Secretaria de Defesa Agropecuária. **Instrução Normativa nº 20, de 21 de jul. de 1999**. Diário oficial da União. Brasília, DF, 27 jul. 1999.

Brasil. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento - MAPA. **Instrução Normativa 23/2005**. Disponível em: <http://sistemasweb.agricultura.gov.br/sislegis/action/detalhaAto.do?method=visualizarAtoPortalATMaechave=1141329604>. Acesso em 30 de junho 2021.

Brito Araújo, A.J.; da Silva, W.P.; dos Santos Moreira, I.; Santos, N.C. Effect of drying temperature on the physicochemical characteristics, bioactive compounds, and antioxidant activity of “Palmer” mango peels. **Journal of Food Process Engineering**, v. 44, p. e13860, 2021. <https://doi.org/10.1111/JFPE.13860>

Brito, V.; Santos, R.; Narcisa-Oliveira, J.; Demiate, I.; Cereda, M. Continuous flow process to make fermented cassava starch substitute: I. Physicochemical and functional properties. **Brazilian Journal of Food Technology**, v. 24, p. 1–9, 2021. <https://doi.org/10.1590/1981-6723.01720>

Burg, S. P.; Burg, E. A. Role of ethylene in fruit ripening. **Plant Physiology**. v. 37, p. 179-89, 1962.

Cai, J.; Man, J.; Huang, J.; Liu, Q.; Wei, W.; Wei, C. Relationship between structure and functional properties of normal rice starches with different amylose contents. **Carbohydrate. Polymers**, v. 125, p. 35–44, 2015. <https://doi.org/10.1016/j.carbpol.2015.02.067>

Campelo, P.H.; Junqueira, L.A.; Resende, J.V.; Zacarias, R.D.; Fernandes, R.V. B.; Botrel, D.A.; Borges, S.V. Stability of lime essential oil emulsion prepared using biopolymers and ultrasound treatment. **International Journal of Food Properties**, v. 20, p. S564–S579, 2017. <https://doi.org/10.1080/10942912.2017.1303707>

Cepea/Esalq – **Centro de estudos avançados em economia aplicada da escola superior de agricultura “Luiz de Queiroz”** (2020). Disponível em: <http://www.cepea.esalq.usp.br/>. Acesso em 05 de julho de 2022.

Chi, H.; Song, S.; Luo, M.; Zhang, C.; Li, W.; Li, L.; Qin, Y. Effect of PLA nanocomposite films containing bergamot essential oil, TiO₂ nanoparticles, and Ag nanoparticles on shelf life of mangoes. **Scientia Horticulturae**, v. 249, p. 192–198, 2019. <https://doi.org/10.1016/J.SCIENTA.2019.01.059>

Chien, P.J.; Sheu, F.; Yang, F.H. Effects of edible chitosan coating on quality and shelf life of sliced mango fruit. **Journal of Food Engineering**, v. 78, p. 225–229, 2007. <https://doi.org/10.1016/J.JFOODENG.2005.09.022>

Chisenga, S.M.; Workneh, T.S.; Bultosa, G.; Alimi, B.A. Progress in research and applications of cassava flour and starch: a review. **Journal of Food Science and Technology**, v. 56, p. 2799–2813, 2019. <https://doi.org/10.1007/s13197-019-03814-6>

Chitarra, M. I. F.; Chitarra, A. B. **Pós-colheita de frutas e hortaliças: fisiologia e manuseio**. Lavras: FAEPE, 2005. 2ed. 783p.

Chiumarelli, M.; Pereira, L.M.; Ferrari, C.C.; Sarantópoulos, C.I.G.L.; Hubinger, M.D. Cassava starch coating and citric acid to preserve quality parameters of fresh-cut “Tommy atkins” mango. **Journal of Food Science**, v. 75, 2010. <https://doi.org/10.1111/j.1750-3841.2010.01636.x>

Corradini, E.; Lotti, C.; Medeiros, E.S.; Carvalho, A.J.F.; Curvelo, A.A.S.; Mattoso, L.H.C. Estudo comparativo de amidos termoplásticos derivados do milho com diferentes teores de amilose. **Polímeros** v. 15, p. 268–273, 2005. <https://doi.org/10.1590/s0104-14282005000400011>

Chu, Y.; Gao, C.C.; Liu, X.; Zhang, N.; Xu, T.; Feng, X.; Yang, Y.; Shen, X.; Tang, X. Improvement of storage quality of strawberries by pullulan coatings incorporated with cinnamon essential oil nanoemulsion. **LWT - Food Science and Technology**, v. 122, p. 109054, 2020. <https://doi.org/10.1016/J.LWT.2020.109054>

Cordeiro, M.J.M.; Veloso, C.M.; Santos, L.S.; Bonomo, R.C.F.; Caliari, M.; Fontan, R. da C.I. The impact of heat-moisture treatment on the properties of *Musa paradisiaca* L. Starch and optimization of process variables. **Food Technology e Biotechnology**, v. 56, p. 506–515, 2018. <https://doi.org/10.17113/ftb.56.04.18.5490>

Cosme Silva, G.M.; Silva, W.B.; Medeiros, D.B.; Salvador, A.R.; Cordeiro, M.H.M.; da Silva, N.M.; Santana, D.B.; Mizobutsi, G.P. The chitosan affects severely the carbon metabolism in mango (*Mangifera indica* L. cv. Palmer) fruit during storage. **Food Chemistry**, v. 237, p. 372–378, 2017. <https://doi.org/10.1016/J.FOODCHEM.2017.05.123>

Costa, A. N.; Costa, A. F. S.; Caetano, L.C.S.; Ventura, J. A. **Recomendações técnicas para a produção de manga**. Vitória, ES: Incaper, 2008. 56 p.

Costas, G.B. **Structures and phase transitions of starch polymers**. Polysacch. Assoc. Struct. food 98–109, 1998.

Cua, A.U.; Lizada, M.C.C. Ethylene Production in the ‘Carabao’ Mango (*Mangifera indica* L.) Fruit During Maturation and Ripening. **Acta Horticulturae**, v. 269, p. 169–180, 1990. <https://doi.org/10.17660/actahortic.1990.269.22>

Dai, L.; Zhang, J.; Cheng, F. Cross-linked starch-based edible coating reinforced by starch nanocrystals and its preservation effect on graded Huangguan pears. **Food Chemistry**, v. 311, p. 125891, 2020. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2019.125891>

Dai, L.; Zhang, J.; Cheng, F. Effects of starches from different botanical sources and modification methods on physicochemical properties of starch-based edible films. **International Journal of Biological Macromolecules**, v. 132, p. 897–905, 2019. <https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2019.03.197>

Danalache, F.; Carvalho, C.Y.; Alves, V.D.; Moldão-Martins, M.; Mata, P. Optimisation of gellan gum edible coating for ready-to-eat mango (*Mangifera indica* L.) bars. **International Journal of Biological Macromolecules**, v. 84, p. 43–53, 2016. <https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2015.11.079>

Dantigny, P.; Nanguy, S.P.M. Significance of the physiological state of fungal spores. **International Journal of Food Microbiology**, v. 134, p. 16–20, 2009. <https://doi.org/10.1016/J.IJFOODMICRO.2009.02.005>

Das, D.; Panesar, P.S.; Saini, C.S.; Kennedy, J.F. Improvement in properties of edible film through non-thermal treatments and nanocomposite materials: A review. **Food Packaging and Shelf-Life** v. 32, p. 100843, 2022. <https://doi.org/10.1016/J.FPSL.2022.100843>

Das, S.; Ghosh, A.; Mukherjee, A. Nanoencapsulation-Based Edible Coating of Essential Oils as a Novel Green Strategy Against Fungal Spoilage, Mycotoxin Contamination, and Quality Deterioration of Stored Fruits: An Overview. **Frontiers in Microbiology**, v. 12, p. 1–14, 2021a. <https://doi.org/10.3389/fmicb.2021.768414>

Das, S.; Singh, V.K.; Chaudhari, A.K.; Dwivedy, A.K.; Dubey, N.K. Fabrication, physico-chemical characterization, and bioactivity evaluation of chitosan-linalool composite nano-matrix as innovative controlled release delivery system for food preservation. **International Journal of Biological Macromolecules**, v. 188, p. 751–763, 2021b. <https://doi.org/10.1016/J.IJBIOMAC.2021.08.045>

De Oliveira Araújo, Di.; Moraes, J.A.A.; De Carvalho, J.L.M. Fatores determinantes na mudança do padrão de produção e consumo da manga no mercado nacional. **Revista em Agronegócio e Meio Ambiente**, v. 10, p. 51–73, 2017. <https://doi.org/10.17765/2176-9168.2017v10nEd.esp.p51-73>

De Pauli, R.B.; Quast, L.B.; Demiate, I.M.; Sakanaka, L.S. Production and characterization of oxidized cassava starch (*Manihot esculenta* Crantz) biodegradable films. **Starch/Staerke** v. 63, p. 595–603, 2011. <https://doi.org/10.1002/star.201000163>

Deka, D.; Sit, N. Dual modification of taro starch by microwave and other heat moisture treatments. **International Journal of Biological Macromolecules**. v. 92, p. 416–422, 2016. <https://doi.org/10.1016/J.IJBIOMAC.2016.07.040>

- De Sena Aquino, A.C.M.; Gervin, V.M.; Amante, E.R. Avaliação do processo produtivo de polvilho azedo em indústrias de Santa Catarina. **Brazilian Journal of Food Technology**, v. 19, 2016. <https://doi.org/10.1590/1981-6723.5515>
- Dhall, R.K. Advances in Edible Coatings for Fresh Fruits and Vegetables: A Review. **Critical Reviews in Food Science and Nutrition**, v. 53, p. 435–450, 2013. <https://doi.org/10.1080/10408398.2010.541568>
- Dias, A.R.G.; Elias, M.C.; Oliveira, M.; Helbig, E. Oxidação dos amidos de mandioca e de milho comum fermentados: Desenvolvimento da propriedade de expansão. **Ciência e Tecnologia de Alimentos** v. 27, p. 794–799, 2007. <https://doi.org/10.1590/S010120612007000400019>
- Donsì, F.; Annunziata, M.; Sessa, M.; Ferrari, G. Nanoencapsulation of essential oils to enhance their antimicrobial activity in foods. **LWT - Food Science and Technology**, v. 44, p. 1908–1914, 2011. <https://doi.org/10.1016/J.LWT.2011.03.003>
- Dos Santos, A.E.O.; De Assis, J.S.; Berbert, P.A.; Dos Santos, O.O.; Batista, P.F.; De A. Gravina, G. Influência de biofilmes de fécula de mandioca e amido de milho na qualidade pós-colheita de mangas “Tommy Atkins.” **Revista Brasileira de Ciências Agrárias**, v. 6, p. 508–513, 2011. <https://doi.org/10.5039/agraria.v6i3a755>
- Fagundes, C.; Moraes, K.; Pérez-Gago, M.B.; Palou, L.; Maraschin, M.; Monteiro, A.R. Effect of active modified atmosphere and cold storage on the postharvest quality of cherry tomatoes. **Postharvest Biology and Technology**, v. 109, p. 73–81, 2015. <https://doi.org/10.1016/j.postharvbio.2015.05.017>
- Farias, P.K.S.; Lopes Silva, J.C.R.; de Souza, C.N.; da Fonseca, F.S.A.; Brandi, I.V.; Martins, E.R.; Azevedo, A.M.; de Almeida, A.C. Antioxidant activity of essential oils from condiment plants and their effect on lactic cultures and pathogenic bacteria. **Ciência Rural**, v. 49, 2019. <https://doi.org/10.1590/0103-8478CR20180140>
- Farina, V.; Gentile, C.; Sortino, G.; Gianguzzi, G.; Palazzolo, E.; Mazzaglia, A. Tree-Ripe Mango Fruit: Physicochemical Characterization, Antioxidant Properties and Sensory Profile of Six Mediterranean-Grown Cultivars. **Agronomy**, v. 10, p. 884–890, 2020. <https://doi.org/10.3390/AGRONOMY10060884>
- Folch, J.; Lees, M.; Sloane Stanley, G.H. A simple method for the isolation and purification of total lipides from animal tissues. **Journal of Biological Chemistry**, v. 226, p. 497–509, 1957. [https://doi.org/10.1016/s0021-9258\(18\)64849-5](https://doi.org/10.1016/s0021-9258(18)64849-5)
- Formiga, A.S.; Pinsetta, J.S.; Pereira, E.M.; Cordeiro, I.N.F.; Mattiuz, B.H. Use of edible coatings based on hydroxypropyl methylcellulose and beeswax in the conservation of red guava ‘Pedro Sato.’ **Food Chemistry**, v. 290, p. 144–151, 2019. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2019.03.142>

Fujihara, S.; Sasaki, H.; Aoyagi, Y.; Sugahara, T. Nitrogen-to-protein conversion factors for some cereal products in Japan. **Journal of Food Science**, v. 73, p. 204–209, 2008. <https://doi.org/10.1111/j.1750-3841.2008.00665.x>

Galus, S.; Kadzińska, J. Food applications of emulsion-based edible films and coatings. **Trends in Food Science e Technology**, v. 45, p. 273–283, 2015. <https://doi.org/10.1016/J.TIFS.2015.07.011>

Garcia, L.C.; Pereira, L.M.; De Luca Sarantópoulos, C.I.G.; Hubinger, M.D. Effect of antimicrobial starch edible coating on shelf-life of fresh strawberries. **Packaging Technology and Science**, v. 25, p. 413–425, 2012. <https://doi.org/10.1002/pts.987>

Ghasemlou, M.; Aliheidari, N.; Fahmi, R.; Shojaee-Aliabadi, S.; Keshavarz, B.; Cran, M.J.; Khaksar, R. Physical, mechanical and barrier properties of corn starch films incorporated with plant essential oils. **Carbohydrate Polymers**, v. 98, p. 1117–1126, 2013. <https://doi.org/10.1016/J.CARBPOL.2013.07.026>

Giunti, G.; Palermo, D.; Laudani, F.; Algeri, G.M.; Campolo, O.; Palmeri, V. Repellence and acute toxicity of a nano-emulsion of sweet orange essential oil toward two major stored grain insect pests. **Industrial Crops and Products**, v. 142, p. 111869, 2019. <https://doi.org/10.1016/J.INDCROP.2019.111869>

Grossiord, J.L.; Sellier, M. W/O/W multiple emulsions: a review of the release mechanisms by break-up of the oily membrane. **STP Pharma Sciences**, v. 11, p. 331–339. 2001.

Guetat, A.; Al-Ghamdi, F.A.; Osman, A.K. The genus *Artemisia* L. in the northern region of Saudi Arabia: essential oil variability and antibacterial activities. **Natural Product Research**, v. 31, p. 598–603, 2017. <https://doi.org/10.1080/14786419.2016.1207071>

Halley, P.J.; Avérous, L. **Starch polymers: from genetic engineering to green applications**. [s.l.] Newnes, 2014.

Han, J.H. **Edible Films and Coatings: A Review**, Innovations in Food Packaging: Second Edition. Elsevier Ltd , 2013. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-394601-0.00009-6>

Hassan, B.; Chatha, S.A.S.; Hussain, A.I.; Zia, K.M.; Akhtar, N. Recent advances on polysaccharides, lipids and protein based edible films and coatings: A review. **International Journal of Biological Macromolecules**, v. 109, p. 1095–1107, 2018. <https://doi.org/10.1016/J.IJBIOMAC.2017.11.097>

Helal, G.E.D.A.; Sarhan, M.M.; Abu Shahla, A.N.K.; Abou El-Khair, E.K. Effects of *Cymbopogon citratus* L. essential oil on the growth, morphogenesis and aflatoxin production of *Aspergillus flavus* ML2-strain. **Journal of Basic Microbiology**, v. 47, p. 5-15, 2007. <https://doi.org/10.1002/JOBM.200610137>

Henrique, C.M.; Cereda, M.P.; Sarmiento, S.B.S. Características físicas de filmes biodegradáveis produzidos a partir de amidos modificados de mandioca. **Food Science and Technology**, v. 28, p. 231–240, 2008.

<https://doi.org/10.1590/S010120612008000100033>

Hernández-Guerrero, S.E.; Balois-Morales, R.; Palomino-Hermosillo, Y.A.; López-Guzmán, G.G.; Berumen-Varela, G.; Bautista-Rosales, P.U.; Alejo-Santiago, G. Novel Edible Coating of Starch-Based Stenospermocarpic Mango Prolongs the Shelf Life of Mango “ataulfo” Fruit. **Journal of Food Quality**, 2020.

<https://doi.org/10.1155/2020/1320357>

Hiscox, J.D., Israelstam, G.F. A method for the extraction of chlorophyll from leaf tissue without maceration. **Canadian Journal of Botany**, v. 57, p. 1332–1334, 1979.

<https://doi.org/10.1139/b79-163>

Hoover, R. The impact of heat-moisture treatment on molecular structures and properties of starches isolated from different botanical sources. **Critical Reviews in Food Science and Nutrition**, v. 50, p. 835–847, 2010.

<https://doi.org/10.1080/10408390903001735>

Hu, M.; Yang, D.; Huber, D.J.; Jiang, Y.; Li, M.; Gao, Z.; Zhang, Z. Reduction of postharvest anthracnose and enhancement of disease resistance in ripening mango fruit by nitric oxide treatment. **Postharvest Biology and Technology**, v. 97, p. 115–122, 2014. <https://doi.org/10.1016/J.POSTHARVBIO.2014.06.013>

Hussein, Z.; Fawole, O.A.; Opara, U.L. Bruise damage susceptibility of pomegranates (*Punica granatum*, L.) and impact on fruit physiological response during short term storage. **Scientia Horticulturae**. v. 246, p. 664–674, 2019.

<https://doi.org/10.1016/J.SCIENTA.2018.11.026>

Instituto Adolfo Lutz. **Métodos físicos químicos para análise de alimentos**. 4 ed. São Paulo, 1020 p., 2008.

Jafarzadeh, S.; Mohammadi Nafchi, A.; Salehabadi, A.; Oladzad-abbasabadi, N.; Jafari, S.M. Application of bio-nanocomposite films and edible coatings for extending the shelf life of fresh fruits and vegetables. **Advances in Colloid and Interface Science**, v. 291, p.102405, 2021. <https://doi.org/10.1016/J.CIS.2021.102405>

Jiménez, A.; Fabra, M.J.; Talens, P.; Chiralt, A. Edible and Biodegradable Starch Films: A Review. **Food and Bioprocess Technology** v. 56, n. 5, p. 2058–2076, 2012.

<https://doi.org/10.1007/S11947-012-0835-4>

Ju, J.; Xie, Y.; Guo, Y.; Cheng, Y.; Qian, H.; Yao, W. Application of edible coating with essential oil in food preservation. **Critical Reviews in Food Science and Nutrition**, v. 59, p. 2467–2480, 2019. <https://doi.org/10.1080/10408398.2018.1456402>

- Kah, M.; Beulke, S.; Tiede, K.; Hofmann, T. Nanopesticides: State of knowledge, environmental fate, and exposure modeling. **Critical Reviews in Environmental Science and Technology**, v. 43, p. 1823–1867, 2013. <https://doi.org/10.1080/10643389.2012.671750>
- Kale, S., Deore, S. Emulsion Microemulsion and Nanoemulsion. **Systematic Reviews in Pharmacy**, v. 8, p. 39–47, 2017. <https://doi.org/10.5530/srp.2017.1.8>
- Kalemba, D.; Kunicka, A. Antibacterial and Antifungal Properties of Essential Oils. **Current Medicinal Chemistry**, v. 10, p. 813–829, 2005. <https://doi.org/10.2174/0929867033457719>
- Kazerski, R.T. da S.; Biduski, B.; Weber, F.H.; Plata-Oviedo, M.S.V.; Gutkoski, L.C.; Bertolin, T.E. Substitution of chemically modified corn starch with heat-moisture treated cassava starch in Brazilian pão de queijo. **International Journal of Gastronomy and Food Science**, v. 28, p. 100541, 2022. <https://doi.org/10.1016/J.IJGFS.2022.100541>
- Khlestkin, V.K.; Peltek, S.E.; Kolchanov, N.A. Review of direct chemical and biochemical transformations of starch. **Carbohydrate Polymers**, v. 181, p. 460–476, 2018. <https://doi.org/10.1016/J.CARBPOL.2017.10.035>
- Kiloes, A.M.; Azizan, F.A.; Checco, J.; Joyce, D.; Abdul Aziz, A. What do consumers want in fresh mangoes? A systematic literature review. **International Journal of Food Science e Technology**. v. 57, p. 1473–1492, 2022. <https://doi.org/10.1111/IJFS.15503>
- Klangmuang, P.; Sothornvit, R. Combination of beeswax and nanoclay on barriers, sorption isotherm and mechanical properties of hydroxypropyl methylcellulose-based composite films. **LWT - Food Science and Technology**, v. 65, p. 222–227, 2016. <https://doi.org/10.1016/J.LWT.2015.08.003>
- Koch, K.; Gillgren, T.; Stading, M.; Andersson, R. Mechanical and structural properties of solution-cast high-amylose maize starch films. **International Journal of Biological Macromolecules**, v. 46, p. 13–19, 2010. <https://doi.org/10.1016/J.IJBIOMAC.2009.10.002>
- Kour, R.; Singh, M.; Gill, P.P.S.; Jawandha, S.K. Ripening quality of Dusehri mango in relation to harvest time. **Journal of Food Science and Technology**, v. 55, p. 2395, 2018. <https://doi.org/10.1007/S13197-018-3156-4>
- Krochta, J. M. Mulder-Johnston, C. Edible and biodegradable polymer films: challenges and opportunities. **Food Technology**, v.51, p.60–74. 1994.
- Kumar, N.; Pratibha, Neeraj, Petkoska, A.T.; Al-Hilifi, S.A.; Fawole, O.A. Effect of chitosan–pullulan composite edible coating functionalized with pomegranate peel extract on the shelf life of mango (*Mangifera indica*). **Coatings**, v. 11, p. 25–40, 2021. <https://doi.org/10.3390/coatings11070764>

Lal, K.; Yadav, R.K.; Kaur, R.; Bundela, D.S.; Khan, M.I.; Chaudhary, M.; Meena, R.L.; Dar, S.R.; Singh, G. Productivity, essential oil yield, and heavy metal accumulation in lemon grass (*Cymbopogon flexuosus*) under varied wastewater-groundwater irrigation regimes. **Industrial Crops and Products** v. 45, p. 270–278, 2013. <https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2013.01.004>

Leach, H.W.; Mc Cowen, L.D.; Schoch, T.J. Structure of the starch granules. In: swelling and solubility patterns of various starches. **Cereal Chemistry**, v. 36, p. 534 – 544, 1959.

Lee, D.W.; Brammeier, S.; Smith, A.P. The selective advantages of anthocyanins in developing leaves of mango and cacao. **Biotropica**, v. 19, n. 1, p. 40–49, 1987. <https://doi.org/10.2307/2388458>

Lee, J.E.; Seo, S.M.; Huh, M.J.; Lee, S.C.; Park, I.K. Reactive oxygen species mediated-antifungal activity of cinnamon bark (*Cinnamomum verum*) and lemongrass (*Cymbopogon citratus*) essential oils and their constituents against two phytopathogenic fungi. **Pesticide Biochemistry and Physiology**, v. 168, p. 104644, 2020. <https://doi.org/10.1016/J.PESTBP.2020.104644>

Leonel, M.; de Freitas, T.S.; Mischán, M.M. Physical characteristics of extruded cassava starch. **Scientia Agricola**, v. 66, p. 486–493, 2009. <https://doi.org/10.1590/S0103-90162009000400009>

Li, M.; Liu, P.; Zou, W.; Yu, L.; Xie, F.; Pu, H.; Liu, H.; Chen, L. Extrusion processing and characterization of edible starch films with different amylose contents. **Journal of Food Engineering**, v. 106, p. 95–101, 2011. <https://doi.org/10.1016/J.JFOODENG.2011.04.021>

Li, X.; Li, C.; Sun, J.; Jackson, A. Dynamic changes of enzymes involved in sugar and organic acid level modification during blueberry fruit maturation. **Food Chemistry**, v. 309, p. 125617, 2020. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2019.125617>

Li, X.; Qiu, C.; Ji, N.; Sun, C.; Xiong, L.; Sun, Q. Mechanical, barrier and morphological properties of starch nanocrystals-reinforced pea starch films. **Carbohydrate Polymers**, v. 121, p. 155–162, 2015. <https://doi.org/10.1016/J.CARBPOL.2014.12.040>

Li, Y.; Hu, X.; Song, Y.; Lu, Z.; Ning, T.; Cai, H.; Ke, Y. Identification of novel alternative splicing variants of interferon regulatory factor 3. **Biochimica et Biophysica Acta (BBA) - Gene Regulatory Mechanisms**, v. 1809, p. 166–175, 2011. <https://doi.org/10.1016/J.BBAGRM.2011.01.006>

Ma, G.; Zhang, L.; Kato, M.; Yamawaki, K.; Kiriwa, Y.; Yahata, M.; Ikoma, Y.; Matsumoto, H. Effect of the combination of ethylene and red LED light irradiation on carotenoid accumulation and carotenogenic gene expression in the flavedo of citrus

fruit. **Postharvest Biology and Technology**, v. 99, p. 99–104, 2015.
<https://doi.org/10.1016/J.POSTHARVBIO.2014.08.002>

Ma, X.; Zheng, B.; Ma, Y.; Xu, W.; Wu, H.; Wang, S. Carotenoid accumulation and expression of carotenoid biosynthesis genes in mango flesh during fruit development and ripening. **Scientia Horticulturae**, v. 237, p. 201–206, 2018.
<https://doi.org/10.1016/J.SCIENTA.2018.04.009>

Marcon, M. J. A.; Vieira, M. A.; Santos, K.; De Simas, K. N.; Dias de Mello Castanho Amboni, R.; Amante, E. R. The effect of fermentation on cassava starch microstructure. **Journal of Food Process Engineering**, v. 29, n. 4, p. 362–372, 2006.
<http://doi:10.1111/j.1745-4530.2006.00073.x>

Martins, R.C.; Silva, C.L.M. Modelling colour and chlorophyll losses of frozen green beans (*Phaseolus vulgaris* L.). **International Journal of Refrigeration**, v. 25, p. 966–974, 2002. [https://doi.org/10.1016/S0140-7007\(01\)00050-0](https://doi.org/10.1016/S0140-7007(01)00050-0)

Maqbool, M.; Ali, A.; Alderson, P.G.; Mohamed, M.T.M.; Siddiqui, Y.; Zahid, N. Postharvest application of gum arabic and essential oils for controlling anthracnose and quality of banana and papaya during cold storage. **Postharvest Biology and Technology**, v. 62, p. 71–76, 2011.
<https://doi.org/10.1016/J.POSTHARVBIO.2011.04.002>

Martinez, C.; Cuevas, F. **Evaluación de la calidad culinaria y molinera del arroz**. Guía de estudio, CIAT, 1989.

Matta, F.; Maria, S.; Caon, T.; Ignacio, J.; Helena, L.; Mei, I. Postharvest Biology and Technology Edible films and coatings based on starch / gelatin: Film properties and effect of coatings on quality of refrigerated Red Crimson grapes. **Postharvest Biology and Technology**, v. 109, p. 57–64, 2015.
<https://doi.org/10.1016/j.postharvbio.2015.05.015>

McClements, D.J.; Rao, J. Food-Grade nanoemulsions: Formulation, fabrication, properties, performance, Biological fate, and Potential Toxicity. **Critical Reviews in Food Science and Nutrition**, v. 51, p. 285–330, 2011.
<https://doi.org/10.1080/10408398.2011.559558>

Mehdizadeh, T.; Tajik, H.; Razavi Rohani, S.M.; Oromiehie, A.R. Antibacterial, antioxidant and optical properties of edible starch-chitosan composite film containing *Thymus kotschyanus* essential oil. **Veterinary Research Forum**, v. 3, p. 167–73, 2012.

Modesto, J.H.; Sarita Leonel, Segantini, D.M.; Souza, J.M.A.; Ferraz, R.A. Qualitative attributes of some mango cultivars fruits. **Australian Journal of Crop Science**, v. 10, p. 565–570, 2016. <https://doi.org/10.21475/ajcs.2016.10.04.p7388x>

Mohamed Hanaa, A.R.; Sallam, Y.I.; El-Leithy, A.S.; Aly, S.E. Lemongrass (*Cymbopogon citratus*) essential oil as affected by drying methods. **Annals of**

Agricultural Sciences, v. 57, p. 113–116, 2012.
<https://doi.org/10.1016/j.aogas.2012.08.004>

Moro, A.; Librán, C.M.; Berruga, M.I.; Carmona, M.; Zalacain, A. Dairy matrix effect on the transference of rosemary (*Rosmarinus officinalis*) essential oil compounds during cheese making. **Journal of the Science of Food and Agriculture**, v. 95, p. 1507–1513, 2015. <https://doi.org/10.1002/JSFA.6853>

Muangdech, A. Research on using natural coating materials on the storage life of mango fruit cv. Nam Dok Mai and technology dissemination. **Walailak Journal of Science and Technology**, v. 13, p. 205–220, 2016.

Mukarram, M.; Choudhary, S.; Khan, M.A.; Poltronieri, P.; Khan, M.M.A.; Ali, J.; Kurjak, D.; Shahid, M. Lemongrass essential oil components with antimicrobial and anticancer activities. **Antioxidants** v. 11, p. 1–23, 2022a.
<https://doi.org/10.3390/antiox11010020>

Mukarram, M.; Choudhary, S.; Kurjak, D.; Petek, A.; Khan, M.M.A. Drought: Sensing, signalling, effects and tolerance in higher plants. **Physiologia Plantarum**, v. 172, p. 1291–1300, 2021. <https://doi.org/10.1111/PPL.13423>

Mukarram, M.; Khan, M.M.A.; Uddin, M.; Corpas, F.J. Irradiated chitosan (ICH): an alternative tool to increase essential oil content in lemongrass (*Cymbopogon flexuosus*). **Acta Physiologiae Plantarum**, v. 44, p. 1–15, 2022b. <https://doi.org/10.1007/S11738-021-03335-W>

Munawar, A.A.; Von Hörsten, D.; Wegener, J.K.; Pawelzik, E.; Mörlein, D. Rapid and non-destructive prediction of mango quality attributes using Fourier transform near infrared spectroscopy and chemometrics. **Engineering in Agriculture, Environment and Food**, v. 9, p. 208–215, 2016. <https://doi.org/10.1016/j.eaef.2015.12.004>

Murphy, L.J.; Robertson, K.N.; Harroun, S.G.; Brosseau, C.L.; Werner-Zwanziger, U.; Moilanen, J.; Tuononen, H.M.; Clyburne, J.A.C. A simple complex on the verge of breakdown: Isolation of the elusive cyanofolate ion. **Science**. v. 344, p. 75–78, 2014. <https://doi.org/10.1126/science.1250808>

Mylona, A.E.; Del Fresno, J.M.; Palomero, F.; Loira, I.; Bañuelos, M.A.; Morata, A.; Calderón, F.; Benito, S.; Suárez-Lepe, J.A. Use of *Schizosaccharomyces* strains for wine fermentation - Effect on the wine composition and food safety. **International Journal of Food Microbiology**, v. 232, p. 63–72, 2016.
<https://doi.org/10.1016/J.IJFOODMICRO.2016.05.023>

Nandane, A.S.; Dave, R.K.; Rao, T.V.R. Optimization of edible coating formulations for improving postharvest quality and shelf life of pear fruit using response surface methodology. **Journal of Food Science and Technology**, v. 54, p. 1–8, 2017.
<https://doi.org/10.1007/S13197-016-2359-9>

Ntsoane, M.L.; Zude-Sasse, M.; Mahajan, P.; Sivakumar, D. Quality assesment and postharvest technology of mango: A review of its current status and future perspectives. **Science Horticulturae**. v. 249, p.77–85, 2019. <https://doi.org/10.1016/J.SCIENTA.2019.01.033>

Nawab, A.; Alam, F.; Hasnain, A. Mango kernel starch as a novel edible coating for enhancing shelf- life of tomato (*Solanum lycopersicum*) fruit. **International Journal of Biological Macromoleculless**, v. 103, p. 581–586, 2017. <https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2017.05.057>

Nazzaro, F.; Fratianni, F.; De Martino, L.; Coppola, R.; De Feo, V. Effect of Essential Oils on Pathogenic Bacteria. **Pharmaceuticals** v. 6, p. 1451, 2013. <https://doi.org/10.3390/PH6121451>

Nunes, M.C.N.; Emond, J.P.; Brecht, J.K.; Dea, S.; Proulx, E. Quality curves for mango fruit (cv. Tommy Atkins and Palmer) stored at chilling and nonchilling temperatures. **Journal of Food Quality**, v. 30, p. 104–120, 2007. <https://doi.org/10.1111/J.1745-4557.2007.00109.X>

Ochoa-Velasco, C.E.; Pérez-Pérez, J.C.; Varillas-Torres, J.M.; Navarro-Cruz, A.R.; Hernández-Carranza, P.; Munguía-Pérez, R.; Cid-Pérez, T.S.; Avila-Sosa, R. Starch Edible Films/Coatings Added with Carvacrol and Thymol: In Vitro and In Vivo Evaluation against *Colletotrichum gloeosporioides*. **Foods**, v. 10, p. 175-186, 2021. <https://doi.org/10.3390/FOODS10010175>

Oliveira Costa, V.S.; Michereff, S.J.; Martins, R.B.; Gava, C.A.T.; Mizubuti, E.S.G.; Câmara, M.P.S. Species of Botryosphaeriaceae associated on mango in Brazil. **European Journal of Plant Pathology**, v. 127, p. 509–519, 2010. <https://doi.org/10.1007/S10658-010-9616-Y>

Oliveira, K. Á. R.; Conceição, M. L.; Oliveira, S. P. A.; Lima, M. S.; Galvão, M. S.; Madruga, M. S.; Magnani, M.; Souza, E. L. Postharvest quality improvements in mango cultivar Tommy Atkins by chitosan coating with *Mentha piperita* L. essential oil. **Journal of Horticultural Science and Biotechnology**, v. 95, n.2, p.260–272, 2020. <https://doi.org/10.1080/14620316.2019.1664338>

Oliveira, L. A. **Manual de laboratório: análises físico-químicas de frutas e mandioca**. Cruz das Almas: Embrapa Mandioca e Fruticultura, 2010. 248p.

Oms-Oliu, G.; Soliva-Fortuny, R.; Martín-Belloso, O. Edible coatings with antibrowning agents to maintain sensory quality and antioxidant properties of fresh-cut pears. **Postharvest Biology and Technology**, v. 50, p. 87–94, 2008. <https://doi.org/10.1016/J.POSTHARVBIO.2008.03.005>

Onyango, C.; Mewa, E. A; Mutahi, A. W.; Okoth, M. W. Effect of heat-moisture-treated cassava starch and amaranth malt on the quality of sorghum-cassava-amaranth

bread. **African Journal of Food Science**, v. 7, p. 80–86, 2013.
<https://doi.org/10.5897/ajfs2012.0612>

Oriani, V.B.; Molina, G.; Chiumarelli, M.; Pastore, G.M.; Hubinger, M.D. Properties of Cassava Starch-Based Edible Coating Containing Essential Oils. **Journal of Food Science**, v. 79, p. E189–E194, 2014. <https://doi.org/10.1111/1750-3841.12332>

Palavecino, P.M.; Penci, M.C.; Ribotta, P.D. Effect of Sustainable Chemical Modifications on Pasting and Gel Properties of Sorghum and Cassava Starch. **Food and Bioprocess Technology**, v. 13, p. 112–120, 2020. <https://doi.org/10.1007/S11947-019-02381-0>

Pareta, R.; Edirisinghe, M.J. A novel method for the preparation of starch films and coatings. **Carbohydrate Polymers**, v. 63, p. 425–431, 2006.
<https://doi.org/10.1016/J.CARBPOL.2005.09.018>

Pathare, P.B.; Opara, U.L.; Al-said, F.A. Colour Measurement and Analysis in Fresh and Processed Foods: A Review. **Food and Bioprocess Technology**, v.6, p. 36–60, 2013. <https://doi.org/10.1007/s11947-012-0867-9>

Passafiume, R.; Gaglio, R.; Sortino, G.; Farina, V. Effect of Three Different Aloe vera Gel-Based Edible Coatings on the Quality of Fresh-Cut “Hayward” Kiwifruits. **Foods**, v.9, p. 939, 2020. <https://doi.org/10.3390/FOODS9070939>

Peroni, F.H.G.; Rocha, T.S.; Franco, C.M.L. Some structural and physicochemical characteristics of tuber and root starches. **Food Science and Technology International**, v. 12, p. 505–513, 2006. <https://doi.org/10.1177/1082013206073045>

Pelissari, F.M.; Andrade-Mahecha, M.M.; Sobral, P.J. do A.; Menegalli, F.C. Nanocomposites based on banana starch reinforced with cellulose nanofibers isolated from banana peels. **Journal of Colloid and Interface Science**, v. 505, p. 154–167, 2017. <https://doi.org/10.1016/J.JCIS.2017.05.106>

Pelissari, F.M.; Grossmann, M.V.E.; Yamashita, F.; Pined, E.A.G. Antimicrobial, mechanical, and barrier properties of cassava starch-chitosan films incorporated with oregano essential oil. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, v. 57, p. 7499–7504, 2009. <https://doi.org/10.1021/jf9002363>

Perdana, M.I.; Ruamcharoen, J.; Panphon, S.; Leelakriangsak, M. Antimicrobial activity and physical properties of starch/chitosan film incorporated with lemongrass essential oil and its application. **LWT - Food Science and Technology**, v. 141, p. 110934, 2021. <https://doi.org/10.1016/J.LWT.2021.110934>

Pérez, S.; Bertoft, E. The molecular structures of starch components and their contribution to the architecture of starch granules: A comprehensive review. **Starch - Stärke** v. 62, p. 389–420, 2010. <https://doi.org/10.1002/STAR.201000013>

Pinto, A. C. Q.; Costa, J. G.; Santos, C. A. F. Principais Variedades. In: Genú, P. J. C.; Pinto, A. C. Q. **A Cultura da mangueira**. Brasília: Embrapa Informação Tecnológica, 2002. cap. 5, p. 93-116.

Pinto, C.L.L.; de Araujo, A.C.; Peres, A.E.C. The effect of starch, amylose and amylopectin on the depression of oxi-minerals. **Minerals Engineering**, v. 5, p. 469–478, 1992. [https://doi.org/10.1016/0892-6875\(92\)90226-Y](https://doi.org/10.1016/0892-6875(92)90226-Y)

Pourmohammadi, K.; Abedi, E.; Hashemi, S.M.B.; Torri, L. Effects of sucrose, isomalt and maltodextrin on microstructural, thermal, pasting and textural properties of wheat and cassava starch gel. **International Journal of Biological Macromolecules**, v. 120, p. 1935–1943, 2018. <https://doi.org/10.1016/J.IJBIOMAC.2018.09.172>

Prakash, A.; Baskaran, R.; Vadivel, V. Citral nanoemulsion incorporated edible coating to extend the shelf life of fresh cut pineapples. **LWT – Food Science and Technology**, v. 118, p. 108851, 2020. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2019.108851>

Prakash, B.; Kujur, A.; Yadav, A.; Kumar, A.; Singh, P.P.; Dubey, N.K. Nanoencapsulation: An efficient technology to boost the antimicrobial potential of plant essential oils in food system. **Food Control**, v. 89, p. 1–11, 2018. <https://doi.org/10.1016/J.FOODCONT.2018.01.018>

Prakash, B.; Mishra, P.K.; Kedia, A.; Dubey, N.K. Antifungal, antiaflatoxin and antioxidant potential of chemically characterized *Boswellia carterii* Birdw essential oil and its in vivo practical applicability in preservation of Piper nigrum L. fruits. **LWT – Food Science and Technology**, v. 56, p. 240–247, 2014. <https://doi.org/10.1016/J.LWT.2013.12.023>

Protrade. **Mango - Manual de exportacion: frutas tropicales y hortalizas**. Eschborn: GTZ, 1992. 34 p.

Punia, S. Barley starch modifications: Physical, chemical and enzymatic - A review. **International Journal of Biological Macromolecules**, v. 144, p. 578–585, 2020. <https://doi.org/10.1016/J.IJBIOMAC.2019.12.088>

Qu, P.; Zhang, M.; Fan, K.; Guo, Z. Microporous modified atmosphere packaging to extend shelf life of fresh foods: A review. **Critical Reviews in Food Science and Nutrition**, v. 62, p. 51–65, 2022. <https://doi.org/10.1080/10408398.2020.1811635>

Reis, J.B.R.D.S.; Jesus, A.M.; Dias, M.S.C.; Leal, D.P.V. Effect of irrigation depths and paclobutrazol doses in soil microfauna cultivated with mango crop cv. Haden in Minas Gerais North. **Revista Brasileira de Agricultura Irrigada**, v. 5, n. 3, p. 153–164, 2011. <https://doi.org/10.7127/rbai.v5n300059>

Resende, N.S.; Gonçalves, G.A.S.; Reis, K.C.; Tonoli, G.H.D.; Boas, E.V.B.V. Chitosan/Cellulose Nanofibril Nanocomposite and Its Effect on Quality of Coated Strawberries. **Journal of Food Quality**, 2018. <https://doi.org/10.1155/2018/1727426>

Robles-Sánchez, R.M.; Rojas-Graü, M.A.; Odriozola-Serrano, I.; González-Aguilar, G.; Martín-Belloso, O. Influence of alginate-based edible coating as carrier of antibrowning agents on bioactive compounds and antioxidant activity in fresh-cut Kent mangoes.

LWT – Food Science and Technology, v. 50, p. 240–246, 2013.

<https://doi.org/10.1016/J.LWT.2012.05.021>

Rocha, G.O.; Farias, M.G.; De Carvalho, C.W.P.; Ascheri, J.L.R.; Galdeano, M.C. Filmes compostos biodegradáveis a base de amido de mandioca e proteína de soja.

Polímeros v. 24, p. 587–595, 2014. <https://doi.org/10.1590/0104-1428.1355>

Rohani, M.; Zaipun, M.; Norhayati, M. Effect of modified atmosphere on the storage life and quality of *Eksotika papaya* (Kesan atmosfera terubahsuai terhadap tempoh simpan dan mutu betik Eksotika) **Journal of Tropical Agriculture and Food Science**, v. 25, p. 103–114, 1997.

Rolland-Sabaté, A.; Sánchez, T.; Buléon, A.; Colonna, P.; Jaillais, B.; Ceballos, H.; Dufour, D. Structural characterization of novel cassava starches with low and high-amylase contents in comparison with other commercial sources. **Food Hydrocolloids**, v. 27, p. 161–174, 2012. <https://doi.org/10.1016/J.FOODHYD.2011.07.008>

Ronko, L.Z.; Travalini, A.P.; Demiate, I.M. Amido e bagaço de mandioca (*Manihot esculenta* C.): obtenção e caracterização de diferentes variedades. **Revista Brasileira de Tecnologia Agroindustrial** v. 14, p. 2962–2982, 2020.

<https://doi.org/10.3895/rbta.v1n1.10799>

Sánchez Aldana, D.; Aguilar, C.N.; Contreras-Esquivel, J.C.; Souza, M.P.; Carneiro-da-Cunha, M. das G.; Nevárez-Moorillón, G.V. Use of a Mexican lime (*Citrus aurantifolia* Swingle) edible coating to preserve minimally processed mango (*Mangifera indica* L).

Horticulture, Environment, and Biotechnology, v. 62, p. 765–775, 2021.

<https://doi.org/10.1007/S13580-021-00347-W>

Sedaghat Doost, A.; Nikbakht Nasrabadi, M.; Kassozi, V.; Nakisozi, H.; Van der Meeren, P. Recent advances in food colloidal delivery systems for essential oils and their main components. **Trends in Food Science e Technology**, v. 99, p. 474–486, 2020. <https://doi.org/10.1016/J.TIFS.2020.03.037>

Sánchez-González, L.; Vargas, M.; González-Martínez, C.; Chiralt, A.; Cháfer, M. Use of Essential Oils in Bioactive Edible Coatings: A Review. **Food Engineering Reviews**, v. 3, p. 1–16, 2011. <https://doi.org/10.1007/S12393-010-9031-3>

Sánchez-Ortega, I.; García-Almendárez, B.E.; Santos-López, E.M.; Reyes-González, L.R.; Regalado, C. Characterization and antimicrobial effect of starch-based edible coating suspensions. **Food Hydrocolloids**, v. 52, p. 906–913, 2016.

<https://doi.org/10.1016/J.FOODHYD.2015.09.004>

Sharma, K.; Babaei, A.; Oberoi, K.; Aayush, K.; Sharma, R.; Sharma, S. Essential Oil Nanoemulsion Edible Coating in Food Industry: a Review. **Food and Bioprocess Technology**, v.15, p. 2375–2395 2022. <https://doi.org/10.1007/s11947-022-02811-6>

Sharma, P.; Shehin, V.P.; Kaur, N.; Vyas, P. Application of edible coatings on fresh and minimally processed vegetables: a review. **International Journal of Vegetable Science**, v. 25, p. 295–314, 2019. <https://doi.org/10.1080/19315260.2018.1510863>

Shen, Y.; Ni, Z.J.; Thakur, K.; Zhang, J.G.; Hu, F.; Wei, Z.J. Preparation and characterization of clove essential oil loaded nanoemulsion and pickering emulsion activated pullulan-gelatin based edible film. **International Journal of Biological Macromolecules**, v. 181, p. 528–539, 2021. <https://doi.org/10.1016/J.IJBIOMAC.2021.03.133>

Shin, S.; Bhowmik, S.R. Thermal kinetics of color changes in pea puree. **Journal of Food Engineering**, v. 24, p. 77–86, 1995. [https://doi.org/10.1016/0260-8774\(94\)P1609-2](https://doi.org/10.1016/0260-8774(94)P1609-2)

Singh, J.; Kaur, L.; McCarthy, O.J. Factors influencing the physico-chemical, morphological, thermal and rheological properties of some chemically modified starches for food applications—A review. **Food Hydrocolloids**, v. 21, p. 1–22, 2007. <https://doi.org/10.1016/J.FOODHYD.2006.02.006>

Sivakumar, D.; Jiang, Y.; Yahia, E.M. Maintaining mango (*Mangifera indica* L.) fruit quality during the export chain. **Food Research International**, v. 44, p. 1254–1263, 2011. <https://doi.org/10.1016/J.FOODRES.2010.11.022>

Solovchenko, A.; Yahia, E.M.; Chen, C. **Pigments**. Postharvest Physiology and Biochemistry of Fruits and Vegetables. Cap. 11, p.225–252, 2019. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-813278-4.00011-7>

Sousa, C. S.; Silva, S.A.; Hansen, D. S.; Fonseca, A.A.O. Correlações entre Caracteres Físicos e Químicos de Jenipapeiros Nativos do Recôncavo Baiano. **Revista Brasileira de Biociências**. v. 5, p. 270–272, 2007.

Sousa, F.F.; Pinsetta Junior, J.S.; Oliveira, K.T.E.F.; Rodrigues, E.C.N.; Andrade, J.P.; Mattiuz, B.H. Conservation of ‘Palmer’ mango with an edible coating of hydroxypropyl methylcellulose and beeswax. **Food Chemistry**, v. 346, p. 128925, 2021. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2020.128925>

Souza, R.C.R.; Andrade, C.T. Investigação dos processos de gelatinização e extrusão de amido de milho. **Polímeros**, v. 10, p. 24–30, 2000. <https://doi.org/10.1590/S0104-14282000000100006>

Sudheeran, P.K.; Love, C.; Feygenberg, O.; Maurer, D.; Ovadia, R.; Oren-Shamir, M.; Alkan, N. Induction of red skin and improvement of fruit quality in ‘Kent’, ‘Shelly’ and ‘Maya’ mangoes by preharvest spraying of prohydrojasmon at the orchard. **Postharvest**

Biology and Technology, v. 149, p. 18–26, 2019.
<https://doi.org/10.1016/J.POSTHARVBIO.2018.11.014>

Sweedman, M.C.; Tizzotti, M.J.; Schäfer, C.; Gilbert, R.G. Structure and physicochemical properties of octenyl succinic anhydride modified starches: A review. **Carbohydrate Polymers**, 92, 905–920, 2013.
<https://doi.org/10.1016/J.CARBPOL.2012.09.040>

Tagliapietra, B.L.; Felisberto, M.H.F.; Sanches, E.A.; Campelo, P.H.; Clerici, M.T.P.S. Non-conventional starch sources. **Current Opinion in Food Science**, v. 39, p. 93–102, 2021. <https://doi.org/10.1016/J.COFS.2020.11.011>

Tahir, H.E.; Xiaobo, Z.; Mahunu, G.K.; Arslan, M.; Abdalhai, M.; Zhihua, L. Recent developments in gum edible coating applications for fruits and vegetables preservation: A review. **Carbohydrate Polymers**, v.224, p. 115141, 2019.
<https://doi.org/10.1016/J.CARBPOL.2019.115141>

Tajkarimi, M.M.; Ibrahim, S.A.; Cliver, D.O. Antimicrobial herb and spice compounds in food. **Food Control**, v. 21, p. 1199–1218, 2010.
<https://doi.org/10.1016/J.FOODCONT.2010.02.003>

Teixeira, R.F.; Balbinot Filho, C.A.; Borges, C.D. Essential oils as natural antimicrobials for application in edible coatings for minimally processed apple and melon: A review on antimicrobial activity and characteristics of food models. **Food Packaging and Shelf Life**, v. 31, p. 100781, 2022.
<https://doi.org/10.1016/J.FPSL.2021.100781>

Thakur, R.; Pristijono, P.; Scarlett, C.J.; Bowyer, M.; Singh, S.P.; Vuong, Q. V. Starch-based films: Major factors affecting their properties. **International Journal of Biological Macromolecules**, v. 132, p. 1079-1089, 2019.
<https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2019.03.190>

Tharanathan, R.N.; Yashoda, H.M.; Prabha, T.N. Mango (*Mangifera indica* L.), “the king of fruits” - An overview, **Food Reviews International**, v. 22, n.2, p. 95-123, 2006.
<https://doi.org/10.1080/87559120600574493>

Tran, D.T.; Verlinden, B.E.; Hertog, M.; Nicolai, B.M. Monitoring of extremely low oxygen control atmosphere storage of ‘Greenstar’ apples using chlorophyll fluorescence. **Scientia Horticulturae**, v. 184, p. 18–22, 2015.
<https://doi.org/10.1016/J.SCIENTA.2014.11.014>

Trela, V.D.; Ramallo, A.L.; Albani, O.A. Synthesis and Characterization of Acetylated Cassava Starch with Different Degrees of Substitution. **Brazilian Archives of Biology and Technology**, v. 63, p. e20180292, 2020. <https://doi.org/10.1590/1678-4324-2020180292>

Uchechukwu-Agua, A.D.; Caleb, O.J.; Opara, U.L. Postharvest Handling and Storage of Fresh Cassava Root and Products: a Review. **Food and Bioprocess Technology**, v. 8, p. 729–748, 2015. <https://doi.org/10.1007/S11947-015-1478-Z>

Vargas, C.G.; Costa, T.M.H.; Rios, A. de O.; Flôres, S.H. Comparative study on the properties of films based on red rice (*Oryza glaberrima*) flour and starch. **Food Hydrocolloids** V. 65, p. 96–106, 2017. <https://doi.org/10.1016/J.FOODHYD.2016.11.006>

Vásquez-Caicedo, A.L.; Neidhart, S.; Carle, R. Postharvest ripening behavior of nine thai mango cultivars and their suitability for industrial applications. **Acta Horticulturae**, v. 645, p. 617-625, 2004. <https://doi.org/10.17660/ActaHortic.2004.645.81>

Vazquez-Salinas, C.; Lakshminarayana, S. Compositional Changes in Mango Fruit During Ripening at Different Storage Temperatures. **Journal of Food Science** v. 50, p. 1646–1648, 1985. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2621.1985.tb10555.x>

Viana, E.B.M.; Leite, N.O.; Ribeiro, J.S.; Almeida, M.F.; Souza, C.C.E.; Resende, J.V.; Santos, L.S.; Veloso, C.M. Development of starch-based bioplastics of green plantain banana (*Musa paradisiaca* L.) modified with heat-moisture treatment (HMT). **Food Packaging and Shelf Life**, v. 31, p. 100776, 2022. <https://doi.org/10.1016/J.FPSL.2021.100776>

Vilvert, J.C.; de Freitas, S.T.; Ferreira, M.A.R.; Leite, R.H. de L.; dos Santos, F.K.G.; Costa, C. dos S.R.; Aroucha, E.M.M. Chitosan and graphene oxide-based biodegradable bags: An eco-friendly and effective packaging alternative to maintain postharvest quality of ‘Palmer’ mango. **LWT – Food Science and Technology**, v. 154, p. 112741, 2022. <https://doi.org/10.1016/J.LWT.2021.112741>

Wang, J.; Tang, X.J.; Chen, P.S.; Huang, H.H. Changes in resistant starch from two banana cultivars during postharvest storage. **Food Chemistry**, v. 156, p. 319–325, 2014. <https://doi.org/10.1016/J.FOODCHEM.2014.02.012>

Wang, J.; Yuan, C.; Cui, B.; Li, J.; Gao, W.; Dong, X. The influence of calcium chloride concentration on the mechanical and barrier properties of high amylose corn starch film. **Industrial Crops and Products**, v. 188, p. 115695, 2022. <https://doi.org/10.1016/J.INDCROP.2022.115695>

Wang, S.; Copeland, L. Effect of Acid Hydrolysis on Starch Structure and Functionality: A Review. **Critical Reviews in Food Science and Nutrition**, v. 55, p. 1081–1097, 2015. <https://doi.org/10.1080/10408398.2012.684551>

Wani, A.R.; Yadav, K.; Khursheed, A.; Rather, M.A. An updated and comprehensive review of the antiviral potential of essential oils and their chemical constituents with special focus on their mechanism of action against various influenza and coronaviruses.

Microbial Pathogenesis, v. 152, p. 104620, 2021.
<https://doi.org/10.1016/J.MICPATH.2020.104620>

Waterschoot, J.; Gomand, S. V.; Fierens, E.; Delcour, J.A. Production, structure, physicochemical and functional properties of maize, cassava, wheat, potato and rice starches. **Starch - Stärke** v. 67, p. 14–29, 2015.
<https://doi.org/10.1002/STAR.201300238>

Wei, H.; Seidi, F.; Zhang, T.; Jin, Y.; Xiao, H. Ethylene scavengers for the preservation of fruits and vegetables: A review. **Food Chemistry**, v. 337, p. 127750, 2021.
<https://doi.org/10.1016/J.FOODCHEM.2020.127750>

Wińska, K.; Mączka, W.; Łyczko, J.; Grabarczyk, M.; Czubaszek, A.; Szumny, A. Essential oils as antimicrobial agents-myth or real alternative? **Molecules**, v. 24, p. 1–21, 2019. <https://doi.org/10.3390/molecules24112130>

Xu, S.; Xu, L.; Chen, X. Determining optimum edible films for kiwifruits using an analytical hierarchy process. **Computers e Operations Research**, v. 30, p. 877–886, 2003. [https://doi.org/10.1016/S0305-0548\(02\)00040-0](https://doi.org/10.1016/S0305-0548(02)00040-0)

Yadav, D.; Singh, S. Mango: History origin and distribution. **Journal of Pharmacognosy and Phytochemistry**, v. 6, p. 1257–1262, 2017.

Yang, Y.; Tao, W.Y. Effects of lactic acid fermentation on FT-IR and pasting properties of rice flour. **Food Research International**, v. 41, p. 937–940, 2008.
<https://doi.org/10.1016/J.FOODRES.2007.10.011>

Yousuf, B.; Wu, S.; Siddiqui, M.W. Incorporating essential oils or compounds derived thereof into edible coatings: Effect on quality and shelf life of fresh/fresh-cut produce. **Trends in Food Science e Technology**, v. 108, p. 245–257, 2021.
<https://doi.org/10.1016/J.TIFS.2021.01.016>

Yusoff, Z.M.; Nordin, M.N.N.; Rahiman, M.H.F.; Adnan, R.; Taib, M.N. Characterization of down-flowing steam distillation system using step test analysis. **IEEE Control and System Graduate Research Colloquium**, p. 197–201, 2011.
<https://doi.org/10.1109/ICSGRC.2011.5991856>

Zaharah, S.S.; Singh, Z.; Symons, G.M.; Reid, J.B. Mode of action of abscisic acid in triggering ethylene biosynthesis and softening during ripening in mango fruit. **Postharvest Biology and Technology**, v. 75, p. 37–44, 2013.
<https://doi.org/10.1016/J.POSTHARVBIO.2012.07.009>

Zhang, W.; Jiang, H.; Rhim, J.W.; Cao, J.; Jiang, W. Effective strategies of sustained release and retention enhancement of essential oils in active food packaging films/coatings. **Food Chemistry**, v. 367, p. 130671, 2022.
<https://doi.org/10.1016/J.FOODCHEM.2021.130671>

Zimmer, P.D.; Bierhals, J.D.; Silva, J.A.; Rombaldi, C.V. Inibição da síntese da ACC (ácido 1-carboxílico-1-aminociclopropano) oxidase em maçãs frigoconservadas em atmosfera controlada. **Food Science and Technology**, v. 19, p. 338–343, 1999.
<https://doi.org/10.1590/S0101-20611999000300>

Santos Filho, H. P.; Matos, A. P. Doenças e seus controles. In: Matos, A. P. (Org.). Manga: produção: aspectos técnicos. Brasília: **Embrapa Comunicação para Transferência de Tecnologia**, p. 52-53, 2000.