

**UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA - UNESP
CÂMPUS DE JABOTICABAL**

**CONSERVAÇÃO DE MANGAS 'PALMER' COM
RECOBRIMENTO COMESTÍVEL DE
HIDROXIPROPILMETILCELULOSE E CERA DE ABELHA**

**Fagner Freires de Sousa
Tecnólogo Agroindustrial**

2020

**UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA - UNESP
CÂMPUS DE JABOTICABAL**

**CONSERVAÇÃO DE MANGAS 'PALMER' COM
RECOBRIMENTO COMESTÍVEL DE
HIDROXIPROPILMETILCELULOSE E CERA DE ABELHA**

Discente: Fagner Freires de Sousa

Orientador: Prof. Dr. Ben-Hur Mattiuz

Tese apresentada à Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias – Unesp, Câmpus de Jaboticabal, como parte das exigências para obtenção do Título de Doutor em Agronomia (Produção Vegetal).

S725c

Sousa, Fagner Freires de

Conservação de mangas 'Palmer' com recobrimento
comestível de hidroxipropilmetilcelulose e cera de abelha /
Fagner Freires de Sousa. -- Jaboticabal, 2020

93 p. : il., tabs., fotos

Tese (doutorado) - Universidade Estadual Paulista (Unesp),
Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias, Jaboticabal
Orientador: Ben-Hur Mattiuz

1. Biopolímero. 2. *Mangifera indica*. 3. Pós-colheita. 4.
Qualidade. 5. Vida útil. I. Título.

Sistema de geração automática de fichas catalográficas da Unesp. Biblioteca da
Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias, Jaboticabal. Dados fornecidos
pelo autor(a).

Essa ficha não pode ser modificada.

CERTIFICADO DE APROVAÇÃO

TÍTULO DA TESE: CONSERVAÇÃO DE MANGAS 'PALMER' COM RECOBRIMENTO COMESTÍVEL DE HIDROXIPROPILMETILCELULOSE E CERA DE ABELHA

AUTOR: FAGNER FREIRES DE SOUSA

ORIENTADOR: BEN-HUR MATTIUZ

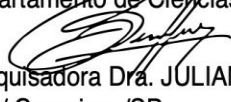
Aprovado como parte das exigências para obtenção do Título de Doutor em AGRONOMIA (PRODUÇÃO VEGETAL), pela Comissão Examinadora:


Prof. Dr. BEN-HUR MATTIUZ
Bioquímica e Microbiologia / Instituto de Biociências - Unesp - Rio Claro


Profa. Dra. JOSIANE PEREIRA DA SILVA
Universidade Federal Rural da Amazônia - Campus Parauapebas / Parauapebas/PA


Profa. Dra. LÍCIA AMAZONAS CALANDRINI BRAGA
Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Pará-Campus Castanhal / Castanhal/PA


Prof. Dr. RICARDO ALFREDO KLUGE
Departamento de Ciências Biológicas-ESALQ/USP / Piracicaba/SP


Pesquisadora Dra. JULIANA SANCHES DE LAURENTIZ
IAC / Campinas/SP

Jaboticabal, 15 de setembro de 2020

DADOS CURRICULARES DO AUTOR

Fagner Freires de Sousa – nascido em Santa Maria do Pará, Pará, no dia 11 de setembro de 1992. Filho de Francisco Estevão de Sousa e Telma Maria Freires de Sousa. Iniciou o curso de Tecnologia Agroindustrial – ênfase em Alimentos – em fevereiro de 2010, no Centro de Ciências Naturais e Tecnologia da Universidade do Estado do Pará (CCNT/UEPA), em Belém, onde foi monitor das disciplinas “Matérias primas agroindustriais” e “Tópicos genéticos”, sob orientação da prof.^a Henriqueta Nunes e, em seguida, do Laboratório de Tecnologia de Alimentos, sob orientação da prof.^a Suezilde Ribeiro, que também foi orientadora do Trabalho de Conclusão de Curso defendido em junho de 2013. Em agosto de 2013 ingressou no curso de Especialização em Extensão Rural, Sistemas Agrários e Ações de Desenvolvimento, no Núcleo de Ciência Agrárias e Desenvolvimento Rural da Universidade Federal do Pará (NCADR/UFPA), concluindo em fevereiro de 2014. Em março de 2014 iniciou o Mestrado em Agriculturas Familiares e Desenvolvimento Sustentável, também ofertado pelo NCADR/UFPA. No mestrado, atuou na linha de pesquisa “Sistemas de produção familiar”, sob orientação do prof. Flávio Bezerra Barros, desenvolvendo pesquisa sobre a cadeia produtiva de frutos de *Mauritia flexuosa* L. f. em comunidades ribeirinhas de Abaetetuba, Pará, com dissertação defendida em março de 2016. Logo em seguida iniciou a atuação profissional como consultor/pesquisador do Centro Internacional de Cooperação para o Desenvolvimento da Pesquisa Agrônômica (CIRAD, França), atuando na cidade de Paragominas, Pará. Deixou o CIRAD em agosto de 2016, dada nomeação como Professor do quadro permanente do Instituto Federal do Pará (IFPA), com lotação no Campus Cametá, onde atua no ensino, pesquisa e extensão na área de Ciência e Tecnologia de Alimentos e Extensão Rural nos cursos Técnicos em Agropecuária e Recursos Pesqueiros e de Especialização em Agroecologia. Em fevereiro de 2018, ingressou, por meio de parceria interinstitucional (DINTER) entre IFPA e UNESP, no curso de Doutorado em Agronomia (Produção Vegetal) da Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho” – Câmpus de Jaboticabal, desenvolvendo pesquisa na linha de “Conservação pós-colheita e qualidade de produtos vegetais”, sob orientação do prof. Ben-Hur Mattiuz.

DEDICATÓRIA

Às mulheres da minha vida
Minha esposa, Josiele Andrade
Minha mãe, Telma Freires
E minhas avós Francisca Freire (*in memoriam*) e Noemia Pontes (*in memoriam*)

DEDICO!

AGRADECIMENTOS

A Deus pelo dom da vida e por me conceder saúde e perseverança para buscar pelos meus objetivos.

À minha esposa, Josiele Andrade, pelo amor, dedicação, companheirismo, apoio incondicional e por ser meu alicerce nos momentos difíceis, sempre me incentivando a ser um homem melhor.

À minha mãe, Telma Freires e minha avó, Francisca Freire (*in memoriam*), por acreditarem em mim e, mesmo em meio a todas as adversidades, não medirem esforços para me oportunizar alçar os voos que me fizeram chegar aqui.

Ao meu orientador, Prof. Ben-Hur Mattiuz, pela confiança, oportunidade, amizade e orientação comprometida durante esse percurso. Suas contribuições foram essenciais à construção desse trabalho.

À Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias da Universidade Estadual Paulista, pela infraestrutura e ao Setor de Pós-Graduação pelo atendimento cordial sempre que precisei.

Ao prof. Marcelo Ferreira, coordenador do DINTER, pelo comprometimento e disponibilidade em ajudar sempre que necessário.

Ao Instituto Federal do Pará – Campus Castanhal, nas pessoas dos professores Roberto Dias (*in memoriam*), à época Diretor Geral do Campus, e Ricardo Cordeiro, coordenador local do DINTER, por oportunizar a oferta do DINTER IFPA/Unesp, pela infraestrutura disponibilizada durante as aulas presenciais em Castanhal e pelos recursos financeiros fornecidos.

Ao Instituto Federal do Pará – Campus Cametá, na pessoa do prof. Edinaldo Feitosa, por não apresentar obstáculos para minha liberação para as aulas presenciais em Castanhal e realização do estágio em Jaboticabal.

A toda equipe do Laboratório de Tecnologia Pós-Colheita da Unesp/FCAV, em especial a Ellen Nabiça, José Sidnaldo Pinsetta Junior e Karollayne Fonseca pela amizade e valiosas contribuições durante essa jornada. Vocês, sem dúvidas, fizeram os meus dias em Jaboticabal mais leves.

Aos companheiros da turma MINTER/DINTER, em especial Regiara Croelhas e Glaucia Azevedo, pela convivência, amizade e trocas de conhecimento durante nossas aulas em Castanhal. Agradeço também ao casal Flor (Roque e Alessandra) e ao Rubens pelas inúmeras caronas de Castanhal a Belém.

As professoras Therezinha Rodrigues e Kelly Marques pelas contribuições durante o exame de qualificação.

A todos os professores do DINTER, que se disponibilizaram a ofertar as disciplinas em Castanhal, pelo aprendizado que nos oportunizaram.

A Colorcon do Brasil pelo Methocel E15 fornecido para a pesquisa e aos produtores Ademar Ogata (Ogata Citrus) e João Malalan pelas mangas fornecidas para os experimentos.

A todos os professores que fizeram parte da minha formação, desde a educação básica à pós-graduação, especialmente a Aline Costa, Francisco Machado e Helena Carneiro, professores da Escola Estadual Augusto Olímpio, que foram meus principais incentivadores a prestar vestibular e se tornaram minhas principais inspirações na docência, pela excelência, dedicação e paixão que dedicam ao seu trabalho.

À Educação pública, inclusiva, gratuita e de qualidade, que oportunizou toda a minha trajetória acadêmica.

Finalmente, agradeço a todos aqueles que, direta ou indiretamente, contribuíram para minha caminhada até este momento, seja com conselhos, palavras amigas ou puxões de orelha.

SUMÁRIO

| | Página |
|---|---------------|
| RESUMO | ii |
| ABSTRACT | iii |
| CAPÍTULO I – CONSIDERAÇÕES GERAIS..... | 1 |
| 1. Introdução | 1 |
| 2. Revisão de Literatura | 3 |
| 3. Referências Bibliográficas..... | 9 |
| CAPÍTULO II – RECOBRIMENTO COMESTÍVEL A BASE DE HIDROXIPROPILMETILCELULOSE E CERA DE ABELHA NA CONSERVAÇÃO PÓS-COLHEITA DE MANGA ‘PALMER’ EM TEMPERATURA AMBIENTE | xiii |
| Resumo. | xiii |
| Abstract..... | xiv |
| 1. Introdução | 15 |
| 2. Material e Métodos..... | 17 |
| 3. Resultados e Discussão..... | 25 |
| 4. Conclusão | 45 |
| 5. Agradecimentos | 45 |
| 6. Referências Bibliográficas..... | 45 |
| CAPÍTULO III – RECOBRIMENTO A BASE DE HIDROXIPROPILMETILCELULOSE E CERA DE ABELHA ASSOCIADO À REFRIGERAÇÃO AUMENTA A VIDA ÚTIL E MANTÉM A QUALIDADE DE MANGA ‘PALMER’ | lv |
| Resumo | lv |
| Abstract..... | lvi |
| 1. Introdução | 57 |
| 2. Material e Métodos..... | 58 |
| 3. Resultados e Discussão..... | 67 |
| 4. Conclusão | 86 |
| 5. Agradecimentos | 87 |
| 6. Referências Bibliográficas..... | 87 |

CONSERVAÇÃO DE MANGAS ‘PALMER’ COM RECOBRIMENTO COMESTÍVEL DE HIDROXIPROPILMETILCELULOSE E CERA DE ABELHA

RESUMO – A manga é uma fruta climatérica, cujo intenso metabolismo na pós-colheita reduz sua vida útil, gerando perda de qualidade e limitando a comercialização em locais distantes das regiões produtoras. A adoção de tecnologias que possibilitem aumentar a vida útil da fruta na pós-colheita pode contribuir à expansão e flexibilização da comercialização, com redução de perdas e manutenção da qualidade. Assim, objetivou-se avaliar o efeito de recobrimentos a base hidroxipropilmetilcelulose (HPMC) com três concentrações de cera de abelha (10, 20 e 40%) na conservação pós-colheita de mangas da cultivar Palmer, em duas condições de armazenamento. O experimento foi realizado em duas etapas: [1] em sala ambiente a temperatura de 21 ± 1 °C e $75 \pm 10\%$ UR, durante o período de 15 dias e; [2] em câmara fria a temperatura de $11 \pm 0,5$ °C e $63 \pm 4\%$ UR, durante o período de 30 dias, seguido de seis dias em temperatura ambiente (20 ± 1 °C). Nas duas etapas e em cada data de amostragem os frutos foram submetidos a avaliações de perda de massa fresca, cor, firmeza, taxa respiratória, acidez titulável, sólidos solúveis, açúcares solúveis e redutores, ácido ascórbico, carotenoides, flavonoides, compostos fenólicos totais, atividade antioxidante total, atividade enzimática, peroxidação lipídica e incidência de podridão. Em condição ambiente, os resultados demonstraram que os recobrimentos foram efetivos no controle do amadurecimento, com manutenção da cor da casca e da polpa, da acidez, da firmeza, dos sólidos solúveis, do “ratio”, dos açúcares e do ácido ascórbico. Os recobrimentos também reduziram a perda de massa e a incidência de doenças, além de não induzir a produção de etanol, mantendo os frutos no pré-climatérico por 15 dias, o que contribuiu com ganho de pelo menos 6 dias na vida útil das frutas. O tratamento com 20% cera de abelha (CA) foi o mais indicado para possíveis aplicações industriais nessa condição de armazenamento. Quando associado à refrigeração, os recobrimentos contribuíram para redução da perda de massa fresca, manutenção da firmeza, dos sólidos solúveis e dos açúcares redutores, além de não interferirem no desenvolvimento da coloração da polpa e na síntese de compostos bioativos e atividade antioxidante durante o armazenamento refrigerado. Após a transferência para condição de comercialização, os frutos do controle e com recobrimento de HPMC + 10% CA apresentaram rápido amadurecimento, com ocorrência dos fitopatógenos *Colletotrichum gloeosporioides* e *Lasiodyplodia theobromae* a partir do 2º e 4º dia, respectivamente. Apenas os frutos submetidos aos tratamentos com HPMC + 20 e 40% CA alcançaram os 30 + 6 dias de armazenamento. No entanto, os frutos com recobrimento de HPMC + 20% CA apresentaram melhor qualidade ao final do armazenamento, registrando-se menor perda de firmeza, de compostos bioativos e atividade antioxidante. Dessa forma, conclui-se que o recobrimento a base de HPMC + 20% CA apresenta o melhor desempenho na conservação pós colheita de manga ‘Palmer’ nas duas condições de armazenamento avaliadas.

Palavras-chave: biopolímero, *Mangifera indica*, pós-colheita, qualidade, vida útil.

CONSERVATION OF 'PALMER' MANGOES WITH HYDROXYPROPYL METHYLCELLULOSE AND BEE WAX EDIBLE COATING

ABSTRACT – Mango is a climacteric fruit with intense postharvest metabolism, reducing its shelf life, generating a quality loss, and limiting commercialization in places far from the producing regions. The adoption of technologies to possibly increase the fruit shelf life in the postharvest period can contribute to the expansion and flexibility of marketing, reducing losses and maintaining quality. Thus, the aim was to evaluate the effect of coatings based on hydroxypropyl methylcellulose (HPMC) with three concentrations of beeswax (10, 20 and 40%) on postharvest conservation of mango 'Palmer', under two storage conditions. The experiment was carried out in two steps: [1] in an ambient room at a temperature of 21 ± 1 °C and $75 \pm 10\%$ RH, during the period of 15 days; [2] in a cold room at a temperature of 11 ± 0.5 °C and $63 \pm 4\%$ RH, during the period of 30 days, followed by 6 days at room temperature (20 ± 1 °C). In both stages and on each sampling date, the fruit were submitted to evaluations of fresh weight loss, color, firmness, respiratory rate, titratable acidity, soluble solids, soluble and reducing sugars, ascorbic acid, carotenoids, flavonoids, total phenolic compounds, total antioxidant activity, enzymatic activity, lipid peroxidation and disease incidence. In ambient conditions, the results showed that the coatings were effective in controlling ripeness, maintaining the color of the peel and pulp, acidity, firmness, soluble solids, "ratio", sugars and ascorbic acid. The coatings also reduced the weight loss and the disease incidence, in addition to not inducing the production of ethanol, keeping the fruit in the pre-climacteric for 15 days, which contributed to at least a 6-days gain in the fruit shelf life. The treatment with 20% beeswax (BW) was the most suitable for possible industrial applications in this storage condition. When combined with refrigeration, the coatings contributed to reducing the weight loss, maintaining firmness, soluble solids and reducing sugars, in addition to not interfering with the development of pulp color and the synthesis of bioactive compounds, and antioxidant activity during refrigerated storage. After the transfer to commercial condition, the uncoated fruit and the HPMC + 10% BW coating showed rapid ripening, with the occurrence of phytopathogens *Colletotrichum gloeosporioides* and *Lasiodiplodia theobromae*, from the 2nd and 4th day, respectively. Only fruit subjected to treatments with HPMC + 20 and 40% BW reached 30 + 6 days of storage. However, fruit with the HPMC + 20% BW coating showed better quality at the end of storage, with lower firmness loss, bioactive compounds, and antioxidant activity. Thus, the coating based on HPMC + 20% BW presents the best performance in postharvest conservation of 'Palmer' mango under the two storage conditions evaluated.

Keywords: edible coating, *Mangifera indica*, postharvest, quality, shelf life.

CAPÍTULO I – Considerações gerais

1. Introdução

Originária do continente asiático, a manga (*Mangifera indica* L.) é uma fruta tropical cultivada comercialmente no Brasil desde a década de 1960. Atualmente, com 62 mil hectares de área plantada e produção de 1.002,189 toneladas da fruta, o país se destaca entre os principais produtores mundiais (AGRIANUAL, 2019). Com bom desempenho nos mercados interno e externo, o volume de manga comercializado cresce todos os anos, sobretudo para o mercado externo (Kist et al., 2018). Nesse cenário, a cultivar ‘Palmer’ tem despontado, principalmente pelo interesse do mercado europeu em variedades com menor teor de fibras (Hortifruti Brasil, 2018).

A manga ‘Palmer’ é uma variedade que tem gerado interesse nos últimos anos em função de suas características sensoriais, como melhor sabor e aroma, dado maior teor de sólidos solúveis, além de menor teor de fibras (Camara, 2017). Além disso, apresenta interessantes características nutricionais, sobressaindo-se dentre as demais cultivares por apresentar elevado teor de compostos antioxidantes como ácido ascórbico, flavonoides e polifenóis (Modesto et al., 2016). Todavia, sua vida útil na pós-colheita em temperatura ambiente é curta, variando de 5 a 8 dias (Nunes, 2008), o que resulta na oferta de frutos de baixa qualidade, principalmente no mercado externo (Asio e Cuaresma, 2016).

A curta vida útil da manga se dá em função das alterações metabólicas ocorridas na fruta durante a pós-colheita, que muda seu balanço gasoso entre o consumo de gás oxigênio (O_2) e a produção de dióxido de carbono (CO_2). Com isso, não é permitida a renovação celular, levando ao aumento nas taxas de transferência de gases e causando perda de metabólitos, o que leva o fruto a uma maturação gradual e senescência (Dhall, 2013; Singh et al., 2013).

O aumento da vida útil dessa fruta é, portanto, uma necessidade, com vistas a possibilitar maior expansão e flexibilidade de comercialização da manga, reduzindo custos de produção e reduzindo perdas. Nesse sentido, a realização de pesquisas voltadas à conservação pós-colheita de mangas pode contribuir ao desenvolvimento de tecnologias alternativas que permitam aumentar a conservação desta fruta, garantindo um produto de maior qualidade ao consumidor e menor custo ao produtor.

Os recobrimentos comestíveis têm emergido como uma tecnologia alternativa à conservação pós-colheita de frutas frescas, pois apresentam eficiência no controle da transferência de umidade, troca de gases e oxidação quando produzidos com matérias-primas adequadas ao vegetal que se pretende conservar. Além disso, são considerados ecológicos e podem fornecer um revestimento protetor adicional que apresenta o mesmo efeito que o armazenamento em atmosfera com composição interna de gases modificada (Dhall, 2013).

Muitas matérias-primas têm sido testadas como cobertura em frutas, dentre os quais os polímeros compostos de polissacarídeos e lipídeos, que propiciam melhor estrutura e permeabilidade aos gases (Navarro-Tarazaga et al., 2008). O recobrimento com hidroxipropilmetilcelulose (HPMC) e cera de abelha (CA) é um destes biopolímeros relatados na literatura para conservação de diferentes frutas (Contreras-Oliva et al., 2012; Formiga et al., 2019; Klangmuang e Sothornvit, 2018b; Navarro-Tarazaga et al., 2011; Navarro-Tarazaga e Pérez-Gago, 2006; Navarro-Tarazaga et al., 2008; Pérez-Gago et al., 2002; Sothornvit e Klangmuang, 2015; Valencia-chamorro et al., 2009), demonstrando a manutenção da firmeza e dos principais parâmetros físico-químicos e redução da perda de peso, o que retarda o amadurecimento e aumenta a vida útil das frutas sem perda de qualidade.

Esses resultados são promissores e despertam o interesse em pesquisas voltadas à aplicação desse biopolímero em mangas 'Palmer'. Os trabalhos dedicados à verificação da viabilidade da utilização desse material em mangas 'Palmer' são necessários, uma vez que a escolha do material apropriado é também determinada pelas características da fruta, não existindo uma formulação que possa ser aplicada, indiscriminadamente, a qualquer fruta (Assis e Britto, 2014).

Dessa forma, o objetivo dessa pesquisa é avaliar o efeito de recobrimentos a base de HPMC e cera de abelha na conservação pós-colheita de mangas 'Palmer' submetidas a duas condições de armazenamento: temperatura ambiente (21 °C) e refrigeração (11 °C), seguida de exposição a condição de comercialização (20 °C).

2. Revisão de Literatura

2.1 A manga

A manga é uma fruta originária do continente asiático que chegou a América entre os séculos XV e XVI, sendo introduzida comercialmente no Brasil a partir da década de 1960 (Mitra, 2016), com produção crescente até 2011, quando a mangicultura começou se estabilizar no país (FAOSTAT, 2016).

Atualmente o Brasil figura como um dos maiores produtores mundiais de manga, ocupando a 7ª posição do ranking de produção (FAOSTAT, 2016). No ano de 2016, a produção de manga no Brasil alcançou mais de um milhão de toneladas, advindas de uma área colhida de 62 mil hectares (AGRIANUAL, 2019). Com uma produção anual de 179 mil t, São Paulo é o 3º estado maior produtor da fruta, perdendo apenas para os estados da Bahia e de Pernambuco (Kist et al., 2018).

A fruta apresenta boa aparência, bom gosto, excelente composição nutricional e alta concentração de compostos bioativos (Lobo e Sidhu, 2017). Destaca-se como uma importante fonte de vitamina A, vitamina C, carotenoides, compostos fenólicos (mangiferina), fibra alimentar, carboidratos e minerais, oferecendo muitos benefícios medicinais, nutricionais e industriais (Zafar e Sidhu, 2017).

Os frutos verdes são caracterizados pela sua textura rígida, alto teor de amido, baixos teores de carotenoides, altas concentrações de ácidos orgânicos e subsequente baixo pH (Narayana et al., 2012). O desenvolvimento e maturação da fruta acarretam uma série de mudanças bioquímicas e fisiológicas, como a modificação da parede celular, amaciamento da polpa pela redução da textura, degradação da clorofila e desenvolvimento de pigmentos (carotenoides), conversão do amido em açúcares e desenvolvimento de aromas e sabores. Essas alterações são mediadas pela produção autocatalítica de etileno e aumento na taxa de respiração, uma vez que a manga é uma fruta climatérica (Lobo e Sidhu, 2017; Narayana et al., 2012).

Essa característica permite que a manga seja colhida quando atinge a maturação fisiológica, estágio conhecido como “de vez”. O fruto apresenta alta perecibilidade, devido sua intensa atividade respiratória associada à crescente produção de etileno, ocasionando rápido amadurecimento e limitando seu manuseio,

armazenamento e potencial transporte. Tal quadro acarreta em elevadas perdas (Narayana et al., 2012).

As perdas pós-colheita da manga ocorrem em diferentes pontos da cadeia produtiva e chegam a representar cerca de 30% da produção. Estas perdas são atribuídas, em primeiro lugar, a más condições de colheita, armazenamento e transporte e embalagens inadequadas (Esguerra e Rolle, 2018). Dessa forma, a escolha da variedade de manga a ser cultivada e da tecnologia pós-colheita a ser utilizada é estratégica na redução das perdas e, por consequência, no maior rendimento da produção.

No Brasil, a principal cultivar produzida e comercializada desde sua introdução é a 'Tommy Atkins', uma vez que apresenta resistência à antracnose, a danos mecânicos e maior período de conservação pós-colheita. Além disso, é precoce e amadurece bem se colhida na maturidade fisiológica (Costa e Santos, 2004; Furlaneto e Soares, 2015). Todavia, nos últimos anos, a produção e comercialização da cultivar 'Palmer' apresentou elevado crescimento, tendo registrado, no ano de 2018, participação de 48% das cargas de manga que foram desembarcadas na CEAGESP, superando a 'Tommy Atkins', que recuou de 52%, em 2007, para 40%, em 2018 (Almeida, 2019).

O aumento da produção da manga 'Palmer' em relação à 'Tommy Atkins' é justificada pelo melhor sabor e aroma, resultante do maior teor de sólidos solúveis e menor teor de fibras, características que vão ao encontro do desejo do consumidor (Camara, 2017). Deste modo, cresceu o interesse do mercado europeu por frutos dessa cultivar e as exportações ganharam relevante impulso (FreshPlaza, 2014; Hortifruti Brasil, 2018).

Os frutos da cultivar 'Palmer' são grandes, com peso de até 900 gramas, compridos, esverdeados ou arroxeados quando imaturos e muito vermelhos quando maduros, apresentando polpa amarelada e atingindo 19 °Brix (Oliveira et al., 2010). As mangas da cultivar 'Palmer' também se destacam entre outras cultivares comerciais por apresentarem maior firmeza, favorecendo a colheita e o transporte. Além disso, possuem maior qualidade físico-química, ressaltando-se alta massa média, maior razão de diâmetro longitudinal/equatorial, bem como maiores teores de ácido ascórbico, de flavonoides e de polifenóis e, conseqüentemente, maior capacidade antioxidante (Modesto et al., 2016).

Todavia, a vida útil da manga 'Palmer' em condições ambiente varia de 6 a 8 dias (Nunes, 2008). Esse período é relativamente curto, considerando que as exportações da fruta ainda são realizadas predominantemente por via marítima, o que leva cerca de 15 dias até serem entregues aos países importadores (Sabato et al., 2009). Dessa forma, o desenvolvimento de tecnologias alternativas que permitam prolongar a vida comercial da manga é fundamental para que o país torne-se mais competitivo no mercado dessa fruta, principalmente no que se refere às exportações.

2.2 Recobrimentos vegetais como método alternativo à conservação pós-colheita de frutas

Muitas tecnologias pós-colheita vêm sendo utilizadas na fruticultura com a finalidade de prolongar a vida útil dos frutos, mantendo a sua qualidade sensorial e nutricional. Isto posto, as coberturas protetoras ou recobrimentos comestíveis têm se destacado como tecnologia alternativa viável à conservação de frutas com elevada taxa respiratória, a exemplo da manga. Estes materiais contribuem para a redução da taxa respiratória, das trocas gasosas com a superfície e a perda ou ganho excessivo de água, preservando a textura e o valor nutricional da fruta. As coberturas ainda apresentam a vantagem de permitirem a combinação com outros métodos, como a refrigeração (Assis e Britto, 2014; Dhall, 2013).

O prolongamento da vida comercial de frutos conferido pelos recobrimentos é atribuído à sua capacidade de formar atmosfera modificada no interior destes, decorrente da menor pressão parcial de O₂ (consumido na respiração). Reduz-se, assim, a taxa respiratória e a síntese do etileno (Braga et al., 2007). Isso está relacionado ao metabolismo de produção do etileno, uma vez que a ACC oxidase, enzima responsável pela conversão do ACC (ácido 1-carboxi-1-aminociclopropano) em etileno, é oxigênio dependente.

Além disso, o CO₂ resultante da respiração se acumula no interior do fruto (em decorrência da barreira formada), também atuando na desaceleração desses processos fisiológicos. Na célula, o etileno precisa se ligar a um sítio receptor que ativa o mensageiro secundário (calmodulina), o qual, por um processo de transdução, já no núcleo, modifica a expressão gênica, originando um novo RNA mensageiro, que, por sua vez, ativa as enzimas hidrolíticas que desencadeiam mudanças características ao amadurecimento. O CO₂ apresenta alta afinidade por esse sítio

receptor e, quando acumulado no fruto, acaba por se ligar a ele, o que impede a ação do etileno (Rothan et al., 1997). Tal processo mantém a fruta no estágio pré-climatério por mais tempo (Braga et al., 2017).

As principais matérias-primas utilizadas como recobrimento em frutas são os polissacarídeos, as ceras, as proteínas ou a combinação desses compostos (Assis e Britto, 2014).

Os polissacarídeos são bons formadores de filme e possuem boas características de barreira a gases. No entanto, por serem hidrofílicos, possuem alta permeabilidade ao vapor d'água, não sendo eficientes na redução da perda de massa (Assis e Britto, 2014; Pérez-Gago et al., 2002).

As ceras, por outro lado, apresentam boa barreira à água, por serem hidrofóbicas, e, portanto, são mais indicadas para frutos que possuem alta taxa de transpiração, nas quais a perda da qualidade ocorre principalmente por perda de massa fresca (Assis e Britto, 2014; Pérez-Gago et al., 2002). Entretanto, quando usadas isoladamente, não constituem boa barreira a gases, o que favorece a respiração dos frutos e não retarda o seu amadurecimento (Navarro-Tarazaga et al., 2007).

Na pós-colheita da manga, a matéria-prima mais utilizada nos recobrimentos comerciais ainda é a cera de carnaúba, mas esta não tem sido eficiente no aumento da vida útil dos frutos em temperatura ambiente, restringindo-se a cerca de 10 dias a 25 °C (Oliveira et al., 2010). Sob refrigeração em embalagens poliméricas, pode-se estender a 21 dias (14 dias a 12 °C + 7 dias a 25 °C) (Costa et al. 2017).

Outras matérias-primas também têm sido testadas em mangas, tanto para conservação em temperatura ambiente, como sob refrigeração. Dentre estes, destacam-se polissacarídeos como a quitosana. A utilização desse material, no entanto, também não confere aumento significativo na vida útil da fruta, como pode ser observado em resultados expressos por Souza et al., (2011) e Zhu et al., (2008), que obtiveram mangas conservadas por 9 e 16 dias de armazenamento, a 23 °C e 15 °C, respectivamente.

Dessa forma, na tentativa de melhorar as características de barreira dos recobrimentos e assim prolongar a vida útil dos frutos na pós-colheita, a utilização de novos materiais tem sido investigada. Dentre eles, destacam-se os biopolímeros compostos, que são aqueles que apresentam na sua constituição a combinação de duas ou mais matérias-primas com características distintas, como ceras (que

conferem impermeabilidade à água) e polissacarídeos (que conferem impermeabilidade aos gases). Recobrimentos desse tipo, embora em menor escala, têm sido aplicados em mangas apresentando resultados interessantes (Braga et al., 2017; Klangmuang e Sothornvit, 2018a, 2018b).

Assim, destaca-se a necessidade de avaliar novos recobrimentos compostos por matérias-primas com características distintas, como é o caso dos polissacarídeos (hidrofílicos) e ceras (hidrofóbicas), a fim de obter biopolímeros com melhores características de barreira à água e aos gases (O_2 e CO_2) e, conseqüentemente, o prolongamento da vida útil de mangas, mantendo sua qualidade.

2.3 Recobrimento de hidroxipropilmetilcelulose e cera de abelha

O hidroxipropilmetilcelulose (HPMC) é um hidrocoloide de éter de celulose solúvel em água, com boas propriedades de formação de película (Osorio et al., 2011), no entanto, apresenta elevada impermeabilidade aos gases, o que limita sua utilização, de forma isolada, como recobrimento vegetal. Todavia, quando associado à cera de abelha em diferentes concentrações gera uma matriz polimérica semipermeável aos gases e com boas características de barreira à água, constituindo um recobrimento com características distintas e elevado potencial à aplicação em pós-colheita de frutas frescas (Pérez-Gago et al., 2002).

O HPMC associado a cera de abelha (CA) já foi testado na conservação pós-colheita de ameixas (Navarro-Tarazaga et al., 2011; Navarro-Tarazaga et al., 2008), laranjas (Navarro-Tarazaga et al., 2007; Valencia-chamorro et al., 2009), tangerinas (Contreras-Oliva et al., 2012; Navarro-Tarazaga et al., 2007; Navarro-Tarazaga e Pérez-Gago, 2006; Navarro-Tarazaga, et al., 2008; Pérez-Gago et al., 2002), mangas (Klangmuang e Sothornvit, 2018a, 2018b) e goiabas (Formiga et al., 2019), apresentando resultados favoráveis em todos os casos.

Os primeiros experimentos com esse recobrimento composto se deram na pós-colheita de tangerinas cv. 'Fortune' armazenadas por quatro semanas a 9 °C, seguido de uma semana adicional a 20 °C. Os resultados expressam que o aumento do conteúdo lipídico (a 60% de cera de abelha em relação ao HPMC) proporcionou a cobertura mais adequada para a conservação de tangerinas, por resultarem na menor perda de peso das frutas em função da barreira à água proporcionada pela cera de abelha. Além disso, as tangerinas com recobrimento apresentaram o menor teor de

O₂ interno e etanol e o maior conteúdo de CO₂ interno, indicando a modificação da atmosfera nas frutas (Pérez-Gago et al., 2002).

A aplicação de recobrimento a base de HPMC e cera de abelha em tangerinas cv. 'Clemenules' armazenadas por quatro semanas a 4 °C, seguido de uma semana a 20 °C, permitiu constatar que a cera de abelha, além de diminuir a permeabilidade ao vapor d'água e, por conseguinte, a perda de massa, confere maior permeabilidade a gases em recobrimentos a base desse polissacarídeo, reduzindo a ocorrência de fermentações. Além disso, verificou-se que o aumento no conteúdo de sólidos aumentou a espessura do recobrimento, resultando no acúmulo de compostos voláteis associados a condições anaeróbicas. Esse fato demonstra a necessidade do equilíbrio entre a proporção de HPMC e de cera de abelha a fim de produzir um recobrimento apropriado à conservação da fruta (Navarro-Tarazaga e Pérez-Gago, 2006).

Navarro-Tarazaga et al. (2008) adicionaram diferentes ácidos graxos (AG) à composição do recobrimento de HPMC e cera de abelha, verificando que os ácidos palmítico e esteárico, em proporção 1:0,2 de cera e AG, respectivamente, melhoram a permeabilidade da cobertura aos gases. Isso permitiu menor concentração de compostos voláteis no interior de tangerias 'Ortanique' e manutenção da qualidade sensorial após seis semanas a 5 °C, seguido de uma semana a 20 °C.

Assim, foi possível chegar a recobrimentos compostos de HPMC e cera de abelha com boas condições de barreira, que, além de auxiliar na redução da atividade respiratória e perda de massa, também se mostraram eficazes na redução de desordens fisiológicas causadas pelo frio. A aplicação de recobrimento a base de HPMC e cera de abelha (20g 100g⁻¹ de CA) em Ameixas cv. 'Angelino', propiciou vida útil de até quatro semanas sob refrigeração (1 °C) sem alterar as características sensoriais (Navarro-Tarazaga et al., 2011).

Em pesquisa recente, a utilização de recobrimento comestível a base de HPMC e cera de abelha permitiram a conservação pós-colheita de goiabas cv. 'Pedro Sato' em temperatura ambiente por oito dias, dada a desaceleração do processo de maturação. Os frutos recobertos com HPMC + 20% de CA apresentaram, no 8º dia, as mesmas características físico-químicas dos frutos controle no 2º dia de armazenamento, contribuindo para o ganho de 6 dias de armazenamento (Formiga et al., 2019).

A aplicação de recobrimentos compostos de HPMC (2% de sólidos totais) e cera de abelha (40g 100g⁻¹ de CA) em mangas ‘Namdokmai Sithong’ apresentou resultados semelhantes aos observados nas demais frutas já testadas: retardou o amadurecimento, reduziu a perda massa e de firmeza e manteve o teor de sólidos solúveis e a coloração externa, permitindo aumento de três dias na vida útil da fruta sob refrigeração (13 °C) (Klangmuang e Sothornvit, 2018b, 2018a). Além disso, as características sensoriais das mangas revestidas com HPMC-CA foram preservadas ao longo do período de estocagem, de modo que o revestimento não interferiu na aceitação do produto (Klangmuang e Sothornvit, 2018a).

Neste íterim, acredita-se que o recobrimento à base de HPMC e cera de abelha apresente efeitos semelhantes na conservação pós-colheita e qualidade de mangas ‘Palmer’. Assim, são necessárias pesquisas que atestem a potencialidade desse recobrimento nesta fruta a fim de determinar uma nova cobertura que oportunize a elevação da vida útil da manga ‘Palmer’, mantendo sua qualidade. Ressalta-se que estes estudos podem contribuir para superar um dos principais limitantes para a maior competitividade do Brasil no que tange às exportações de manga.

3. Referências Bibliográficas

AGRIANUAL (2019) AGRIANUAL: anuário da agricultura brasileira. São Paulo: IEG / FNP Agribusiness intelligence.

Almeida GVB (2019). Mercado de manga, 1–7.

Asio LG, Cuaresma FD (2016) A Review of Postharvest Treatments to Maintain Mango (*Mangifera indica* L.) Quality. **Annals of Tropical Research** 93: 81–93.

Assis OBG, Britto D (2014) Revisão: coberturas comestíveis protetoras em frutas: fundamentos e aplicações. **Brazilian Journal Food Technology** 17(2):87–97. <https://doi.org/10.1590/bjft.2014.019>

Braga LAC, Rodrigues MJ, Souza Filho MSM, Azeredo HMC, Silva EO, Oliveira AV, Ribeiro HL (2017) **Uso de revestimento de polissacarídeos de algas marinhas e cera de carnaúba na conservação pós-colheita de mangas**. Fortaleza: Embrapa Agroindústria Tropical. 15p. (Embrapa-Boletim de pesquisa e desenvolvimento, 140)

Camara FM (2017) **Aspectos qualitativos da manga ‘Palmer’ comercializada na CEAGESP**. 155 f. Tese (Doutora em Ciência e Tecnologia de Alimentos) Universidade de São Paulo.

Contreras-Oliva A, Rojas-Argudo C, Pérez-Gago MB (2012) Effect of solid content and composition of hydroxypropyl methylcellulose – lipid edible coatings on physico-chemical and nutritional quality of 'Oronules' mandarins. **Journal of Science Food and Agriculture** (92):794–802. <https://doi.org/10.1002/jsfa.4649>

Costa JG, Santos CAF (2004) **Cultivo da mangueira**. Retrieved July 14, 2018, from http://www.cpatsa.embrapa.br:8080/sistema_producao/spmanga/cultivares.htm

Costa JDS, Almeida FAC, Figueiredo Neto A, Costa MS., Ferreira EA. (2017) Vida útil de mangas 'Tommy Atkins' armazenadas em embalagem XTend sob refrigeração e condição ambiente. **Espacios** 38(39).

Dhall RK (2013) Advances in Edible Coatings for Fresh Fruits and Vegetables: A Review. **Critical Reviews in Food Science and Nutrition**, 53(5):435–450. <https://doi.org/10.1080/10408398.2010.541568>

Esguerra EB, Rolle R (2018) **Post-harvest management of mango for quality and safety assurance: guidance for horticultural supply chain stakeholders**. Roma: FAO.

FAOSTAT. (2016). Mangoes production in Brazil. Retrieved July 14, 2018, from <http://www.fao.org/faostat/en/#data/QC>

Formiga AS, Pinsetta JS, Pereira EM, Cordeiro INF, Mattiuz BH (2019) Use of edible coatings based on hydroxypropyl methylcellulose and beeswax in the conservation of red guava 'Pedro Sato.' **Food Chemistry** 290:144–151. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2019.03.142>

FreshPlaza. (2014). Palmer mangoes becoming increasingly popular in Europe. Retrieved September 11, 2019, from <https://www.freshplaza.com/article/2128152/palmer-mangoes-becoming-increasingly-popular-in-europe/>

Furlaneto FPB, Soares AAVL, Bertani RMA (2015) Caracterização técnica e econômica da manga 'Tommy Atkins'. **Pesquisa & Tecnologia** 12(2)

Hortifruti Brasil. (2018). Manga - Retrospectiva 2018 e Perspectiva 2019. **Anuário 2018/2019 - Retrospectiva 2018 e Perspectiva 2019** Edição Esp(33–34): 41–42.

Kist BB, Teichel M, Santos CE (2018) Anuário Brasileiro de Fruticultura. Santa Cruz do Sul: Editora Gazeta Santa Cruz.

Klangmuang P, Sothornvit R (2018a) Active coating from hydroxypropyl methylcellulose-based nanocomposite incorporated with Thai essential oils on mango (cv. Namdokmai Sithong). **Food Bioscience** 23:9–15. <https://doi.org/10.1016/j.fbio.2018.02.012>

Klangmuang P, Sothornvit R (2018b) Active hydroxypropyl methylcellulose-based composite coating powder to maintain the quality of fresh mango. **LWT - Food Science and Technology** 91:541–548. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2018.01.089>

Lobo MG, Sidhu, JS (2017) Biology, Postharvest Physiology, and Biochemistry of

Mango. In M. Siddiq, J. K. Brecht, & J. S. Sidhu. (Eds.), **Handbook of Mango Fruit: Production, Postharvest Science, Processing Technology and Nutrition**. Oxford: John Wiley & Sons Ltd, p. 37–59

Mitra SK (2016) Mango production in the world – present situation and future prospect. **Acta Horticulture** 287–296. <https://doi.org/10.17660/ActaHortic.2016.1111.41>

Modesto JH, Leonel S, Segantini DM, Souza JMA, Ferraz RA (2016) Qualitative attributes of some mango cultivars fruits. **Australian Journal of Crop Science** 10(4):565–570. <https://doi.org/10.21475/ajcs.2016.10.04.p7388x>

Narayana CK, Rao DVS, Roy SK (2012) Mango Production, Postharvest Physiology and Storage. In Siddiq M, Ahmed J, Lobo MG, Ozadali F (Eds) **Tropical and Subtropical Fruits: Postharvest Physiology, Processing and Packaging**. Oxford: Wiley-Blackwell, p. 259–276.

Navarro-Tarazaga ML, Massa A, Pérez-Gago, MB (2011). Effect of beeswax content on hydroxypropyl methylcellulose-based edible film properties and postharvest quality of coated plums (Cv. Angeleno). **LWT - Food Science and Technology** 44(10): 2328–2334. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2011.03.011>

Navarro-Tarazaga ML, Pérez-Gago M-B, Goodner K, Plotto A. (2007). A New Composite Coating Containing HPMC, Beeswax, and Shellac for ‘Valencia’ Oranges and ‘Marisol’ Tangerines. **Proceedings of the Florida State Horticultural Society** 120:228–234.

Navarro-Tarazaga ML, Pérez-Gago MB (2006) Effect of Edible Coatings on Quality of Mandarins cv. Clemenules. **Proceedings of the Florida State Horticultural Society** 119:350–352.

Navarro-Tarazaga ML, Río MA, Krochta JM, Pérez-Gago, M-B (2008) Fatty Acid Effect on Hydroxypropyl Methylcellulose - Beeswax Edible Film Properties and Postharvest Quality of Coated ‘Ortanique’ Mandarins. **Journal of Agricultural and Food Chemistry** 56:10689–10696. <https://doi.org/10.1021/jf801967q>

Navarro-Tarazaga ML, Sothornvit R, Pérez-Gago M-B (2008) Effect of Plasticizer Type and Amount on Hydroxypropyl Methylcellulose - Beeswax Edible Film Properties and Postharvest Quality of Coated Plums (Cv. Angeleno). **Journal of Agricultural and Food Chemistry** 56:9502–9509. <https://doi.org/10.1021/jf801708k>

Nunes MCN (2008) **Color Atlas of Postharvest Quality of Fruits and Vegetables**. Iowa: Blackwell Publishing.

Oliveira AR, Moreira AN, Teixeira AHC, Paranhos BJ, Santos SAF, et al (2010). Cultivo da mangueira. **Sistemas de Produção** 2(2).

Oliveira WS, Silva JB, Bastos MSR, Pinheiro NMS, Vieira NM (2010). Avaliação da aparência da manga “Tommy Atkins” revestida com cera de carnaúba e antimicrobianos. In II SIMPÓSIO EM CIÊNCIA E TECNOLOGIA DE ALIMENTOS. **Anais...** Aracajú: Universidade Federal de Sergipe. p. 932–935

Osorio FA, Molina P, Matiacevich S, Enrione J, Skurtys O (2011) Characteristics of

hydroxy propyl methyl cellulose (HPMC) based edible film developed for blueberry coatings. **Procedia Food Science** 1(11):287–293.
<https://doi.org/10.1016/j.profoo.2011.09.045>

Pérez-Gago M-B, Rojas C, Río MA (2002) Effect of Lipid Type and Amount of Edible Composite Coatings Used to Protect Postharvest Quality of Mandarins cv. Fortune. **Journal of Food Science** 67(8):2903–2910.

Rothan C, Duret S, Chevalier C, Raymond P (1997) Suppression of ripening-associated gene expression in tomato fruits subjected to a high CO₂ concentration. **Plant Physiology** 114:255-263

Sabato SF, Silva JM, Cruz JN, Salmieri S, Rela PR, Lacroix M (2009) Study of physical – chemical and sensorial properties of irradiated Tommy Atkins mangoes (*Mangifera indica* L.) in an international consignment. **Food Control** 20(3):284–288.
<https://doi.org/10.1016/j.foodcont.2008.05.005>

Singh Z, Singh RK, Sane VA, Nath, P (2013) Mango - Postharvest Biology and Biotechnology. **Critical Reviews in Plant Sciences** 32(4):217–236.
<https://doi.org/10.1080/07352689.2012.743399>

Sothornvit R, Klangmuang P (2015) Active edible coating to maintain the quality of fresh mango. **Acta Horticulturae** 1079:473–480.
<https://doi.org/10.17660/ActaHortic.2015.1079.62>

Souza ML, Morgado CMA, Marques KM, Mattiuz CFM, Mattiuz, B-H (2011). Pós-colheita de mangas ‘tommy atkins’ recobertas com quitosana. **Revista Brasileira de Fruticultura**, Especial:337–343.

Valencia-chamorro SA, Pérez-gago MB, Ángel M, Palou L (2009) Effect of antifungal hydroxypropyl methylcellulose (HPMC) – lipid edible composite coatings on postharvest decay development and quality attributes of cold-stored ‘Valencia’ oranges. **Postharvest Biology and Technology** 54:72–79.
<https://doi.org/10.1016/j.postharvbio.2009.06.001>

Zafar TA, Sidhu JS (2017) Composition and Nutritional Properties of Mangoes. In Siddiq JM, Brecht JK, Sidhu JS (Eds) **Handbook of Mango Fruit: Production, Postharvest Science, Processing Technology and Nutrition**. Oxford: John Wiley & Sons Ltd, p. 217–236

Zhu X, Wang Q, Cao J, Jiang W (2008) Effects of Chitosan Coating on Postharvest Quality of Mango (*Mangifera indica* L. cv. Tainong) Fruits. **Journal of Food Processing and Preservation** 32:770–784.

CAPÍTULO II – Recobrimento comestível a base de hidroxipropilmetilcelulose e cera de abelha na conservação pós-colheita de manga ‘Palmer’ em temperatura ambiente¹

Resumo – A manga é uma fruta tropical com intenso metabolismo pós-colheita, desencadeando mudanças bioquímicas e fisiológicas que, em condições ambiente, levam ao amadurecimento em cerca de oito dias. Assim, com objetivo de retardar o amadurecimento e aumentar a vida útil, avaliou-se o efeito de recobrimentos a base de hidroxipropilmetilcelulose (HPMC) e cera de abelha (CA) nas concentrações 10, 20 e 40% em mangas ‘Palmer’ armazenadas por 15 dias a 21 °C. Os recobrimentos foram efetivos no controle do amadurecimento, mantendo cor da casca e polpa, firmeza, sólidos solúveis, acidez, “ratio”, açúcares, ácido ascórbico, compostos fenólicos, flavonoides, β -caroteno e atividade antioxidante. Além disso, reduziram a perda de massa, o estresse oxidativo e a incidência de doenças sem induzir a atividade da enzima álcool desidrogenase, indicando que não houve fermentação dos frutos. O tratamento com 20% de cera de abelha é o mais indicado para aplicações industriais e contribui com ganho de 6 dias na vida útil da manga ‘Palmer’.

Palavras-chave: biopolímero composto, HPMC, *Mangifera indica*, pós-colheita, produtos naturais.

¹ Este capítulo corresponde ao artigo científico submetido à revista “Food Chemistry” e encontra-se em avaliação para publicação

CAPTER II – Edible coating of hydroxypropyl methylcellulose and beeswax in postharvest conservation of 'Palmer' mango at room temperature

Abstract – Mango is a tropical fruit with intense postharvest metabolism, triggering biochemical and physiological changes that, under ambient conditions, lead to ripening in about eight days. The effect of hydroxypropyl methylcellulose (HPMC) and beeswax coatings at concentrations 10, 20 and 40% in 'Palmer' mangoes stored for 15 days at 21 °C was evaluated with the aim of delaying ripening and increase the shelf life. The coatings were effective in controlling ripening, maintaining peel and pulp color, firmness, soluble solids, titratable acidity, "ratio", sugars, ascorbic acid, phenolic compounds, flavonoids, β -carotene and antioxidant activity. Also, they reduced weight loss, oxidative stress and disease incidence, without inducing alcohol dehydrogenase enzyme activity, indicating that there was no fruit fermentation. The treatment with 20% of beeswax is the most suitable for industrial applications, contributing to a 6-days shelf life gain of the 'Palmer' mango.

Keywords: biopolymer, HPMC, *Mangifera indica*, postharvest, natural products.

1. Introdução

A manga (*Mangifera indica* L.) é uma fruta tropical originária no nordeste da Ásia que apresenta características nutricionais, funcionais e sensoriais atrativas ao consumidor, o que a destaca como uma das principais frutas tropicais cultivadas no Brasil e no mundo, principalmente para o consumo *in natura* (Evans, Ballen, & Siddiq, 2017).

O Brasil apresentou uma área colhida de 62 mil hectares de manga em 2016, com produção de mais de um milhão toneladas da fruta, da qual 154 mil toneladas foram destinadas à exportação (AGRIANUAL, 2019). Nesse cenário, os frutos da mangueira da cultivar 'Palmer' tem apresentado expressivo crescimento nos últimos anos (Oliveira & Geraldini, 2018), em função de suas melhores características sensoriais, com destaque ao menor teor de fibras e ao maior teor de sólidos solúveis. Além das características sensoriais agradáveis, a manga é uma importante fonte de muitos compostos bioativos, como proteínas, vitaminas A e C, carotenoides, compostos fenólicos, fibra alimentar, carboidratos e minerais, oferecendo muitos benefícios medicinais, nutricionais e industriais (Zafar & Sidhu, 2017).

No entanto, a fruta apresenta elevada perecibilidade depois de colhida. A manga 'Palmer' completa a maturação oito dias após a colheita, quando começa a apresentar perda de qualidade visual (Nunes, 2008). A perda de qualidade da manga na pós-colheita está relacionada às mudanças bioquímicas e fisiológicas desencadeadas no fruto por ocasião do amadurecimento. Esses processos são mediados pela elevação da taxa respiratória, produção de etileno e atividade enzimática que rapidamente comprometem a qualidade do fruto, caso tecnologias de conservação adequadas não sejam utilizadas. Dentre os principais comprometedores da qualidade, destacam-se a perda de massa, amaciamento dos tecidos, degradação da clorofila, redução dos ácidos orgânicos e elevação dos teores de açúcares, sólidos solúveis e pigmentos carotenoides (Lobo & Sidhu, 2017; Singh, Singh, Sane, & Nath, 2013; Zafar & Sidhu, 2017).

O aumento da vida pós-colheita dessa fruta traria grandes benefícios para o mercado, possibilitando maior expansão e flexibilidade de comercialização, com aumento da qualidade dos produtos e redução das perdas. O uso de recobrimentos é uma técnica recente que consiste no uso de soluções que se aderem à superfície do vegetal, podendo conferir o mesmo efeito que o armazenamento em atmosfera

modificada, controlando as trocas gasosas ao mesmo tempo que limita a transferência de água (Dhall, 2013; Sapper & Chiralt, 2018). Além disso, o uso de coberturas comestíveis na proteção e preservação de frutas oferece muitas vantagens sobre materiais sintéticos, tais como: serem biodegradáveis, ambientalmente sustentáveis e não oferecerem riscos à saúde humana (Tharanathan, 2003). No entanto, o sucesso dos recobrimentos no controle de qualidade dos vegetais frescos depende da adequada escolha da matéria-prima de cobertura (Dhall, 2013).

Muitas matérias-primas têm sido testadas como cobertura em frutas, dentre as quais os polímeros compostos de polissacarídeos e lipídeos, que propiciam melhor estrutura e permeabilidade ao vapor de água e aos gases (Navarro-Tarazaga, Río, Krochta, & Pérez-Gago, 2008).

O hidroxipropilmetilcelulose (HPMC) é um éter de celulose solúvel em água, com boas propriedades de formação de película (Osorio, Molina, Matiacevich, Enrione, & Skurtys, 2011). No entanto, por ser caracterizado como um polissacarídeo de caráter hidrofílico, este apresenta elevada impermeabilidade aos gases e, por reduzir as trocas gasosas, pode causar fermentações associadas a respiração anaeróbica no interior dos frutos (Navarro-Tarazaga & Pérez-Gago, 2006). Nesse ínterim, sua combinação com a cera de abelha, de caráter hidrofóbico, tem como função diminuir capacidade de barreira aos gases ao passo que aumenta sua impermeabilidade ao vapor de água, contribuindo para diminuição na transpiração, na perda de massa fresca e na produção de *off-flavour*, com manutenção da qualidade das frutas (Klangmuang & Sothornvit, 2018; Navarro-Tarazaga & Pérez-Gago, 2006; Pérez-Gago, Rojas, & Río, 2002).

A utilização de recobrimento a base de HPMC e cera de abelha em frutas como ameixas (Navarro-Tarazaga, Massa, & Pérez-Gago, 2011; Navarro-Tarazaga, Sothornvit, & Pérez-Gago, 2008), laranjas (Navarro-Tarazaga, Pérez-Gago, Goodner, & Plotto, 2007; Valencia-chamorro, Pérez-gago, Ángel, & Palou, 2009), tangerinas (Contreras-Oliva, Rojas-Argudo, & Pérez-Gago, 2012; Navarro-Tarazaga et al., 2007; Navarro-Tarazaga & Pérez-Gago, 2006; Pérez-Gago et al., 2002), tomates (Fagundes, Palou, Monteiro, & Pérez-Gago, 2014, 2015) e goiabas (Formiga, Pinsetta, Pereira, Cordeiro, & Mattiuz, 2019), tem demonstrado a manutenção da firmeza por longos períodos, com redução da perda de peso e manutenção das características qualitativas dos frutos.

Nesse sentido, tem-se como hipótese que a utilização do HPMC e cera de abelha em manga 'Palmer' contribui para a redução das trocas gasosas e, por conseguinte, retarda o amadurecimento, mantendo a qualidade dos frutos por maior tempo. Assim, objetivou-se avaliar o efeito de recobrimentos comestíveis a base da emulsão de hidroxipropilmetilcelulose e diferentes concentrações de cera de abelha no amadurecimento e qualidade pós-colheita de mangas da cultivar 'Palmer' armazenadas a temperatura ambiente.

2. Material e Métodos

2.1 Material vegetal

As mangas da cultivar 'Palmer' foram adquiridas em pomar comercial de Taquaritinga, São Paulo (21°24'22"S e 48°30'17"W, 565m de altitude). Os frutos foram colhidos no estágio de maturação "de vez", isto é, ainda firmes, mas fisiologicamente maduros, o que é caracterizado pela mudança na cor, quando passam a ter mais de 50% da coloração amarelo-avermelhada (Nunes, 2008). Após a colheita, foram transportados para o Laboratório de Tecnologia de Pós-Colheita da FCAV/UNESP, Câmpus de Jaboticabal-SP, distante 20 km do local da colheita. Em laboratório, os frutos foram lavados em água corrente e tratados com Magnate 500 EC (0,5 g L⁻¹ de imazalil – ADAMA Makhteshim Ltd.) durante um minuto. Após secagem, as mangas foram selecionadas a fim de dar maior uniformidade ao lote antes de se iniciar a fase de aplicação dos tratamentos.

2.2 Preparo dos recobrimentos comestíveis e procedimento experimental

Os recobrimentos foram preparados conforme metodologia descrita por Formiga et al. (2019). Para confecção dos recobrimentos foram preparadas soluções de hidroxipropilmetilcelulose (HPMC) 5 g 100 g⁻¹ (m/m) (Methocel E15®, Dow Chemical, USA, viscosidade a 2% em água de 12-18 cP), dissolvendo-o sob agitação em um terço da água deionizada total utilizada, a 90°C. Após a dissolução, foi adicionado o restante da água em temperatura ambiente, seguido de resfriamento sob agitação em banho de gelo até atingir 20 °C. Ao preparo das soluções filmogênicas foram adicionadas diferentes proporções de cera de abelha (Synth, Brasil) (10, 20 e

40% em relação ao HPMC), ácido esteárico (Synth, Brasil) na proporção de 5:1 (Cera:Ac. esteárico) como emulsificante, glicerina (Synth, Brasil) na proporção de 2:1 (HPMC:glicerol) como plastificante e água deionizada, ao HPMC 5 g 100 g⁻¹. A mistura foi aquecida em forno micro-ondas até alcançar temperatura de 90 ± 2 °C e homogeneizada durante 1 minuto a 12.000 xg e 3 min a 24.000 xg em microhomogeneizador (Marconi, modelo MA 102). A solução foi resfriada em banho de gelo (20 °C) sob agitação, deixada em repouso durante 45 minutos e armazenada sob refrigeração.

Os tratamentos consistiram na imersão das mangas por um minuto nas emulsões com diferentes proporções de HPMC:CA (Tabela 1) e em água para as frutas do grupo controle. Os recobrimentos comestíveis utilizados tiveram concentração de sólidos finais de 6 g 100 g⁻¹. Após a imersão, as mangas foram deixadas à temperatura ambiente (20 °C e 80% UR), até secagem do recobrimento, em torno de 15 minutos.

Tabela 1. Composição dos recobrimentos comestíveis a base de hidroxipropilmetilcelulose (HPMC) e cera de abelha (CA), em g 100g⁻¹ MS

| Formulação | HPMC | CA | Glicerol | Ácido esteárico | Viscosidade (cP) |
|---------------|------|------|----------|-----------------|------------------|
| HPMC + 10% CA | 58,7 | 10,0 | 29,3 | 2,0 | 211,30 |
| HPMC + 20% CA | 50,7 | 20,0 | 25,3 | 4,0 | 177,00 |
| HPMC + 40% CA | 34,7 | 40,0 | 17,3 | 8,0 | 58,22 |

As mangas foram armazenadas em sala ambiente sob temperatura de 21 ± 1 °C e 75 ± 10% UR e monitoradas a cada 30 minutos por registrador de dados HOBO Prov2 U-23-001 durante o período de 15 dias. As análises foram realizadas a cada três dias.

O delineamento experimental utilizado foi o inteiramente casualizado (DIC), em esquema fatorial 4 x 6, composto por quatro tratamentos (Controle, HPMC + 10% CA, HPMC + 20% CA e HPMC + 40% CA) e seis datas de amostragem (0, 3, 6, 9, 12 e 15 dias). Cada tratamento teve três repetições de três frutos cada (unidade experimental), totalizando 216 mangas.

2.3 Análises laboratoriais

2.3.1 Taxa respiratória

As determinações de produção de CO₂ nas mangas foram realizadas antes dos tratamentos (análise inicial) e ao final de cada data de amostragem. Para isso, duas frutas foram colocadas em recipientes herméticos com capacidade para 5 L e fechados, em triplicata. Após 1 h, amostras de 200 µL de gás foram coletadas dos recipientes através de um septo de silicone, com auxílio de seringa apropriada (Hamilton, Gastight, Nevada, EUA). As amostras de gases foram analisadas em cromatógrafo (Thermo Scientific, modelo Trace GC Ultra) equipado com coluna capilar Porapack N, com 2 m de comprimento e regulada para 80°C, com hidrogênio como gás de arraste (35 mL min⁻¹). As amostras de gases foram analisadas por um detector de ionização de chama a 250°C. A coluna e o injetor apresentaram temperatura de trabalho de 110 e 200 °C, respectivamente. A produção de CO₂ e etileno foram determinadas pelas diferenças entre a concentração gasosa inicial (quando os frascos foram fechados) e final (após 1 h), sendo expressas em mL CO₂ kg⁻¹ h⁻¹.

2.3.2 Atividade da enzima álcool desidrogenase – ADH (EC 1.1.1.1)

A extração da ADH foi realizada por meio da maceração das amostras em nitrogênio líquido, as quais foram pesadas, novamente maceradas em almofariz com 2 mL de tampão MES 100 mM (pH 6,5) contendo 1 g L⁻¹ de PVP, 1 mM de sulfato de zinco heptaidratado, 1 mM de fluoreto de fenilmetilsulfonil e 10 mM de β-mercaptoetanol (Fernández-Trujillo, Nock, & Watkins, 1999), com modificações. O homogenato foi filtrado em algodão e centrifugado a 4.000 xg durante 60 minutos a 4 °C. O sobrenadante foi coletado e usado para determinação da atividade da ADH. A atividade foi realizada conforme Ke, Yahia, Mateos, & Kader (1994), com modificações, a partir de uma mistura em cubetas de quartzo contendo 800 µL de tampão MES 100 mM (pH 6,5), 50 µL de NADH 1,6 mM, 100 µL de extrato enzimático e 50 µL de acetaldeído 80 mM. As leituras foram monitoradas a 340 nm por 2 min, em espectrofotômetro UV-visível (Femto, modelo 700 plus, Brasil). Os resultados da ADH foram expressos em EU de ADH min⁻¹ g⁻¹ MF.

2.3.3 Acidez titulável, sólidos solúveis e “ratio”

Os teores de acidez titulável e sólidos solúveis foram determinados a partir do suco das frutas, extraído utilizando processador de alimentos (Mondial, modelo Super Centrífuga Premium, Brasil).

A análise de acidez titulável foi realizada por meio de titulação de 1 mL do suco diluído em 50 mL de água deionizada com NaOH 1 M, utilizando fenolftaleína 1% como indicador (AOAC, 1997). A acidez foi expressa em mg de ácido cítrico 100 g⁻¹ de massa fresca (MF). A análise de sólidos solúveis foi realizada em refratômetro digital modelo PR 101, sendo os resultados expressos em °Brix. O “ratio” foi calculado a partir da razão entre os teores de sólidos solúveis e os de acidez titulável.

2.3.4 Açúcares solúveis

Os açúcares solúveis foram determinados de acordo com descrito por Yemm e Willis (1954), com modificações. As amostras foram maceradas em nitrogênio líquido, pesadas (75 mg), diluídas em 25 mL de água deionizada, aferido em balão volumétrico sob proteção da luz. Após filtração, uma alíquota de 0,1 mL foi transferida para tubos de ensaio em banho de gelo, adicionando-se 0,9 mL de água destilada e 2 mL de antrona. Os tubos com a mistura foram agitados (Phoenix Luferco, modelo AP56, Brasil) e, em seguida, levados ao banho-maria a 100 °C por 3 minutos, para reação. Após resfriamento as amostras foram transferidas para cubetas de quartzo e se realizou a leitura em espectrofotômetro UV-Vis (Femto, modelo 700 plus, Brasil), a 620 nm. Os resultados foram expressos como g de glicose 100 g⁻¹ MF.

2.3.5 Açúcares redutores

Os açúcares redutores foram determinados pelo método colorimétrico do ácido 3,5-dinitrosalicílico (DNS) (Vasconcelos, Pinto, & Aragão, 2013), com modificações. Utilizando-se o extrato de açúcares solúveis, transferiu-se 0,5 mL do filtrado e 0,5 mL de DNS para tubos de ensaio em banho de gelo. Os tubos com a mistura foram agitados em agitador de soluções (Phoenix Luferco, modelo AP56, Brasil) e, em seguida, levados a banho-maria a 100 °C por 15 minutos, para reação. Após

resfriamento as amostras foram transferidas para cubetas de quartzo realizando-se leitura em espectrofotômetro UV-Vis (Femto, modelo 700 plus, Brasil) calibrado a 540 nm. Os resultados foram expressos em g de glicose 100 g⁻¹ MF.

2.3.6 Coloração da casca e da polpa

A coloração de fundo da casca e da polpa foi determinada utilizando-se colorímetro MINOLTA CR 400, marca KONICA MINOLTA, por meio do qual foram determinados os valores de L* (100 = branco; 0 = preto), a* (positivo = vermelho; negativo = verde), b* (positivo = amarelo; negativo = azul). O ângulo de cor e a cromaticidade foram calculados pelo uso de equações apropriadas (KONICA MINOLTA, 2003).

Foi realizada uma leitura na parte basal das frutas para determinar a coloração da casca. Após o corte longitudinal das mangas, foi efetuada uma leitura na região central da polpa para determinação da cor da polpa. As leituras foram realizadas em nove frutos por tratamento e data de amostragem.

2.3.7 Perda de massa fresca

A perda de massa fresca foi determinada pela pesagem de cada unidade amostral em balança semianalítica (Marte, modelo AS1000C), seguida do cálculo da diferença entre o peso inicial e o obtido a cada data de amostragem. O valor foi expresso em porcentagem acumulada de perda de massa fresca.

2.3.8 Firmeza

A firmeza foi determinada com a utilização de penetrômetro (Impact, modelo IP-90DI, Brasil) com escala de leitura entre 5 e 200 N, utilizando uma ponteira de 5 mm. As leituras foram realizadas na polpa, em três pontos (base, centro e ápice) da região equatorial das mangas. Os resultados foram expressos em Newton.

2.3.9 *Ácido ascórbico*

O teor de ácido ascórbico foi determinado por titulometria, utilizando o reagente de Tillmans (Zenebon, Pascuet, & Tiglea, 2008). A amostra foi preparada pela diluição de 1 mL de suco em 50 mL de ácido oxálico. O volume de 2,6-diclofenolindofenol de sódio (Tillmans) gasto na titulação foi aferido e o teor de ácido ascórbico foi calculado, sendo os resultados expressos em mg de ácido ascórbico 100 g^{-1} MF.

2.3.10 *Compostos fenólicos totais*

A determinação do teor de compostos fenólicos foi realizada de acordo com o método Folin-Ciocalteu (Waterhouse, 2006), com modificações. A extração foi realizada a partir 1 g das amostras maceradas em nitrogênio líquido, as quais foram diluídas em 25 mL de acetona 80%, aferidas em balão volumétrico sob proteção da luz, os quais foram armazenados a $10 \text{ }^\circ\text{C}$ por 24h. Em seguida, as amostras foram filtradas e uma alíquota de 135 μL do filtrado foi transferida para tubos de ensaio, adicionando-se 1,990 mL de água destilada e 125 μL de solução de Folin-Ciocalteu. Em seguida, as amostras foram agitadas (Phoenix Luferco, modelo AP56, Brasil), deixadas em descanso por 5 minutos e, logo após, 250 μL de carbonato de sódio foi adicionado, procedendo-se nova agitação, seguida de repouso em aquecimento em banho-maria a $40 \text{ }^\circ\text{C}$ por 35 minutos, para reação. Posteriormente, as amostras foram transferidas para cubetas de quartzo e a leitura foi realizada em espectrofotômetro UV-Vis (Femto, modelo 700 plus, Brasil), a 765 nm. Os resultados foram expressos em mg de ácido gálico 100 g^{-1} MF.

2.3.11 *Flavonoides*

A determinação de flavonoides seguiu a metodologia para análise de antocianinas (Francis, 1982), com adaptações. A extração foi realizada a partir de 2 g da amostra, esta macerada com 5 mL de etanol:HCl, adicionada de mais 5 mL da solução utilizada na maceração e mantida sob refrigeração por 24h. Após esse período, as amostras foram centrifugadas por 5 minutos a 3000 xg sob refrigeração ($5 \text{ }^\circ\text{C}$). O sobrenadante foi filtrado em papel filtro e uma alíquota foi transferida para uma cubeta de quartzo (3 mL) e realizada a leitura em espectrofotômetro UV-Vis (Femto,

modelo 700 plus, Brasil), a 374 nm. Os resultados foram expressos em mg 100 g⁻¹ MF.

2.3.12 Carotenoides

O teor de carotenoides foi determinado de acordo com o método descrito por Nagata Yamashita (1992). A extração foi realizada a partir de 2 g da amostra, a qual foi adicionada em tubos de ensaio e adicionado 10 mL de extrator acetona:hexano na proporção 4:6. A mistura foi agitada em Vortex (Phoenix Luferco, modelo AP56, Brasil). Deixou-se decantar por alguns minutos em sala escura, transferiu-se 3 mL do sobrenadante para cubetas de quartzo e procedeu-se a leitura em espectrofotômetro UV-Vis (Femto, modelo 700 plus, Brasil), a 453, 505, 645 e 663 nm. Após equação adequada, os valores foram expressos em µg de β-caroteno 100 g⁻¹ MF.

2.3.13 Atividade antioxidante

A determinação da atividade antioxidante total foi realizada pelo método de DPPH, proposto por Brand-Williams, Cuvelier e Berset (1995). A solução de DPPH foi preparada a 2x10⁻⁴ g mL⁻¹ (0,0100 mg de DPPH em 50 mL de etanol a 99,8%). Para a extração, as amostras foram maceradas em N² líquido, pesadas e diluídas em 10 mL de etanol a 99,8% em tubo para centrífuga, e centrifugadas a 2.000 xg por 10 minutos a 5 °C. Alíquotas de 500 µL do sobrenadante foram combinadas com 3 mL de etanol P.A. Após a adição de 300 µL de DPPH 2x10⁻⁴ g mL⁻¹, homogeneização, os tubos de ensaios foram armazenados no escuro por 60 minutos. O controle negativo foi preparado com o DPPH a 0,3 mM em etanol para observar o decaimento do radical contra os antioxidantes doadores. A determinação foi realizada mediante leitura da absorbância a 517 nm e os resultados foram convertidos em porcentagem de atividade antioxidante (% DPPH reduzido = Abs branco – Abs amostra). Os resultados foram expressos em % de DPPH reduzido.

2.3.14 Atividade da enzima peroxidase (POD) (EC 1.11.1.7)

A atividade da peroxidase foi determinada conforme Lima, Brasil e Oliveira (1999). O sistema de reação compreendeu 1 mL de extrato enzimático com 0,5 mL de

peróxido de hidrogênio a 30% em tampão fosfato de potássio 0,2 M (pH 6,7) e 0,5 mL de solução de fenol e aminoantipirina. O sistema reacional foi colocado num banho de água a 30 °C durante 5 minutos. Foi adicionado álcool etílico absoluto (2 mL) para parar a reação, e o conteúdo foi transferido para cubetas de quartzo realizando-se leitura em espectrofotômetro UV-Vis (Femto, modelo 700 plus, Brasil) calibrado a 505 nm. A atividade da enzima POD foi expressa em μmol de H_2O_2 decomposto $\text{min}^{-1} \text{g}^{-1}$ MF.

2.3.15 Peroxidação lipídica

A peroxidação lipídica foi determinada pelo método de Heath e Packer (1968). As amostras foram congeladas em N_2 líquido, maceradas, combinadas com 4 mL de tampão TCA (1% p/v), homogeneizadas e centrifugadas a 10.000 xg por 10 min a 4 °C (Biofuge Stratos model, Heraeus, Hanau, Alemanha). A partir do sobrenadante, 1 mL foi pipetado e transferido para o tubo de ensaio, adicionando 3 mL de ácido tiobarbitúrico a 0,5% (p/v) em 20% (p/v) de TCA e incubando em banho-maria a 95 °C por 60 minutos. Os tubos foram mantidos por 10 minutos em banho de gelo para interromper a reação. As amostras foram então novamente centrifugadas durante 10 min a 10.000 xg. A absorbância do sobrenadante foi medida usando um espectrofotômetro UV-vis (Femto 700 plus, São Paulo - SP, Brasil) a 535 nm e 600 nm. Os resultados foram expressos como o conteúdo de malondialdeído (MDA) por 100 g de massa fresca (μmol MDA 100g^{-1} MF).

2.4 Incidência e severidade de doença

A incidência de doença foi avaliada pelo número de frutas com presença de podridão (lesões com diâmetro superior a 0,5 cm). Os resultados foram expressos em porcentagem de frutos infestados.

A severidade foi determinada pela medição das lesões utilizando um paquímetro digital (Zaas Precision) com escala de 0-200 mm e acurácia de 0,01 mm. O diâmetro da lesão foi medido em dois sentidos ortogonais e os valores utilizados para calcular a área lesionada. O resultado foi expresso em mm^2 .

2.5 Análise Estatística

Os dados foram submetidos à análise de variância (ANOVA), utilizando-se o teste F para verificar o efeito dos tratamentos. Foram realizadas análises de regressão polinomial para testar os efeitos linear e quadrático dos fatores e foram aceitas as equações que apresentaram pelo menos 5% de significância pelo teste F e coeficiente de determinação superior a 0,5. O teste de Tukey ($p \leq 0,05$) foi utilizado para a comparação de médias entre os tratamentos e entre os dias de armazenamento. Para a análise estatística foi empregado o programa *Agroestat* versão 1.1 (Barbosa & Maldonado Júnior, 2015). Os dados foram plotados em gráficos com auxílio do software *GraphPad Prism*, versão 8.0.

3. Resultados e Discussão

3.1 Taxa respiratória

A taxa respiratória (TR) apresentou comportamento distinto entre os frutos do controle e os que receberam o recobrimento, com aumento da TR nos frutos controle que dobrou a produção de CO₂ no período de 15 dias de estocagem (Figura 1). Houve diferença também na taxa de respiração dos frutos submetidos aos diferentes recobrimentos, a partir do 9º dia de análise, quando os frutos tratados com HPMC + 40% CA começam a apresentar maior produção de CO₂, equiparando-se aos frutos do controle nos dois últimos dias de análise. Diferente, os frutos tratados com HPMC + 10 e 20% CA mantiveram taxas respiratórias baixas.

Esse resultado se justifica em função da capacidade atribuída ao recobrimento de formar atmosfera modificada no interior dos frutos, o que decorre da menor pressão de O₂, reduzindo a taxa de respiração. Além disso, o CO₂ resultante da respiração se acumula no interior do fruto em decorrência da barreira formada sobre este, também atuando na desaceleração desses processos fisiológicos, o que mantém a fruta no pré-climatério por mais tempo (Braga et al., 2017).

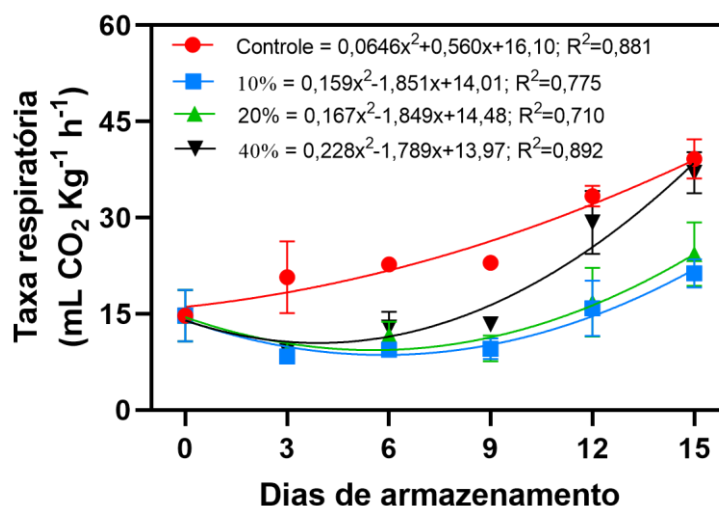


Figura1. Efeito do recobrimento a base de HPMC e cera de abelha (CA) na taxa respiratória de mangas ‘Palmer’ armazenadas por 15 dias a 21 °C. Controle - Sem recobrimento; 10% – HPMC+10% CA; 20% – HPMC+20% CA; 40% – HPMC+40% CA

Nesse sentido, o comportamento respiratório apresentado pelas mangas submetidas aos diferentes recobrimentos está dentro do esperado para os tratamentos. Isso ocorre porque a adição de materiais lipídicos – como a cera de abelha (de caráter hidrofóbico) – em filmes e recobrimentos a base de HPMC (de caráter hidrofílico) apresentam como resultado o aumento da permeabilidade aos gases, tendo como finalidade a melhoria das suas características de barreira ao CO₂ e O₂ (Klangmuang & Sothornvit, 2016b).

As constatações feitas nesse estudo são semelhantes às apresentadas pela aplicação de recobrimentos comestíveis a base dos mesmos materiais em ameixas cv. ‘Angeleno’ (Navarro-Tarazaga et al., 2011) e goiabas cv. ‘Pedro Sato’ (Formiga et al., 2019). Deste modo, ratifica-se a eficiência da combinação de materiais com diferentes propriedades de barreira para formular recobrimentos comestíveis com melhores características de permeabilidade aos gases e, por consequência, maior capacidade de elevar a vida útil e reduzir a perda de qualidade das frutas.

3.2 Atividade da enzima álcool desidrogenase

A atividade da enzima álcool desidrogenase (ADH) apresentou aumento de mais de 200 U de ADH min⁻¹ g⁻¹ MF entre o 12^o e 15^o dia de armazenamento nos frutos do controle. Os frutos com recobrimento, por outro lado, não apresentaram

alteração ao longo dos 15 dias de armazenamento, diferindo-se do controle (Figura 2).

Durante o processo de amadurecimento dos frutos, a ADH é responsável pelo metabolismo de conversão do acetaldeído em etanol, usando NADH produzido na glicólise e ciclo de Krebs (Ke, Mateos, & Kader, 1993). Em condições de atmosfera modificada, com baixa concentração de O₂ e/ou alta concentração de CO₂, esse metabolismo pode ser alterado, resultando em maior atividade da ADH, com consequente produção e acúmulo de etanol nos frutos, o que caracteriza processo fermentativo (Porat & Fallik, 2008).

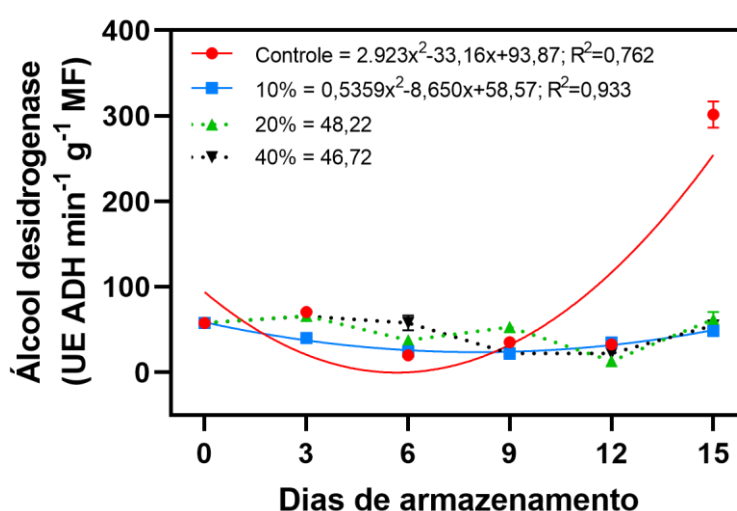


Figura 2. Efeito do recobrimento a base de HPMC e cera de abelha na atividade da enzima álcool desidrogenase da polpa de mangas 'Palmer' armazenadas a 15 dias a 21 °C. Controle - Sem recobrimento; 10% – HPMC+10% CA; 20% – HPMC+20% CA; 40% – HPMC+40% CA

Dessa forma, os resultados desta pesquisa permitem constatar que os recobrimentos não bloquearam completamente as trocas gasosas no interior das mangas, uma vez que a atividade da ADH se manteve baixa durante todo o período de armazenamento, indicando que não houve acúmulo de etanol e, portanto, fermentação dos frutos. Recobrimentos com baixa permeabilidade aos gases podem resultar em reduções muito drásticas na taxa de respiração com consequentes processos fermentativos no interior dos frutos, que perdem a qualidade (Contreras-Oliva et al., 2012).

No amadurecimento dos frutos, a atividade da ADH é correlacionada ao acúmulo de etanol. Estes, em baixos níveis, são precursores de compostos voláteis responsáveis pelo sabor e aroma natural dos frutos. No entanto, o aumento a níveis muito elevados pode caracterizar a produção de *off-flavour*, pelo acúmulo de etanol, que pode ocorrer tanto por processos fermentativos decorrentes de respiração anaeróbica quanto pelo acelerado amadurecimento ou senescência dos frutos (Porat & Fallik, 2008). A fase de amadurecimento de mangas leva a maior produção de etanol, acumulando-se em altos níveis na fase de pós-climatério (Bender, Brecht, Sargent, & Huber, 2000). Nesse sentido, nas mangas do grupo controle, o aumento da atividade da ADH no 15º dia de armazenamento pode estar relacionado ao avanço da maturação e/ou início do processo de senescência, uma vez que o amadurecimento não foi interrompido nesses frutos, o que se confirma pela redução da acidez e elevação no teor de sólidos solúveis e “ratio” (Figura 3).

3.3 Acidez titulável (AT), sólidos solúveis (SS) e “ratio” (SS/AT)

O conteúdo de ácidos orgânicos, exceto no tratamento com HPMC+20% CA ($R^2=0,07555$), apresentou tendência decrescente. No entanto, as mangas do controle tiveram maior perda de acidez, diferindo dos tratamentos com HPMC+10 e 40% CA, que mantiveram, respectivamente, acidez titulável 40% e 26% superior ao controle ao final dos 15 dias de armazenamento (Figura 3A). A maior quantidade de ácidos nas mangas com recobrimento está relacionada ao retardo do amadurecimento, bem como à menor utilização dos ácidos orgânicos como substrato no metabolismo respiratório (Batista-Silva et al., 2018; Zakir et al., 2018).

O teor de sólidos solúveis (SS) dos frutos em todos os tratamentos aumentou ao longo do período de armazenamento (Figura 3B), demonstrando que o processo de amadurecimento não foi completamente interrompido pelos recobrimentos. No entanto, os frutos que receberam o recobrimento tiveram menores teores de SS aos 15 dias de armazenamento por efeito da atmosfera modificada criada no interior dos frutos, que reduz a atividade enzimática e a conversão do amido em açúcar, mantendo, assim, o teor de sólidos solúveis e, proporcionalmente, o “ratio”.

Os frutos do controle apresentaram, em média, aumento no teor de SS 50% superior aos frutos com recobrimento. Além disso, o SS dos frutos controle, apresentou redução a partir do 12º dia, o que pode configurar a redução do

metabolismo enzimático de conversão do amido em açúcar, responsável pela elevação do teor de sólidos solúveis (Faasema, Alakali, & Abu, 2014), caracterizando o amadurecimento dos frutos.

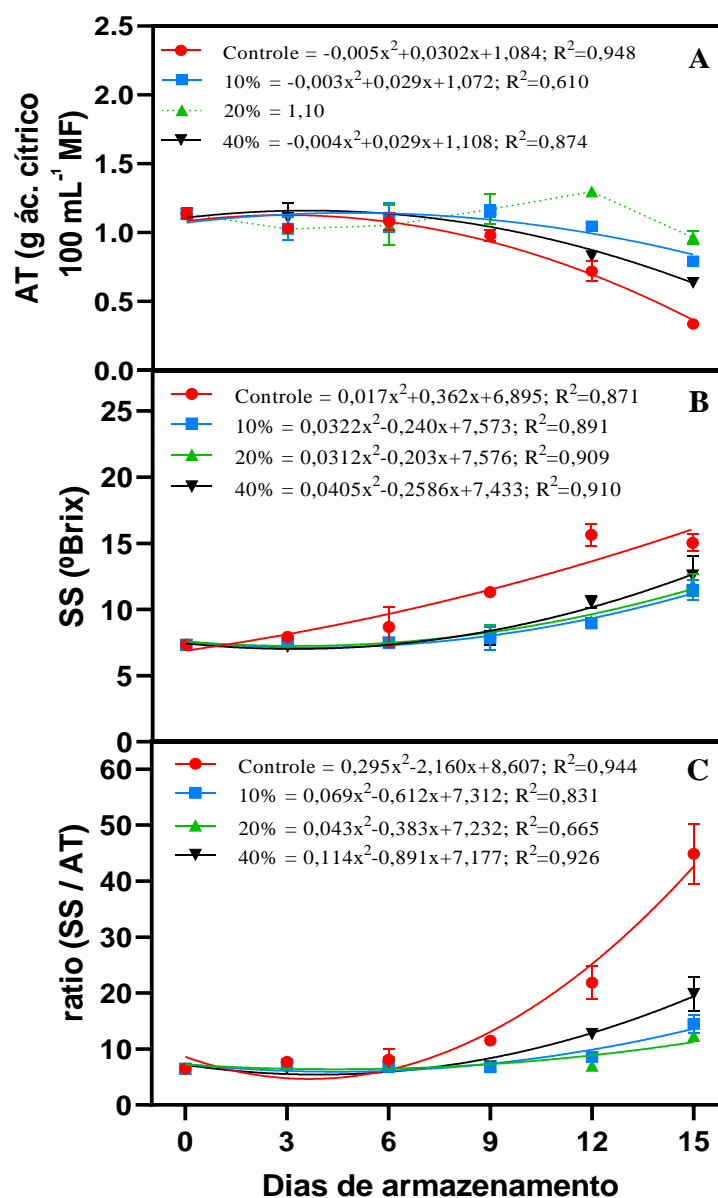


Figura 3. Efeito do recobrimento a base de HPMC e cera de abelha nos teores de acidez titulável – AT (A), sólidos solúveis – SS (B) e “ratio” (C) de mangas ‘Palmer’ armazenadas 15 dias a 21 °C. Controle - Sem recobrimento; 10% – HPMC+10% CA; 20% – HPMC+20% CA e; 40% – HPMC+40% CA

O “ratio” aumentou a partir do 6º dia de armazenamento em todos os tratamentos. No entanto, ao final do período, nos frutos do controle o aumento foi de 595%, enquanto as mangas com recobrimento apresentaram aumento de 207, 124 e

91%, para os frutos com HPMC+40, 10 e 20% CA, respectivamente (Figura 3C). Esses resultados são similares aos relatados para mangas Palmer tratadas com recobrimentos a base de quitosana, que apresentaram “ratio” menor quando comparado aos frutos sem recobrimento (Cosme Silva et al., 2017). Semelhante a esta pesquisa, os resultados de Cosme Silva e colaboradores (2017) demonstram a elevação dos valores de “ratio” a partir do 10º dia de armazenamento, comportamento que atribuem à coincidência com o pico de etileno.

3.4 Açúcares

Os teores de açúcares solúveis (Figura 4A) e os açúcares redutores (Figura 4B) nas mangas sem recobrimento apresentaram tendência de incremento ao longo do armazenamento, com acúmulo de 39,88 e 70,63% de açúcares solúveis e redutores, respectivamente, em comparação ao início do armazenamento. Os frutos com recobrimento, com exceção dos tratados com HPMC+10% CA, apresentaram redução no conteúdo de açúcares solúveis e redutores nos primeiros dias de armazenamento, com posterior aumento no teor de AS a partir do 6º dia e de AR, a partir do 9º dia, mas mantendo médias inferiores ao controle (Figura 4).

Essa tendência pode estar associada à redução no processo respiratório dos frutos tratados com HPMC:CA, que ao reduzir as trocas gasosas entre o fruto e o ambiente, criou uma atmosfera modificada no interior dos frutos, o que provavelmente inibe a atividade da amilase (EC 3.2.1.1), sacarose sintase (EC2.4.1.13), invertase (EC 3.2.1.26) e demais enzimas responsáveis pela hidrólise do amido em açúcares (Singh et al., 2013).

O tratamento com HPMC+10% é o tratamento com menor teor de cera de abelha na composição e, portanto, espera-se que tenha menor permeabilidade aos gases, dado o caráter hidrofílico do HPMC (Klangmuang & Sothornvit, 2016a; Navarro-Tarazaga et al., 2011). Dessa forma, os baixos teores de açúcares redutores registrados nas mangas submetidas a esse recobrimento ao longo de todo o período de armazenamento indicam maior atraso no processo de amadurecimento.

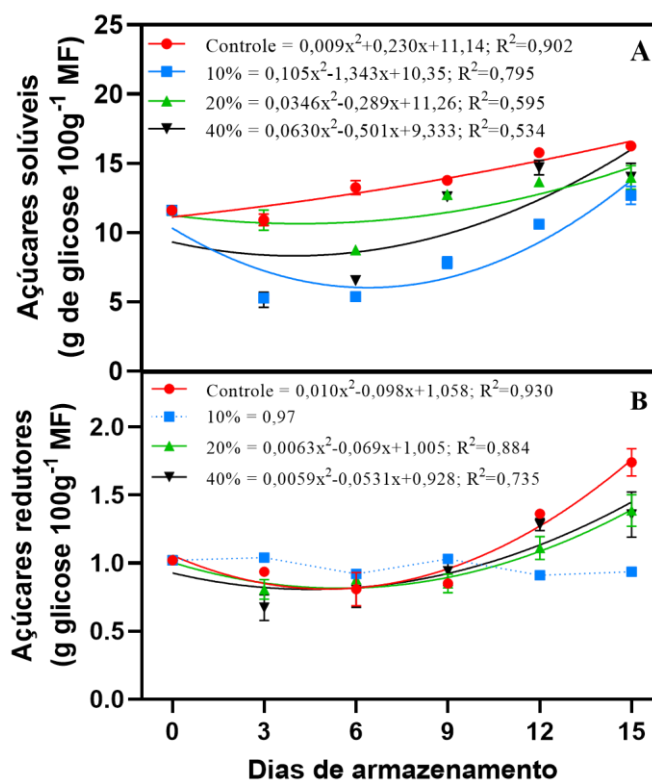


Figura 4. Efeito do recobrimento a base de HPMC e cera de abelha nos teores de açúcares solúveis (A) e açúcares redutores (B) de mangas ‘Palmer’ armazenadas 15 dias a 21 °C. Controle - Sem recobrimento; 10% – HPMC+10% CA; 20% – HPMC+20% CA e; 40% – HPMC+40% CA

Essa tendência também foi observada em goiabas ‘Pedro Sato’ tratadas com recobrimentos de HPMC+10% CA, sendo justificado pelos autores como consequência da elevada barreira às trocas gasosas, o que restringiu o conteúdo de O_2 no interior dos frutos (Formiga et al., 2019). Os autores sugerem que a restrição do O_2 pode ter induzido o metabolismo das goiabas à fermentação, na qual os açúcares redutores são utilizados como substrato para produzir energia. Tal fato, no entanto, não se evidenciou nas mangas revestidas com HPMC+10% CA (Figura 2). Os diferentes comportamentos podem estar relacionados ao conteúdo de sólidos totais nos recobrimentos: 8 e 6 g 100 g⁻¹, aplicados por Formiga et al. (2019) e neste experimento, respectivamente.

3.5 Coloração da casca e da polpa

Os resultados da análise colorimétrica indicam a tendência de amadurecimento dos frutos do controle a partir do 6º dia de armazenamento, apresentando diferença entre os tratamentos com recobrimento e o controle ($p \leq 0,05$), em relação a coloração tanto da casca quanto da polpa (Figuras 5 e 6).

A luminosidade da casca (Figura 5A) apresentou tendência crescente a partir do 9º dia de armazenamento nos frutos sem recobrimento, indicativo de que a casca das mangas submetidas a este tratamento se tornou mais clara. O aumento no valor da luminosidade da casca de mangas reflete o clareamento desta, que está relacionado a maior exposição da cor amarela, resultante da degradação da clorofila (verde) e síntese dos pigmentos carotenoides (amarelos-alaranjado) (Nunes, 2008). Nesse sentido, constata-se que os recobrimentos a base de HPMC:CA contribuíram para retardar o amadurecimento dos frutos, visto que não houve variação da luminosidade nas mangas submetidas a esses tratamentos. Observações semelhantes foram realizadas em mangas 'Palmer' revestidas com amido de mandioca (2 e 3%) (Costa et al., 2016) e com cera de carnaúba (Guimarães et al., 2017), nas quais foram observados tons mais claros (menor luminosidade) ao final do armazenamento, em função do retardo no amadurecimento possibilitado pela mudança de atmosfera interna gerada pelo efeito barreira dos recobrimentos.

Assim, a diminuição na luminosidade da polpa das mangas que não receberam recobrimento (Figura 5D) corrobora com os resultados apresentados para a casca, confirmando a tendência de amadurecimento mais precoce nos frutos do controle. Isso ocorre porque a polpa da manga imatura apresenta coloração amarelo-claro que, durante o amadurecimento, muda para tons de amarelo-alaranjado em função da síntese dos carotenoides, tornando-se mais escura (Nunes, 2008; Serpa et al., 2014). O menor escurecimento da polpa também foi constatado em mangas 'Palmer' revestidas com amido de mandioca (Costa et al., 2016; Serpa et al., 2014), ratificando a contribuição dos recobrimentos para o retardo no amadurecimento.

O croma apresentou tendência semelhante, tanto na casca quanto na polpa das mangas sem recobrimento, nas quais houve aumento expressivo a partir do 6º dia de armazenamento. Por outro lado, nos frutos com recobrimento não houve variação na cromaticidade da casca e houve leve aumento na polpa. (Figuras 5B e 5E). O croma representa a saturação, que está ligada diretamente à concentração do

elemento corante e representa um tributo quantitativo para intensidade. Quanto maior o croma, maior a saturação das cores perceptíveis aos humanos (Ferreira & Spricigo, 2017). Nesse sentido, o aumento na cromaticidade da casca e polpa de mangas sem recobrimento indica saturação em termos de pigmentação que, no caso da 'Palmer', caracteriza mudança na cor da casca, de um verde fosco para um amarelo avermelhado vívido (Nunes, Emond, Brecht, Dea, & Proulx, 2007) e aumento na intensidade da cor amarela e no brilho da polpa (Santos, Durigan, Martins, & Morgado, 2010; Serpa et al., 2014), parâmetros relacionados ao amadurecimento. Logo, a manutenção do cromaticidade da casca e menor aumento deste na polpa sugerem que o recobrimento de HPMC:CA contribuiu para retardar o amadurecimento da manga, assim como observado para goiabas 'Pedro Sato', nas quais os frutos revestidos com HPMC:CA apresentaram croma constante durante os oito dias avaliados, enquanto nos frutos sem recobrimento se constatou aumento das médias (Formiga et al., 2019).

O ângulo *Hue*, para casca e polpa, apresentou decréscimo nas mangas do controle, enquanto nos frutos com recobrimento não se registraram alterações significativas para esse parâmetro ao longo do armazenamento (Figura 5C e 5F). De acordo com o sistema CIE L* a* b*, graficamente, considera-se o ângulo 0° como a cor vermelha, o ângulo de 90°, amarelo, o ângulo de 180°, verde, e o ângulo de 270°, azul (Ferreira & Spricigo, 2017). Nesse sentido, as variações ângulo *Hue* apresentadas na coloração da casca situam as mangas do controle na faixa de amarelo (104,35°), enquanto as mangas com recobrimento, na faixa do verde amarelado (em média, 114,88°). Na polpa, o ângulo *Hue* situa as mangas do controle na faixa que corresponde ao amarelo-alaranjado (88,4°), e as mangas com recobrimento no verde amarelado (em média, 97,3°).

Segundo Nunes et al. (2007) a redução do ângulo *Hue* da casca de mangas 'Palmer' indica mudança na coloração de verde amarelado para amarelo avermelhado, o que ocorre em cerca de oito dias quando os frutos são mantidos a temperatura ambiente. Essa tendência também foi observada na polpa de mangas 'Palmer' mantidas em condições ambiente, as quais passaram de 102,04° para 89,06°, tornando-se, portanto, mais amarelas durante o armazenamento (Serpa et al., 2014). Assim, constata-se que os recobrimentos contribuíram para manutenção do ângulo *Hue* das mangas tratadas, o que sugere um atraso no amadurecimento, uma vez que as mudanças na coloração tanto na casca quanto na polpa de mangas estão

relacionadas ao processo de degradação da clorofila e síntese de carotenoides (Ebrahimi & Rastegar, 2020; Singh et al., 2013). Isso ocorre em função da atmosfera modificada formada no interior dos frutos que receberam recobrimento, dada a elevação na taxa de CO₂ interno e redução do consumo de O₂, com conseqüente redução dos processos enzimáticos e da atividade respiratória, como também constatado em goiabas (Formiga et al., 2019) e tomates (Fagundes et al., 2015) submetidos ao recobrimento com HPMC:CA.

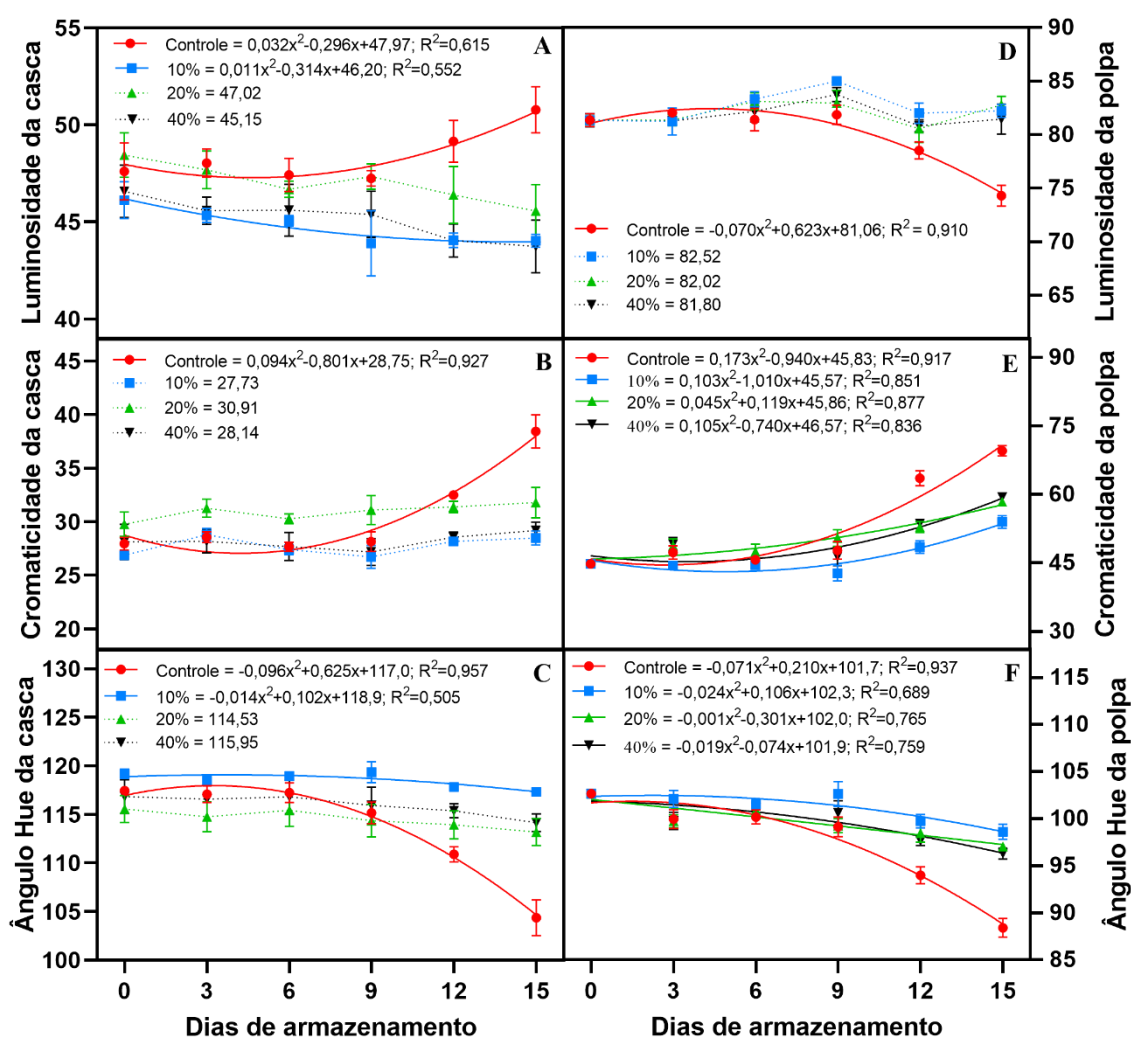


Figura 5. Efeito do recobrimento a base de HPMC e cera de abelha na coloração da casca (A, B e C) e coloração da polpa (D, E e F) de mangas 'Palmer' armazenadas 15 dias a 21 °C. Controle - Sem recobrimento; 10% - HPMC+10% CA; 20% - HPMC+20% CA; 40% - HPMC+40% CA

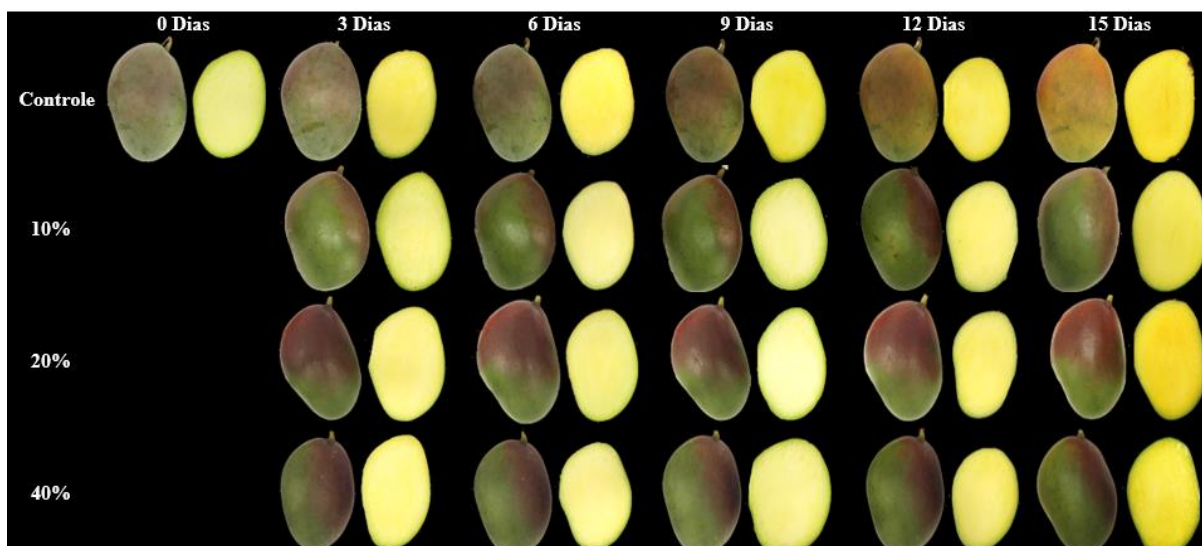


Figura 6. Efeito do recobrimento de HPMC e cera de abelha no amadurecimento de manga 'Palmer' armazenadas 15 dias a 21 °C. Controle - Sem recobrimento; 10% – HPMC+10% CA; 20% – HPMC+20% CA; 40% – HPMC+40% CA

A modificação na coloração dos frutos é um dos principais critérios para a identificação do amadurecimento em frutas e hortaliças (Chitarra & Chitarra, 2005). Na manga 'Palmer', este fator indica depreciação da qualidade visual (Nunes, 2008). Da mesma forma, a cor da polpa na colheita é considerada um dos melhores indicadores de vida comercial de mangas, devido sua elevada susceptibilidade às alterações bioquímicas ocorridas no amadurecimento (Nordey, Davrieux, & Léchaudel, 2019). Dessa forma, a manutenção da coloração da casca e da polpa próximas às registradas na colheita é um indicativo de que o amadurecimento dos frutos foi retardado, oportunizando maior vida comercial e maior aceitação do fruto pelo consumidor.

3.6 Perda acumulada de massa fresca e firmeza

A perda acumulada de massa fresca (PAMF) apresentou diferença significativa ($p \leq 0,05$) entre os frutos do controle e os que receberam recobrimento a partir do 9º dia de armazenamento, acentuando-se ao final do período de estocagem. Aos 15 dias, os frutos tratados apresentaram, em média, PAMF 19% inferior em relação aos do controle (Figura 7A). Resultados semelhantes foram apresentados para mangas cv. 'Namdokmai Sithong' tratadas com recobrimentos de HPMC:CA e óleos essenciais e armazenadas a 13 °C, cuja PAMF foi de 10 a 15% menor em relação a frutos não

revestidos (Klangmuang & Sothornvit, 2018), o que se justifica pela barreira à água formada pelo recobrimento, que tem na composição a cera de abelha, que é um material hidrofóbico.

Não foi constatada diferença na PAMF entre os recobrimentos ($p \leq 0,05$), comprovando que o aumento de cera no recobrimento não foi proporcional à diminuição da permeabilidade ao vapor de água da cobertura. A aplicação de revestimento a base de HPMC e cera de abelha em goiabas 'Pedro Sato' apresentou resultados semelhantes aos do presente trabalho, contribuindo para refutar a hipótese de que o aumento da cera de abelha diminui, proporcionalmente, a permeabilidade à água nos recobrimentos (Formiga et al., 2019).

Além disso, as características do recobrimento são definidas pelas interações estabelecida entre seus componentes, sendo a permeabilidade influenciada fortemente pela proporção de emulsificantes, como o ácido esteárico. A utilização dos ácidos palmítico e esteárico, em proporção 5:1 (cera de abelha:ácidos graxos), em revestimento a base de HPMC melhoram a permeabilidade da cobertura aos gases, reduzindo a concentração de compostos voláteis no interior das frutas, como constatado em experimento com tangerinas 'Ortanique' (Navarro-Tarazaga, Río, et al., 2008). Isso ocorre porque o emulsificante permite maior dispersão dos glóbulos de gordura na base de HPMC, restringindo a passagem do vapor de água. Dessa forma, pode-se considerar que o adequado equilíbrio entre os componentes da emulsão e o processo de emulsificação apresentam maior influência na estrutura do recobrimento do que seus componentes de forma isolada.

A firmeza das mangas diminuiu ao longo do período de armazenamento (Figura 7B), no entanto, de forma mais marcante nos frutos controle. Ao final do 15º dia de armazenamento o controle apresentou médias muito menores (10,68 N), em comparação as mangas tratadas com 10 (42,82 N), 20 (43,77 N) e 40% CA (39,89 N). Isso indica que os recobrimentos permitiram manter a firmeza quatro vezes maior que nas frutas do controle no mesmo dia.

A firmeza é alterada ao longo do amadurecimento por processos bioquímicos mediados pela ação de enzimas hidrolíticas, como amilase, celulase, pectinametilesterase e poligalacturonase, que atuam degradando o amido e a parede celular, o que contribui para a conversão do amido em açúcar, ocasionando perda do turgor celular e amaciamento dos frutos (Singh et al., 2013). Dessa forma, é possível afirmar que a atmosfera modificada criada no interior dos frutos com recobrimento

retardou os processos metabólicos, contribuindo para maior firmeza das mangas, o que prolongou a vida útil em 6 dias à temperatura ambiente. Resultados semelhantes foram observados para goiabas ‘Pedro Sato’ revestidas com HPMC e cera de abelha, em que o recobrimento com 20% CA permitiu um ganho de 6 dias na vida útil dos frutos, permitindo a comercialização por até 8 dias em temperatura ambiente (Formiga et al., 2019).

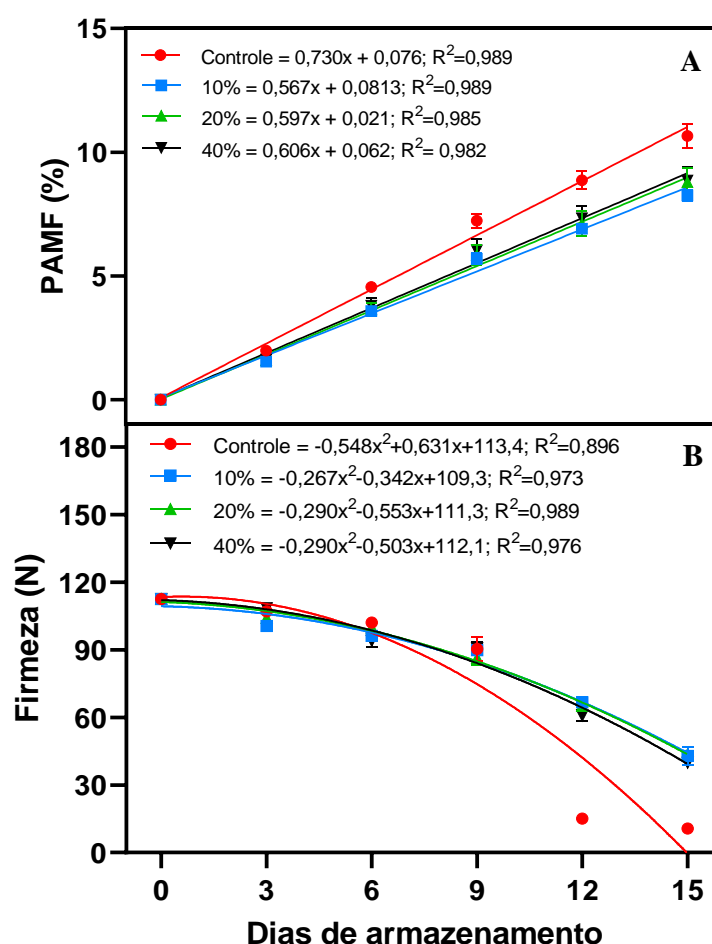


Figura 7. Efeito do recobrimento a base de HPMC e cera de abelha sobre perda acumulada de massa fresca – PAMF (A) e firmeza (B) de mangas ‘Palmer’ armazenadas 15 dias a 21 °C. Controle - Sem recobrimento; 10% – HPMC+10% CA; 20% – HPMC+20% CA; 40% – HPMC+40% CA

O recobrimento a base de HPMC:CA, mostrou-se mais eficiente na manutenção da textura de mangas ‘Palmer’ do que a cera de carnaúba:extrato de própolis combinado à refrigeração (12 °C) por 12 dias, seguido de três dias a 25 °C, que resultaram em mangas com firmeza média abaixo de 30 N no 15º dia (Guimarães

et al., 2017). Da mesma forma, o HPMC:CA superou a eficiência de recobrimento a base de galactomanana + refrigeração, que só mantiveram a textura de mangas 'Tommy Atkins' por 8 dias, apresentando firmeza menor que 20 N em 12 dias de armazenamento refrigerado (14 °C) (Aguiar et al., 2011). É importante ressaltar que a firmeza é um dos atributos que rapidamente se alteram com o processo de amadurecimento, podendo comprometer a qualidade da 'Palmer' a partir do 8º dia após a colheita (Nunes et al., 2007). Logo, os ganhos apresentados pelo uso dos recobrimentos de HPMC:CA são significativos, contribuindo para maior vida útil da fruta, mesmo em temperatura ambiente.

3.7 Compostos bioativos e atividade antioxidante

Houve tendência decrescente dos teores de ácido ascórbico (AA) ao longo do armazenamento (Figura 8A). É possível, entretanto, observar aumento das médias no 6º dia de armazenamento para os frutos do controle e tratados com HPMC+10% CA. Nas frutas, o ácido ascórbico atua como um agente antioxidante, protegendo o tecido vegetal de espécies reativas de oxigênio (EROs) (Fenech, Amaya, Valpuesta, & Botella, 2019). Assim, a elevação do teor desse composto no dia 6, para os frutos desses tratamentos, pode estar associada a processos oxidativos que induziram a síntese do ácido ascórbico como mecanismo de defesa, enquanto o decréscimo gradual nos demais tratamentos evidencia a degradação normal do ácido ascórbico pelo processo de oxidação, comportamento semelhante ao reportado para goiabas 'Pedro Sato' tratadas com recobrimento a base de HPMC + CA nas mesmas concentrações dessa pesquisa (Formiga et al., 2019).

Constata-se que os recobrimentos apresentaram efeito positivo na manutenção do ácido ascórbico, maior nas mangas tratadas, a partir do 9º dia. Ao final do período, o tratamento com HPMC+20% CA, apresentava 70% do conteúdo inicial; 20% a mais do que nos frutos sem recobrimento. Os tratamentos com HPMC+10% e 40% CA apresentaram valores intermediários, mas, em média, 13% maiores que no controle.

No início do período de armazenamento, houve aumento dos compostos fenólicos, seguido de decréscimo para todos os tratamentos (Figura 8B). As mangas do controle apresentaram as maiores médias ao longo do período, o que pode se justificar pelo estágio mais avançado de maturação desses frutos em relação aos tratados com recobrimento, uma vez que os compostos fenólicos são utilizados para

neutralizar radicais livres naturalmente produzidos durante o amadurecimento (Palafox-Carlos, Yahia, Islas-Osuna, Gutierrez-Martinez, & Robles-Sánchez, 2012; Palafox-Carlos, Yahia, & González-Aguilar, 2012).

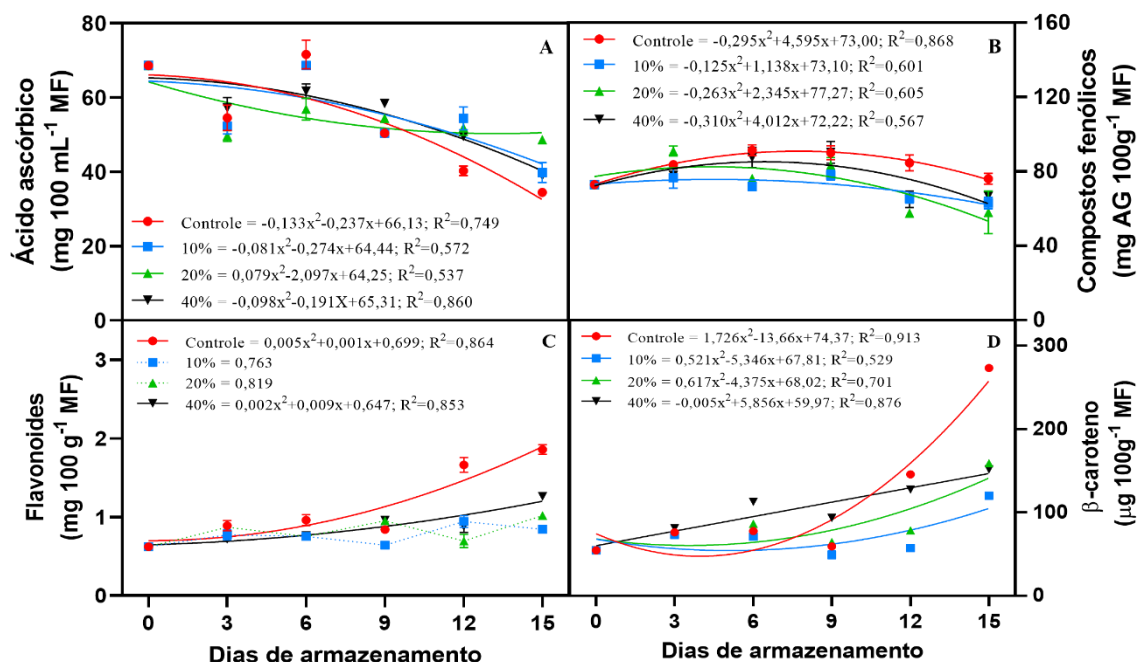


Figura 8. Efeito do recobrimento a base de HPMC e cera de abelha nos teores de ácido ascórbico (A), compostos fenólicos totais (B), flavonoides (C) e β-caroteno (D) da polpa de mangas ‘Palmer’ armazenadas 15 dias a 21 °C. Controle - Sem recobrimento; 10% – HPMC+10% CA; 20% – HPMC+20% CA; 40% – HPMC+40% CA

Diferentes tendências têm sido reportadas para a mudança no teor de compostos fenólicos durante o amadurecimento de mangas, podendo aumentar, não apresentar mudanças ou decrescer (Ibarra-garza, Ramos-parra, Hernández-brenes, & Jacobo-velázquez, 2015; Palafox-Carlos, Yahia, Islas-Osuna, et al., 2012; Palafox-Carlos, Yahia, & González-Aguilar, 2012). Em mangas ‘Tommy Atkins’, ‘Keitt’ e ‘Xiangya’, no entanto, observou-se redução no teor de compostos fenólicos com o amadurecimento, registrando-se reduções de até 48% no conteúdo de polifenóis (em ‘Xiangya’) (Gámez et al., 2017; Hu, Dars, Liu, Xie, & Sun, 2018; Maldonado-Celis et al., 2019). Palafox-Carlos et al. (2012), analisando o conteúdo de compostos fenólicos em mangas cv. ‘Ataulfo’, reportaram elevação entre os estádios de maturação 1 (0-

10% da casca amarela) a 3 (70-80% da casca amarela), quando é registrada redução, sendo associada a senescência dos frutos.

O teor de flavonoides registrados para as mangas 'Palmer' apresentou aumento ao longo do armazenamento (Figura 8C), com destaque para os frutos sem recobrimento que registraram aumento de 200% no teor de flavonoides em relação aos tratados com HPMC+40% CA, ao final do período. Os frutos com recobrimento de HPMC + 10 e 20% CA não apresentaram ajuste estatístico, mas o teor médio de flavonoides ao longo do armazenamento também foi baixo. Esse resultado difere dos apresentados para manga cv. 'Ataulfo' ao longo do amadurecimento, no qual sugere-se que o amadurecimento não interfere no teor de flavonoides (Palafox-Carlos, Yahia, Islas-Osuna, et al., 2012), possivelmente pela baixa expressão do gene *FSL* ligado à enzima flavonol sintase dessa variedade (Palafox-Carlos, Yahia, & González-Aguilar, 2012).

O teor de flavonoides, bem como sua mudança durante o amadurecimento, pode variar, dependendo do cultivar, estágio de maturação, condições de armazenamento, dentre outros fatores. Em mirtilos 'Powderblue' e 'Baldwin', por exemplo, foi constatado aumento no teor de flavonoides ao longo do amadurecimento (Guofang, Xiaoyan, Xiaoli, Yongling, & Zhibing, 2019); assim como em mangas cv. Xiangya que apresentaram aumento de 23,59 para 41,51 mg QE 100 g⁻¹ entre os estádio de maturação 3 (textura levemente macia e polpa amarela) e 4 (textura muito macia e polpa intensamente amarela ou laranja) (Hu et al., 2018). Nesse sentido, é possível que as diferenças dos teores de flavonoides entre as frutas tratadas e do controle estejam relacionadas à redução no metabolismo das mangas submetidas aos recobrimentos.

Os teores de carotenoides da polpa apresentaram tendência de incremento ao longo período de armazenamento (Figura 8D). Verifica-se que as mangas tratadas apresentaram um aumento médio de 163% de betacaroteno em relação ao início do experimento. Apesar disso, esses valores são muito menores que os dos frutos controle que, ao final dos 15 dias de armazenamento, apresentaram 273,25 µg 100 g⁻¹ de betacaroteno, registrando um aumento de mais de 500% em relação a concentração inicial.

O conteúdo de carotenoides em polpa de mangas está diretamente relacionado ao estágio de maturação dos frutos. É reportado que o conteúdo de carotenoides na polpa de mangas pode variar de 3,09 µg 100g⁻¹ no estágio verde, para 70,88 µg 100g⁻¹

¹ no início da maturação, chegando a alcançar $251,74 \mu\text{g } 100\text{g}^{-1}$ quando maduras (Haque, Begum, Khatun, & Islam, 2015). Logo, o recobrimento agiu retardando o amadurecimento dos frutos tratados, que apresentaram menor teor de carotenoides ao final dos 15 dias de armazenamento. Esse resultado é justificado pela alteração no metabolismo ocasionado pela aplicação dos recobrimentos, que inibiu a síntese do etileno e, conseqüentemente, a degradação da clorofila e a biossíntese de carotenoides (Cosme Silva et al., 2017; Singh et al., 2013). Apesar da redução do metabolismo do fruto é possível observar que os recobrimentos não inibem completamente a síntese de carotenoides. Infere-se, assim, que sua aplicação não limita a produção desse composto, apenas a atrasa, contribuindo para maior vida útil da fruta, mas sem comprometer sua qualidade nutricional.

A atividade antioxidante, determinada a partir do consumo do radical livre DPPH, apresentou tendência decrescente ao longo do armazenamento, com diferença significativa entre as mangas com e sem recobrimento. A partir do 9º dia, as frutas do controle apresentaram redução drástica na atividade antioxidante (Figura 9), indicando que os recobrimentos foram efetivos no controle da manutenção da atividade antioxidante.

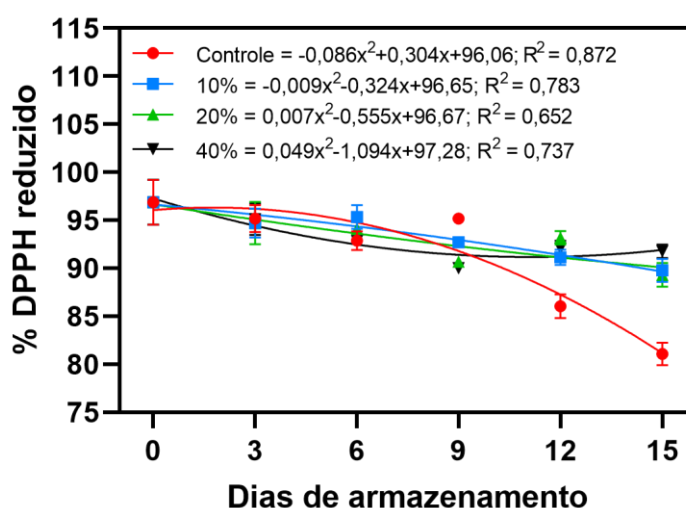


Figura 9. Efeito do recobrimento a base de HPMC e cera de abelha na atividade antioxidante da polpa de mangas 'Palmer' armazenadas 15 dias a 21°C . Controle - Sem recobrimento; 10% - HPMC+10% CA; 20% - HPMC+20% CA; 40% - HPMC+40% CA

A redução na atividade antioxidante nas mangas do controle pode estar relacionada ao amadurecimento dos frutos, que ocorreu entre o 9º e 12º dia de

armazenamento, coincidindo com a diminuição da porcentagem de DPPH reduzido. A maior atividade antioxidante é reportada durante o pico climatérico, com objetivo de conter radicais livres produzidos ao final da cadeia de transporte de elétrons (Ibarra-garza et al., 2015; Jacobo-Velázquez, Martínez-Hernández, Del C. Rodríguez, Cao, & Cisneros-Zevallos, 2011; Palafox-Carlos, Yahia, Islas-Osuna, et al., 2012). Além disso, coincide com a redução do teor de ácido ascórbico e compostos fenólicos totais, importantes antioxidantes utilizados para estabelecer o equilíbrio entre compostos oxidantes-antioxidantes (Khaliq, Madani, Nisa, Ramzan, & Koondhar, 2017; Masibo & He, 2008; Palafox-Carlos, Yahia, Islas-Osuna, et al., 2012).

Nesse sentido, é possível afirmar que os recobrimentos foram eficientes na manutenção dos compostos bioativos e atividade antioxidante da manga 'Palmer' armazenada a 21 °C por 15 dias, possibilitando a proteção do tecido vegetal de espécies reativas do oxigênio. Além disso, garantiu a qualidade nutricional, uma vez que os teores de carotenoides, de ácido ascórbico, de compostos fenólicos e de flavonoides apresentam potencial antioxidante também para o organismo humano, contribuindo para a redução de radicais livres e prevenção de doenças crônico degenerativas (Fenech et al., 2019; Masibo & He, 2008; Zafar & Sidhu, 2017).

3.8 Atividade da peroxidase e peroxidação lipídica

A atividade da peroxidase apresentou tendência crescente a partir do 6º dia de armazenamento para os frutos do controle, nos quais foi registrado aumento de 267% na atividade desta enzima aos 15 dias (Figura 10.A). Por outro lado, nos frutos tratados não houve alterações significativas, registrando-se aumento de apenas 19% na atividade da POD ao final do armazenamento, para os frutos com recobrimento de HPMC+40% CA.

Nesse sentido, os resultados indicam que o recobrimento foi eficiente no controle do amadurecimento, pois a elevação da atividade da POD, como constatado nos frutos sem recobrimento, é um indicativo de avançado amadurecimento e/ou senescência dos frutos, uma vez que ela atua catalisando as reações oxidativas que aumentam nesse período (Chitarra & Chitarra, 2005). A elevação da atividade da POD foi relacionada ao amadurecimento de mangas cv. 'Palmer' (Miguel, Durigan, Barbosa, & Morgado, 2013) e cvs. 'Lippens' e 'Smith' (Marin & Cano, 1992). Acredita-se que esse efeito esteja relacionado à presença de uma proteína que inibe a atividade da

peroxidase em mangas imaturas, sendo esta proteína posteriormente inativada pelo etileno durante o pico climatérico (Mattoo & Modi, 1970, 1975). Isso explica o aumento da atividade da enzima nos frutos sem recobrimento, devido à rápida evolução no estágio de maturação, em comparação com os frutos com recobrimentos.

A peroxidação de lipídios, dada pelo teor de malondialdeído (MDA), aumentou ao longo do armazenamento para todos os tratamentos, embora de forma mais acentuada nos frutos do controle e com HPMC+20% CA. No entanto, o teor de MDA foi menor nos frutos com recobrimento ao final dos 15 dias de armazenamento (Figura 10B).

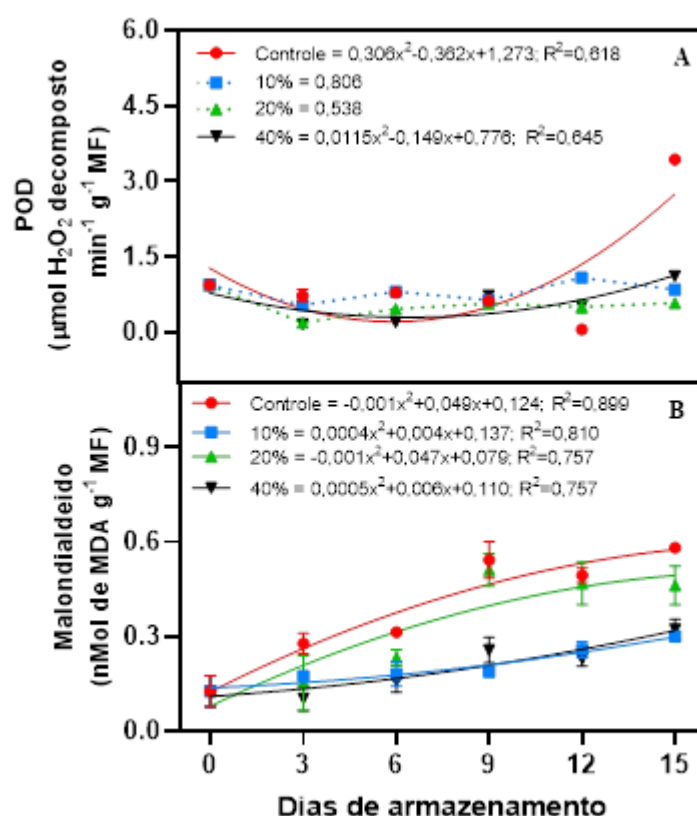


Figura 10. Efeito do recobrimento a base de HPMC e cera de abelha na atividade das enzimas peroxidase (POD) (A) e peroxidação lipídica (Malondialdeído) (B) da polpa de mangas 'Palmer' armazenadas 15 dias a 21 °C. Controle - Sem recobrimento; 10% - HPMC+10% CA; 20% - HPMC+20% CA; 40% - HPMC+40% CA

O MDA é uma espécie reativa do oxigênio, resultante da peroxidação de lipídios, utilizado como marcador de estresse oxidativo. A elevação desse composto

ao longo do armazenamento está relacionada ao processo de amadurecimento, uma vez que envolve processos bioquímicos e fisiológicos responsáveis pela acumulação de produtos da peroxidação, que resultam na ruptura da membrana celular, que é altamente susceptível às EROs (Aguiar et al., 2011).

Nesse sentido, os resultados sugerem que os recobrimentos contribuíram para redução do estresse oxidativo, possivelmente pela menor disponibilidade de oxigênio no interior dos frutos, dado que o O₂ é descrito como principal responsável pela peroxidação (Ntsoane, Zude-Sasse, Mahajan, & Sivakumar, 2019; Petriccione et al., 2015). Resultados semelhantes foram observados em mangas ‘Tommy Atkins’ revestidas com galactomanana (Aguiar et al., 2011) e morangos revestidos com quitosana (Petriccione et al., 2015), estes apresentaram menor peroxidação de lipídeos em comparação aos frutos sem revestimento, efeito que os autores atribuem à barreira ao oxigênio criada pelos recobrimentos.

3.9 Incidência e severidade de doenças

Ao final do período de armazenamento, 33,33% dos frutos do controle e 11,11% tratados com HPMC+40% CA apresentaram sintomas de antracnose (*Colletotrichum gloeosporioides*), com incidência registrada a partir do 6º e 9º dia, respectivamente. A severidade da doença, todavia, foi maior nos frutos do controle, com 571,57 mm² (Tabela 2).

Tabela 2. Efeito dos recobrimentos na incidência e severidade de doenças de mangas ‘Palmer’ armazenadas 15 dias a 21 °C

| Tratamentos | Incidência de doenças (%) | Severidade (mm²) |
|--------------------|----------------------------------|------------------------------------|
| Controle | 33,33 | 571,57 |
| HPMC+10% CA | 0 | - |
| HPMC+20% CA | 0 | - |
| HPMC+40% CA | 11,11 | 187,30 |

A literatura não relata o potencial fungicida do recobrimento a base de HPMC e cera de abelha. Entretanto, é reportado que esse recobrimento contribui para redução da incidência e severidade da antracnose em mangas cv. ‘Namdokmai Sithong’, prolongando sua vida útil (Klangmuang & Sothornvit, 2018; Sothornvit &

Klangmuang, 2015). O mecanismo de ação do recobrimento sobre a inibição do patógeno não é claramente elucidado, mas é provável que este se deva à ação indireta do recobrimento sobre os frutos, ao reduzir a atividade respiratória e retardar o amadurecimento dos frutos, o que justificaria a não ocorrência nos frutos tratados com HPMC+10 e 20% CA, que tiveram menores taxas respiratórias e a ocorrência mais tardia no tratamento com HPMC+40% CA, que apresenta uma elevação na taxa respiratória a partir do 12º dia (Figura 1).

4. Conclusão

Os resultados indicam que o recobrimento a base de HPMC e cera de abelha apresenta significativos benefícios na conservação pós-colheita e qualidade de manga 'Palmer', oportunizando menor amadurecimento dos frutos, menor taxa respiratória, com manutenção da cor da casca e polpa, da firmeza, da acidez titulável, dos sólidos solúveis, do "ratio", do ácido ascórbico e da atividade antioxidante, redução na perda de massa fresca e da incidência de doenças, além de reduzir a síntese de açúcares e carotenoides, sem induzir a atividade da álcool desidrogenase, o que indica que não houve fermentação dos frutos, possibilitando conservação dos frutos por 15 dias, o que representa um ganho de pelo menos seis dias na vida comercial, em relação ao controle, além de contribuir para menor estresse oxidativo nos frutos. O tratamento com 20% CA é o mais indicado para possíveis aplicações comerciais.

5. Agradecimentos

Ao senhor João Malaman que doou as mangas e à Colorcon do Brasil Ltda, pela doação do Methocel 15 utilizado no experimento. Ao Instituto Federal do Pará pela liberação do primeiro autor para a realização do estágio doutoral, em Jaboticabal-SP.

6. Referências Bibliográficas

- AGRIANUAL. (2019). *AGRIANUAL: anuário da agricultura brasileira*. São Paulo: IEG / FNP Agribusiness intelligence.
- Aguiar, R. P., Miranda, M. R. A., Lima, Á. M. P., Mosca, J. L., Moreira, R. A., & Enéas-

- Filho, J. (2011). Effect of a galactomannan coating on mango postharvest physicochemical quality parameters and physiology. *Fruits*, 66(4), 269–278. <https://doi.org/10.1051/fruits/2011034>
- AOAC. (1997). *Official methods of analysis of the Association of Official Analytical Chemists*. (16th ed.). Washington: Horwitz, W.
- Barbosa, J. C., & Maldonado Júnior, W. (2015). *Experimentação agrônômica e AgroEstat - sistema para análises estatísticas de ensaios agrônômicos* (1st ed.). Jaboticabal: Multipress.
- Batista-Silva, W., Nascimento, V. L., Medeiros, D. B., Nunes-Nesi, A., Ribeiro, D. M., Zsögön, A., & Araújo, W. L. (2018). Modifications in Organic Acid Profiles During Fruit Development and Ripening: Correlation or Causation? *Frontiers in Plant Science*, 9(November), 1–20. <https://doi.org/10.3389/fpls.2018.01689>
- Bender, R. J., Brecht, J. K., Sargent, S. A., & Huber, D. J. (2000). Mango Tolerance to Reduced Oxygen Levels in Controlled Atmosphere Storage. *Journal of the American Society for Horticultural Science*, 125(6), 707–713. <https://doi.org/10.21273/jashs.125.6.707>
- Braga, L. A. C., Rodrigues, M. J., Filho, M. de S. M. de S., Azeredo, H. M. C. de, Silva, E. de O., Oliveira, A. V. de, & Ribeiro, H. L. (2017). *Uso de Revestimento de Polissacarídeos de Algas Marinhas e Cera de Carnaúba na Conservação Pós-colheita de Mangas*. (Embrapa Agroindústria Tropical, Ed.), *Boletim de Pesquisa e Desenvolvimento* (140th ed.). Fortaleza: Embrapa Agroindústria Tropical.
- Brand-Williams, W., Cuvelier, M. E., & Berset, C. (1995). Use of a free radical method to evaluate antioxidant activity. *LWT - Food Science and Technology*, 28(1), 25–30. [https://doi.org/10.1016/S0023-6438\(95\)80008-5](https://doi.org/10.1016/S0023-6438(95)80008-5)
- Chitarra, M. I. F., & Chitarra, A. B. (2005). *Pós-colheita de frutas e hortaliças: fisiologia e manuseio*. (UFLA, Ed.) (2^a). Lavras.
- Contreras-Oliva, A., Rojas-Argudo, C., & Pérez-Gago, M. B. (2012). Effect of solid content and composition of hydroxypropyl methylcellulose – lipid edible coatings on physico-chemical and nutritional quality of ‘Oronules’ mandarins. *Journal of Science Food and Agriculture*, (92), 794–802. <https://doi.org/10.1002/jsfa.4649>
- Cosme Silva, G. M., Silva, W. B., Medeiros, D. B., Salvador, A. R., Cordeiro, M. H. M., da Silva, N. M., ... Mizobutsi, G. P. (2017). The chitosan affects severely the carbon metabolism in mango (*Mangifera indica* L. cv. Palmer) fruit during storage. *Food Chemistry*, 237, 372–378. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2017.05.123>

- Costa, M. D. S., Costa, J. D. de S., Figueiredo Neto, A., Quirino, A. K. R., Araújo, A. J. de B., & Almeida, F. D. A. C. (2016). Physical quality of “Palmer” mango coated with cassava starch. *Científica*, *44*(4), 513–519. <https://doi.org/10.15361/1984-5529.2016v44n4p513-519>
- Dhall, R. K. (2013). Advances in Edible Coatings for Fresh Fruits and Vegetables: A Review. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, *53*(5), 435–450. <https://doi.org/10.1080/10408398.2010.541568>
- Ebrahimi, F., & Rastegar, S. (2020). Preservation of mango fruit with guar-based edible coatings enriched with *Spirulina platensis* and *Aloe vera* extract during storage at ambient temperature. *Scientia Horticulturae*, *265*(February), 109258. <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2020.109258>
- Evans, E. A., Ballen, F. H., & Siddiq, M. (2017). Mango Production, Global Trade, Consumption Trends, and Postharvest Processing and Nutrition. In *Handbook of Mango Fruit: Production, Postharvest Science, Processing Technology and Nutrition* (1st ed., pp. 1–16). Oxford: Ltd., John Wiley & Sons.
- Faasema, J., Alakali, J. S., & Abu, J. O. (2014). Effects of storage temperature on 1-methylcyclopropene-treated mango (*Mangifera indica*) fruit varieties. *Journal of Food Processing and Preservation*, *38*(1), 289–295. <https://doi.org/10.1111/j.1745-4549.2012.00775.x>
- Fagundes, C., Palou, L., Monteiro, A. R., & Pérez-Gago, M. B. (2014). Effect of antifungal hydroxypropyl methylcellulose-beeswax edible coatings on gray mold development and quality attributes of cold-stored cherry tomato fruit. *Postharvest Biology and Technology*, *92*, 1–8. <https://doi.org/10.1016/j.postharvbio.2014.01.006>
- Fagundes, C., Palou, L., Monteiro, A. R., & Pérez-Gago, M. B. (2015). Hydroxypropyl methylcellulose-beeswax edible coatings formulated with antifungal food additives to reduce alternaria black spot and maintain postharvest quality of cold-stored cherry tomatoes. *Scientia Horticulturae*, *193*. <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2015.07.027>
- Fenech, M., Amaya, I., Valpuesta, V., & Botella, M. A. (2019). Vitamin C Content in Fruits: Biosynthesis and Regulation. *Frontiers in Plant Science*, *9*(January), 1–21. <https://doi.org/10.3389/fpls.2018.02006>
- Fernández-Trujillo, J. P., Nock, J. F., & Watkins, C. B. (1999). Fermentative Metabolism and Organic Acid Concentrations in Fruit of Selected Strawberry

- Cultivars with Different Tolerances to Carbon Dioxide. *Journal of the American Society for Horticultural Science*, 124(6), 696–701. <https://doi.org/10.21273/jashs.124.6.696>
- Ferreira, M. D., & Spricigo, P. C. (2017). Colorimetria: Princípios e aplicações na agricultura. *Instrumentação Em Frutas e Hortaliças*, 209–220.
- Formiga, A. S., Pinsetta, J. S., Pereira, E. M., Cordeiro, I. N. F., & Mattiuz, B.-H. (2019). Use of edible coatings based on hydroxypropyl methylcellulose and beeswax in the conservation of red guava 'Pedro Sato.' *Food Chemistry*, 290(December 2018), 144–151. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2019.03.142>
- Francis, F. J. (1982). Analysis of anthocyanins. In P. Markakis (Ed.), *Anthocyanins as food colors* (pp. 181–207). New York: Academic Press. Retrieved from <https://books.google.com.br/books?id=SN8XbvA1w8gC&lpg=PA181&ots=bgkpw mJ0eS&dq=francis%2C f. j. analysis of anthocyanins&lr&hl=pt-PT&pg=PR7#v=onepage&q=francis, f. j. analysis of anthocyanins&f=false>
- Gámez, I. B., Montoya, K. P. C., Ledesma, N., Ayerdi, S. G. S., Gacia-Magaña, M. de L., Wettberg, E. J. von, & Montalvo-González, E. (2017). Changes in the nutritional quality of five *Mangifera* species harvested at two maturity stages. *Journal of Science Food and Agriculture*, 97(14), 4987–4994. <https://doi.org/10.1002/jsfa.8377>
- Guimarães, J. E. R., Silva, J. P., Fernandes, J. D. R., Marques, K. M., Galati, V. C., Muniz, A. C. C., & Mattiuz, B. H. (2017). Use of green propolis extract in controlling of anthracnose in "Palmer" mangoes. *Acta Horticulturae*, 1178, 147–154. <https://doi.org/10.17660/ActaHortic.2017.1178.26>
- Guofang, X., Xiaoyan, X., Xiaoli, Z., Yongling, L., & Zhibing, Z. (2019). Changes in phenolic profiles and antioxidant activity in rabbiteye blueberries during ripening. *International Journal of Food Properties*, 22(1), 320–329. <https://doi.org/10.1080/10942912.2019.1580718>
- Haque, S., Begum, P., Khatun, M., & Islam, S. N. (2015). Total Carotenoid Content in Some Mango (*Mangifera indica*) Varieties of Bangladesh. *International Journal of Pharmaceutical Sciences and Research*, 6(11), 4875–4878. [https://doi.org/10.13040/IJPSR.0975-8232.6\(11\).4875-78](https://doi.org/10.13040/IJPSR.0975-8232.6(11).4875-78)
- Heath, R. L., & Packer, L. (1968). Photoperoxidation in isolated chloroplasts. *Archives of Biochemistry and Biophysics*, 125(1), 189–198. [https://doi.org/10.1016/0003-9861\(68\)90654-1](https://doi.org/10.1016/0003-9861(68)90654-1)

- Hu, K., Dars, A. G., Liu, Q., Xie, B., & Sun, Z. (2018). Phytochemical profiling of the ripening of Chinese mango (*Mangifera indica* L.) cultivars by real-time monitoring using UPLC-ESI-QTOF-MS and its potential benefits as prebiotic ingredients. *Food Chemistry*, 256(February), 171–180. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2018.02.014>
- Ibarra-garza, I. P., Ramos-parra, P. A., Hernández-brenes, C., & Jacobo-velázquez, D. A. (2015). Postharvest Biology and Technology Effects of postharvest ripening on the nutraceutical and physicochemical properties of mango (*Mangifera indica* L. cv Keitt). *Postharvest Biology and Technology*, 103, 45–54. <https://doi.org/10.1016/j.postharvbio.2015.02.014>
- Jacobo-Velázquez, D. A., Martínez-Hernández, G. B., Del C. Rodríguez, S., Cao, C. M., & Cisneros-Zevallos, L. (2011). Plants as biofactories: Physiological role of reactive oxygen species on the accumulation of phenolic antioxidants in carrot tissue under wounding and hyperoxia stress. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 59(12), 6583–6593. <https://doi.org/10.1021/jf2006529>
- Ke, D., Mateos, M., & Kader, A. A. (1993). Regulation of Fermentative Metabolism in Fruits and Vegetables by Controlled Atmospheres. In C. University (Ed.), *Proceeding from the Sixth International Controlled Atmosphere Research Conference* (pp. 63–77). Ithaca, NY.
- Ke, D., Yahia, E., Mateos, M., & Kader, A. A. (1994). Ethanollic Fermentation of 'Bartlett' Pears as Influenced by Ripening Stage and Atmospheric Composition. *Journal of the American Society for Horticultural Science*, 119(5), 976–982. <https://doi.org/10.21273/jashs.119.5.976>
- Khaliq, G.-, Madani, B., Nisa, M. un, Ramzan, M., & Koondhar, N. (2017). Textural Properties and Enzyme Activity of Mango (*Mangifera indica* L.) Fruit Coated with Chitosan during Storage. *Journal of Agricultural Studies*, 5(2), 32. <https://doi.org/10.5296/jas.v5i2.10946>
- Klangmuang, P., & Sothornvit, R. (2016a). Barrier properties, mechanical properties and antimicrobial activity of hydroxypropyl methylcellulose-based nanocomposite films incorporated with Thai essential oils. *Food Hydrocolloids*, 61, 609–616. <https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2016.06.018>
- Klangmuang, P., & Sothornvit, R. (2016b). Combination of beeswax and nanoclay on barriers, sorption isotherm and mechanical properties of hydroxypropyl methylcellulose-based composite films. *LWT - Food Science and Technology*, 65,

- 222–227. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2015.08.003>
- Klangmuang, P., & Sothornvit, R. (2018). Active coating from hydroxypropyl methylcellulose-based nanocomposite incorporated with Thai essential oils on mango (cv. Namdokmai Sithong). *Food Bioscience*, 23(October 2017), 9–15. <https://doi.org/10.1016/j.fbio.2018.02.012>
- KONICA MINOLTA. (2003). Precise colour communications: colour control from perception to instrumentation. KONICA MINOLTA SENSING.
- Lima, G. P. P., Brasil, O. G., & Oliveira, A. M. (1999). Poliaminas e atividade da peroxidase em feijão (*Phaseolus vulgaris* L.) cultivado sob estresse salino. *Scientia Agricola*, 56(1), 21–25.
- Lobo, M. G., & Sidhu, J. S. (2017). Biology, Postharvest Physiology, and Biochemistry of Mango. In M. Siddiq, J. K. Brecht, & J. S. Sidhu. (Eds.), *Handbook of Mango Fruit: Production, Postharvest Science, Processing Technology and Nutrition* (1st ed., pp. 37–59). Oxford: John Wiley & Sons Ltd.
- Maldonado-Celis, M. E., Yahia, E. M., Bedoya, R., Landázuri, P., Loango, N., Aguillón, J., ... Guerrero Ospina, J. C. (2019). Chemical Composition of Mango (*Mangifera indica* L.) Fruit: Nutritional and Phytochemical Compounds. *Frontiers in Plant Science*, 10(October), 1–21. <https://doi.org/10.3389/fpls.2019.01073>
- Marin, M. A., & Cano, M. P. (1992). Patterns of Peroxidase in Ripening Mango (*Mangifera indica*, L.) Fruits. *Journal of Food Science*, 57(3), 690–692. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2621.1992.tb08073.x>
- Masibo, M., & He, Q. (2008). Major Mango Polyphenols and Their Potential Human Health. *Comprehensive Reviews In Food Science And Food Safety*, 7(4), 309–319.
- Mattoo, A. K., & Modi, V. V. (1970). Citrate cleavage enzyme in mango fruit. *Biochemical and Biophysical Research Communications*, 39(5), 895–904. [https://doi.org/10.1016/0006-291X\(70\)90408-0](https://doi.org/10.1016/0006-291X(70)90408-0)
- Mattoo, A. K., & Modi, V. V. (1975). Palmitic acid activation of peroxidase and its possible significance in mango ripening. *BBA - Enzymology*, 397(2), 318–330. [https://doi.org/10.1016/0005-2744\(75\)90121-7](https://doi.org/10.1016/0005-2744(75)90121-7)
- Miguel, A. C. A., Durigan, J. F., Barbosa, J. C., & Morgado, C. M. A. (2013). Qualidade de mangas cv. Palmer após armazenamento sob baixas temperaturas. *Revista Brasileira de Fruticultura*, 35(2), 398–408. <https://doi.org/10.1590/s0100-29452013000200009>

- Nagata, M., & Yamashita, I. (1992). Simple method for simultaneous determination of chlorophyll and carotenoids in tomato fruit. *Society of Food Science and Technology (Nippon Shokuhin Kogyo Gakkaishi)*, 39(102), 925–928. <https://doi.org/10.3136/nskkk1962.39.925>
- Navarro-Tarazaga, M. L., Massa, A., & Pérez-Gago, M. B. (2011). Effect of beeswax content on hydroxypropyl methylcellulose-based edible film properties and postharvest quality of coated plums (Cv . Angeleno). *LWT - Food Science and Technology*, 44(10), 2328–2334. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2011.03.011>
- Navarro-Tarazaga, M. L., Pérez-Gago, M.-B., Goodner, K., & Plotto, A. (2007). A New Composite Coating Containing HPMC, Beeswax, and Shellac for ‘Valencia’ Oranges and ‘Marisol’ Tangerines. *Proceedings of the Florida State Horticultural Society*, 120, 228–234.
- Navarro-Tarazaga, M. L., & Pérez-Gago, M. B. (2006). Effect of Edible Coatings on Quality of Mandarins cv. Clemenules. *Proceedings of the Florida State Horticultural Society*, 119, 350–352.
- Navarro-Tarazaga, M. L., Río, M. A. del, Krochta, J. M., & Pérez-Gago, M.-B. (2008). Fatty Acid Effect on Hydroxypropyl Methylcellulose - Beeswax Edible Film Properties and Postharvest Quality of Coated ‘Ortanique’ Mandarins. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 56, 10689–10696. <https://doi.org/10.1021/jf801967q>
- Navarro-Tarazaga, M. L., Sothornvit, R., & Pérez-Gago, M.-B. (2008). Effect of Plasticizer Type and Amount on Hydroxypropyl Methylcellulose - Beeswax Edible Film Properties and Postharvest Quality of Coated Plums (Cv. Angeleno). *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 56, 9502–9509. <https://doi.org/10.1021/jf801708k>
- Nordey, T., Davrieux, F., & Léchaudel, M. (2019). Predictions of fruit shelf life and quality after ripening: Are quality traits measured at harvest reliable indicators? *Postharvest Biology and Technology*, 153(March), 52–60. <https://doi.org/10.1016/j.postharvbio.2019.03.011>
- Ntsoane, M. L., Zude-Sasse, M., Mahajan, P., & Sivakumar, D. (2019). Quality assesment and postharvest technology of mango: A review of its current status and future perspectives. *Scientia Horticulturae*, 249(September 2018), 77–85. <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2019.01.033>
- Nunes, M. C. do N. (2008). *Color Atlas of Postharvest Quality of Fruits and Vegetables*.

Iowa: Blackwell Publishing.

- Nunes, M. C. do N., Emond, J. P., Brecht, J. K., Dea, S., & Proulx, E. (2007). Quality Curves for Mango Fruit (Cv . Tommy Atkins and Palmer) Stored At Chilling and Nonchilling Temperatures. *Journal of Food Quality*, 30(1), 104–120. <https://doi.org/https://doi.org/10.1111/j.1745-4557.2007.00109.x>
- Oliveira, G. P., & Geraldini, F. (2018). MANGO/CEPEA: Palmer price overcomes tommy. Retrieved April 11, 2019, from <https://www.hfbrasil.org.br/en/mango-cepea-palmer-price-overcomes-tommy.aspx>
- Osorio, F. A., Molina, P., Matiacevich, S., Enrione, J., & Skurtys, O. (2011). Characteristics of hydroxy propyl methyl cellulose (HPMC) based edible film developed for blueberry coatings. *Procedia Food Science*, 1(Icef 11), 287–293. <https://doi.org/10.1016/j.profoo.2011.09.045>
- Palafox-Carlos, H., Yahia, E., Islas-Osuna, M. A., Gutierrez-Martinez, P., & Robles-Sánchez, M. (2012). Effect of ripeness stage of mango fruit (*Mangifera indica* L., cv . Ataulfo) on physiological parameters and antioxidant activity. *Scientia Horticulturae*, 135, 7–13. <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2011.11.027>
- Palafox-Carlos, H., Yahia, E. M., & González-Aguilar, G. A. (2012). Identification and quantification of major phenolic compounds from mango (*Mangifera indica*, cv. Ataulfo) fruit by HPLC-DAD-MS/MS-ESI and their individual contribution to the antioxidant activity during ripening.pdf. *Food Chemistry*, 135, 105–111. <https://doi.org/http://dx.doi.org/10.1016/j.foodchem.2012.04.103>
- Pérez-Gago, M.-B., Rojas, C., & Río, M. A. Del. (2002). Effect of Lipid Type and Amount of Edible Composite Coatings Used to Protect Postharvest Quality of Mandarins cv . Fortune. *Journal of Food Science*, 67(8), 2903–2910.
- Petriccione, M., Mastrobuoni, F., Pasquariello, M., Zampella, L., Nobis, E., Capriolo, G., & Scortichini, M. (2015). Effect of Chitosan Coating on the Postharvest Quality and Antioxidant Enzyme System Response of Strawberry Fruit during Cold Storage. *Foods*, 4(4), 501–523. <https://doi.org/10.3390/foods4040501>
- Porat, R., & Fallik, E. (2008). *Production of off-flavours in fruit and vegetables under fermentative conditions. Fruit and Vegetable Flavour: Recent Advances and Future Prospects.* Woodhead Publishing Limited. <https://doi.org/10.1533/9781845694296.2.150>
- Santos, L. O., Durigan, J. F., Martins, R. N., & Morgado, C. M. A. (2010). Conservação e qualidade de mangas “Palmer” submetidas ao tratamento com fungicidas e

- hidrotérmico. *Ciência e Agrotecnologia*, 34(6), 1514–1521.
- Sapper, M., & Chiralt, A. (2018). Starch-Based Coatings for Preservation of Fruits and Vegetables. *Coatings*, 8(5), 152. <https://doi.org/10.3390/coatings8050152>
- Serpa, M. F. P., Castricini, A., Mitsobuzi, G. P., Martins, R. N., Batista, M. F., & de Almeida, T. H. (2014). Conservação de manga com uso de fécula de mandioca preparada com extrato de cravo e canela. *Revista Ceres*, 61(6), 975–982. <https://doi.org/10.1590/0034-737X201461060013>
- Singh, Z., Singh, R. K., Sane, V. A., & Nath, P. (2013). Mango - Postharvest Biology and Biotechnology. *Critical Reviews in Plant Sciences*, 32(4), 217–236. <https://doi.org/10.1080/07352689.2012.743399>
- Sothornvit, R., & Klangmuang, P. (2015). Active edible coating to maintain the quality of fresh mango. *Acta Horticulturae*, 1079, 473–480. <https://doi.org/10.17660/ActaHortic.2015.1079.62>
- Tharanathan, R. N. (2003). Biodegradable films and composite coatings: Past, present and future. *Trends in Food Science and Technology*, 14(3), 71–78. [https://doi.org/10.1016/S0924-2244\(02\)00280-7](https://doi.org/10.1016/S0924-2244(02)00280-7)
- Valencia-chamorro, S. A., Pérez-gago, M. B., Ángel, M., & Palou, L. (2009). Effect of antifungal hydroxypropyl methylcellulose (HPMC) – lipid edible composite coatings on postharvest decay development and quality attributes of cold-stored ‘Valencia’ oranges. *Postharvest Biology and Technology*, 54, 72–79. <https://doi.org/10.1016/j.postharvbio.2009.06.001>
- Vasconcelos, N. M. de., Pinto, G. A. S., & Aragão, F. A. de S. (2013). *Determinação de Açúcares Redutores pelo Ácido 3,5-Dinitrosalicílico: Histórico do Desenvolvimento do Método e Estabelecimento de um Protocolo para o Laboratório de Bioprocessos. Boleim de Pesquisa e Desenvolvimento*. Fortaleza: Embrapa Agroindústria Tropical.
- Waterhouse, A. (2006). Folin-ciocalteau micro method for total phenol in wine. *American Journal of Enology and Viticulture*, 3–5.
- Yemm, E. W., & Willis, A. J. (1954). The estimation of carbohydrates in plant extracts by anthrone. *Biochemical Journal*. <https://doi.org/10.1042/bj0570508>
- Zafar, T. A., & Sidhu, J. S. (2017). Composition and Nutritional Properties of Mangoes. In J. K. B. and J. S. S. Muhammad Siddiq (Ed.), *Handbook of Mango Fruit: Production, Postharvest Science, Processing Technology and Nutrition* (1st ed., pp. 217–236). Oxford: John Wiley & Sons Ltd.

- Zakir, H. M., Fardush, J., Hossain, M. S., Islam, M. Z., Shariar, S. M. S., Rokshana, K., & Hossian, M. (2018). Effects of Storage Temperatures on different Biochemical Characteristics of 1-Methylcyclopropene Treated Mango (*Mangifera indica* L.) Variety Khirshapat. *American Journal of Food Science and Technology*, 6(2), 76–82. <https://doi.org/10.12691/AJFST-6-2-3>
- Zenebon, O., Pascuet, N. S., & Tiglea, P. (2008). *Métodos Físico-Químicos para Análise de Alimentos. Métodos físicos-químicos para análise de Alimentos (4ª)*. São Paulo: Instituto Adolfo Lutz. <https://doi.org/10.1017/CBO9781107415324.004>

CAPÍTULO III – Recobrimento a base de hidroxipropilmetilcelulose e cera de abelha associado à refrigeração aumenta a vida útil e mantém a qualidade de manga ‘Palmer’

Resumo – A manga é uma fruta climatérica com baixa vida útil, o que dificulta principalmente a comercialização em locais distantes das regiões produtoras, dada a elevada perecibilidade. Assim, com objetivo de retardar o amadurecimento e aumentar a vida útil de mangas, aplicou-se recobrimentos a base de hidroxipropilmetilcelulose (HPMC) e 10, 20 e 40% de cera de abelha (CA) em mangas ‘Palmer’ que foram armazenadas por 30 dias sob refrigeração ($11 \pm 0,5$ °C e $63 \pm 4\%$ UR), seguido de 6 dias a temperatura ambiente (20 ± 1 °C e $75 \pm 10\%$ UR). Os recobrimentos contribuíram para redução da perda de massa fresca, manutenção da firmeza, dos sólidos solúveis e açúcares redutores durante a refrigeração. Além disso, não interferiram no desenvolvimento da coloração da polpa, síntese de compostos bioativos e atividade antioxidante durante os 30 dias de armazenamento refrigerado. As mangas submetidas ao recobrimento com HPMC+20% CA mantiveram-se no pré-climatério durante a refrigeração e tiveram a vida útil estendida a 6 dias quando expostas a temperatura de comercialização, com tempo de armazenamento total de 36 dias, sem perder a qualidade nutricional.

Palavras-chave: armazenamento refrigerado, *Mangifera indica*, pós-colheita, recobrimento comestível.

CHAPTER III – Coating based on hydroxypropyl methylcellulose and beeswax combined with refrigeration increases the shelf life and maintains the quality of 'Palmer' mango

Abstract – Mango is a climacteric fruit with a short shelf life, difficulting the commercialization in markets far from the producing regions, given the high perishability. Thus, coatings based on hydroxypropyl methylcellulose (HPMC) and 10, 20 and 40% beeswax (BW) were applied on 'Palmer' mangoes and stored for 30 days under refrigeration (11 ± 0.5 °C and $63 \pm 4\%$ RH), followed by 6 days at room temperature (20 ± 1 °C and $75 \pm 10\%$ RH) with the aim of delaying ripening and increase the mangoes shelf life. The coatings contributed to reducing the weight loss, maintaining firmness, soluble solids and reducing sugars during refrigeration. Also, they did not interfere with the development of pulp color, synthesis of bioactive compounds and antioxidant activity during the 30 days of cold storage. The mangoes subjected to the coating with HPMC + 20% BW remained in the pre-climacteric during refrigeration and had a shelf life extended to 6 days when exposed to commercial temperature, with a total storage period of 36 days, without losing nutritional quality.

Keywords: cold storage, *Mangifera indica*, postharvest, edible coating

1. Introdução

A manga é uma fruta com excelentes características nutricionais e sensoriais, destacando-se como uma das frutas tropicais mais consumidas no mundo na sua forma *in natura* (Mitra, 2016). O Brasil é um dos principais produtores mundiais de manga e, em 2016, apresentou uma área colhida de 62 mil hectares, com produção de mais de um milhão de toneladas da fruta, da qual 154 mil toneladas foram destinadas à exportação (AGRIANUAL, 2019). Nesse cenário, a ‘Palmer’ tem apresentado expressivo crescimento nos últimos anos (Oliveira e Geraldini, 2018), em função de suas melhores características sensoriais em relação a outras cultivares, com destaque para menor teor de fibras e maior teor de sólidos solúveis.

No entanto, a comercialização da manga a longas distâncias ainda é restrita, predominando o consumo nas regiões produtoras (Evans et al., 2017). Os principais fatores que limitam as exportações da fruta são seu intenso metabolismo na pós-colheita, dado o caráter climatérico, e sua susceptibilidade a danos causados pelo frio quando armazenadas em baixas temperaturas (Lobo e Sidhu, 2017; Narayana et al., 2012; Singh et al., 2013). Dessa forma, os frutos exportados chegam ao destino com baixa qualidade (Asio e Cuaresma, 2016).

Estima-se que as perdas na cadeia de produção de manga são na ordem de 50% do total colhido quando destinado ao mercado externo (Asio e Cuaresma, 2016). Assim, a investigação e desenvolvimento de tecnologias alternativas para conservação pós-colheita dessa fruta é uma necessidade, visto que o aumento da vida útil dessa fruta traria grandes benefícios ao mercado, possibilitando maior expansão e flexibilidade de comercialização, com aumento da qualidade do produto e redução das perdas.

O uso de recobrimentos é uma técnica recente que consiste no uso de soluções que se aderem à superfície do vegetal, podendo conferir o mesmo efeito que o armazenamento em atmosfera modificada, controlando as trocas gasosas ao mesmo tempo que limita a transferência de água (Dhall, 2013; Sapper e Chiralt, 2018). Além disso, os recobrimentos podem ser combinados com a refrigeração, contribuindo para redução de injúrias causadas pelo frio (Navarro-Tarazaga et al., 2011).

O biopolímero composto de hidroxipropilmetilcelulose (HPMC) e cera de abelha (CA) é um material que alia a capacidade hidrofílica do polissacarídeo (HPMC) à característica hidrofóbica do ácido graxo para criar melhores características de

barreira aos gases e ao vapor de água, promovendo diminuições na transpiração, perda de massa fresca e produção de *off-flavour* e manutenção da qualidade sensorial das frutas (Klangmuang e Sothornvit, 2018a; Navarro-Tarazaga e Pérez-Gago, 2006; Pérez-Gago et al., 2002).

Sua utilização aliada à refrigeração foi testada em frutas como ameixas (Navarro-Tarazaga et al., 2011), laranjas (Valencia-chamorro et al., 2009), mangas (Klangmuang e Sothornvit, 2018b; Sothornvit e Klangmuang, 2015) e tangerinas (Contreras-Oliva et al., 2012; Navarro-Tarazaga e Pérez-Gago, 2006), contribuindo para retardar o amadurecimento e, em alguns casos, para estender a vida útil das frutas no período de exposição à venda, sob temperatura ambiente.

Nesse sentido, objetivou-se avaliar o efeito de recobrimentos comestíveis a base da emulsão de hidroxipropilmetilcelulose e cera de abelha na conservação pós-colheita e redução da perda de qualidade de mangas da cultivar Palmer armazenadas sobre refrigeração por 30 dias e, posteriormente, expostas a temperatura de comercialização por seis dias.

2. Material e Métodos

2.1 Material vegetal

As mangas da cultivar ‘Palmer’ foram adquiridas em pomar comercial de Taquaritinga, São Paulo (21°24'22"S e 48°30'17"W, 565m de altitude). Os frutos foram colhidos no estágio de maturação “de vez”, isto é, ainda firmes, mas fisiologicamente maduros, caracterizados pela mudança na cor, quando passam a ter mais de 50% da coloração amarela avermelhada (Nunes, 2008). Em seguida, foram transportados para o Laboratório de Tecnologia de Pós-Colheita – LTPC –, da FCAV/UNESP, Câmpus de Jaboticabal-SP, distante 20 km do local da colheita. Em laboratório, os frutos foram lavados em água corrente e tratados com Magnate 500 EC (0,5 g L⁻¹ de imazalil – ADAMA Makhteshim Ltd.) durante um minuto. Após secagem, as mangas foram selecionadas a fim de conferir maior uniformidade ao lote, para posterior aplicação dos tratamentos.

2.2 Preparo dos recobrimentos comestíveis e procedimento experimental

Os recobrimentos foram preparados conforme metodologia descrita por Formiga et al. (2019). Para confecção dos recobrimentos foram preparadas soluções de hidroxipropilmetilcelulose (HPMC) 5 g 100g⁻¹ (m/m) (Methocel E15®, Dow Chemical, USA, viscosidade a 2% em água de 12-18 cP), dissolvendo-o sob agitação em um terço da água deionizada total utilizada (90°C). Após total dissolução, foi adicionado o restante da água em temperatura ambiente, seguido de resfriamento sob agitação em banho de gelo até atingir 20°C. No preparo das soluções filmogênicas, foram adicionadas proporções de cera de abelha (Synth, Brasil) (10, 20 e 40% em relação ao HPMC), ácido esteárico (Synth, Brasil) na proporção de 5:1 (CA:Ac. esteárico) como emulsificante, glicerina (Synth, Brasil) na proporção de 2:1 (HPMC:glicerol) como plastificante e água deionizada, ao HPMC 5 g 100g⁻¹. A mistura foi aquecida em forno micro-ondas até alcançar temperatura de 90 ± 2°C e homogeneizada durante 1 minuto a 12.000 xg e 3 min a 24.000 xg em Micro-homogeneizador (Marconi, modelo MA 102). A solução foi resfriada em banho de gelo sob agitação, deixada em repouso durante 45 minutos e armazenada sob refrigeração.

Os tratamentos consistiram na imersão das mangas por um minuto nas emulsões com diferentes proporções de HPMC:CA (Tabela 1). Os frutos do controle foram imersos em água destilada pelo mesmo tempo. Os recobrimentos comestíveis utilizados tiveram concentração de sólidos finais de 6 g 100 g⁻¹. Após a imersão, as mangas foram deixadas em temperatura ambiente (20 °C e 80% UR) até a secagem do recobrimento, em torno de 15 minutos.

As mangas foram armazenadas em câmara fria sob temperatura de 11 ± 0,5 °C e 63 ± 4% UR (monitorada a cada 30 minutos com registrador de dados HOBO Prov2 U-23-001), por 30 dias. As mangas foram caracterizadas no tempo 0 (inicial) e analisadas a cada seis dias, a partir do 12º dia de armazenamento. Após os 30 dias de armazenamento refrigerado, nove frutos de cada tratamento foram armazenados à 20 °C ± 1 e 75 ± 10% UR, sendo analisados a cada dois dias.

O delineamento experimental utilizado foi o inteiramente casualizado (DIC), em esquema fatorial 4 x 5, com três recobrimentos e o controle e cinco datas de amostragem (0, 12, 18, 24, e 30 dias). A unidade experimental foi composta por três frutos, constando de três repetições por tratamento, totalizando 216 mangas.

Tabela 1. Composição dos recobrimentos comestíveis a base de HPMC:CA (g 100g⁻¹ MS)

| Formulações | HPMC | Cera de abelha | Glicerol | Ácido esteárico | Viscosidade (cP) |
|-------------|------|----------------|----------|-----------------|------------------|
| HPMC+10% CA | 58,7 | 10,0 | 29,3 | 2,0 | 211,30 |
| HPMC+20% CA | 50,7 | 20,0 | 25,3 | 4,0 | 177,00 |
| HPMC+40% CA | 34,7 | 40,0 | 17,3 | 8,0 | 58,22 |

HPMC = hidroxipropilmetilcelulose; CA = cera de abelha.

2.3 Análises laboratoriais

2.3.1 Coloração da casca e da polpa

A coloração de fundo da casca e da polpa foi determinada utilizando-se colorímetro MINOLTA CR 400, marca KONICA MINOLTA, por meio do qual foram determinados os valores de L* (100 = branco; 0 = preto), a* (positivo = vermelho; negativo = verde), b* (positivo = amarelo; negativo = azul). O ângulo de cor e a cromaticidade foram calculados usando-se equações apropriadas (KONICA MINOLTA, 2003).

Foi realizada uma leitura na parte basal das frutas para determinar a coloração de fundo da casca. Após cortadas longitudinalmente, foi efetuada uma leitura na região central da polpa para determinação da cor da polpa. As leituras foram realizadas em nove frutos por tratamento e data de amostragem.

2.3.2 Taxa respiratória

As determinações de produção de CO₂ nas mangas foram realizadas antes dos tratamentos (análise inicial) e ao final de cada data de amostragem. Para isso, duas frutas foram colocadas em recipientes herméticos com capacidade para 5 L e fechados, em triplicata. Após 1 h, amostras de 200 µL de gás foram coletadas dos recipientes através de um septo de silicone, com auxílio de seringa apropriada (Hamilton, Gastight, Nevada, EUA). As amostras de gases foram analisadas em cromatógrafo (Thermo Scientific, modelo Trace GC Ultra) equipado com coluna capilar Porapack N, com 2 m de comprimento e regulada para 80 °C, com hidrogênio como

gás de arraste (35 mL min^{-1}). As amostras de gases foram analisadas por um detector de ionização de chama a $250 \text{ }^\circ\text{C}$. A coluna e o injetor apresentaram temperatura de trabalho de 110 e $200 \text{ }^\circ\text{C}$, respectivamente. A produção de CO_2 e etileno foram determinadas pelas diferenças entre a concentração gasosa inicial (quando os frascos foram fechados) e final (após 1 h), sendo expressas em $\text{mL CO}_2 \text{ kg}^{-1} \text{ h}^{-1}$.

2.3.3 Acidez titulável, sólidos solúveis e “ratio”

Os teores de acidez titulável e sólidos solúveis foram determinados a partir do suco das frutas, extraído utilizando processador de alimentos (Mondial, modelo Super Centrífuga Premium, Brasil).

A análise de acidez titulável foi realizada por meio de titulação de 1 mL do suco diluído em 50 mL de água deionizada com $\text{NaOH } 1 \text{ M}$, utilizando fenolftaleína 1% como indicador (AOAC, 1997). A acidez foi expressa em mg de ácido cítrico 100g^{-1} de suco. A análise de sólidos solúveis foi realizada em refratômetro digital modelo PR 101, sendo os resultados expressos em $^\circ\text{Brix}$. Após, foi calculado o “ratio”, a partir da razão entre os teores de sólidos solúveis e acidez titulável.

2.3.4 Açúcares solúveis e redutores

Os açúcares solúveis foram determinados de acordo com descrito por Yemm e Willis (1954), com modificações. As amostras foram maceradas em nitrogênio líquido, pesadas (75 mg), diluídas em 25 mL de água deionizada, aferido em balão volumétrico sob proteção da luz. Após filtração, uma alíquota de $0,1 \text{ mL}$ foi transferida para tubos de ensaio em banho de gelo, adicionando-se $0,9 \text{ mL}$ de água deionizada e 2 mL de antrona. Os tubos com a mistura foram agitados (Phoenix Luferco, modelo AP56, Brasil) e em seguida levados a banho-maria a $100 \text{ }^\circ\text{C}$ durante 3 minutos, para reação. Após resfriamento, as amostras foram transferidas para cubetas de quartzo e realizou-se a leitura em espectrofotômetro UV-Vis (Femto, modelo 700 plus, Brasil), a 620 nm . Os resultados foram expressos como g de glicose 100 g^{-1} de massa fresca (MF).

Os açúcares redutores foram determinados pelo método colorimétrico do ácido 3,5-dinitrosalicílico (DNS) (Vasconcelos et al., 2013), com modificações. Foi utilizado o mesmo extrato de açúcares solúveis. Uma alíquota de $0,5 \text{ mL}$ do filtrado e $0,5 \text{ mL}$ de DNS foi transferida para tubos de ensaio em banho de gelo. Os tubos com a mistura

foram agitados em agitador de soluções (Phoenix Luferco, modelo AP56, Brasil), e em seguida levados a banho-maria a 100 °C por 15 minutos, para reação. Após resfriamento as amostras foram transferidas para cubetas de quartzo e se realizou a leitura em espectrofotômetro UV-Vis (Femto, modelo 700 plus, Brasil), a 540 nm. Os resultados foram expressos em g de glicose 100 g⁻¹ de MF.

2.3.5 Perda de massa fresca

A perda de massa fresca foi determinada pela pesagem, em balança analítica (Marte, modelo AS1000C), de cada unidade amostral, seguida do cálculo da diferença entre o peso inicial e o obtido a cada data de amostragem. O valor foi expresso em porcentagem acumulada de perda de massa fresca.

2.3.6 Firmeza

A firmeza foi determinada com a utilização de penetrômetro (Impact, modelo IP-90DI, Brasil) com escala de leitura entre 5 e 200 N, utilizando uma ponteira de 5 mm. As leituras foram realizadas na polpa, em três pontos (base, meio e ápice) da região equatorial das mangas. Os resultados foram expressos em Newton.

2.3.7 Ácido ascórbico

O teor de ácido ascórbico foi determinado a partir do suco das mangas, por meio de titulação de uma alíquota de 1 mL do suco diluído em 50 mL de ácido oxálico, usando o reagente de Tillmans (Zenebon et al., 2008). O volume de 2,6-diclofenolindofenol gasto na titulação foi aferido e o teor de ácido ascórbico foi calculado, sendo os resultados expressos em mg de ácido ascórbico 100 mL⁻¹ de massa fresca.

2.3.8 Compostos fenólicos totais

A determinação do teor de compostos fenólicos foi realizada de acordo com o método Folin-Ciocalteu (Waterhouse, 2006), com modificações. A extração foi realizada a partir 1 g das amostras maceradas em nitrogênio líquido, as quais foram

diluídas em 25 mL de acetona 80%, aferidas em balão volumétrico sob proteção da luz, os quais foram armazenados a 10 °C por 24h. As amostras foram então filtradas e uma alíquota de 135 µL do filtrado foi transferida para tubos de ensaio, adicionando-se 1,990 mL de água deionizada e 125 µL de solução de Folin-Ciocalteu. Em seguida, as amostras foram agitadas em agitador (Phoenix Luferco, modelo AP56, Brasil), deixadas em descanso por 5 minutos e, logo após, 250 µL de carbonato de sódio foi adicionado, procedendo-se nova agitação, seguida de repouso em aquecimento em banho-maria a 40 °C por 35 minutos, para reação. Posteriormente, as amostras foram transferidas para cubetas de quartzo e a leitura foi realizada em espectrofotômetro UV-Vis (Femto, modelo 700 plus, Brasil), a 765 nm. Os resultados foram expressos em mg de ácido gálico 100 g⁻¹ de MF.

2.3.9 Carotenoides

O teor de carotenoides foi determinada de acordo com o método descrito por Nagata Yamashita (1992). A extração foi realizada a partir de 2 g da amostra, a qual foi adicionada em tubos de ensaio e adicionado 10 mL de extrator acetona:hexano na proporção 4:6. A mistura foi agitada em Vortex (Phoenix Luferco, modelo AP56, Brasil). Deixou-se decantar por alguns minutos em sala escura, transferiu-se 3 mL do sobrenadante para cubetas de quartzo e procedeu-se a leitura em espectrofotômetro UV-Vis (Femto, modelo 700 plus, Brasil), a 453, 505, 645 e 663 nm. Após equação adequada, os valores foram expressos em µg de β-caroteno 100g⁻¹ de polpa.

2.3.10 Flavonoides

A determinação de flavonoides seguiu a metodologia para análise de antocianinas (Francis, 1982), com adaptações. A extração foi realizada a partir de 2 g da amostra, que foi macerada com 5 mL de etanol:HCl, adicionada de mais 5 mL da solução utilizada na maceração e mantida sob refrigeração por 24h. Após esse período, as mostras foram centrifugadas por 5 minutos a 3000g sob refrigeração (5 °C). O sobrenadante foi filtrado em papel filtro e uma alíquota foi transferida para uma cubeta de quartzo (3 mL) e realizada a leitura em espectrofotômetro UV-Vis (Femto, modelo 700 plus, Brasil), a 374 nm. Os resultados foram expressos em mg 100 g⁻¹ de MF.

2.3.11 Atividade antioxidante

A determinação da atividade antioxidante total foi realizada pelo método de DPPH, proposto por Brand-Williams et al. (1995). A solução de DPPH foi preparada a 2×10^{-4} g mL⁻¹ (0,0100 mg de DPPH em 50 mL de etanol a 99,8%). Para a extração, as amostras foram maceradas em N₂ líquido, pesadas e diluídas em 10 mL de etanol a 99,8% em tubo para centrífuga, e centrifugadas a 2.000 xg por 10 min a 5 °C. Alíquotas de 500 µL do sobrenadante foram combinadas com 3 mL de etanol P.A. Após a adição de 300 µL de DPPH 2×10^{-4} g mL⁻¹, homogeneização, os tubos de ensaios foram armazenados no escuro por 60 minutos. O controle negativo foi preparado com o DPPH a 0,3 mM em etanol para observar o decaimento do radical contra os antioxidantes doadores. A determinação foi realizada mediante leitura da absorbância a 517 nm e os resultados foram convertidos em porcentagem de atividade antioxidante (% DPPH reduzido = Abs branco – Abs amostra). Os resultados foram expressos em % de DPPH reduzido.

2.3.12 Atividade da enzima peroxidase (POD) (EC 1.11.1.7)

A atividade da peroxidase foi determinada conforme Lima et al. (1999). O sistema de reação compreendeu 1 mL de extrato enzimático com 0,5 mL de peróxido de hidrogênio a 30% em tampão fosfato de potássio 0,2 M (pH 6,7) e 0,5 mL de solução de fenol e aminoantipirina. O sistema reacional foi colocado num banho de água a 30 °C durante 5 minutos. Foi adicionado álcool etílico absoluto (2 mL) para parar a reação, e a absorbância foi lida com um espectrofotômetro UV-vis a 505 nm de absorbância. A atividade específica da POD foi expressa em µmol de H₂O₂ decomposto min.⁻¹ g⁻¹ MF.

2.3.13 Atividade da enzima superóxido dismutase (SOD) (EC 1.15.1.1)

A atividade da superóxido dismutase foi determinada conforme Beauchamp e Fridovich (1971). A reação foi obtida combinando-se 50 µL de extrato enzimático, 2 mL de 50 mmol L⁻¹ de tampão fosfato de sódio pH 7,8, 450 µL µmol L⁻¹ da mistura de p-nitro azul de tetrazólio (NBT) (33 µmol L⁻¹) e EDTA (0,66 mmol L⁻¹) (5:4), 0,5 mL da mistura de L-metionina (5 mmol L⁻¹) e riboflavina (1,65 mol L⁻¹) (1:1), totalizando

um volume de 3,0 mL. Após iluminação dos tubos, com lâmpadas fluorescentes de 20 W, por 20 min, a 25 °C, a redução do NBT foi medida por leituras de absorbância, em espectrofotômetro, a 560 nm. A atividade da SOD foi expressa em U SOD 100g⁻¹ MF.

2.3.14 Atividade da enzima catalase (CAT) (EC 1.11.1.6)

A atividade da catalase foi determinada pela adaptação do método de Kar e Mishra (1976). A reação foi obtida pela combinação de 150 µL da amostra extraída em tampão fosfato de potássio + EDTA + DTT + PVPP 100 mmol L⁻¹ (pH 7,5). Um total de 1950 µL de tampão fosfato de potássio 100 mmol L⁻¹ (pH 7,5) foi usado como tampão de determinação, 150 µL de tampão fosfato de potássio + EDTA + DTT + PVPP 100 mmol L⁻¹ (pH 7,5) como tampão de extração e 750 µL de solução de peróxido de hidrogênio 50 mM como substrato enzimático. As leituras foram realizadas usando um espectrofotômetro UV-vis a 240 nm de absorbância. A atividade específica da CAT foi expressa como U kg⁻¹ 100g⁻¹ MF.

2.3.15 Peroxidação lipídica

A peroxidação lipídica foi determinada pelo método de Heath e Packer (1968). As amostras foram congeladas em N₂ líquido, maceradas, combinadas com 4 mL de tampão TCA (1% p / v), homogeneizadas e centrifugadas a 10.000 g por 10 min a 4 °C (Biofuge Stratos model, Heraeus, Hanau, Alemanha). A partir do sobrenadante, 1 mL foi pipetado e transferido para o tubo de ensaio, adicionando 3 mL de ácido tiobarbitúrico a 0,5% (p / v) em 20% (p / v) de TCA e incubando em banho-maria a 95 °C por 60 minutos. Os tubos foram mantidos por 10 min em banho de gelo para interromper a reação. As amostras foram então novamente centrifugadas durante 10 min a 10.000 g. A absorbância do sobrenadante foi medida usando um espectrofotômetro UV-vis (Femto 700 plus, São Paulo - SP, Brasil) a 535 nm e 600 nm. Os resultados foram expressos como o conteúdo de malondialdeído (MDA) por 100 g de massa fresca (µmol MDA 100g⁻¹ MF).

2.4 Análise de conservação e qualidade dos frutos em condição de comercialização

Após os 30 dias, os frutos foram transferidos para sala ambiente a 20 ± 1 °C e $75 \pm 10\%$ UR, para simulação da exposição para comercialização, tendo sido observados até o 36º dia. Avaliou-se coloração da casca (conforme item 2.3.1), perda de massa fresca (conforme item 2.3.5) e incidência de doenças (avaliada pelo número de frutas com presença podridões com lesões de diâmetro superior a 0,5 cm) a cada 2 dias, enquanto os frutos foram considerados aptos ao consumo.

A decisão pelo descarte ou não dos frutos foi tomada com base na ocorrência de lesões que comprometessem mais de 30% da área destes, sendo o lote considerado impróprio ao consumo quando mais de 50% dos frutos se apresentassem nessa condição. Para identificação dos patógenos causadores de doenças, fragmentos de tecidos contaminados foram coletados com auxílio de bisturi, desinfectados em soluções de álcool a 40% e hipoclorito de sódio a 1%, ambas por um minuto, seguido de lavagem com água destilada esterilizada também por um minuto. Posteriormente os fragmentos foram inoculados em meio de cultura batata-dextrose-água (BDA), com 0,01% de cloranfenicol. As placas foram incubadas em estufa com circulação de ar forçada a 25 °C por 7 dias. Após o crescimento micelial, os patógenos foram identificados por meio de observações micromorfológicas, seguindo critérios internacionais de identificação de fungos (Rossman et al., 1987).

As mangas submetidas aos melhores tratamentos, isto é, aqueles que mantiveram a conservação do maior número de frutos até 6º dia em condição ambiente, foram avaliadas quanto a acidez, sólidos solúveis e “ratio” (conforme item 2.3.3); açúcares redutores e solúveis (conforme itens 2.3.4); firmeza (conforme item 2.3.6); ácido ascórbico (conforme item 2.3.7); compostos fenólicos (conforme item 2.3.8) e; atividade antioxidante (conforme item 2.3.11).

2.5 Análise estatística

Os dados foram submetidos à análise de variância (ANOVA), utilizando-se o teste F para verificar o efeito dos tratamentos. Foram realizadas análises de regressão polinomial para testar os efeitos linear e quadrático dos fatores nas variáveis avaliadas durante o período de armazenamento refrigerado, sendo que, na escolha da equação

de regressão, foram aceitas as equações que apresentaram pelo menos 5% de significância pelo teste F e coeficiente de determinação ($R^2 \geq 0,5$). O teste de Tukey ($p \leq 0,05$) foi utilizado para a comparação de médias entre os tratamentos e entre os dias de armazenamento. Adicionalmente, para os compostos bioativos e atividade antioxidantes foi realizada análise de correlação. O conjunto de análises estatísticas foi realizado empregando o programa *Agroestat* versão 1.1 (Barbosa e Maldonado Júnior, 2015) e para os gráficos o *software GraphPad Prism*, versão 8.0.

3. Resultados e Discussão

3.1 Coloração da casca e polpa

Os parâmetros de cor avaliados indicam que a coloração da casca das mangas apresentou tendência de escurecimento, dada a redução da luminosidade (Figura 1A) e da cromaticidade (Figura 1B). Esses resultados sugerem a ocorrência de injúria pelo frio na casca das mangas, provavelmente em função da temperatura de armazenamento, que foi inferior a 12 °C, considerada segura para refrigeração de manga 'Palmer', não tendo sido observadas alterações na coloração da casca que caracterizem *chilling injury* em frutos armazenados nessas condições de temperatura (Miguel et al., 2013, 2011; Nunes et al., 2007).

Quanto à coloração da polpa, houve redução constante da luminosidade (L^*) ao longo do armazenamento e, aos 30 dias, as mangas com recobrimento de HPMC e 20% CA apresentaram a menor L^* , seguido pelas mangas do controle e pelos tratamentos com 10 e 40% CA, que não diferiram entre si (Figura 1D). Tendência semelhante foi seguida para o ângulo *Hue* (h°), com a distinção que o controle e o 20% não diferiram ($p \leq 0,05$) (Figura 1F). A cromaticidade (Figura 1E) não apresentou tendência definida pela análise de regressão.

Esses resultados indicam que as mangas não tiveram o processo de amadurecimento completamente interrompido. O aumento na luminosidade demonstra o escurecimento da polpa, que passou de uma tonalidade verde/amarelo claro para um amarelo mais vívido. Essa tendência também é confirmada pela diminuição do ângulo *Hue*, que se aproxima de 90°, situando a coloração na cor amarela (Ferreira e Spricigo, 2017). Isso está relacionado a reações bioquímicas de degradação da clorofila e síntese de carotenoides, processo natural no

amadurecimento da manga (Nunes, 2008). Demonstra-se, assim, que os recobrimentos associados a refrigeração não interromperam os processos metabólicos das frutas. No entanto, os tratamentos com 10% e 40% CA contribuíram para atrasar tais processos, uma vez que os valores de L^* e h^0 obtidos são considerados menores que médias obtidas para mangas ‘Palmer’ maduras (Braz et al., 2007; Miguel et al., 2013; Santos et al., 2010; Serpa et al., 2014).

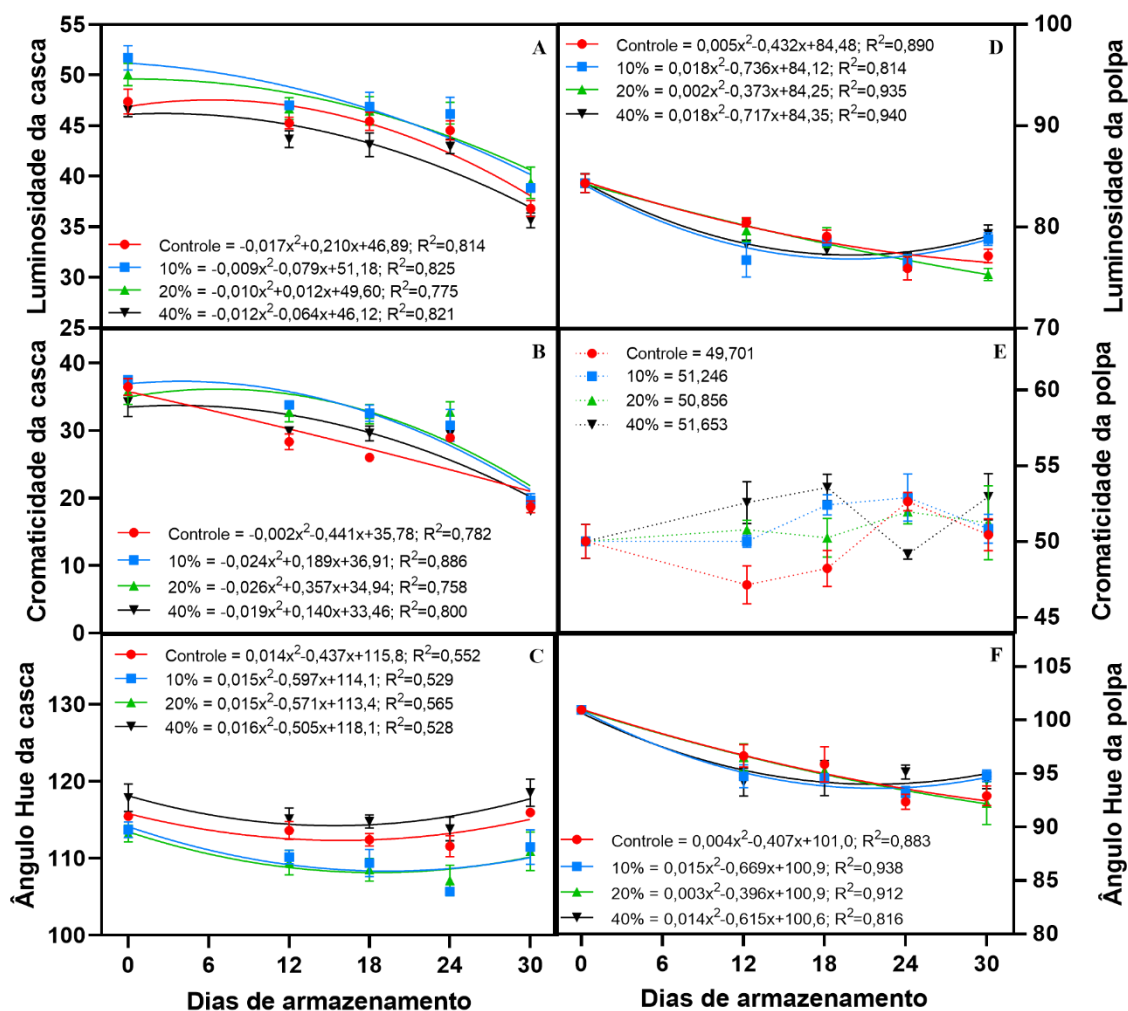


Figura 1. Efeito do recobrimento a base de HPMC:CA na coloração da casca (A, B e C) e coloração da polpa (D, E e F) de mangas ‘Palmer’ armazenadas 30 dias a 11 °C. Controle - Sem recobrimento; 10% – HPMC+10% CA; 20% – HPMC+20% CA e; 40% – HPMC+40% CA.

A coloração tanto da casca quanto da polpa está entre os principais parâmetros de qualidade de mangas, sendo atributo chave na definição da vida útil das frutas, uma vez que a aparência visual orienta a aceitação da fruta pelos consumidores (Nunes et al., 2007). Nesse sentido, os recobrimentos utilizados, embora não tenham

se mostrado eficientes na manutenção da coloração da casca, sobretudo por não garantir proteção contra injúrias causadas pelo frio, garantiram o desenvolvimento da coloração da polpa, encontrando-se esta dentro dos padrões de qualidade desejados pelo consumidor.

3.2 Taxa respiratória

A taxa de respiração, de forma geral, apresentou-se baixa ao longo do período de armazenamento, característico do uso de baixas temperaturas (Fabi et al., 2010). Apesar disso, a produção de CO₂ nas mangas com e sem recobrimento apresentaram tendência crescente, sendo mais acentuada nos frutos do controle, com maior produção de CO₂ kg⁻¹ h⁻¹ a partir do 12º dia de armazenamento. Os frutos revestidos, por sua vez, só apresentaram aumento na respiração no 30º dia, quando alcançaram o teor de CO₂ dos frutos do tratamento controle (Figura 2).

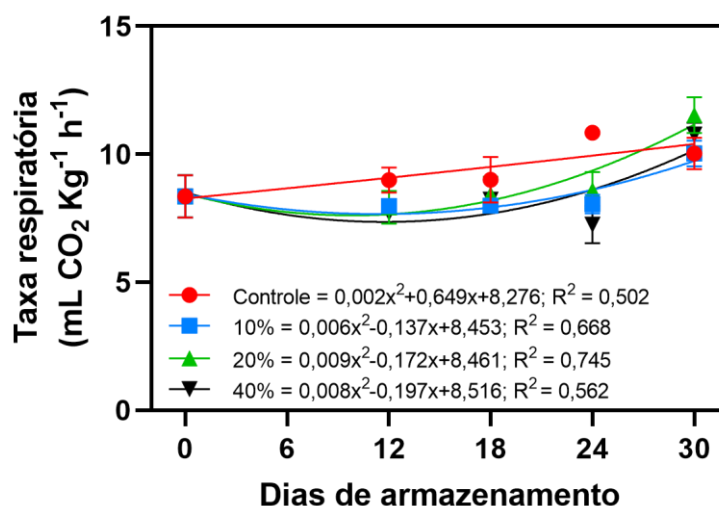


Figura 2. Efeito do recobrimento a base de HPMC:CA na taxa respiratória de mangas 'Palmer' armazenadas 30 dias a 11 °C. Controle - Sem recobrimento; 10% – HPMC+10% CA; 20% – HPMC+20% CA e; 40% – HPMC+40% CA.

Dessa forma, a tendência apresentada indica que a combinação do recobrimento vegetal com a refrigeração auxilia na diminuição da respiração dos frutos até o 24º dia de armazenamento, possivelmente em função da barreira formada na superfície das mangas, que reduz as trocas gasosas (Dhall, 2013; Sapper e Chiralt, 2018). Esse efeito apresenta influência direta sobre o amadurecimento, sugerindo que os frutos revestidos apresentaram um atraso de pelo menos seis dias no

amadurecimento durante a refrigeração, uma vez que, no 30º dia de armazenamento, os frutos com recobrimento apresentavam taxa de respiração igual a apresentada pelos frutos controle no 24º dia.

3.2 Acidez, sólidos solúveis e “ratio”

A acidez apresentou efeito quadrático pela análise de regressão, com redução durante os primeiros dias de armazenamento, seguido de elevação, que foi mais acentuada nos frutos do controle e do tratamento com 40% CA, diferindo-se das mangas submetidas aos tratamentos com 10 e 20% CA, que apresentaram menor acidez ao final do período de armazenamento (Figura 3A).

A acidez é uma variável que costuma decrescer durante o amadurecimento de mangas, em função da utilização dos ácidos orgânicos nos processos metabólicos do fruto (Batista-Silva et al., 2018). No entanto, na presente pesquisa essa tendência não se apresentou, o que pode estar relacionado ao padrão de respiração apresentado pelos frutos ao longo do armazenamento. Fato semelhante também foi observado em mangas ‘Palmer’ tratadas com 1-MCP submetidas a armazenamento refrigerado (Doll Hojo et al., 2009).

Os sólidos solúveis apresentaram tendência crescente para todos os tratamentos, no entanto, houve diferença significativa ($p \leq 0,05$) entre as mangas do controle e as submetidas aos recobrimentos a partir do 24º dia de armazenamento (Figura 3B), quando os frutos sem recobrimento apresentaram maior teor de sólidos solúveis, o que sugere que os recobrimentos reduziram o metabolismo das mangas. A elevação dos sólidos solúveis é um fenômeno natural durante a maturação dos frutos e ocorre pela hidrólise do amido, que é convertido em açúcares ao longo do amadurecimento (Lobo e Sidhu, 2017; Singh et al., 2013), podendo alcançar até 18 °Brix em mangas ‘Palmer’ completamente maduras (Santos Neto et al., 2017). O teor de sólidos solúveis, no entanto, pode apresentar variações de acordo com a cultivar, com as condições edafoclimáticas da região de produção e com o estágio de maturação (Fabi et al., 2010).

O “ratio”, por sua vez, apresentou efeito quadrático e tendência crescente para os frutos do controle e revestidos com 10 e 20% CA, não diferindo-se ao final do armazenamento. Os frutos com 40% CA não apresentaram tendência pela análise de regressão (Figura 3C). A elevação do “ratio” é justificada pela mudança nos teores de

acidez e sólidos solúveis e, por isso, é considerado um indicador do amadurecimento dos frutos (Chitarra e Chitarra, 2005).

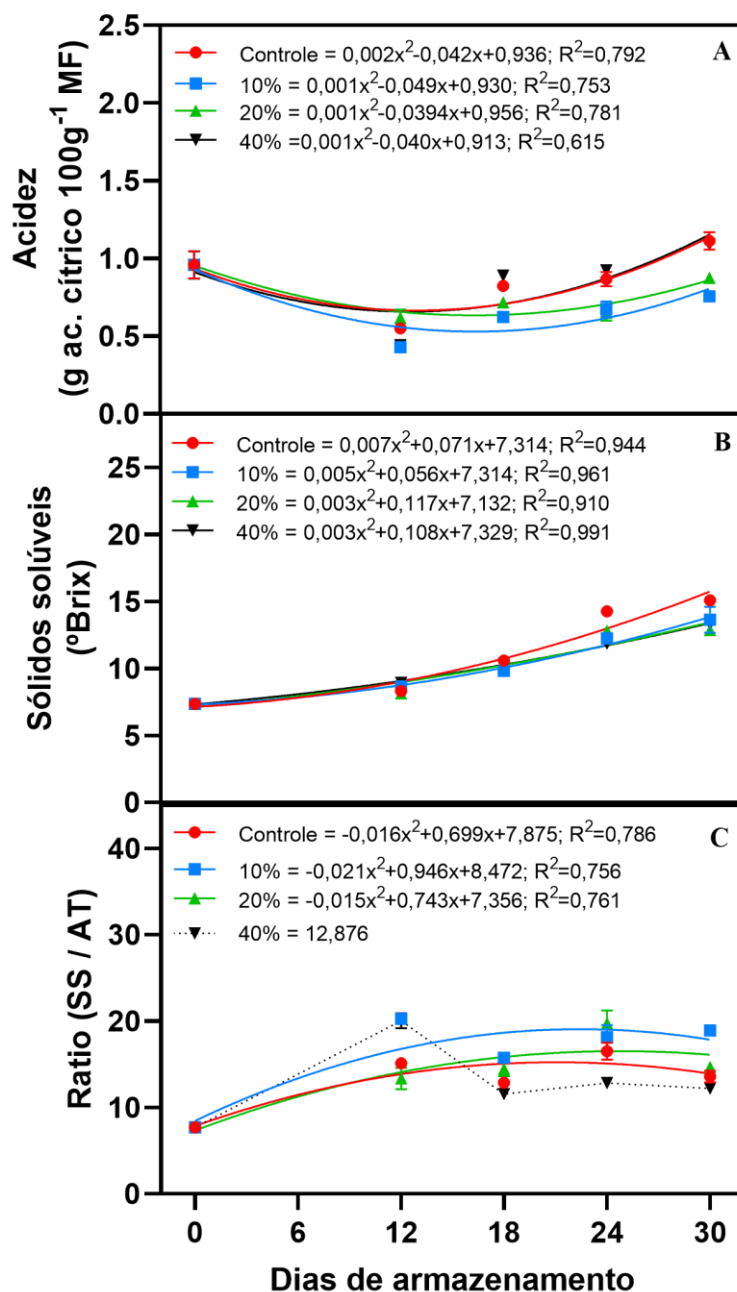


Figura 3. Efeito do recobrimento a base de HPMC:CA sobre a acidez (A), sólidos solúveis (B) e Ratio (C) de mangas ‘Palmer’ armazenadas 30 dias a 11 °C. Controle - Sem recobrimento; 10% – HPMC+10% CA; 20% – HPMC+20% CA e; 40% – HPMC+40% CA.

Apesar do aumento observado no “ratio”, ao longo do armazenamento, os valores finais registrados para esse fator não caracterizam o amadurecimento das

mangas 'Palmer', mas apenas a evolução na maturação. Este pequeno incremento ao longo do armazenamento se deveu à baixa temperatura a que foram submetidas as mangas, uma vez que os valores de "ratio" podem chegar a valores próximos de 80 quando do completo amadurecimento em condições ambiente (20 °C) (Doll Hojo et al., 2009). Isso sugere também que o metabolismo dos frutos não foi completamente interrompido pela associação de recobrimento com a refrigeração. Resultados semelhantes foram observados para mangas 'Palmer' armazenadas a 10° C por 35 dias (Doll Hojo et al., 2009) e a 12 °C por 28 dias (Miguel et al., 2011), independente das tecnologias associadas à refrigeração, o que indica que o recobrimento não apresentou prejuízos ao "ratio" das mangas.

3.4 Açúcares

Os açúcares solúveis (AS) e redutores (AR) apresentaram aumento ao longo do período de armazenamento para todos os tratamentos, no entanto, houve diferença significativa ($p \leq 0,05$) entre os tratamentos e o controle apenas no 12º dia de armazenamento, para AS, e a partir do 24º dia, para AR (Figura 4). Dessa forma, o maior acúmulo de AR nas mangas do controle sugere que os recobrimentos reduziram o metabolismo dos frutos, possivelmente pela ação da barreira produzida na superfície das mangas, o que limitou a liberação do CO₂ produzido na respiração, criando atmosfera modificada e promovendo a redução da conversão de açúcares mais complexos para glicose e frutose.

A mesma tendência, no entanto, não prevaleceu à síntese de açúcares solúveis, uma vez que, ao final dos 30 dias de armazenamento, mangas sem e com recobrimento não diferiram quanto ao teor de AS. Resultado semelhante foi registrado em mangas 'Palmer' sob refrigeração tratadas com 1-MCP, nas quais constatou-se que o inibidor de etileno não apresentou efeito sobre os açúcares solúveis, embora tenha controlado o desenvolvimento de açúcares redutores e não redutores (Doll Hojo et al., 2009).

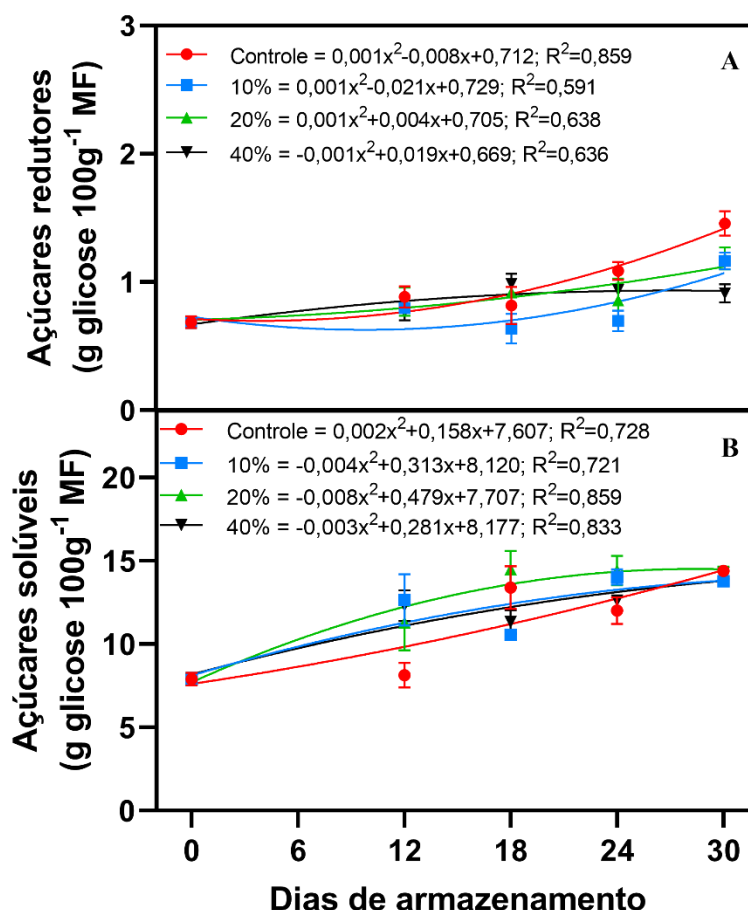


Figura 4. Efeito do recobrimento a base de HPMC:CA sobre os açúcares redutores (A) e açúcares solúveis (B) de mangas 'Palmer' armazenadas 30 dias a 11 °C. Controle - Sem recobrimento; 10% - HPMC+10% CA; 20% - HPMC+20% CA e; 40% - HPMC+40% CA.

O aumento no teor de açúcares solúveis é um processo natural ao longo do amadurecimento de mangas e seu mecanismo de produção é conhecido, sendo descrito como resultante da degradação do amido pela atividade de enzimas como β -amilase, α -amilase, amido fosforilase e isoamilase (Silva et al., 2008), que tem como principal produto a sacarose, que é o açúcar mais presente nas mangas maduras, sendo responsável pelo dulçor (Bernardes-Silva et al., 2003; Castrillo et al., 1992). Nesse sentido, os resultados apresentados indicam que os recobrimentos não retardam a atividade enzimática responsável pelo mecanismo de conversão amido-açúcar durante o armazenamento refrigerado, o que, do ponto de vista sensorial, é desejável, pois não trarão prejuízos ao sabor da fruta.

3.5 Perda de massa fresca e firmeza

A perda acumulada de massa fresca (PAMF) seguiu tendência linear e crescente, apresentando diferença significativa ($p \leq 0,05$) entre as frutas do controle e as submetidas ao recobrimento a partir 18º dia de armazenamento. Ao final dos 30 dias, o tratamento com 20% CA foi o tratamento com o melhor resultado, seguido pelo 40% e 10% CA, que apresentaram, respectivamente, PAMF 12,7%, 9,5% e 5,0% menor que nos frutos sem revestimento (Figura 5A).

Esse resultado indica que o melhor equilíbrio entre os constituintes da formulação (HPMC:CA) é apresentado ao adicionar 20% CA na formulação, assim como constatado para goiabas 'Pedro Sato' (Formiga et al., 2019) e mangas 'Palmer' sob temperatura ambiente (Fig 7, Cap. 2), ratificando a afirmação de que o simples aumento no teor de cera não garante a redução proporcional de PAMF. Isso ocorre porque as próprias características morfológicas do fruto, bem como as características reológicas da solução filmogênica, como viscosidade e tensão superficial, podem afetar a adesão do recobrimento a superfície da fruta (Hagenmaier e Baker, 1993). Além disso, é possível, que o aumento no teor de cera de abelha na formulação altere a formação do filme (pela saturação da matriz polimérica) e a formação de barreira na superfície do fruto, modificando tanto o fluxo de vapor d'água, quanto de O₂ e CO₂.

A firmeza apresentou tendência decrescente (Figura 5B), com diferença significativa ($p \leq 0,05$) entre os frutos do controle e os frutos dos tratamentos com 10 e 20% CA que, ao final dos 30 dias de armazenamento, apresentaram, respectivamente, firmeza de 71N e 68N, superando a firmeza das mangas do controle (56,47N) em 25% e 20%, respectivamente. Os frutos que receberam o recobrimento 40% CA, no entanto, não se distinguiram do controle aos 30 dias de armazenamento.

Na manga, a firmeza é um atributo que varia em função do amaciamento do tecido vegetal, fenômeno irreversível que ocorre com a progressão do amadurecimento, sob influência da ação de enzimas de parede celular como celulasas, amilases, pectinametilerases e poligalacturonases que atuam na hidrólise dos polissacarídeos estruturantes, como celulose, amido e pectina, convertendo-os em açúcares solúveis (Gill et al., 2017; Singh et al., 2013). Nesse sentido, pode-se afirmar que os recobrimentos a base de HPMC com 10 e 20% CA foram eficientes na formação de barreira na superfície dos frutos, reduzindo as trocas gasosas, o que diminuiu o metabolismo das mangas e, conseqüentemente, o

amadurecimento. Isso ocorre pela limitação do O₂ (consumido na respiração) e retenção de CO₂ (produzido pela respiração) no interior dos frutos, que funciona como atmosfera modificada. Resultados semelhantes foram observados em ameixas 'Angeleno', nas quais o recobrimento de HPMC com 20% CA mostrou-se efetivo na manutenção da firmeza das frutas por quatro semanas a 1 °C + três semanas a 20 °C (Navarro-Tarazaga et al., 2011).

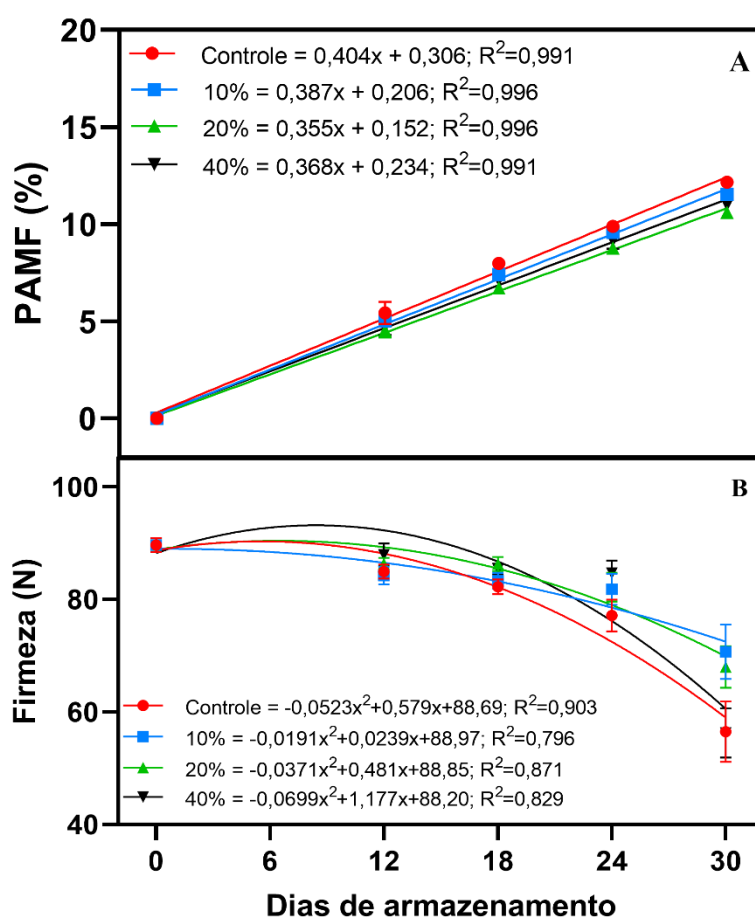


Figura 5. Efeito do recobrimento a base de HPMC:CA sobre perda acumulada de massa fresca - PAMF (A) e firmeza (B) de mangas Palmer armazenadas 30 dias a 11 °C. Controle - Sem recobrimento; 10% – HPMC+10% CA; 20% – HPMC+20% CA e; 40% – HPMC+40% CA.

Por outro lado, o recobrimento de HPMC e 40% CA não demonstrou eficiência na manutenção da firmeza das mangas 'Palmer' sob refrigeração, assim como observado para ameixas 'Angeleno' (Navarro-Tarazaga et al., 2011). É possível que a maior quantidade de glóbulos de gordura na matriz polimérica tenha permitido maior fluxo gasoso, aumentando a disponibilidade de O₂ no interior dos frutos, que

mantiveram sua atividade metabólica, uma vez que é por meio da porção lipídica que ocorre as trocas gasosas.

Apesar disso, os recobrimentos a base de HPMC:CA mostraram-se mais eficientes na manutenção da firmeza de mangas do que recobrimentos produzidos com outros materiais. Mangas 'Tommy Atkins' revestidas com galactomananas e armazenadas a 14 °C apresentaram redução drástica na firmeza, passando de cerca de 90N a menos de 10N em 16 dias (Aguiar et al., 2011), enquanto mangas 'Palmer' revestidas com cera de carnaúba e extrato de própolis e armazenadas a 12 °C apresentaram redução da firmeza de 117N para cerca de 30N em 12 dias (Guimarães et al., 2017). Dessa forma, é possível afirmar que os recobrimentos a base de HPMC:CA garantem maior vida útil à fruta, uma vez que a perda de firmeza é o primeiro atributo a limitar a vida comercial em manga 'Palmer' (Nunes et al., 2007).

3.6 Compostos bioativos e capacidade antioxidante

O teor de ácido ascórbico apresentou tendência crescente ao longo do armazenamento para as mangas do controle e as submetidas ao tratamento com HPMC + 10% CA, que se ajustaram ao modelo quadrático ($p \leq 0,05$). Os demais tratamentos não apresentaram ajustes pela análise de regressão (Figura 6A).

O teor de ácido ascórbico é muito variável ao longo do amadurecimento das frutas e depende de fatores como a cultivar, as condições de armazenamento, o estágio de maturação, entre outros (Lee e Kader, 2000). Na pós-colheita, as mangas costumam apresentar degradação desse composto (Ittafaqul et al., 2010; Muhammad et al., 2014), que pode ser reduzida com a utilização de tecnologias de conservação (Lee e Kader, 2000). Nesta pesquisa, embora o teor de ácido ascórbico não tenha apresentado diferença ($p \leq 0,05$) entre as mangas do controle e com recobrimento de HPMC:CA, constata-se que os recobrimentos não apresentam efeito negativo sobre este composto bioativo nas mangas armazenadas a 11 °C, superando os resultados apresentados para a utilização de recobrimento a base quitosana, que não preservou o ácido ascórbico em mangas cv. 'Tainong' sob refrigeração (Zhu et al., 2008).

Assim como o ácido ascórbico, os compostos fenólicos totais (CFT) também apresentaram tendência crescente ao longo do período de armazenamento, não constatando-se diferença entre os tratamentos ($p \leq 0,05$) (Figura 6B). O aumento do conteúdo de CFT em mangas durante a maturação é reportado na literatura, sendo

justificado pela síntese desses compostos para conter radicais livres produzidos pela respiração durante o pico climatérico, reduzindo após o amadurecimento (Ibarra-garza et al., 2015; Khaliq et al., 2017; H Palafox-Carlos et al., 2012). Nesse sentido, os resultados indicam que os recobrimentos utilizados não apresentaram efeito sobre a síntese de CFT, uma vez que não houve diferença entre os frutos revestidos e os do controle. Apesar disso, esse resultado pode ser considerado positivo, pois sugere que os recobrimentos não induziram a fruta ao estresse oxidativo, o que teria estimulado maior síntese de CFT durante o armazenamento, como reportado para goiabas revestidas com HPMC + 10% CA (Formiga et al., 2019).

O teor de β -caroteno apresentou tendência crescente nos primeiros dias de armazenamento, seguida de redução no final do período, com comportamento quadrático para os frutos com recobrimento de 10% e 40% CA. O controle e 20% CA não apresentaram tendência pela análise de regressão (Figura 6C). Ao final do armazenamento os frutos revestidos com HPMC + 20 e 40% CA apresentaram o menor teor de carotenoides, diferindo-se do controle e do 10% CA. O β -caroteno é o pigmento pertencente ao grupo dos carotenoides que é sintetizado em maior quantidade durante a processo de maturação de mangas (Ibarra-garza et al., 2015), conferindo a coloração amarelada ou alaranjada característica da polpa dessas frutas quando maduras (Nunes, 2008). O impacto negativo do armazenamento refrigerado sobre a acumulação de carotenoides é relatada na literatura (Rosalie et al., 2018), justificado pela diminuição do metabolismo dos frutos quando submetidos a baixas temperaturas.

A porcentagem do radical livre DPPH reduzido apresentou comportamento crescente ao longo do período de armazenamento para todos os tratamentos, indicando aumento da atividade antioxidante ao longo da maturação (Figura 6D). Essa tendência pode estar associada ao sistema de defesa da fruta, que necessita aumentar sua proteção contra de espécies reativas de oxigênio (EROs) durante o amadurecimento para reduzir o estresse oxidativo, uma vez que os processos respiratórios geram radicais livres (O_2 e H_2O_2) no final da cadeia de transporte de elétrons (Ibarra-garza et al., 2015; Jacobo-Velázquez et al., 2011).

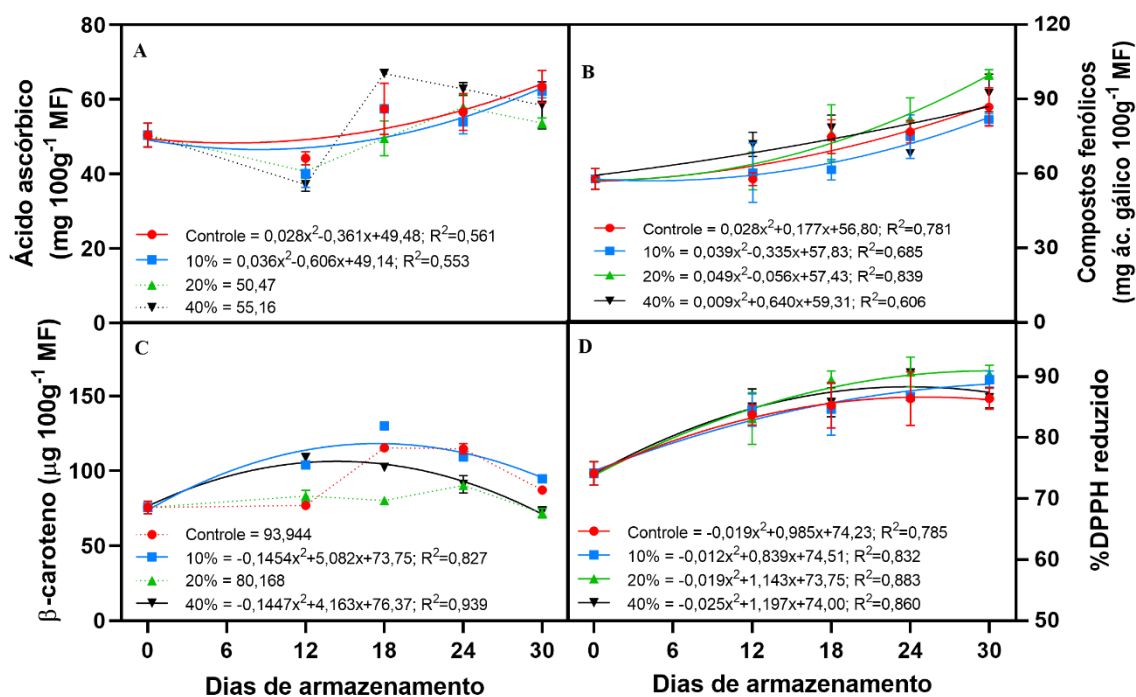


Figura 6. Efeito do recobrimento a base de HPMC:CA sobre o ácido ascórbico (A), compostos fenólicos (B), β -caroteno (C) e % de DPPH reduzido (D) de mangas 'Palmer' armazenadas 30 dias a 11 °C. Controle - Sem recobrimento; 10% - HPMC+10% CA; 20% - HPMC+20% CA e; 40% - HPMC+40% CA.

A porcentagem de DPPH reduzido apresentou correlação positiva com todos os compostos bioativos analisados (Tabela 2), destacando-se os CFT, que apresentaram maior correlação com o consumo do radical livre DPPH, sugerindo que o conteúdo de fenólicos na manga, é proporcional à sua capacidade antioxidante. Esse resultado corrobora com o relatado em outras pesquisas com manga (H Palafox-Carlos et al., 2012; H. Palafox-Carlos et al., 2012), indicando que os CFT são essenciais ao mecanismo de defesa antioxidante da fruta. Isso ocorre porque os polifenóis são quelantes altamente reativos com íons metálicos, formando um complexo de ligantes metálicos estável que não permite a geração de radicais \bullet OH prejudiciais aos tecidos, além de atuar em diferentes níveis da sequência oxidativa, contribuindo para manter o equilíbrio oxidação celular-antioxidantes (Khaliq et al., 2017; Masibo e He, 2008).

Tabela 2. Correlação entre os compostos bioativos e atividade antioxidante

| | Compostos fenólicos | β-caroteno | Flavonoides | Ácido ascórbico |
|-------------|----------------------------|------------------------------------|--------------------|------------------------|
| DPPH | 0,61786** | 0,39771** | 0,39603** | 0,320070* |

** Significativo ($p \leq 0,01$); * Significativo ($p \leq 0,05$).

Dessa forma, a manutenção dos compostos bioativos (ácido ascórbico, compostos fenólicos, carotenoides e flavonoides) durante o armazenamento de mangas é essencial para reduzir o estresse oxidativo, uma vez que apresentam correlação positiva com a atividade antioxidante. Além disso, também contribuem para a qualidade nutricional da manga e o consumo da fruta pode apresentar importantes contribuições à saúde (H. Palafox-Carlos et al., 2012).

3.7 Enzimas antioxidantes e peroxidação lipídica

A atividade da peroxidase (POD) apresentou tendência crescente ao longo do armazenamento para os frutos do controle e submetidos aos recobrimentos com HPMC + 10 e 40% CA, com aumento de 185, 50,5 e 137%, respectivamente, ao final do período de armazenamento refrigerado, em relação ao tempo 0. As mangas com recobrimento de HPMC + 20% CA, por outro lado, não apresentaram tendência pela análise de regressão, mas apresentaram atividade de POD significativamente menor ($p \leq 0,05$) que o tratamento controle e com HPMC + 40% CA no 30º dia de armazenamento (Figura 7A).

A elevação da atividade da POD é um indicativo de amadurecimento dos frutos (Chitarra e Chitarra, 2005), uma vez que ela atua na desintoxicação do tecido vegetal (Mattoo e Modi, 1975, 1970), sendo, portanto, mais necessária durante o amadurecimento, quando naturalmente há maior produção de espécies reativas do oxigênio (H Palafox-Carlos et al., 2012; H. Palafox-Carlos et al., 2012). Dessa forma, os resultados sugerem que os recobrimentos HPMC + 10 e 20% CA foram mais efetivos no controle do amadurecimento, visto que se observou menor atividade da POD, ratificando os resultados observados para a firmeza (Figura 5B).

A atividade da SOD apresentou tendência decrescente ao longo do armazenamento para todos os tratamentos, no entanto, o tratamento com HPMC +

10% CA aumentou a partir do dia 24, apresentando a maior atividade de SOD ao fim do armazenamento, diferenciando-se ($p \leq 0,05$) dos demais tratamentos (Figura 7B).

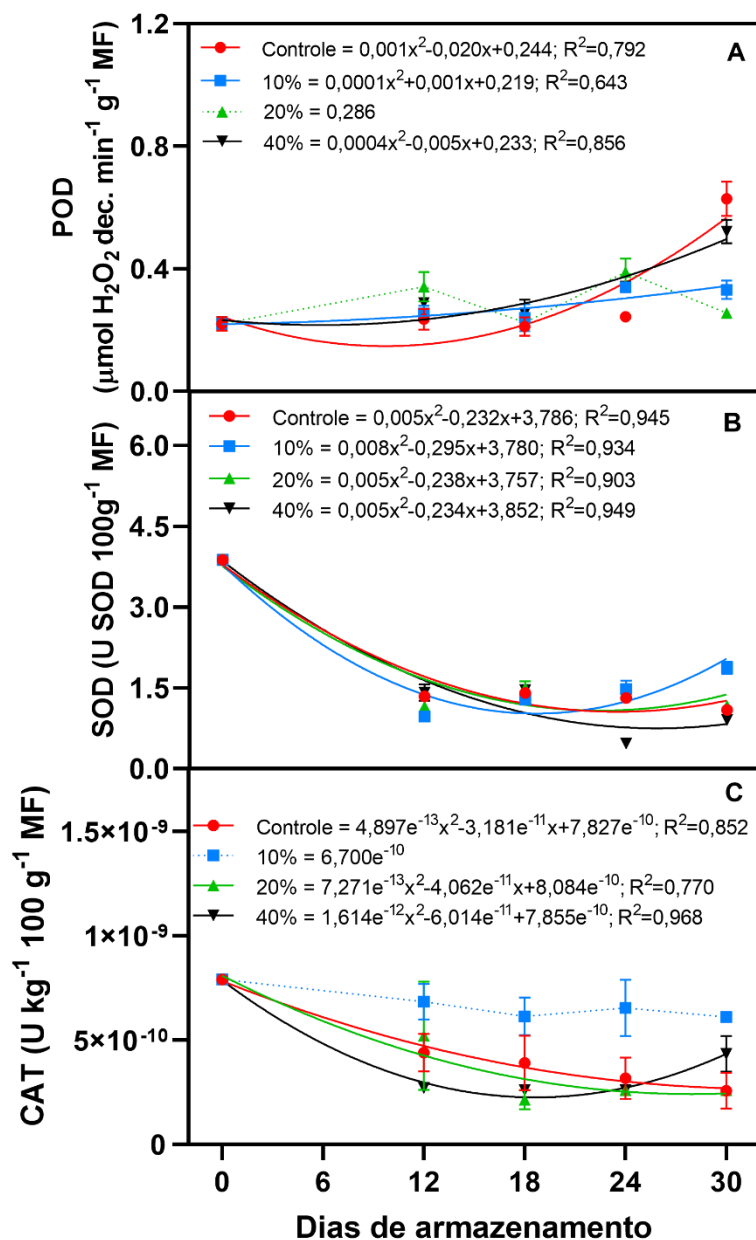


Figura 7. Efeito do recobrimento a base de HPMC:CA sobre a atividade da peroxidase (A), superóxido dismutase (B) e catalase (C) de mangas Palmer armazenadas 30 dias a 11 °C. Controle - Sem recobrimento; 10% - HPMC+10% CA; 20% - HPMC+20% CA e; 40% - HPMC+40% CA.

A atividade da CAT apresentou tendência semelhante, decrescendo nos tratamentos controle e com HPMC + 20 e 40% CA. Nesse último, no entanto, a atividade da CAT aumentou entre os dias 24 e 30. As mangas submetidas ao

tratamento HPMC + 10% CA não apresentaram tendência pela análise de regressão, mas mantiveram as maiores médias ao longo de todo o período de armazenamento (Figura 7C). Resultado semelhante foi observado em morangos tratados com recobrimentos a base de quitosana, alginato e pulullan e mantidos sob refrigeração (Li et al., 2017). Os morangos também apresentaram redução na atividade da SOD e CAT ao longo de 16 dias de armazenamento, sendo o recobrimento de quitosana o mais eficiente na manutenção da atividade enzimática.

As enzimas SOD e CAT são antioxidantes responsáveis, respectivamente, pela dismutação do radical superóxido (O_2^{\cdot}) em peróxido de hidrogênio (H_2O_2) e eliminação deste último (H_2O_2), transformando-o em água e O_2 (Cunha Neto et al., 2012). Nesse sentido, observa-se que recobrimento com 10% CA contribuiu para manutenção de maior atividade dessas enzimas antioxidantes ao final dos 30 dias de armazenamento refrigerado, em razão da menor disponibilidade de O_2 no interior do fruto, visto que este recobrimento apresenta menor teor de cera e, portanto, é mais hidrofílico. Assim, os resultados sugerem que as mangas revestidas com esse recobrimento apresentam maior capacidade de proteção enzimática contra espécies reativas do oxigênio durante o armazenamento, uma vez que a capacidade antioxidante depende do nível de enzimas antioxidantes como SOD e CAT (Li et al., 2017; Petriccione et al., 2015).

A peroxidação lipídica, determinada com base no teor de malondialdeído (MDA), não apresentou ajuste pela análise de regressão, sendo observadas tendências distintas entre os tratamentos. No entanto, a maioria dos tratamentos (Controle, 10% e 20% CA) apresentou pico de MDA no 24º dia, com teores de 0,490, 0,739 e 0,755 nMol de MDA g^{-1} MF, respectivamente. Para o tratamento com 40% CA registrou-se o maior teor (0,600 nMol de MDA g^{-1} MF) no 18º dia de armazenamento. O teor de MDA no 30º dia apresentou decréscimo nos frutos de todos os tratamentos, sendo o mais baixo registrado para o tratamento com 10% CA (0,348 nMol de MDA g^{-1} MF), diferindo-se dos demais tratamentos, que apresentaram teores de MDA entre 0,419 (20%) e 0,474 nMol de MDA g^{-1} MF (Controle).

O MDA é um produto da peroxidação lipídica utilizado como indicador da integridade da membrana celular (Adiletta et al., 2018). Nesse sentido, menores teores de MDA no tratamento com 10% CA, ao final do período de armazenamento, sugerem maior eficiência do sistema de defesa antioxidante das mangas submetidas a ele, dada redução da ação de radicais livres. Isso pode estar relacionado aos maiores níveis de SOD e CAT apresentados, que atuam como antioxidantes, protegendo o

tecido vegetal do estresse oxidativo durante o armazenamento refrigerado (Adiletta et al., 2018; Li et al., 2017; Petriccione et al., 2015).

3.8 Conservação e qualidade dos frutos em condição de comercialização

Após a transferência dos frutos para a temperatura ambiente (20 ± 1 °C), observou-se rápido amadurecimento das mangas. Isso foi constatado pelas mudanças apresentadas nos parâmetros de cor da casca em todos os tratamentos, como o aumento da luminosidade e da cromaticidade e a redução do ângulo Hue já no segundo dia (30 + 2 dias) a 20 °C (Figura 8A, 8B e 8C). Isso indica que a casca dos frutos se tornou mais clara, apresentando transição na coloração de verde-escuro para o amarelado ou alaranjado, o que é característico do amadurecimento em manga 'Palmer' (Nunes, 2008; Nunes et al., 2007).

A perda acumulada de massa fresca (PAMF) também foi acelerada pela mudança nas condições de armazenamento, provavelmente em função da maior transpiração desencadeada nos frutos pelo aumento da temperatura. O destaque é dado para os frutos sem recobrimento, cuja temperatura ambiente, no 2º dia (30 + 2 dias) de armazenamento, já apresentava PAMF semelhante as apresentadas pelos frutos submetidos aos recobrimentos a base HPMC+20 e 40% CA no 6º dia (30 + 6 dias) (Figura 8D). As mangas tratadas com esses recobrimentos apresentam maior proporção de cera de abelha, que atua como um agente hidrofóbico na matriz polimérica, reduzindo a perda de água (Formiga et al., 2019; Oliveira et al., 2018). A redução na PAMF, mesmo em condições ambientes, é um fator positivo do recobrimento a base de HPMC:CA, uma vez que elevadas perdas de massa podem desencadear o murchamento das frutas, limitando sua aceitação comercial (Chitarra e Chitarra, 2005).

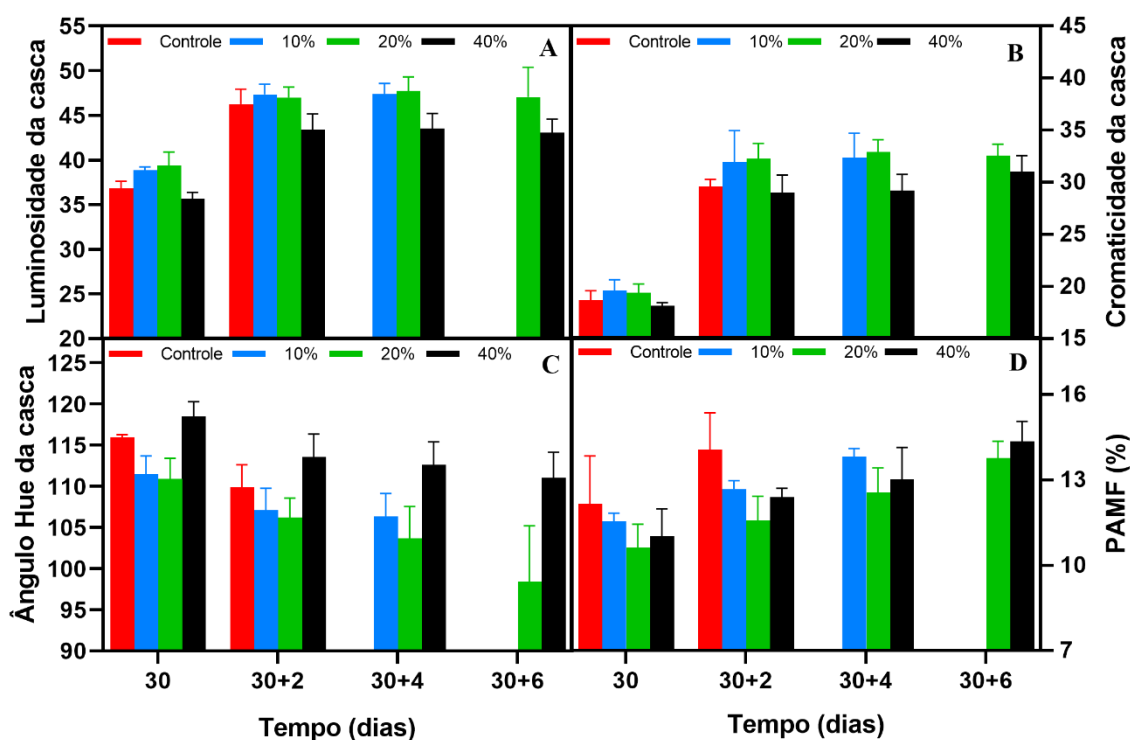


Figura 8. Efeito do recobrimento a base de HPMC:CA na luminosidade (A), cromaticidade (B), ângulo Hue (C) da casca e na perda acumulada de massa fresca – PAMF (D) de mangas ‘Palmer’ após 30 dias sob refrigeração (11 °C) + 6 dias a temperatura ambiente (20 °C). Controle - Sem recobrimento; 10% – HPMC+10% CA; 20% – HPMC+20% CA e; 40% – HPMC+40% CA.

A incidência de doenças como antracnose (*Colletotrichum gloeosporioides*) e podridão peduncular (*Lasiodiplodia theobromae*) foram os principais responsáveis pela perda de qualidade dos frutos após a refrigeração. As mangas submetidas ao tratamento controle tiveram sua comercialização limitada a dois dias após a refrigeração, enquanto as submetidas ao recobrimento HPMC + 10% CA, tiveram tempo de comercialização limitado a quatro dias. Mais de 50% das mangas submetidas aos tratamentos controle e 10% CA, respectivamente, já não se encontravam aptas ao consumo no quarto e no sexto dia após submetidas à temperatura ambiente. Já os frutos submetidos aos recobrimentos com 20 e 40% CA apresentaram menos sintomas das doenças, mantendo, respectivamente, 77% e 55% dos frutos aptos ao consumo aos seis dias de armazenamento em condição ambiente. Dessa forma, estes foram considerados os melhores tratamentos (Figura 9).

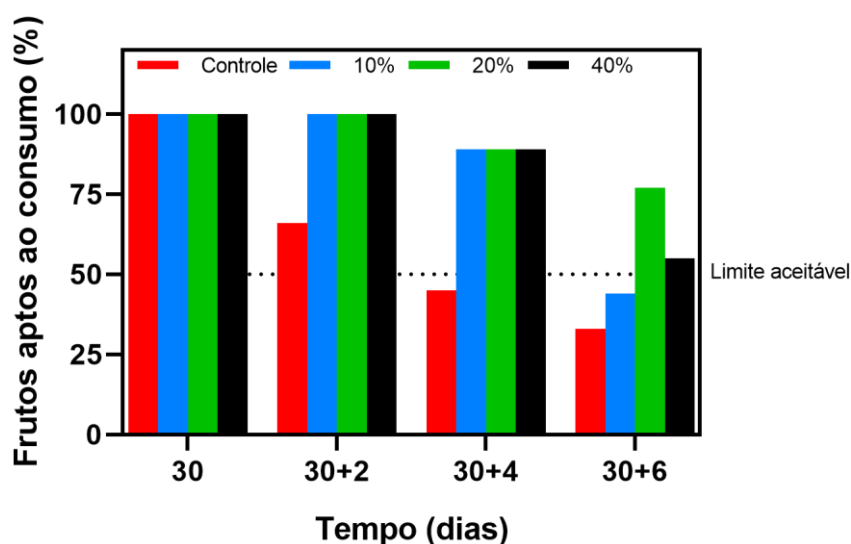


Figura 9. Efeito do recobrimento a base de HPMC:CA na conservação de mangas ‘Palmer’ após 30 dias sob refrigeração (11 °C) + 6 dias a temperatura ambiente (20 °C). Controle - Sem recobrimento; 10% – HPMC+10% CA; 20% – HPMC+20% CA e; 40% – HPMC+40% CA.

A ocorrência de doenças após a exposição de frutos refrigerados à condição ambiente é relatada na literatura, sendo justificada pela aceleração da taxa respiratória e conseqüente amadurecimento dos frutos, tornando-os mais macios e favoráveis ao ataque de patógenos (Nunes et al., 2007). No entanto, a utilização de recobrimentos tem demonstrado efeito positivo sobre o controle de patógenos, como observado em mangas ‘Namdokmai Sithong’ revestidas com HPMC:CA adicionada ou não de óleo essencial de *Zingiber cassumunar* Roxb. (Sothornvit e Klangmuang, 2015).

Resultados semelhantes foram observados para aplicação de recobrimentos a base de cera de carnaúba e própolis em manga ‘Palmer’ inoculadas com *Colletotrichum gloeosporioides* (Guimarães et al., 2017). Neste caso, os recobrimentos propiciaram maior inibição do patógeno e menor severidade da antracnose após transferência das frutas do ambiente refrigerado (12 °C) para a temperatura ambiente (25 °C), mantendo as mangas em condição de consumo por até 15 dias.

Os parâmetros de qualidade das mangas ‘Palmer’ submetidas aos recobrimentos a base de HPMC + 20 e 40% CA, que apresentaram o melhor desempenho na conservação, são apresentados na Tabela 3.

Tabela 3. Efeito do recobrimento a base de HPMC:CA sobre a qualidade de manga 'Palmer' após 30 dias sob refrigeração (11 °C) + 6 dias a temperatura ambiente (20 °C)

| Parâmetros de qualidade | Tratamentos | | ANOVA | |
|--|-------------|--------|-------|----------|
| | 20% | 40% | CV | DMS (5%) |
| Firmeza (N) | 18,8a | 9,52b | 28,24 | 8,73 |
| Acidez (g ácido cítrico 100g ⁻¹) | 0,47a | 0,44a | 3,35 | 0,03 |
| Sólidos solúveis (°Brix) | 14,53b | 15,2a | 0,99 | 0,33 |
| “Ratio” (Sólidos solúveis/Acidez) | 31,17b | 34,22a | 4,09 | 3,03 |
| Açúcares redutores (mg glicose 100g ⁻¹) | 1,11a | 0,84b | 10,27 | 0,22 |
| Açúcares solúveis (mg glicose 100g ⁻¹) | 13,08b | 15,05a | 4,35 | 1,39 |
| Ácido ascórbico (mg 100g ⁻¹) | 45,72a | 36,28b | 5,98 | 5,55 |
| Compostos fenólicos totais (mg ácido gálico 100g ⁻¹) | 83,65a | 78,67a | 3,71 | 6,65 |
| Atividade antioxidante (% DPPH reduzido) | 84,03a | 78,60b | 2,40 | 4,43 |

20% – HPMC+20% de cera de abelha e; 40% – HPMC+40% de cera de abelha

a, b – Letras minúsculas diferentes na mesma linha indicam diferença significativa ($p \leq 0,05$) pelo teste de Tukey

Observa-se diferença significativa entre os tratamentos para a maioria dos parâmetros analisados, destacando o tratamento com HPMC+20% CA como o mais eficiente na manutenção da qualidade da manga 'Palmer' por 30 dias sob refrigeração (11 °C) + 6 dias em condições de comercialização (20 °C), uma vez que manteve maior escore para a firmeza, ácido ascórbico e atividade antioxidante e menores teores de sólidos solúveis, “ratio”, açúcares redutores e solúveis, o que indica frutos maduros com boa qualidade.

A firmeza apresentada nas mangas revestidas com HPMC+40% CA foram semelhantes a apresentadas em frutos da cv. 'Palmer' caracterizados como sobremaduros (9,67N) (Santos et al., 2010), diferindo-se das mangas submetidas ao recobrimento com 20% CA, que apresentaram textura aceitável após o mesmo período. Segundo Nunes et al. (2007) a perda de firmeza é um dos principais fatores relacionados a limitação da vida útil de mangas 'Palmer' armazenadas sob refrigeração, diminuindo a vida útil a quatro dias quando submetidos a temperatura ambiente (20 °C). Logo, o recobrimento de HPMC:CA possibilita ganho de pelo menos dois dias no período de comercialização.

A acidez não apresentou diferença entre os tratamentos, mas o teor de sólidos solúveis e, conseqüentemente, o “ratio” foram menores nos frutos submetidos ao tratamento com HPMC+20% CA, indicando menor índice de maturação das mangas submetidas a esse recobrimento. Além disso, o teor de açúcares redutores foi maior nesse tratamento, enquanto o de açúcares solúveis foi menor, sugerindo que esses frutos se encontravam mais imaturos. Isso porque durante o amadurecimento de mangas é observado o aumento no teor de sólidos solúveis e açúcares solúveis e redução dos açúcares redutores, que são utilizados como substrato para a respiração (Lobo e Sidhu, 2017).

A qualidade nutricional dos frutos revestidos com HPMC+20% CA também se apresenta superior, uma vez que houve maior manutenção de ácido ascórbico e da atividade antioxidante ao final dos 36 dias de armazenamento. Isso pode contribuir para a saúde do consumidor, visto que a ingestão de compostos bioativos como o ácido ascórbico e fenóis é associada a prevenção de doenças crônico-degenerativas, pela atuação antioxidante sobre os radicais livres no organismo humano (Masibo e He, 2008; Ribeiro et al., 2008; Ribeiro et al., 2007).

4. Conclusão

Os recobrimentos foram efetivos na redução da perda de massa fresca, manutenção da firmeza (exceto HPMC+40% CA), dos sólidos solúveis e açúcares redutores; além de não interferir no desenvolvimento da coloração da polpa e na síntese de compostos bioativos e atividade antioxidante durante o armazenamento refrigerado.

O recobrimento a base de HPMC + 10% CA apresentou o melhor desempenho na indução de produção das enzimas antioxidantes SOD e CAT, apresentando melhor ação na proteção contra a peroxidação lipídica.

Após a exposição à temperatura de comercialização, no entanto, os recobrimentos a base de HPMC + 20 e 40% CA foram mais efetivos na conservação das mangas, estendendo a vida útil até 36 dias (30 + 6 dias), um ganho de quatro dias, quando comparados ao controle, sem recobrimento.

Os frutos submetidos ao recobrimento HPMC + 20% CA apresentaram melhor qualidade ao final dos 36 dias de armazenamento, sendo este o tratamento mais

indicado à conservação pós-colheita de mangas durante o armazenamento refrigerado.

5. Agradecimentos

À OGATA Citrus pela doação das mangas e à Colorcon Brasil pela doação do Methocel E15® utilizados no experimento. Ao Instituto Federal do Pará pela liberação do primeiro autor para a realização do estágio doutoral, em Jaboticabal-SP.

6. Referências Bibliográficas

Adiletta G, Pasquariello MS, Zampella L, Mastrobuoni F, Scortichini M, Petriccione M (2018) Chitosan coating: A Postharvest treatment to delay oxidative stress in loquat fruits during cold storage. **Agronomy** 8:5–10. <https://doi.org/10.3390/agronomy8040054>

AGRIANUAL: anuário da agricultura brasileira (2019). São Paulo: IEG / FNP Agribusiness intelligence.

Aguiar RP, Miranda MRA, Lima ÁMP, Mosca JL, Moreira RA, Enéas-Filho J (2011) Effect of a galactomannan coating on mango postharvest physicochemical quality parameters and physiology. **Fruits** 66:269–278. <https://doi.org/10.1051/fruits/2011034>

AOAC (1997). **Official methods of analysis of the Association of Official Analytical Chemists**, 16^a ed. Washington: Horwitz.

Asio LG, Cuaresma FD (2016) A Review of Postharvest Treatments to Maintain Mango (*Mangifera indica* L.) Quality. **Annals of Tropical Research** 93:81–93.

Barbosa JC, Maldonado Júnior W (2015). **Experimentação agrônômica e AgroEstat - sistema para análises estatísticas de ensaios agrônômicos**, 1 ed. Jaboticabal: Multipress.

Batista-Silva W, Nascimento VL, Medeiros DB, Nunes-Nesi A, Ribeiro DM, Zsögön A, Araújo WL (2018) Modifications in Organic Acid Profiles During Fruit Development and Ripening: Correlation or Causation? **Frontier in Plant Science** 9:1–20. <https://doi.org/10.3389/fpls.2018.01689>

Beauchamp C, Fridovich I (1971) Superoxide dismutase: improved assays and assay applicable to acrylamide gels. **Analytical Biochemistry** 44:276–287. [https://doi.org/10.1016/0003-2697\(71\)90370-8](https://doi.org/10.1016/0003-2697(71)90370-8)

Bernardes-Silva A, Lajolo F, Cordenunsi B (2003) Evolution of starch and soluble sugar content during development and ripening of different mango cultivars. **Food Science and Technology** 23:116–120. <https://doi.org/10.1590/S0101->

20612003000400022

Brand-Williams W, Cuvelier ME, Berset C (1995) Use of a free radical method to evaluate antioxidant activity. **LWT - Food Science and Technology** 28:25–30. [https://doi.org/10.1016/S0023-6438\(95\)80008-5](https://doi.org/10.1016/S0023-6438(95)80008-5)

Braz VB, Nunes ES, Couto FAD, Lelis FMV (2007) The effect of harvest date and storage period on postharvest quality of mango cv. Palmer. **Acta Scientiarum Agronomy**. 29:263–268. <https://doi.org/10.4025/actasciagron.v29i2.269>

Castrillo M, Kruger NJ, Whatley FR (1992) Sucrose metabolism in mango fruit during ripening. **Plant Science** 84:45–51. [https://doi.org/10.1016/0168-9452\(92\)90206-2](https://doi.org/10.1016/0168-9452(92)90206-2)

Chitarra MIF, Chitarra AB (2005). **Pós-colheita de frutas e hortaliças: fisiologia e manuseio**, 2^a. ed. Lavras: UFLA.

Contreras-Oliva A, Rojas-Argudo C, Pérez-Gago MB (2012) Effect of solid content and composition of hydroxypropyl methylcellulose – lipid edible coatings on physico-chemical and nutritional quality of ‘Oronules’ mandarins. **Journal of the Science of Food and Agriculture** 92:794–802. <https://doi.org/10.1002/jsfa.4649>

Cunha Neto J, Rabelo MC, Bertini CHCM, Marques GV, Miranda MRA (2012) Caracterização agrônômica e potencial antioxidante de frutos de clones de aceroleira. **Revista Ciência Agronômica** 43:713–721. <https://doi.org/10.1590/s1806-66902012000400013>

Dhall RK (2013) Advances in Edible Coatings for Fresh Fruits and Vegetables: A Review. **Critical Reviews in Food Science and Nutrition** 53:435–450. <https://doi.org/10.1080/10408398.2010.541568>

Doll Hojo ET, Abreu CMP, Asmar SA, Hojo RH, Côrrea AD, Vilas Boas EVB (2009) Avaliação da qualidade de manga 'Palmer' tratada com 1-metilciclopropeno e armazenada sob refrigeração e condição ambiente. **Revista Brasileira de Fruticultura** 31:28–38. <https://doi.org/10.1590/s0100-29452009000100006>

Evans EA, Ballen FH, Siddiq M (2017) Mango Production, Global Trade, Consumption Trends, and Postharvest Processing and Nutrition. In: Siddiq M, Brecht JK, Sidhu JS (Eds.) **Handbook of Mango Fruit: Production, Postharvest Science, Processing Technology and Nutrition**. Oxford: John Wiley & Sons Ltd, p. 1–16.

Fabi JP, Peroni FHG, Gomez MLPA (2010) Papaya, mango and guava fruit metabolism during ripening: postharvest changes affecting tropical fruit nutritional content and quality. **Fresh Produce** 4:56–66.

Ferreira MD, Spricigo PC (2017) Colorimetria: Princípios e aplicações na agricultura. In: **Instrumentação em frutas e hortaliças**. Brasília: Embrapa, p.209–220.

Formiga AS, Pinsetta JS, Pereira EM, Cordeiro INF, Mattiuz BH (2019) Use of edible coatings based on hydroxypropyl methylcellulose and beeswax in the conservation of red guava ‘Pedro Sato.’ **Food Chemistry** 290:144–151.

<https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2019.03.142>

Francis FJ (1982) Analysis of anthocyanins. In: Markakis P (Ed.) **Anthocyanins as Food Colors**. New York: Academic Press, p. 181–207.

Gill PPS, Jawandha SK, Kaur N, Singh N (2017) Physico-chemical changes during progressive ripening of mango (*Mangifera indica* L.) cv. Dashehari under different temperature regimes. **Journal of Food Science and Technology** 54:1964–1970. <https://doi.org/10.1007/s13197-017-2632-6>

Guimarães JER, Silva JP, Fernandes JDR, Marques KM, Galati VC, Muniz ACC, Mattiuz BH (2017) Use of green propolis extract in controlling of anthracnose in “Palmer” mangoes. **Acta Horticulturae** 1178:147–154. <https://doi.org/10.17660/ActaHortic.2017.1178.26>

Hagenmaier RD, Baker RA (1993) Reduction in gas exchange of citrus fruit by wax coatings. **Journal of Agricultural and Food Chemistry** 41:283–287. <https://doi.org/10.1021/jf00026a029>

Heath RL, Packer L (1968) Photoperoxidation in isolated chloroplasts. **Archives of Biochemistry and Biophysics** 125:189–198. [https://doi.org/10.1016/0003-9861\(68\)90654-1](https://doi.org/10.1016/0003-9861(68)90654-1)

Ibarra-garza IP, Ramos-parra PA, Hernández-brenes C, Jacobo-velázquez DA (2015) Postharvest Biology and Technology Effects of postharvest ripening on the nutraceutical and physicochemical properties of mango (*Mangifera indica* L. cv Keitt). **Postharvest Biology and Technology** 103:45–54. <https://doi.org/10.1016/j.postharvbio.2015.02.014>

Ittafaqul M, Mortuza MG, Al-Amin M, Naher M, Alam SK (2010). Qualitative Analysis of Mango (*Mangifera indica* L.) Fruits at Different Maturity Stages. **The Agriculturists** 7:1–5. <https://doi.org/10.3329/agric.v7i1.5225>

Jacobo-Velázquez DA, Martínez-Hernández GB, Rodríguez, SDC, Cao CM, Cisneros-Zevallos L (2011) Plants as biofactories: Physiological role of reactive oxygen species on the accumulation of phenolic antioxidants in carrot tissue under wounding and hyperoxia stress. **Journal of Agricultural and Food Chemistry** 59:6583–6593. <https://doi.org/10.1021/jf2006529>

Kar M, Mishra D (1976) Catalase, Peroxidase, and Polyphenoloxidase Activities during Rice Leaf Senescence. **Plant Physiology** 57:315–319. <https://doi.org/10.1104/pp.57.2.315>

Khaliq G, Madani B, Nisa M, Ramzan M, Koondhar N (2017) Textural Properties and Enzyme Activity of Mango (*Mangifera indica* L.) Fruit Coated with Chitosan during Storage. **Journal of Agricultural Studies** 5:32. <https://doi.org/10.5296/jas.v5i2.10946>

Klangmuang P, Sothornvit R (2018a) Active coating from hydroxypropyl methylcellulose-based nanocomposite incorporated with Thai essential oils on mango (cv. Namdokmai Sithong). **Food Bioscience** 23:9–15.

<https://doi.org/10.1016/j.fbio.2018.02.012>

Klangmuang P, Sothornvit R (2018b) Active hydroxypropyl methylcellulose-based composite coating powder to maintain the quality of fresh mango. **LWT - Food Science and Technology** 91:541–548. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2018.01.089>

KONICA MINOLTA (2003). Precise colour communications: colour control from perception to instrumentation.

Lee SK, Kader AA (2000) Preharvest and postharvest factors influencing vitamin C content of horticultural crops. **Postharvest Biology and Technology** 20:207–220. [https://doi.org/10.1016/S0925-5214\(00\)00133-2](https://doi.org/10.1016/S0925-5214(00)00133-2)

Li L, Sun J et al (2017) Effects of Polysaccharide-Based Edible Coatings on Quality and Antioxidant Enzyme System of Strawberry during Cold Storage. **International Journal of Polymer Science** 2017: 9746174. <https://doi.org/10.1155/2017/9746174>

Lima GPP, Brasil OG, Oliveira AM (1999) Poliaminas e atividade da peroxidase em feijão (*Phaseolus vulgaris* L.) cultivado sob estresse salino. **Scientia Agricola** 56:21–25.

Lobo MG, Sidhu JS (2017) Biology, Postharvest Physiology, and Biochemistry of Mango. In: Siddiq M, Brecht JK, Sidhu JS (Eds.) **Handbook of Mango Fruit: Production, Postharvest Science, Processing Technology and Nutrition**. Oxford: John Wiley & Sons Ltd, p. 37–59.

Masibo M, He Q (2008) Major Mango Polyphenols and Their Potential Human Health. **Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety** 7:309–319.

Mattoo AK, Modi VV (1975) Palmitic acid activation of peroxidase and its possible significance in mango ripening. **Biochimica et Biophysica Acta (BBA) - Enzymology** 397:318–330. [https://doi.org/10.1016/0005-2744\(75\)90121-7](https://doi.org/10.1016/0005-2744(75)90121-7)

Mattoo AK, Modi VV (1970) Citrate cleavage enzyme in mango fruit. **Biochemical and Biophysical Research Communications** 39:895–904. [https://doi.org/10.1016/0006-291X\(70\)90408-0](https://doi.org/10.1016/0006-291X(70)90408-0)

Miguel ACA, Durigan JF, Barbosa JC, Morgado CMA (2013) Qualidade de mangas cv. Palmer após armazenamento sob baixas temperaturas. **Revista Brasileira de Fruticultura** 35:398–408. <https://doi.org/10.1590/s0100-29452013000200009>

Miguel ACA, Durigan JF, Morgado CMA, Gomes RFO (2011) Injúria Pelo Frio na Qualidade Pós-Colheita de Mangas cv. Palmer. **Revista Brasileira de Fruticultura** 33:255–260. <https://doi.org/10.1590/s0100-29452011000500031>

Mitra SK (2016) Mango production in the world – present situation and future prospect. **Acta Horticulturae** 287–296. <https://doi.org/10.17660/ActaHortic.2016.1111.41>

Muhammad I, Ashiru S, Ibrahim I, Kanoma I, Sani I, Garba S (2014) Effect of ripening stage on vitamin C content in selected fruits. **International Journal of Agriculture,**

Forestry and Fisheries 2:60–65.

Nagata M, Yamashita I (1992) Simple method for simultaneous determination of chlorophyll and carotenoids in tomato fruit. **Society of Food Science and Technology (Nippon Shokuhin Kogyo Gakkaishi)** 39:925–928. <https://doi.org/10.3136/nskkk1962.39.925>

Narayana CK, Rao DVS, Roy SK (2012). Mango Production, Postharvest Physiology and Storage. In: **Tropical and Subtropical Fruits: Postharvest Physiology, Processing and Packaging**. Oxford: Wiley-Blackwell, p. 259–276.

Navarro-Tarazaga ML, Massa A, Pérez-Gago MB (2011) Effect of beeswax content on hydroxypropyl methylcellulose-based edible film properties and postharvest quality of coated plums (Cv. Angeleno). **LWT - Food Science and Technology** 44:2328–2334. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2011.03.011>

Navarro-Tarazaga ML, Pérez-Gago MB (2006) Effect of Edible Coatings on Quality of Mandarins cv. Clemenules. **Proceedings of the Florida State Horticultural Society** 119:350–352.

Nunes MCN (2008). Color Atlas of Postharvest Quality of Fruits and Vegetables. Iowa: Blackwell Publishing.

Nunes MCN, Emond JP, Brecht JK, Dea S, Proulx E (2007) Quality Curves for Mango Fruit (Cv. Tommy Atkins and Palmer) Stored At Chilling and Nonchilling Temperatures. **Journal of Food Quality** 30:104–120. <https://doi.org/https://doi.org/10.1111/j.1745-4557.2007.00109.x>

Oliveira GP, Geraldini F (2018) MANGO/CEPEA: Palmer price overcomes tommy. HFBrasil. URL <https://www.hfbrasil.org.br/en/mango-cepea-palmer-price-overcomes-tommy.aspx> (accessed 4.11.19).

Oliveira TA, Paiva CA, Silva AC, Nascimento LV, Leite RHL, Aroucha EMM (2018). Postharvest Quality of Tommy Atkins Mangoes Coated With Cassava Starch and Chitosan-Based Coatings. **Journal of Agricultural Science** 10: 401. <https://doi.org/10.5539/jas.v10n11p401>

Oliveira VRL, Santos FKG, Leite RHL, Aroucha EMM, Silva KNO (2018) Use of biopolymeric coating hydrophobized with beeswax in post-harvest conservation of guavas. **Food Chemistry**. 259: 55–64. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2018.03.101>

Palafox-Carlos H, Yahia E, Islas-Osuna MA, Gutierrez-Martinez P, Robles-Sánchez M (2012) Effect of ripeness stage of mango fruit (*Mangifera indica* L., cv. Ataulfo) on physiological parameters and antioxidant activity. **Scientia Horticulture** 135:7–13. <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2011.11.027>

Palafox-Carlos H, Yahia EM, González-Aguilar GA (2012) Identification and quantification of major phenolic compounds from mango (*Mangifera indica*, cv. Ataulfo) fruit by HPLC-DAD-MS/MS-ESI and their individual contribution to the antioxidant

activity during ripening. **Food Chemistry** 135:105–111. <https://doi.org/http://dx.doi.org/10.1016/j.foodchem.2012.04.103>

Pérez-Gago M-B, Rojas C, Río MAD (2002) Effect of Lipid Type and Amount of Edible Composite Coatings Used to Protect Postharvest Quality of Mandarins cv. Fortune. **Journal of Food Science** 67:2903–2910.

Petriccione M, Mastrobuoni F, Pasquariello M, Zampella L, Nobis E, Capriolo G, Scortichini M (2015) Effect of Chitosan Coating on the Postharvest Quality and Antioxidant Enzyme System Response of Strawberry Fruit during Cold Storage. **Foods** 4:501–523. <https://doi.org/10.3390/foods4040501>

Ribeiro SMR, Barbosa LCA, Queiroz JH, Knödler M, Schieber A (2008) Phenolic compounds and antioxidant capacity of Brazilian mango (*Mangifera indica* L.) varieties. **Food Chemistry** 110:620–626. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2008.02.067>

Ribeiro SMR, Queiroz JH, Queiroz MELR, Campos FM, Sant'Ana HMP (2007) Antioxidant in mango (*Mangifera indica* L.) pulp. **Plant Foods for Human Nutrition** 62:13–17. <https://doi.org/10.1007/s11130-006-0035-3>

Rosalie R, Léchaudel M, Dhuique-Mayer C, Dufossé L, Joas J (2018) Antioxidant and enzymatic responses to oxidative stress induced by cold temperature storage and ripening in mango (*Mangifera indica* L. cv. 'Cogshall') in relation to carotenoid content. **Journal of Plant Physiology** 224–225:75–85. <https://doi.org/10.1016/j.jplph.2018.03.011>

Rossmann AY, Palm ME, Spielman L (1987) **A literature guide for the identification of plant pathogenic fungi**. United State of American American: Phytopathological Society.

Santos Neto JP, Assis MWD, Casagrande IP, Cunha Júnior LC, Teixeira GHA (2017) Determination of 'Palmer' mango maturity indices using portable near infrared (VIS-NIR) spectrometer. **Postharvest Biology and Technology** 130:75–80. <https://doi.org/10.1016/j.postharvbio.2017.03.009>

Santos LO, Durigan JF, Martins RN, Morgado CMA (2010) Conservação e qualidade de mangas 'Palmer' submetidas ao tratamento com fungicidas e hidrotérmico. **Ciência e Agrotecnologia** 34, 1514–1521.

Sapper M, Chiralt A (2018) Starch-Based Coatings for Preservation of Fruits and Vegetables. **Coatings** 8:152. <https://doi.org/10.3390/coatings8050152>

Serpa MFP, Castricini A, Mitsobuzi GP, Martins RN, Batista MF, Almeida TH (2014) Conservação de manga com uso de fécula de mandioca preparada com extrato de cravo e canela. **Revista Ceres** 61:975–982. <https://doi.org/10.1590/0034-737X201461060013>

Silva APFB, Nascimento JRO, Lajolo FM, Cordenunsi BR (2008) Starch mobilization and sucrose accumulation in the pulp of keitt mangoes during postharvest ripening. **Journal of Food Biochemistry** 32:384–395. <https://doi.org/10.1111/j.1745->

4514.2008.00175.x

Singh Z, Singh RK, Sane VA, Nath P (2013) Mango - Postharvest Biology and Biotechnology. **Critical Reviews and Plant Science** 32:217–236. <https://doi.org/10.1080/07352689.2012.743399>

Sothornvit R, Klangmuang P (2015) Active edible coating to maintain the quality of fresh mango. **Acta Horticulturae** 1079:473–480. <https://doi.org/10.17660/ActaHortic.2015.1079.62>

Valencia-chamorro SA, Pérez-gago MB, Ángel M, Palou L (2009) Effect of antifungal hydroxypropyl methylcellulose (HPMC) – lipid edible composite coatings on postharvest decay development and quality attributes of cold-stored ‘Valencia’ oranges. **Postharvest Biology and Technology** 54:72–79. <https://doi.org/10.1016/j.postharvbio.2009.06.001>

Vasconcelos NM, Pinto GAS, Aragão FAS (2013) **Determinação de Açúcares Redutores pelo Ácido 3,5-Dinitrosalicílico: Histórico do Desenvolvimento do Método e Estabelecimento de um Protocolo para o Laboratório de Bioprocessos**. Fortaleza: Embrapa Agroindústria Tropical.

Waterhouse A (2006). Folin-ciocalteu micro method for total phenol in wine. **American Journal of Enology and Viticulture** 3–5.

Yemm EW, Willis AJ (1954) The estimation of carbohydrates in plant extracts by anthrone. **Biochemical Journal** 57:508-514 <https://doi.org/10.1042/bj0570508>

Zenebon O, Pascuet NS, Tiglea P (2008) **Métodos Físico-Químicos para Análise de Alimentos**, 4^a. ed. São Paulo: Instituto Adolfo Lutz

Zhu X, Wang Q, Cao J, Jiang W (2008) Effects of Chitosan Coating on Postharvest Quality of Mango (*Mangifera indica* L. cv. Tainong) Fruits. **Journal of Food Processing and Preservation** 32:770–784. <https://doi/abs/10.1111/j.1745-4549.2008.00213.x>