



UNIVERSIDADE FEDERAL DA PARAÍBA
CENTRO DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM AGRONOMIA

TESE

REVESTIMENTOS E FILMES BIODEGRADÁVEIS DE DIFERENTES
FONTES AMILÁCEAS: CARACTERIZAÇÃO E APLICAÇÃO PÓS-
COLHEITA EM MANGA

ANTONIO AUGUSTO MARQUES RODRIGUES

Areia - PB
Fevereiro de 2019

R696r *Rodrigues, Antonio Augusto Marques.*

Revestimentos e filmes biodegradáveis de diferentes fontes amiláceas: caracterização e aplicação pós-colheita em manga / Antonio Augusto Marques Rodrigues. - Areia, 2019.

131 f. : il.

Orientação: Maria Auxiliadora Coêlho de Lima.

Tese (Doutorado) - UFPB/CCA.

1. amilose; β -caroteno; firmeza; α -amilase; vida útil.
I. Lima, Maria Auxiliadora Coêlho de Lima. II. Título.

UFPB/CCA-AREIA



UNIVERSIDADE FEDERAL DA PARAÍBA
CENTRO DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM AGRONOMIA
CAMPUS II - AREIA - PB



**REVESTIMENTOS E FILMES BIODEGRADÁVEIS DE DIFERENTES
FONTES AMILÁCEAS: CARACTERIZAÇÃO E APLICAÇÃO PÓS-
COLHEITA EM MANGA**

ANTONIO AUGUSTO MARQUES RODRIGUES

Sob a orientação da Dr^a
Maria Auxiliadora Coêlho de Lima

Tese apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Agronomia, do Centro de Ciências Agrárias da Universidade Federal da Paraíba, em cumprimento as exigências para obtenção do título de **Doutor em Agronomia**.

Areia - PB
Fevereiro de 2019

UNIVERSIDADE FEDERAL DA PARAÍBA
CENTRO DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM AGRONOMIA

CERTIFICADO DE APROVAÇÃO

REVESTIMENTOS E FILMES BIODEGRADÁVEIS DE DIFERENTES
FONTES AMILÁCEAS: CARACTERIZAÇÃO E APLICAÇÃO PÓS-
COLHEITA EM MANGA

ANTONIO AUGUSTO MARQUES RODRIGUES

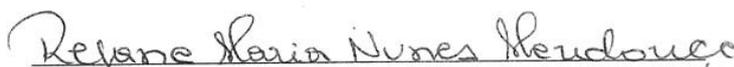
Aprovado como parte das exigências para obtenção do título de DOUTOR em
AGRONOMIA (Agricultura Tropical) pela Comissão Examinadora:



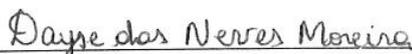
Maria Auxiliadora Coêlho de Lima, Dr^a
Orientadora – Embrapa Semiárido/PPGA/CCA/UFPB



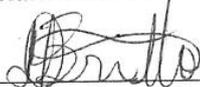
Prof^a Silvanda de Melo Silva, Ph.D.
Examinadora – Interna/ PPGA/CCA/UFPB



Prof^a. Rejane Maria Nunes Mendonça, Dr^a
Examinadora – Interna PPGA/CCA/UFPB



Prof^a. Dayse das Neves Moreira, Dr^a
Examinadora – Externa /PPGQ/CCA/UFPB



Pesq. Douglas de Britto, Dr
Examinador – Externo/ EMBRAPA Semiárido

Data da realização: 27 de fevereiro de 2019.

Presidente da Comissão Examinadora
Dr^a Maria Auxiliadora Coêlho de Lima
Orientadora

Dedico este trabalho àqueles que sempre estiveram ao meu lado me apoiando, que sempre confiaram em mim, e são peças fundamentais em minha vida, aos meus pais *Antônio Manoel* e *Maria Cristina*, minhas irmãs *Caroline* e *Christiane* e ao meu sobrinho *Arthur*.

Agradeço em primeiro lugar a Deus, que me guiou durante essa caminhada me dando força e coragem.

Aos meus pais (Antonio e Cristina), pelo exemplo de ser humano e por me servirem de inspiração.

Às minhas irmãs (Carol e Christiane), por sempre acreditarem no meu potencial.

A Arthur e Thiago, por me fazerem voltar a ser criança.

À minha tia Luciana, pelo incentivo, fonte de inspiração e grande ajuda em muitas atividades, e à minha Tia Lela (*in memoriam*).

Aos meus avós maternos, Augusto e Elza (*in memoriam*), e avós paternos, Antônio (*in memoriam*) e Zezé.

À minha noiva Katia, pelo companheirismo e carinho, estando sempre ao meu lado, e a toda sua família, pelo incentivo.

À minha orientadora, a pesquisadora Maria Auxiliadora Coêlho de Lima pela confiança em mim depositada, permitindo com que eu realizasse este trabalho. Por todo o incentivo e apoio técnico e científico, que foram de grande importância para o meu crescimento profissional e intelectual.

Às professoras Dayse Moreira, Rejane Mendonça e Silvanda Silva e ao pesquisador Douglá de Britto pela contribuição dada a este trabalho, com a participação como examinadores.

À professora Silvanda por todo incentivo, confiança, apoio em todas as horas, sendo um exemplo de pessoa e de profissionalismo.

Aos meus amigos de todas as horas, Antônio Fernando, Leonardo, João Batista e Luiz Plácido pelo companheirismo desde a nossa graduação.

À equipe do laboratório de Biologia e Tecnologia Pós-Colheita, com os quais convivi mais de 6 anos, onde aprendi muito durante toda minha formação acadêmica. Gostaria de citar o nome de todos, mas, para não cometer injustiça nem omissão, citarei apenas um nome em que todos vão se sentir representados Dona Rosani.

Às amigas que fiz na Embrapa Semiárido, funcionários, pesquisadores, profissionais terceirizados, alunos, bolsistas e estagiários.

É meu agradecimento especial, a toda equipe do Laboratório de Fisiologia Pós-Colheita, que não mediu esforços para o a realização desse trabalho, sendo peça fundamental. Em especial, às pessoas de Luana, Rayssa, Debora, Danielle, Vanda, Joviniano, Henrique e Carlos.

Ao Programa de Pós-graduação em Agronomia do CCA/UFPB, que foi de grande importância para o meu crescimento profissional, e à CAPES, pela bolsa de pesquisa concedida.

Enfim, a todos que contribuíram de forma direta ou indireta, para a realização deste trabalho.

Agradeço!

RESUMO

Rodrigues, A. A. M. **REVESTIMENTOS E FILMES BIODEGRADÁVEIS DE DIFERENTES FONTES AMILÁCEAS: CARACTERIZAÇÃO E APLICAÇÃO PÓS-COLHEITA EM MANGA.** Areia–PB, Centro de Ciências Agrárias, Universidade Federal da Paraíba, Fev. 2019, Tese (Doutorado em Agronomia). Programa de Pós-Graduação em Agronomia. Orientador: Maria Auxiliadora Coêlho de Lima.

O uso de polímeros naturais biodegradáveis para a conservação pós-colheita de alimentos é tendência coerente com os compromissos da sociedade com sustentabilidade. Entre os polímeros naturais, o amido vem ganhando destaque devido sua grande disponibilidade em escala mundial, alto rendimento de extração, valor nutricional, baixo custo, biodegradabilidade e biocompatibilidade. Inhame, mandioca, semente de jaca e amêndoa da manga apresentam potencial para a extração do amido e a utilização seja na indústria alimentícia ou para formulação de revestimentos biodegradáveis. A manga por ser um fruto climatérico tem rápido amadurecimento, necessitando de tecnologias pós-colheita para aumentar sua vida útil. O objetivo deste trabalho foi caracterizar as propriedades físicas, químicas e ópticas dos amidos de amêndoa de manga, semente de jaca, inhame e mandioca na produção de filmes e revestimentos biodegradáveis bem como determinar o potencial para aplicação na conservação pós-colheita de manga. Os experimentos foram conduzidos no laboratório de Fisiologia Pós-Colheita da Embrapa Semiárido. Foram utilizadas quatro fontes amiláceas: semente de jaca, amêndoa de manga, inhame e mandioca. Foi realizada caracterização desses amidos quanto ao seu potencial químico, físico e óptico. Os amidos foram utilizados como revestimentos na manga ‘Palmer’ nas concentrações de 3% (amido de mandioca) e 3,5% (amido de inhame, semente de jaca e amêndoa de manga). Esses amidos também foram utilizados para o desenvolvimento de filmes biodegradáveis, sendo preparados a partir de três concentrações (2; 3 e 3,5%) para cada uma das fontes. Esses filmes foram submetidos a avaliações físicas, ópticas e mecânicas. A partir desses experimentos foram escolhidos os amidos de semente de jaca e amêndoa de manga para utilização como revestimento em manga ‘Tommy Atkins’. O experimento foi conduzido em delineamento inteiramente causalizado, em esquema fatorial 7 x 6, sendo 7 revestimentos e 6 tempos de armazenamento. Foram utilizados os revestimentos amido de amêndoa de manga; amido de amêndoa de manga + quitosana; amido de semente de jaca; amido de semente de jaca + quitosana; quitosana; cera de carnaúba e o controle (sem revestimento). As mangas foram armazenadas sob refrigeração ($12,1 \pm 0,2^{\circ}\text{C}$ e $88,9 \pm 2,8\%$ de UR) por 21 dias seguido de 9 dias em temperatura ambiente ($23,3 \pm 0,2^{\circ}\text{C}$ e $88,6 \pm 2,7\%$ de UR). As quatro fontes apresentaram potencial para extração de amido devido ao teor de amido total e de amilose. Os filmes desenvolvidos apresentaram características físicas, ópticas e mecânicas comparáveis com os comerciais. O aumento na concentração de amido influenciou diretamente a espessura, permeabilidade ao vapor da água, tensão na ruptura e força de perfuração. A aplicação dos revestimentos testados resultou em: diminuição da perda de massa, manutenção da coloração verde por mais tempo, retardo da perda de firmeza da polpa, retardo no aumento do teor de pectinas solúveis e de β -caroteno, retardo na diminuição dos teores de clorofilas *a* e *b* e na ação da enzima α -amilase na manga. Os revestimentos a partir de amido da amêndoa de manga e da semente de jaca, de quitosana e de cera de carnaúba destacaram-se por esses efeitos.

Palavras-Chave: amilose; β -caroteno; firmeza; α -amilase; vida útil.

ABSTRACT

Rodrigues, A. A. M. **COATINGS AND BIODEGRADABLE FILMS FROM DIFFERENT STARCH SOURCES: CHARACTERIZATION AND POSTHARVEST APPLICATION ON MANGO FRUIT.** Areia, Paraíba, Agricultural Sciences Center, Federal University of Paraíba (UFPB), Feb 2019, Thesis (Doctorate in Agronomy). Post graduation Program in Agronomy. Adviser: Maria Auxiliadora Coêlho de Lima.

The use of biodegradable natural polymers for post-harvest food preservation is a trend consistent with society's commitments to sustainability. Among natural polymers, starch has been gaining prominence due to its great worldwide availability, high extraction yield, nutritional value, low cost, biodegradability and biocompatibility. Yam, cassava, jackfruit and mango seeds kernel have potential for starch extraction and use in the food industry or for the formulation of biodegradable coatings. Mango, a climacteric fruit, has quick ripening, requiring post-harvest technologies to increase its shelf life. The objective of this study was to characterize the physical, chemical and optical properties of mango seed kernel, jackfruit seeds, yam and cassava starches in the production of biodegradable films and coatings as well as determine the potential for application in post-harvest mango conservation. The experiments were carried out at the Embrapa Semiárido, Post-Harvest Physiology Laboratory. Four starch sources were used: jackfruit seed, mango seed kernel, yam and cassava. Starch characterizations were carried out regarding their chemical, physical and optical potential. The starches were used as coatings on the 'Palmer' mango fruit at the concentrations of 3% (cassava starch) and 3.5% (yam starch, jackfruit seed and mango seed kernel). These starches were also used for the development of biodegradable films, being prepared from three concentrations (2, 3 and 3.5%) for each of the sources. These films were submitted to physical, optical and mechanical evaluations. From these experiments, the jackfruit seed and mango seed kernel starches were selected for use as 'Tommy Atkins' mango fruit coating. The experiment was conducted in a completely randomized design, in a 7 x 6 factorial arrangement, with 7 coatings and 6 storage times. The following coatings were used mango seed kernel starch; mango seed kernel starch + chitosan; jackfruit seed starch; jackfruit seed starch + chitosan; chitosan; carnauba wax and control (uncoated). Mangos were stored under refrigeration (12.1 ± 0.2 °C and $88.9 \pm 2.8\%$ RH) for 21 days followed by 9 days at room temperature (23.3 ± 0.2 °C and $88,6 \pm 2.7\%$ RH). The four sources presented potential for starch extraction due to total starch and amylose content. The films developed presented physical, optical and mechanical characteristics comparable to commercial ones. The increase in starch concentration directly influenced the thickness, water vapor permeability, rupture stress and drilling force. The application of the tested coatings resulted in: weight loss reduction, longer green color maintenance, delayed pulp firmness loss, soluble pectin and β -carotene content increase reduction, chlorophyll *a* and *b* decrease reduction and in the α -amylase enzyme action in mango fruit. Coatings from mango seed kernel and jackfruit seeds, chitosan coatings and carnauba wax stood out for these effects.

Key-words: amylose; β -carotene; firmness; α -amylase; shelf life.

LISTA DE FIGURAS

CAPÍTULO 1. REFERENCIAL TEÓRICO

Figura 1. Principais componentes presentes na formação dos revestimentos biodegradáveis.....	11
---	----

CAPÍTULO 2. CARACTERIZAÇÃO DO AMIDO DE DIFERENTES FONTES NÃO TRADICIONAIS E APLICAÇÃO COMO REVESTIMENTO EM MANGA ‘PALMER’

Figura 1. Microfotografia dos grânulos de amido de mandioca (A), semente de jaca (B), amêndoa de manga (C) e inhame (D) na ampliação de 400x.....	38
Figura 2. Solubilidade (A) e poder de inchamento (B) dos amidos de inhame, semente de jaca, mandioca e amêndoa de manga em diferentes temperaturas.	39
Figura 3. Sinerese (%) dos amidos extraídos de inhame, semente de jaca, mandioca e amêndoa de manga em ciclos de congelamento e descongelamento.	42
Figura 4. Perda de massa fresca (A) e luminosidade (B) da casca na área verde de manga ‘Palmer’ sob revestimentos à base de amido de inhame; amido de semente de jaca; amido de mandioca; amido de amêndoa de manga e testemunha (Test), durante o armazenamento a $24,4 \pm 0,3^{\circ}\text{C}$ e $87,4 \pm 2,4\%$ de UR.....	43
Figura 5. Croma (A) e ângulo de cor - °H (B) da casca na área verde de manga ‘Palmer’ sob revestimentos à base de amido de inhame; amido de semente de jaca; amido de mandioca; amido de amêndoa de manga e testemunha (Test), durante o armazenamento a $24,4 \pm 0,3^{\circ}\text{C}$ e $87,4 \pm 2,4\%$ de UR.....	45
Figura 6. Taxa respiratória de manga ‘Palmer’ durante o armazenamento a $24,4 \pm 0,3^{\circ}\text{C}$ e $87,4 \pm 2,4\%$ de UR, sob revestimentos à base de amido de inhame; amido de semente de jaca ; amido de mandioca ; amido de amêndoa de manga e testemunha (Test).....	46

CAPÍTULO 3. PROPRIEDADES E CARACTERIZAÇÃO DE FILMES BIODEGRADÁVEIS OBTIDOS A PARTIR DE DIFERENTES FONTES DE AMIDO

Figura 1. Autovetores reunidos em três grupos referentes às variáveis analisadas em filmes biodegradáveis à base de amido de mandioca, semente de jaca, amêndoa de manga e inhame..... 63

CAPITULO 4. QUALIDADE E CONSERVAÇÃO PÓS-COLHEITA DE MANGA ‘TOMMY ATKINS’ SOB REVESTIMENTOS BIODEGRADÁVEIS À BASE DE AMIDOS DE SEMENTE DE JACA E AMÊNDOA DE MANGA

Figura 1. Perda de massa de mangas ‘Tommy Atkins’ durante o armazenamento por 21 dias sob refrigeração ($12,1 \pm 0,2^{\circ}\text{C}$ e $89 \pm 3\%$ de UR) seguido de 9 dias em temperatura ambiente ($23,3 \pm 0,2^{\circ}\text{C}$ e $89 \pm 3\%$ de UR) – A – e sob influência apenas dos revestimentos à base de amido de amêndoa de manga (AAM); amido de amêndoa de manga + quitosana (AAM+Q); amido de semente de jaca (ASJ); amido de semente de jaca + quitosana (ASJ+Q); quitosana (Q); cera de carnaúba (Cera) e controle - B..... 80

Figura 2. Taxa respiratória de mangas ‘Tommy Atkins’ sob influência apenas do tempo de armazenamento por 21 dias sob refrigeração ($12,1 \pm 0,2^{\circ}\text{C}$ e $89 \pm 3\%$ de UR) seguido de 9 dias em temperatura ambiente ($23,3 \pm 0,2^{\circ}\text{C}$ e $89 \pm 3\%$ de UR) - A - e sob revestimentos à base de amido de amêndoa de manga (AAM); amido de amêndoa de manga + quitosana (AAM+Q); amido de semente de jaca (ASJ); amido de semente de jaca + quitosana (ASJ+Q); quitosana (Q); cera de carnaúba (Cera) e controle, durante o armazenamento por 21 dias sob refrigeração ($12,1 \pm 0,2^{\circ}\text{C}$ e $89 \pm 3\%$ de UR) seguido de 9 dias em temperatura ambiente ($23,3 \pm 0,2^{\circ}\text{C}$ e $89 \pm 3\%$ de UR) - B..... 78

Figura 3. Aparência de mangas ‘Tommy Atkins’ sob revestimentos à base de amido de amêndoa de manga (AAM); amido de amêndoa de manga + quitosana (AAM+Q); amido de semente de jaca (ASJ); amido de semente de jaca + quitosana (ASJ+Q); quitosana (Q); cera de carnaúba (Cera) e Controle, durante o armazenamento por 21 dias sob refrigeração ($12,1 \pm 0,2^{\circ}\text{C}$ e $89 \pm 3\%$ de UR) seguido de 9 dias em temperatura ambiente ($23,3 \pm 0,2^{\circ}\text{C}$ e $89 \pm 3\%$ de UR)..... 83

Figura 4. Danos às lenticelas de mangas ‘Tommy Atkins’ sob revestimentos à base de amido de amêndoa de manga (AAM); amido de amêndoa de manga + quitosana

(AAM+Q); amido de semente de jaca (ASJ); amido de semente de jaca + quitosana (ASJ+Q); quitosana (Q); Cera de carnaúba (Cera) e Controle, durante o armazenamento por 21 dias sob refrigeração ($12,1 \pm 0,2^{\circ}\text{C}$ e $89 \pm 3\%$ de UR) seguido de 9 dias em temperatura ambiente ($23,3 \pm 0,2^{\circ}\text{C}$ e $89 \pm 3\%$ de UR)..... 84

Figura 5. Luminosidade da casca (na área verde) de mangas ‘Tommy Atkins’ durante o armazenamento por 21 dias sob refrigeração ($12,1 \pm 0,2^{\circ}\text{C}$ e $89 \pm 3\%$ de UR) seguido de 9 dias em temperatura ambiente ($23,3 \pm 0,2^{\circ}\text{C}$ e $89 \pm 3\%$ de UR) – A – e sob influência apenas dos revestimentos à base de amido de amêndoa de manga (AAM); amido de amêndoa de manga + quitosana (AAM+Q); amido de semente de jaca (ASJ); amido de semente de jaca + quitosana (ASJ+Q); quitosana (Q); cera de carnaúba (Cera) e controle - B. 85

Figura 6. Cromo da casca (na área verde) de mangas ‘Tommy Atkins’ durante o armazenamento por 21 dias sob refrigeração ($12,1 \pm 0,2^{\circ}\text{C}$ e $89 \pm 3\%$ de UR) seguido de 9 dias em temperatura ambiente ($23,3 \pm 0,2^{\circ}\text{C}$ e $89 \pm 3\%$ de UR) – A – e sob influência apenas dos revestimentos à base de amido de amêndoa de manga (AAM); amido de amêndoa de manga + quitosana (AAM+Q); amido de semente de jaca (ASJ); amido de semente de jaca + quitosana (ASJ+Q); quitosana (Q); cera de carnaúba (Cera) e controle - B. 86

Figura 7. Ângulo de cor ($^{\circ}\text{H}$) da casca de mangas ‘Tommy Atkins’ sob revestimentos à base de amido de amêndoa de manga (AAM); amido de amêndoa de manga + quitosana (AAM+Q); amido de semente de jaca (ASJ); amido de semente de jaca + quitosana (ASJ+Q); quitosana (Q); cera de carnaúba (Cera) e controle, durante o armazenamento por 21 dias sob refrigeração ($12,1 \pm 0,2^{\circ}\text{C}$ e $89 \pm 3\%$ de UR) seguido de 9 dias em temperatura ambiente ($23,3 \pm 0,2^{\circ}\text{C}$ e $89 \pm 3\%$ de UR)..... 87

Figura 8. Mangas ‘Tommy Atkins’ sob revestimentos à base de amido de amêndoa de manga (AAM); amido de amêndoa de manga + quitosana (AAM+Q); amido de semente de jaca (ASJ); amido de semente de jaca + quitosana (ASJ+Q); quitosana (Q); cera de carnaúba (Cera) e controle, durante o armazenamento por 21 dias sob refrigeração ($12,1 \pm 0,2^{\circ}\text{C}$ e $89 \pm 3\%$ de UR) seguido de 9 dias em temperatura ambiente ($23,3 \pm 0,2^{\circ}\text{C}$ e $89 \pm 3\%$ de UR)..... 88

Figura 9. Luminosidade da polpa de mangas ‘Tommy Atkins’ sob revestimentos à base de amido de amêndoa de manga (AAM); amido de amêndoa de manga + quitosana (AAM+Q); amido de semente de jaca (ASJ); amido de semente de jaca + quitosana (ASJ+Q); quitosana (Q); cera de carnaúba (Cera) e controle, durante o armazenamento

por 21 dias sob refrigeração ($12,1 \pm 0,2^{\circ}\text{C}$ e $89 \pm 3\%$ de UR) seguido de 9 dias em temperatura ambiente ($23,3 \pm 0,2^{\circ}\text{C}$ e $89 \pm 3\%$ de UR)..... 89

Figura 10. Cromo da polpa de mangas ‘Tommy Atkins’ durante o armazenamento por 21 dias sob refrigeração ($12,1 \pm 0,2^{\circ}\text{C}$ e $89 \pm 3\%$ de UR) seguido de 9 dias em temperatura ambiente ($23,3 \pm 0,2^{\circ}\text{C}$ e $89 \pm 3\%$ de UR)..... 90

Figura 11. Ângulo de cor ($^{\circ}\text{H}$) da polpa de mangas ‘Tommy Atkins’ durante o armazenamento por 21 dias sob refrigeração ($12,1 \pm 0,2^{\circ}\text{C}$ e $89 \pm 3\%$ de UR) seguido de 9 dias em temperatura ambiente ($23,3 \pm 0,2^{\circ}\text{C}$ e $89 \pm 3\%$ de UR) – A – e sob influência apenas dos revestimentos à base de amido de amêndoa de manga (AAM); amido de amêndoa de manga + quitosana (AAM+Q); amido de semente de jaca (ASJ); amido de semente de jaca + quitosana (ASJ+Q); quitosana (Q); cera de carnaúba (Cera) e controle - B. 91

Figura 12. Mangas ‘Tommy Atkins’ sob revestimentos à base de amido de amêndoa de manga (AAM); amido de amêndoa de manga + quitosana (AAM+Q); amido de semente de jaca (ASJ); amido de semente de jaca + quitosana (ASJ+Q); quitosana (Q); cera de carnaúba (Cera) e controle, durante o armazenamento por 21 dias sob refrigeração ($12,1 \pm 0,2^{\circ}\text{C}$ e $89 \pm 3\%$ de UR) seguido de 9 dias em temperatura ambiente ($23,3 \pm 0,2^{\circ}\text{C}$ e $89 \pm 3\%$ de UR)..... 89

Figura 13. Teor de clorofila *a* de mangas ‘Tommy Atkins’ durante o armazenamento por 21 dias sob refrigeração ($12,1 \pm 0,2^{\circ}\text{C}$ e $89 \pm 3\%$ de UR) seguido de 9 dias em temperatura ambiente ($23,3 \pm 0,2^{\circ}\text{C}$ e $89 \pm 3\%$ de UR) – A – e sob influência apenas dos revestimentos à base de amido de amêndoa de manga (AAM); amido de amêndoa de manga + quitosana (AAM+Q); amido de semente de jaca (ASJ); amido de semente de jaca + quitosana (ASJ+Q); quitosana (Q); cera de carnaúba (Cera) e controle - B... 93

Figura 14. Teor de clorofila *b* de mangas ‘Tommy Atkins’ durante o armazenamento por 21 dias sob refrigeração ($12,1 \pm 0,2^{\circ}\text{C}$ e $89 \pm 3\%$ de UR) seguido de 9 dias em temperatura ambiente ($23,3 \pm 0,2^{\circ}\text{C}$ e $89 \pm 3\%$ de UR) – A – e sob influência de revestimentos à base de amido de amêndoa de manga (AAM); amido de amêndoa de manga + quitosana (AAM+Q); amido de semente de jaca (ASJ); amido de semente de jaca + quitosana (ASJ+Q); quitosana (Q); cera de carnaúba (Cera) e controle - B..... 94

Figura 15. Teor de β -caroteno da polpa de mangas ‘Tommy Atkins’ sob revestimentos à base de amido de amêndoa de manga (AAM); amido de amêndoa de manga + quitosana (AAM+Q); amido de semente de jaca (ASJ); amido de semente de jaca + quitosana (ASJ+Q); quitosana (Q); cera de carnaúba (Cera) e controle, durante o

armazenamento por 21 dias sob refrigeração ($12,1 \pm 0,2^{\circ}\text{C}$ e $89 \pm 3\%$ de UR) seguido de 9 dias em temperatura ambiente ($23,3 \pm 0,2^{\circ}\text{C}$ e $89 \pm 3\%$ de UR)..... 95

Figura 16. Teor de sólidos solúveis (A) e acidez titulável (B) de mangas ‘Tommy Atkins’ durante o armazenamento por 21 dias sob refrigeração ($12,1 \pm 0,2^{\circ}\text{C}$ e $89 \pm 3\%$ de UR) seguido de 9 dias em temperatura ambiente ($23,3 \pm 0,2^{\circ}\text{C}$ e $89 \pm 3\%$ de UR). 96

Figura 17. Relação SS/AT de mangas ‘Tommy Atkins’ durante o armazenamento por 21 dias sob refrigeração ($12,1 \pm 0,2^{\circ}\text{C}$ e $89 \pm 3\%$ de UR) seguido de 9 dias em temperatura ambiente ($23,3 \pm 0,2^{\circ}\text{C}$ e $89 \pm 3\%$ de UR) – A – e sob influência de revestimentos à base de amido de amêndoa de manga (AAM); amido de amêndoa de manga + quitosana (AAM+Q); amido de semente de jaca (ASJ); amido de semente de jaca + quitosana (ASJ+Q); quitosana (Q); cera de carnaúba (Cera) e controle - B..... 98

Figura 18. Teor de ácido ascórbico de mangas ‘Tommy Atkins’ durante o armazenamento por 21 dias sob refrigeração ($12,1 \pm 0,2^{\circ}\text{C}$ e $89 \pm 3\%$ de UR) seguido de 9 dias em temperatura ambiente ($23,3 \pm 0,2^{\circ}\text{C}$ e $89 \pm 3\%$ de UR) – A – e sob a influência de revestimentos à base de amido de amêndoa de manga (AAM); amido de amêndoa de manga + quitosana (AAM+Q); amido de semente de jaca (ASJ); amido de semente de jaca + quitosana (ASJ+Q); quitosana (Q); cera de carnaúba (Cera) e controle - B. 99

Figura 19. Firmeza da polpa de mangas ‘Tommy Atkins’ sob revestimentos à base de amido de amêndoa de manga (AAM); amido de amêndoa de manga + quitosana (AAM+Q); amido de semente de jaca (ASJ); amido de semente de jaca + quitosana (ASJ+Q); quitosana (Q); cera de carnaúba (Cera) e controle, durante o armazenamento por 21 dias sob refrigeração ($12,1 \pm 0,2^{\circ}\text{C}$ e $89 \pm 3\%$ de UR) seguido de 9 dias em temperatura ambiente ($23,3 \pm 0,2^{\circ}\text{C}$ e $89 \pm 3\%$ de UR)..... 100

Figura 20. Teor de pectina solúvel de mangas ‘Tommy Atkins’ sob revestimentos à base de amido de amêndoa de manga (AAM); amido de amêndoa de manga + quitosana (AAM+Q); amido de semente de jaca (ASJ); amido de semente de jaca + quitosana (ASJ+Q); quitosana (Q); cera de carnaúba (Cera) e controle, durante o armazenamento por 21 dias sob refrigeração ($12,1 \pm 0,2^{\circ}\text{C}$ e $89 \pm 3\%$ de UR) seguido de 9 dias em temperatura ambiente ($23,3 \pm 0,2^{\circ}\text{C}$ e $89 \pm 3\%$ de UR)..... 98

Figura 21. Amido de mangas ‘Tommy Atkins’ sob revestimentos à base de amido de amêndoa de manga (AAM); amido de amêndoa de manga + quitosana (AAM+Q); amido de semente de jaca (ASJ); amido de semente de jaca + quitosana (ASJ+Q); quitosana (Q); cera de carnaúba (Cera) e controle, durante o armazenamento por 21 dias

sob refrigeração ($12,1 \pm 0,2^{\circ}\text{C}$ e $89 \pm 3\%$ de UR) seguido de 9 dias em temperatura ambiente ($23,3 \pm 0,2^{\circ}\text{C}$ e $89 \pm 3\%$ de UR)..... 99

Figura 22. Atividade da enzima α -amilase de mangas ‘Tommy Atkins’ sob revestimentos à base de amido de amêndoa de manga (AAM); amido de amêndoa de manga + quitosana (AAM+Q); amido de semente de jaca (ASJ); amido de semente de jaca + quitosana (ASJ+Q); quitosana (Q); cera de carnaúba (Cera) e controle, durante o armazenamento por 21 dias sob refrigeração ($12,1 \pm 0,2^{\circ}\text{C}$ e $89 \pm 3\%$ de UR) seguido de 9 dias em temperatura ambiente ($23,3 \pm 0,2^{\circ}\text{C}$ e $89 \pm 3\%$ de UR)..... 104

Figura 23. Teor de polifenóis extraíveis totais de mangas ‘Tommy Atkins’ sob revestimentos à base de amido de amêndoa de manga (AAM); amido de amêndoa de manga + quitosana (AAM+Q); amido de semente de jaca (ASJ); amido de semente de jaca + quitosana (ASJ+Q); quitosana (Q); cera de carnaúba (Cera) e controle, durante o armazenamento por 21 dias sob refrigeração ($12,1 \pm 0,2^{\circ}\text{C}$ e $89 \pm 3\%$ de UR) seguido de 9 dias em temperatura ambiente ($23,3 \pm 0,2^{\circ}\text{C}$ e $89 \pm 3\%$ de UR)..... 105

Figura 24. Atividade antioxidante total, método ABTS, de mangas ‘Tommy Atkins’ sob revestimentos à base de amido de amêndoa de manga (AAM); amido de amêndoa de manga + quitosana (AAM+Q); amido de semente de jaca (ASJ); amido de semente de jaca + quitosana (ASJ+Q); quitosana (Q); cera de carnaúba (Cera) e controle, durante o armazenamento por 21 dias sob refrigeração ($12,1 \pm 0,2^{\circ}\text{C}$ e $89 \pm 3\%$ de UR) seguido de 9 dias em temperatura ambiente ($23,3 \pm 0,2^{\circ}\text{C}$ e $89 \pm 3\%$ de UR)..... 106

LISTA DE TABELAS

CAPÍTULO 1. REFERENCIAL TEÓRICO

Tabela 1. Efeitos de diferentes revestimentos biodegradáveis em frutas tratadas nas condições fatiada ou íntrega	18
---	----

CAPÍTULO 2. CARACTERIZAÇÃO DO AMIDO DE DIFERENTES FONTES NÃO TRADICIONAIS E APLICAÇÃO COMO REVESTIMENTO EM MANGA ‘PALMER’

Tabela 1. Composição química dos amidos de mandioca, semente de jaca, amêndoa de manga e inhame.....	39
---	----

Tabela 2. Caracterização óptica dos amidos de mandioca, semente de jaca, amêndoa de manga e inhame.....	40
--	----

CAPÍTULO 3. PROPRIEDADES E CARACTERIZAÇÃO DE FILMES BIODEGRADÁVEIS OBTIDOS A PARTIR DE DIFERENTES FONTES DE AMIDO

Tabela 1. Espessura, solubilidade em água e permeabilidade ao vapor da água (PVA) de filmes à base de amidos de mandioca (AM), semente de jaca (ASJ), amêndoa de manga (AAM) e inhame (AI), em diferentes concentrações.....	57
---	----

Tabela 2. Características ópticas e transparência de filmes à base de amidos de mandioca (AM), semente de jaca (ASJ), amêndoa de manga (AAM) e inhame (AI)....	59
---	----

Tabela 3. Propriedades mecânicas de tensão na ruptura (TR), elasticidade (E) e força de perfuração (FP) de filmes à base de amidos de mandioca (AM), semente de jaca (ASJ), amêndoa de manga (AAM) e inhame (AI).....	60
--	----

Tabela 4. Autovetores de dois componentes principais (CP1, CP2) das variáveis analisadas em filmes biodegradáveis à base de amido de mandioca, semente de jaca, amêndoa de manga e inhame.....	62
---	----

CAPITULO 4. QUALIDADE E CONSERVAÇÃO PÓS-COLHEITA DE MANGA 'TOMMY ATKINS' SOB REVESTIMENTOS BIODEGRADÁVEIS A BASE DE AMIDOS DE SEMENTE DE JACA E AMÊNDOA DE MANGA

Tabela 1. Caracterização da maturidade e qualidade das mangas 'Tommy Atkins' por ocasião da colheita, em estágio de maturação 2. 78

SUMÁRIO

INTRODUÇÃO GERAL	1
OBJETIVOS	4
Objetivo geral	4
Objetivos específicos.....	4
CAPÍTULO 1. REFERENCIAL TEÓRICO	5
1. Importância econômica da manga	5
2. Principais cultivares.....	6
3. Qualidade.....	7
4. Conservação pós colheita	8
5. Revestimentos e filmes biodegradáveis.....	9
5.1 Quitosana.....	11
5.2 Amido.....	12
5.3 Lipídios.....	14
5.4 Outras fontes	14
5.5 Aditivos aos revestimentos.....	15
6. Benefícios da aplicação de revestimentos na pós-colheita.....	16
7. REFERÊNCIAS	20
CAPÍTULO 2. CARACTERIZAÇÃO DO AMIDO DE DIFERENTES FONTES NÃO TRADICIONAIS E APLICAÇÃO COMO REVESTIMENTO EM MANGA ‘PALMER’	30
ABSTRACT.....	31
RESUMO.....	32
INTRODUÇÃO	33
MATERIAL E MÉTODOS	34
RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	37
Características físicas, ópticas e químicas de amidos extraídos de diferentes fontes	37
Potencial para aplicação de revestimentos a partir de fontes não tradicionais de amido em manga ‘Palmer’	42
CONCLUSÕES	47
REFERÊNCIAS.....	48

CAPÍTULO 3. PROPRIEDADES E CARACTERIZAÇÃO DE FILMES BIODEGRADÁVEIS OBTIDOS A PARTIR DE DIFERENTES FONTES DE AMIDO	51
RESUMO.....	51
ABSTRACT.....	52
INTRODUÇÃO	52
MATERIAL E MÉTODOS	54
RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	56
CONCLUSÕES	63
REFERÊNCIAS.....	64
CAPITULO 4. QUALIDADE E CONSERVAÇÃO PÓS-COLHEITA DE MANGA ‘TOMMY ATKINS’ SOB REVESTIMENTOS BIODEGRADÁVEIS À BASE DE AMIDOS DE SEMENTE DE JACA E AMÊNDOA DE MANGA	68
RESUMO.....	68
ABSTRACT.....	69
1. INTRODUÇÃO.....	70
2. MATERIAL E MÉTODOS.....	72
2.1 Condução do experimento.....	72
2.2 Avaliações	73
2.3 Análise estatística.....	77
3. RESULTADOS E DISCUSSÃO	78
4. CONCLUSÕES	107
5. REFERÊNCIAS	108
CONSIDERAÇÕES FINAIS	114

INTRODUÇÃO GERAL

A manga é uma das mais importantes frutas de todo o mundo em termos de produção, de consumo (aroma e sabor) e valor nutricional. No final da década de 90, a área plantada era de aproximadamente 3 milhões de hectares, com uma produção de mais de 20 milhões de toneladas. No ano de 2017, a área plantada chegou a aproximadamente 5,5 milhões de hectares, com uma produção de mais de 50 milhões de toneladas em todo o mundo. Este desempenho indica que a produção de manga e o comércio internacional estão se expandindo gradualmente (FAO, 2019; SINGH et al., 2013). Entre as milhares de cultivares de manga produzidas em todo o mundo, as dominantes são Tommy Atkins, Palmer, Haden, Ataulfo, Kent, Keitt e Alphonso (LAWSON et al., 2019).

Um dos fatores que dificultam a expansão da manga a novos mercados é o seu curto período de vida útil. Por ser uma fruta climatérica, a manga é altamente perecível, o que repercute em suscetibilidade a perdas pós-colheita, sejam de natureza quantitativa ou qualitativa, durante a comercialização. Diversas são as tecnologias pós-colheita existentes, mas muitas são caras e não são acessíveis ou adaptáveis (MAHAJAN et al., 2014). Dessa forma, faz-se necessário o desenvolvimento de novas tecnologias que sejam de baixo custo de implantação e atendam ao apelo por alimentos saudáveis que não causem nenhum efeito deletério à saúde humana.

Entre as novas tecnologias, o uso de filmes e revestimentos biodegradáveis atende aos dois quesitos mencionados pois são majoritariamente atóxicos e seguros, de natureza não poluente, de aplicação simples e baixo custo de obtenção das matérias-primas e processamento, além dos efeitos benéficos, como bons atributos sensoriais, elevado poder de barreira, boas propriedades mecânicas e estabilidade microbiana (BALDWIN et al., 2011; ESPITIA et al., 2014). Os principais agentes formadores são polissacarídeos, proteínas e lipídeos. Destes, diversos são os que podem ser utilizados com revestimentos ou filmes. Entre os polissacarídeos, citam-se: amido, quitosana, alginato, pectinas e os derivados de celulose. As proteínas que podem ser utilizadas como filmes ou revestimentos são soro de leite, caseína, ceratina, gelatina, zeína do milho, entre outras. Entre os lipídeos, as ceras, triglicerídeos, monoglicerídeos, ácidos graxos livres e resina de goma-laca são os mais utilizados. Entre os componentes mais

utilizados para a formação de revestimentos, podem ser destacados a cera de carnaúba, a quitosana e o amido (BALDWIN et al., 2011).

A cera de carnaúba é muito utilizada para revestimento em frutas desde 1950. Sua utilização com esta finalidade é na forma de emulsão diluída em água. O uso dessa cera é interessante quando se pretende ter uma barreira à perda de água (ASSIS, 2009; DANG et al., 2008).

A quitosana é um polissacarídeo natural catiônico, derivado da quitina, que é o principal componente das cascas de camarão, caranguejo e insetos. É insolúvel em água e o segundo polímero natural mais abundante. Sua obtenção é por meio da desacetilação da quitina. Nos revestimentos, tem mostrado, como efeito adicional, um alto caráter antimicrobiano (BALDWIN et al., 2011; HOSSEINNEJADA, JAFARI, 2016).

O amido é a principal fonte de reserva da maioria das plantas. Seu grânulo é composto principalmente por amilose e amilopectina, sua composição química varia de acordo com a origem botânica, mas, de maneira geral, os amidos nativos apresentam entre 18 a 30% de amilose, 70% a 82% de amilopectina. Maiores teores de amilose melhoram a característica na formação de filmes e revestimentos devido ao aumento no número das ligações de hidrogênio entre as cadeias de amido (CABALLERO et al., 2015).

Na manga, diversos efeitos benéficos já foram reportados com o uso de revestimentos. Azeredo et al. (2016), combinando amido de mandioca com quitosana em manga ‘Tommy Atkins’, relataram o retardo no amadurecimento e a manutenção da coloração, dos teores de sólidos solúveis e da acidez titulável. Eshetu et al. (2019), aplicando quitosana em manga ‘Tommy Atkins’, observaram diminuição na perda de massa, retardo na diminuição da firmeza e aumento no tempo de vida útil. Vieira et al. (2009), aplicando amido de mandioca em manga ‘Tommy Aktins’, destacaram retardo na perda de massa e nas mudanças na coloração da casca. Jongsri et al. (2017) citaram que a aplicação de revestimento com quitosana, em mangas ‘Nam Dok Mai’, prolongou a vida útil, atrasou a diminuição da firmeza e inibiu a ocorrência de antracnose. Dang et al. (2008), aplicando cera de carnaúba em manga ‘Kensigton Pride’, mencionaram efeitos na redução da taxa respiratória e da perda de firmeza.

Apesar dos efeitos benéficos reportados nos trabalhos, o uso de revestimento na manga ainda não é suficiente para atender todos os problemas de pós-colheita encontrados. Existem outras fontes amiláceas com enorme potencial para utilização e que podem ampliar o número de eventos do amadurecimento que são limitados pelo uso

de revestimentos, preservando a qualidade por mais tempo. Alguns exemplos são os amidos da semente da jaca e da amêndoa da manga, para os quais são escassos os estudos da utilização como revestimentos em frutos.

O potencial da semente da jaca se deve aos seus altos teores de amido 92-94 g.100 g⁻¹ (MADRUGA et al., 2014) e amilose 32,14 g.100 g⁻¹ (RENGSUTTHI e CHAROENREIN, 2011). Esse potencial do amido de semente de jaca foi comprovado por Rodrigues et al. (2018), em goiaba ‘Paluma’, combinando-o a quitosana. Os resultados observados incluíram o retardo no amadurecimento dos frutos, manutenção da firmeza e da coloração, com intenção de compra e aparência superiores ao limite de aceitação por mais 6 dias, após a transferência para a condição ambiente.

A semente da manga geralmente é subproduto da indústria de processamento de frutas. Apesar do restrito uso, as amêndoas de manga têm um enorme potencial para extração de amido devido aos altos teores de amido e amilose, além de ter importantes propriedades antioxidantes (TORRES et al., 2016; TORRES-LEÓN et al., 2018).

Dessa forma, tem se buscado gerar novas tecnologias que mantenham a qualidade do produto de forma que os consumidores tenham acesso a produtos frescos e que sejam sustentáveis. Nesse sentido, os filmes e os revestimentos biodegradáveis produzidos a partir de matéria prima de baixo custo mostram-se como alternativa para o aumento da vida útil pós-colheita de frutos.

OBJETIVOS

Objetivo geral

- Caracterizar as propriedades físicas, químicas e ópticas dos amidos de amêndoa de manga, semente de jaca, inhame e mandioca na produção de filmes e revestimentos biodegradáveis bem como determinar o potencial para aplicação na conservação pós-colheita de manga.

Objetivos específicos

- Determinar as características físicas, químicas e ópticas dos amidos de amêndoa de manga, semente de jaca, inhame e mandioca;
- Determinar o potencial do amido de fontes amiláceas não tradicionais como revestimento biodegradável em manga ‘Palmer’;
- Desenvolver filmes biodegradáveis de fontes amiláceas não tradicionais em diferentes concentrações de amido;
- Determinar o potencial do amido de semente jaca e amêndoa de manga como revestimento biodegradável para a manga ‘Tommy Atkins’ e sua influência nos atributos de qualidade, nos compostos bioativos e na atividade antioxidante dos frutos revestidos.

CAPÍTULO 1. REFERENCIAL TEÓRICO

1. Importância econômica da manga

A manga tem sido cultivada há mais de 4000 anos e se destaca como uma das frutas mais populares e mais comercializadas no mundo, apresentando elevada aceitação pelos consumidores (ABBASI et al., 2015). É consumida tanto como fruta fresca, como processada, na forma de sucos, néctar, em conserva, frutas secas, em pasta e farinha (LIU et al., 2013; NAMBI et al., 2015).

A manga é produzida em mais de 90 países. No ano de 2017, o Brasil foi o sétimo maior produtor o quarto maior exportador do mundo, com uma produção de 1.087.091 toneladas e com uma área plantada de 64.463 hectares, gerando uma receita de R\$ 984.294.000. As regiões de destaque dessa cultura são Nordeste e Sudeste, com a produção respectiva de 812.275 e 260.543 toneladas (FAO, 2019; IBGE, 2019).

A Bahia é o maior produtor brasileiro, com 438.603 toneladas, seguida por Pernambuco e São Paulo, com produções de 239.559 e 176.127 toneladas, respectivamente. A região do Submédio do Vale do São Francisco foi responsável por 566.235 toneladas dessa produção, gerando uma receita total de R\$ 543.058.000 (IBGE, 2019).

A manga é a principal fruta do Brasil no quesito exportação. Em 2017, houve um aumento considerável das exportações em relação aos anos anteriores, tanto em volume, com cerca de 179 mil toneladas, quanto em receita, de mais de US\$ 205 milhões. Nesse ano, o crescimento em relação ao anterior foi de 16,5% em massa e de 14,0% em valor. Os maiores compradores da fruta nacional, no ano de 2017, foram a União Europeia (132.820 toneladas, com receita de US\$ 157,2 milhões) e os Estados Unidos (33.095 toneladas e receita de US\$ 30,6 milhões), além de países como Emirados Árabes, Senegal, Costa Rica, Cabo Verde e Japão (AGRIANUAL, 2019). Um dos fatores que possivelmente contribui com esse cenário e diferencia o Brasil de outras nações produtoras é o fato de o País conseguir produzir o ano inteiro. Desse total de manga exportada, mais de 85% foi proveniente da região do Submédio do Vale do São Francisco. Esses números ainda podem ser aumentados devido a um acordo firmado pelo Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento (MAPA) com mais um país asiático, a Coréia do Sul, que se tornou um novo destino da manga brasileira, e já no final de 2017 receberam 800 toneladas de mangas do Submédio do Vale do São

Francisco. Apesar de ser um mercado mais rigoroso com o controle fitossanitário, esse comércio tem tudo para se expandir, tendo em vista a grande aceitação de manga por toda a Ásia (ANUÁRIO BRASILEIRO DE FRUTICULTURA, 2018; IBGE, 2019).

2. Principais cultivares

A mangueira (*Mangifera indica* L.) é originária da Ásia, tendo como centro de origem o sudeste da Índia e a região Indo-Burma. Os espanhóis, no século XVII, introduziram a cultura na América, encontrando no Brasil ótimas condições edafoclimáticas para o desenvolvimento e a produção. O fruto da mangueira é uma drupa com enorme variação no tamanho, massa, forma (reniforme, ovada, oblonga, arredondada, cordiforme) e na cor (diversas tonalidades de verde, amarelo e vermelho) (SIVAKUMAR et al., 2011; WALL-MEDRANO et al., 2015).

No Brasil, existe uma grande variabilidade de cultivares de mangueira. Das centenas de cultivares de manga existentes no mundo, aproximadamente 100 são cultivadas no Brasil, sendo Boubon, Coité, Coquinho, Coração, Espada, Haden, Itamaracá, Keitt, Kent, Mamão, Palmer, Rosa, Tommy Atkins, Ubá e Van Dyke consideradas as mais importantes (MUKRHERJE; LITZ, 2009; RAMOS et al., 2004). Segundo Oliveira et al. (2010), no Submédio do Vale do São Francisco, as cultivares mais produzidas são Tommy Atkins, Haden, Keitt, Kent, Palmer, Rosa e Espada. Enquanto as cinco primeiras visam principalmente o mercado consumidor internacional, as duas últimas são direcionadas, sobretudo, aos diversos mercados consumidores nacionais. Dessas cultivares, a Tommy Atkins ocupava cerca de 95% dos pomares destinados a essa cultura na região do submédio do Vale do São Francisco, no entanto, na última década, muitas de suas áreas tiveram as copas substituídas pelas cultivares Palmer e Kent, reduzindo assim essa propoção na região (MOUCO; LIMA NETO, 2018).

Apesar dessa supremacia da manga ‘Tommy Atkins’, o crescimento de áreas de plantio das cultivares Palmer e Kent, principalmente, estão associadas às suas características de qualidade, podendo-se destacar a menor quantidade de fibra, frutos maiores, podendo chegar até 900 g, maior teor de sólidos solúveis (SS) e maior relação SS/acidez titulável (AT). Os frutos da manga ‘Palmer’ apresentam tonalidade muito vermelha quando maduros e polpa amarelada enquanto os da ‘Kent’, quando maduros,

têm tom avermelhado de cor e a polpa alaranjada (OLIVEIRA et al., 2010). Na CEAGESP, no ano de 2017, houve um aumento na comercialização da manga ‘Palmer’ que foi responsável por 46% das vendas seguida pela ‘Tommy Atkins’, com 44% (CEAGESP, 2019).

3. Qualidade

A qualidade da manga desempenha papel importante na aceitação dos consumidores, ainda que as suas preferências mudem de acordo com a região de comercialização (SELLAMUTHU et al., 2013). No mercado Europeu, a manga é vendida com bases em classes de qualidade que levam em consideração as características de cor, tamanho e peso, que é de 300 a 450 g. As cultivares Tommy Atkins, Haden e Rosa se enquadram nessa exigência. As mangas exportadas para os EUA devem apresentar coloração vermelha e brilhante, com fibras curtas e peso entre 250 e 600 g. As cultivares Van Dyke, Kent, Palmer, Keitt e Rosa se enquadram nestes critérios (BATISTA et al., 2015; OLIVEIRA et al., 2010).

A aparência da manga é o fator mais importante no sucesso da sua comercialização, sendo os defeitos da casca pouco tolerados (LIMA et al., 2007). Corroborando com Batista et al. (2015), a aparência (frescor, cor, defeitos e deterioração), a textura (firmeza, resistência e integridade do tecido), o flavor, o valor nutricional e a segurança alimentar fazem parte de um conjunto de atributos que definem a qualidade. De maneira geral, a qualidade da manga depende muito das suas propriedades físicas, tais como forma, massa, quantidade de fibras na polpa e cor da casca, bem como das suas propriedades químicas, tais como sólidos solúveis, acidez titulável e açúcares solúveis totais (SHI et al., 2015).

Além disso, a manga é uma fruta com vários compostos bioativos, como o ácido ascórbico, β -caroteno e polifenóis, que contribuem para propriedades antioxidantes e nutricionais (NTSOANE et al., 2019). Em linhas gerais, o conhecimento dessas características se faz necessário para melhor atender as demandas do consumidor, assim como permite a agregação de valor a cultivares que possuam características diferenciadas, principalmente quando é possível atingir mercados mais exigentes. No entanto, por ser uma fruta climatérica, a manga tem curta vida útil e se faz necessário o uso de técnicas como a refrigeração, atmosfera controlada, uso de

inibidores de etileno, a exemplo do 1-metilclicopropano (1-MCP), e revestimentos biodegradáveis para a manutenção da qualidade e o aumento do período de armazenamento.

4. Conservação pós colheita

A adoção de técnicas de conservação pós-colheita de frutas é necessária para aumentar seu período de vida útil. No entanto, as características de cada vegetal devem ser respeitadas, para que não haja danos ao metabolismo e não afete a sua qualidade (PAREEK, 2016). O principal desafio é a utilização e o desenvolvimento de técnicas que possibilitem aumento da vida útil, preservando os compostos nutricionais e mantendo a aceitação dos consumidores. Entre as técnicas utilizadas, temos: tratamento térmico, refrigeração, atmosfera controlada, 1-metilciclopropeno (1-MCP) e revestimentos e filmes biodegradáveis.

Os tratamentos térmicos mais utilizados para a manga são a vapor, ar quente forçado e água quente (ANWAR; MALIK, 2007). Essas técnicas de tratamento têm se mostrado bastante lucrativas para a indústria de manga, resultando em baixos danos aos frutos e maior valor de mercado. Podem ser facilmente adotadas e não gera impacto ambiental (SIVAKUMAR et al., 2011).

O uso de baixas temperaturas tem o objetivo de reduzir o rápido metabolismo das frutas, retardar o amadurecimento e a senescência, reduzir a perda de água, prevenir ou reduzir a atividade de doenças e insetos e, assim, manter a qualidade pós-colheita e aumentar a vida útil (PAREEK, 2016). Diversos estudos têm sido realizados para verificar o efeito de baixas temperaturas na qualidade da manga. Diante disso, o recomendado foi temperaturas de 10 a 15 °C durante 2 a 3 semanas de armazenamento, dependendo da cultivar e maturidade dos frutos (SINGH et al., 2012; SINGH et al., 2013; WATANAWAN et al., 2014). A exposição por um certo período a temperaturas abaixo de 10 °C em algumas cultivares em diferentes estádios de maturidade resulta em dano pelo frio (SINGH et al., 2012).

O armazenamento sob atmosfera modificada vem sendo estudado para diversas cultivares de manga, como Haden, Keitt, Kent, Tommy Atkins e Alphonso, em diferentes concentrações de O₂ e CO₂, variando, respectivamente, de 3-10% e de 5-25%. A partir destas concentrações, tem-se conseguido efeitos bastante significativos em

relação à manutenção da qualidade, atraso no amadurecimento, diminuição de danos pelo frio e aumento da vida útil (NTSOANE et al., 2019; SINGH; ZAHARAH, 2015).

O 1-MCP é usado visando reduzir o processo de amadurecimento, manter a qualidade e estender a vida útil de produtos frescos (PAREEK, 2016; VÁZQUEZ-CELESTINO et al., 2016). Alguns estudos têm relatado resultados bastantes satisfatórios na manga com o uso deste método. Razzaq et al. (2016) observaram, em mangas 'Kensington Pride' tratadas com 1-MCP, diminuição nos picos respiratórios, atraso no desenvolvimento da coloração e supressão da atividade das enzimas da degradação da parede celular. De acordo com Siddiqui (2016), as doses de 1-MCP para manga podem variar de 1 a 100 mL L⁻¹ com o tempo de aplicação variando de 6 a 14 horas, de acordo com a cultivar trabalhada.

5. Revestimentos e filmes biodegradáveis

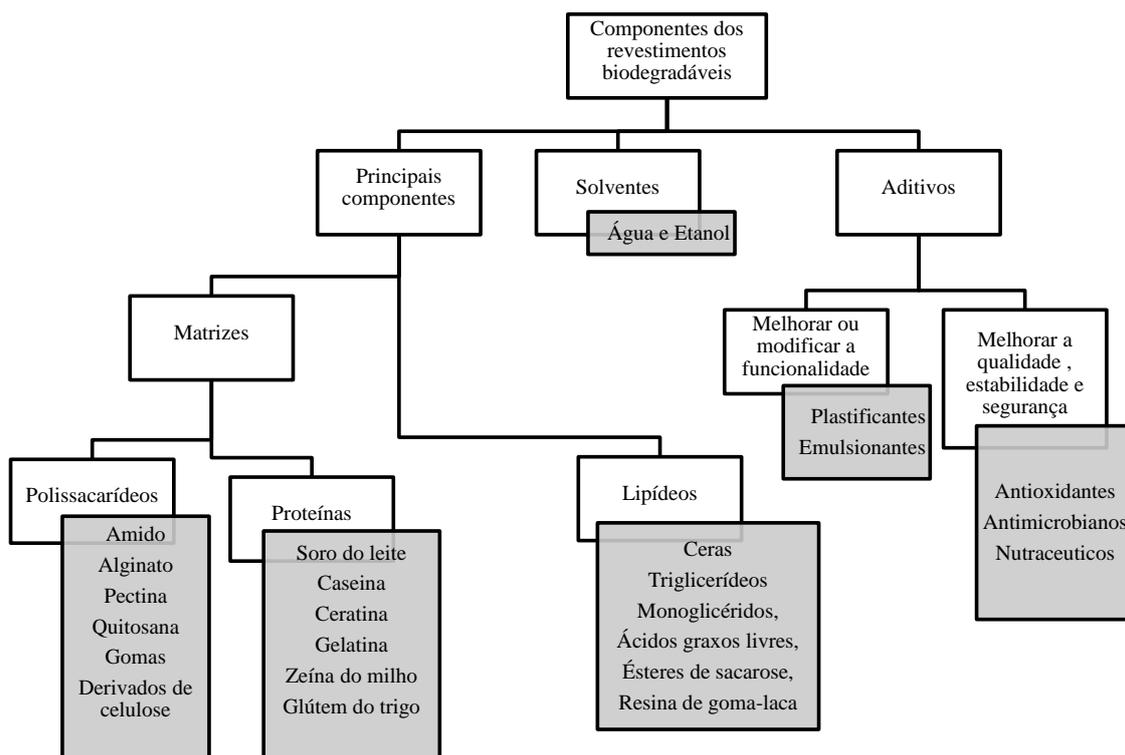
Os revestimentos e filmes biodegradáveis adquiriram grande interesse nos últimos anos devido aos benefícios sobre os frutos e aos resultados promissores na conservação (GALUS; KADZINSKA, 2015). A motivação para o aumento de interesse e atividade de pesquisa em filmes e revestimentos biodegradáveis está associada à crescente necessidade do consumidor por alimentos saudáveis e estáveis e também à conscientização em relação aos efeitos ambientais nocivos dos resíduos não biodegradáveis resultantes das embalagens (HASSAN et al., 2018). Os revestimentos são produzidos completamente a partir de componentes renováveis e seguros (FALQUERA et al., 2011). Eles oferecem uma barreira permeável para o movimento de solutos, oxigênio, umidade e dióxido de carbono (CO₂). Por este meio, diminuem a perda de água, as taxas de reação de oxidação e a taxa de respiração. Além disso, ele pode ser utilizado como carreadores de componentes ou conservantes, incluindo agentes anti-escurecimento e antimicrobianos (HASSAN et al., 2018).

Os principais polímeros utilizados são à base de polissacarídeos, proteínas e lipídeos, dentre eles destacamos o amido, a quitosana e a cera de carnaúba (BALDWIN et al., 2011). A utilização de revestimentos biodegradáveis em mangas vem sendo bastante estudada, trazendo resultados com grande potencial. DANG et al. (2008), aplicando cera de carnaúba sobre a manga, mencionaram redução na taxa respiratória e na perda de firmeza. Eshetu et al. (2019), aplicando quitosana em manga 'Tommy Atkins', observaram diminuição da perda de massa, retardo na diminuição da firmeza e

aumento da vida útil. Vieira et al. (2009), aplicando amido de mandioca, retardaram a perda de massa e as mudanças na coloração da casca nessa mesma cultivar.

Além dos componentes citados, diversos outros têm sido incorporados na formulação dos filmes e revestimentos biodegradáveis, como os extratos de semente de uva, chá verde, gengibre, folha de ginko (LI et al., 2014), romã e hortelã (KANATT et al., 2012), *Ficus hirta* (CHEN et al., 2016), ginseng (NORAJIT et al., 2010), ginja cherry (CAMPOS et al., 2014), além de diversos óleos essenciais como orégano, cedro, chá verde, canela, citronela, gengibre, limão, laranja, *Zataria multiflora* Boiss, semente de uva, manjerição, tomilho, alho, ginseng, sálvia, erva cidreira, segurelha anual, cravo, lavanda, coentro, estragão, alecrim, pimenta, estrela de anis, camomila, oliveira, oxicoco e palmarosa (ATARÉS; CHIRALT, 2016; PREEDY, 2015).

Filmes e revestimentos biodegradáveis vêm sendo bastante utilizados ao longo dos anos, pois apresentam diversos efeitos quando aplicados em frutas e hortaliças, como: retarda a perda de umidade; diminui as trocas gasosas; aumenta a integridade estrutural, promovendo maior proteção física contra injúrias; retem componentes voláteis, constituintes do odor e do sabor; e atua como veículo de aditivos alimentícios, como, por exemplo, agentes antimicrobianos e antioxidantes (SALGADO et al., 2015). Os polímeros mais utilizados na formulação de filmes e revestimentos são à base de proteínas, lipídeos e polissacarídeos (BALDWIN et al., 2011), conforme Figura 1. Entre os polissacarídeos, destacam-se a quitosana e o amido. Entre os lipídeos, temos as ceras.



Fonte: Salgado et al. (2015) com modificações

Figura 1. Principais componentes presentes na formação dos revestimentos biodegradáveis.

5.1 Quitosana

A quitosana é um heteropolissacarídeo derivado do processo de desacetilação química da quitina, constituída por unidades de D-glicosamina e por unidades de N-acetil-D-glicosamina com ligações β 1,4. Na desacetilação, ocorre uma substituição de grupos acetilas (COCH_3) por grupos aminos livres ($-\text{NH}_2$) que podem ser protonados em meio ácido ($-\text{NH}_3^+$), fazendo com que a quitosana seja solúvel em soluções de ácidos como: acético, cítrico, ascórbico, láctico, málico, oxálico, fórmico, succínico, adípico e propiônicos (BALDWIN et al., 2011; BARROS-VELASQUES, 2016; CIRILLO et al., 2015; SHI, 2015; ZHONG et al., 2011).

O ácido acético e o fórmico são os mais indicados para gerarem soluções filmogênicas. A quitosana diluída em ácido acético apresenta uma ação antifúngica mais rápida. Por isso, ele é o mais utilizado (BAUTISTA-BAÑOS et al., 2016; KIM, 2010; MACKAY; TAIT, 2012). Ochoa-Velasco e Guerrero-Beltrán (2014) comprovaram que a quitosana diluída com ácido acético a 1% apresenta o melhor efeito sem interferir na

qualidade. O grau de desacetilação e a massa molecular da quitosana influenciam as características físicas, microbiológicas e antioxidantes. Em quitosanas comerciais, o grau de desacetilação varia de 70 a 95% e a massa molecular, de 100.000 a 1.000.000 g mol⁻¹ (BAUTISTA-BAÑOS et al., 2016).

De acordo com Bautista-Baños et al. (2016) esse polissacarídeo já foi usado com sucesso em diversos frutos, como maçã, mamão, banana, abacate, citros, goiaba, manga e pêra; e em hortaliças, raízes e tubérculos, a exemplo de aspargo, brócolis, cenoura, batata, tomate e morango. No entanto, como todo polissacarídeo, ainda apresenta alguns problemas. Seus filmes e revestimentos são frágeis e necessitam de agentes plastificantes para diminuir as forças de atrito entre as cadeias de polímeros, para melhorar as propriedades mecânicas. Além de apresentar um caráter altamente hidrofóbico, apresenta boas propriedades de barreira contra gases e lipídeos. Mas, é uma barreira pobre ao vapor da água, o que pode ser considerado uma limitação visto que o controle da transferência de umidade é uma propriedade desejável para a maioria dos alimentos, especialmente em ambientes úmidos (ELSABEE; ABDYOU, 2013; LECETA et al., 2015).

5.2 Amido

O amido está entre os produtos vegetais mais abundantes, constituindo a principal fonte de reserva da maioria das plantas, sendo uma fonte de energia de baixo custo para a nutrição humana e importante na formulação de filmes e revestimentos biodegradáveis (BALDWIN et al., 2011; VARGAS et al., 2008).

O grânulo do amido é composto principalmente por amilose e amilopectina. A amilose é uma macromolécula essencialmente linear, formada por unidades de D-glicose ligadas em α -1,4, com menos de 0,1% de ramificação (ligações α -1,6), com comprimento de 4 a 100 unidades de glicose. A amilopectina é uma macromolécula menos hidrossolúvel que a amilose, constituída por unidades de D-glicose unidas por ligações α -1,4 e α -1,6, sendo, essa última, responsável pela ramificação da molécula. Seu comprimento apresenta de 20 a 30 unidades de glicose (CABALLERO et al., 2015).

A composição do amido varia de acordo com a origem botânica (CABALLERO et al., 2015). De maneira geral, os amidos nativos contêm entre 18% a

30% de amilose e de 70% a 82% de amilopectina, além de quantidades menores de outros constituintes, como lipídeos, proteínas e minerais. Quanto menor for a quantidade desses outros constituintes, maior a quantidade de amilose, o que resulta em melhor característica na formação de filmes e revestimentos (BALDWIN et al., 2011; BERTOLINI, 2009; NAKAMURA, 2015; PLACKETT, 2011; SHI; MANINGAT, 2013).

As películas preparadas a partir do amido representam um enorme potencial devido às suas características de baixo custo, flexibilidade, transparência, biodegradabilidade e sua natureza comestível (BONILLA et al., 2013). No entanto, os filmes e revestimentos preparados com amido apresentam várias deficiências, como alta permeabilidade ao vapor da água, são altamente hidrofílicos e têm resistência mecânica pobre especialmente para o seu alongamento na ruptura, tornando-se quebradiço em condições de baixa umidade (LI et al., 2015). Portanto, necessita de agentes plastificantes para melhorar suas características, sendo o glicerol um dos compostos utilizados (DOMJÁN et al., 2009).

Um das principais fontes para a extração de amido são as raízes e tubérculos, destacando-se a mandioca e o inhame, que vêm se mostrando como boas fontes para a formulação de filmes e revestimentos biodegradáveis (FAKHOURI et al., 2015; FALADE; AYETIGBO, 2015; GUTIÉRREZ et al., 2015; HONG et al., 2016; HUANG et al., 2016).

Novas alternativas vêm sendo estudadas para a extração do amido, como a semente da jaca e a amêndoa da manga. A jaqueira (*Artocarpus heterophyllus* Lam.) é muito popular nas regiões tropicais do mundo, sendo amplamente utilizada para diversos fins e apresentando um bom potencial para a comercialização, com expressivo uso de subprodutos, como cascas e sementes. Suas sementes representam de 15 a 25% do fruto e é bastante utilizada na alimentação humana (SILVA et al., 2007), apresentando enorme potencial para a extração do amido, de 92-94% (MADRUGA et al., 2014), particularmente decorrente do teor de amilose que apresenta: 32,14 g 100 g⁻¹ (RENGSUTTHI; CHAROENREIN, 2011).

A mangueira é muito popular por todo o mundo, sendo produzida em mais de 90 países. No entanto, suas sementes são pouco utilizadas para fins comerciais, sendo, geralmente, subprodutos da indústria de processamento de frutas. A amêndoa dessas sementes possui potencial para extração do amido devido aos seus altos teores de amido

e da alta proporção de amilose, além de ter importantes propriedades antioxidantes (BARTHI et al., 2019; TORRES et al., 2016; TORRES-LEÓN et al., 2018).

5.3 Lipídios

Os lipídeos são hidrofóbicos, conferindo melhores barreiras à umidade do que os polissacarídeos e proteínas, mas formam filmes que são geralmente opacos e relativamente inflexíveis. Além disso, alguns lipídios requerem solventes ou aquecimento, se forem sólidos em temperatura ambiente, o que torna a aplicação mais difícil. A necessidade de reduzir as perdas de umidade torna os lipídios bons candidatos como ingredientes em filmes e revestimentos comestíveis (BALDWIN et al., 2011; HAN 2014).

Desta maneira, a fim de melhorar a funcionalidade do filme ou revestimento, os materiais lipídicos são geralmente combinados com polissacarídeos ou proteínas para formar películas compostas. Diversos são os lipídeos utilizados na formulação de filmes e revestimentos biodegradáveis, como reporta Baldwin et al. (2011), em que os de destaque enquadram-se como *geralmente reconhecidos como seguros* (GRAS, da abreviação em inglês): monoglicerídeo acetilado, cera de abelha, estearato de butilo, cera de carnaúba, óleo de rícino, parafina clorada, manteiga de cacau, óleo de milho, resina de indene coumarona, monoestearato de etilenoglicol, monoestearato de glicerol, palmitato de isopropila, óleo de girassol, óleo de palma, parafina, resina de goma laca, monoesterato de sorbitano, óleo de soja, lecitina de soja, álcool esteárico, oleato de trietanolamina, sebo e resina de madeira.

A eficiência dos lipídios nos filmes e revestimentos comestíveis vai depender da natureza do lipídio utilizado, em particular da sua estrutura, disposição química, estado físico (sólido ou líquido) e a interação com o outro componente do filme, tais como proteínas ou polissacarídeos (BALDWIN et al., 2011; HAN 2014). Esse fato foi comprovado por Germano et al. (2019) ao combinar cera de carnaúba com a galactomana no revestimento biodegradável de goiabas 'Paluma'. Os autores relataram redução de perda de massa, da taxa de respiração, retenção da firmeza e cor, diminuição dos danos pelo frio e aumento da vida útil.

5.4 Outras fontes

Além das fontes já enfatizadas, diversas são outras têm sido utilizadas como filmes e revestimentos biodegradáveis, como: os derivados de celulose, cujos principais são hidroxietilcelulose, acetato de celulose, metilcelulose, hidroxipropil metilcelulose (SILVA et al., 2016; MOHAN et al., 2015; KLANGMUANG; SOTHORNVIT, 2016; CHOI et al., 2016), pectina (PORTA et al., 2016; ESPITIA et al., 2014), carragenina (TAVASSOLI-KAFRANI et al., 2016), galactomanana (ALBUQUERQUE et al., 2017) goma arábica (KHALIQ et al., 2016); gelatina (FAKOURI et al., 2015), sorbato de potássio (SHEN et al., 2010), zeína (CHEN et al., 2019), caseína (PICCHIO et al., 2018) e queratina (POSATI et al., 2018).

5.5 Aditivos aos revestimentos

Agentes plastificantes são ingredientes necessários para os filmes e revestimentos biodegradáveis, especialmente para aqueles cuja matriz seja constituída por polissacarídeos e proteínas, pois suas estruturas são frequentemente quebradiças e duras, devido a extensas interações entre as moléculas. Os plastificantes são agentes de baixa massa molecular, incorporadas nos materiais formadores de película do polímero para aumentar sua termoplasticidade com a capacidade de posicionar-se entre as moléculas do polímero melhorando sua flexibilidade e resistência (HAM, 2014; JIMENEZ et al., 2012). Os mais utilizados na formulação de revestimentos são os polióis, como o glicerol.

O glicerol é um tri-álcool com 3 carbonos, tendo como nome sistemático 1,2,3-propanotriol. É um líquido incolor, com gosto adocicado, sem cheiro e muito viscoso, derivado de fontes naturais ou petroquímicas. O nome glicerol deriva da palavra grega glykys, doce. A presença de três grupos hidroxila na estrutura do glicerol é responsável pela solubilidade em água e sua natureza higroscópica (BEATRIZ et al., 2011). Na formulação de revestimentos, por ser uma molécula pequena, facilmente ganha acesso entre as cadeias dos polissacarídeos através de pontes de hidrogênio, reduzindo as interações intermoleculares, resultando no aumento da mobilidade dessas cadeias, aumentando, assim, a flexibilidade (SHIMAZU et al., 2007). Ele proporciona um aumento na elasticidade, além de ajudar na diminuição na taxa de respiração (CHIUMARELLI; HUBINGER, 2014; GUTIRREZ et al., 2015; LI et al 2015).

Surfactante é uma substância anfifílica, que possui hidrofílicidade e hidrofobicidade, simultaneamente (CHEN et al., 2009). A parte lipofílica do surfactante

é propenso a ser em um ambiente não polar, enquanto a parte hidrofílica tende a estar num ambiente polar. O equilíbrio entre essas duas partes pode regular a funcionalidade de um surfactante em interfaces sobre as propriedades das películas resultantes. Ele é utilizado como **agente emulsionante**, ajudando na redução da tensão superficial da solução de formação de película, e melhorando a capacidade de molhabilidade e a adesão da película. A maior parte dos emulsionantes são derivados de glicerol e ácidos graxos, tais como polissorbato (Tween) (JANJARASSKUL; KROCHTA, 2010, RODRIGUEZ et al., 2006).

Um dos mais utilizados é o polisorbato 20, que é formado pela etoxilação de sorbitano antes da adição do ácido láurico. Esse processo de etoxilação deixa a molécula com 20 unidades de repetição de polietileno glicol, sendo distribuídas em 4 cadeias diferentes, o que conduz à formação de um composto comercial conhecido por tween 20 (ROWE et al., 2009). Pela sua estabilidade e não toxicidade permite que seja utilizado como agente emulsionante. O tween 20 tem a capacidade de melhorar a aderência na interface entre o alimento e o revestimento, melhora a permeabilidade ao vapor da água, as propriedades mecânicas e a molhabilidade (JANJARASSKUL; KROCHTA, 2010, RODRIGUEZ et al., 2006; ZHONG; LI, 2011; VERSINO et al., 2016).

6. Benefícios da aplicação de revestimentos na pós-colheita

Atualmente, há uma procura crescente dos consumidores por alimentos naturais que atendam aos critérios de alta qualidade e segurança. Isto tem obrigado empresas e pesquisadores a explorar diferentes formas de melhorar a produtividade em termos de manutenção de qualidade, frescor e segurança alimentar, como o uso de filmes e revestimentos biodegradáveis (ESPITIA et al., 2014, MAHALIK; NAMBIAR, 2010). Por essa necessidade, o uso de filmes e revestimentos biodegradáveis deve cumprir alguns requisitos específicos, como: bons atributos sensoriais, elevado poder de barreira, boas propriedades mecânicas, estabilidade microbiana, não-toxicidade e segurança, ser de natureza não poluente, ser uma tecnologia simples e de baixo custo de matérias-primas e processamento.

Outro fator que deve ser observado em um revestimento está relacionado às características estruturais, como a espessura e as permeabilidades finais, que estão relacionadas à composição e à concentração do polímero na solução. O revestimento

deve ser invisível, ter aderência suficiente para não ser removido no manuseio e não causar alterações nas características organolépticas, ou seja, preservarem principalmente o gosto ou os odores originais (ROJAS-GRAÜ et al., 2007; SKURTYS et al., 2010). Nesse sentido, diversas avaliações sensoriais têm sido realizadas, indicando a boa aceitação das coberturas ou mesmo a não percepção de sua presença pelos julgadores além de prolongamento da vida útil (FAKHOURI et al., 2015; MOREIRA et al., 2015).

O prolongamento da vida útil ocorre devido à limitação das trocas gasosas e da perda de vapor de água por meio dos revestimentos, reduzindo o metabolismo dos frutos, sejam eles íntegros ou minimamente processados, conforme levantamento realizado em diferentes frutas e apresentado na Tabela 1 (AZARAKHSH et al., 2014; DE AQUINO et al., 2015).

Tabela 1. Efeitos de diferentes revestimentos biodegradáveis em frutas tratadas nas condições fatiada ou íntrega.

Fruta	Revestimento	Condição	Efeito	Referência
Maçã	Quitosana	Fatiada	Manutenção da textura, baixos níveis de CO ₂ e etileno	Pilon et al. (2013)
	Caseína / Goma gelana	Íntegra	Manutenção do sabor, brilho, cor, baixa perda de peso massa	Javanmard (2011)
Mamão	Fécula de Mandioca	Íntegro	Manutenção da coloração e do brilho	Castricini et al. (2012)
	Alginato	Fatiado	Manutenção da firmeza e diminuição da atividade respiratória	Trigo et al. (2012)
Abacaxi	Alginato + óleo essencial de erva cidreira	Fatiado	Diminuição na atividade fungica e manutenção da qualidade	Azarakhsh et al. (2014)
	Fécula de Mandioca	Fatiado	Redução na taxa respiratória e perda de massa	Bierhals et al. (2011)
Uva	Amido + Gelatina	Íntegro	Melhoria na aparência e diminuição na perda de massa	Fakhouri et al. (2015)
	Quitosana + óleo essencial de limão	Íntegro	Maior inibição da salmonela e manutenção da cor	Oh et al. (2017)
Morango	Quitosana + Derivados de Celulose	Íntegro	Inibição das enzimas de degradação da parede celular	Gol et al. (2013)
	Quitosana + Cera de abelha	Íntegro	Diminuição na perda de massa, manutenção da cor e atraso da senescência	Velickova et al. (2013)
Melão	Quitosana + Cinamaldeido	Fatiado	Diminuição da atividade das enzimas responsáveis pelo escurecimento	Carvalho et al. (2016)
	Goma laca	Íntegro	Redução na atividade das enzimas da parede células	Zhou et al. (2015)
Goiaba	Quitosana + Fécula de Mandioca	Íntegro	Manutenção da coloração e sólidos solúveis	De aquino et al. (2015)
	Goma do cajueiro + CMC	Íntegro	Menores perdas de massa e água; retardo nas mudanças de cor	Forato et al. (2015)
Pera	Amido	Fatiada	Aumento na vida útil	Botrel et al. (2010)
	Quitosana + CMC	Fatiada	Inibiu o escurecimento	Xiao et al. (2011)
Banana	Goma laca	Íntegra	Diminuição na perda de massa e no amolecimento	Soradech et al. (2017)
	Quitosana	Fatiada	Redução na perda de peso e manutenção da Vitamina C	Suseno et al. (2014)
Manga	Quitosana + Lactoperoxidase	Fatiada	Manutenção da firmeza e diminuição da taxa respiratória	Cissé et al. (2015)
	Goma arábica + cloreto de cálcio	Íntegra	Redução na perda de massa, atividade respiratória e manutenção da cor	Khaliq et al. (2015)

De acordo com esse levantamento, o efeito do revestimento é muito bem observado em frutos climatéricos, que apresentam vida útil curta. Nestes, após a

aplicação, o metabolismo é reduzido e, conseqüentemente, há ganho de vida útil. Dessa forma, uso do revestimento tem a capacidade de prolongar o período de vida útil por reduzir a taxa respiratória, a perda de massa, o desenvolvimento de leveduras e bolores, enquanto mantém a firmeza, cor, características sensoriais e as propriedades morfológicas.

Apesar das respostas positivas encontradas, uma das principais dificuldades é que não existe uma uniformidade para a resposta do revestimento, ou seja, para cada tipo de fruto a resposta pode ser diferente. Além disso, a natureza do revestimento também gera variações de resposta para um mesmo fruto, conforme suas cultivares (HASSAN et al., 2018; NTSOANE et al., 2019).

Tendo em vista o grande aumento nas pesquisas com revestimento, espera-se que o seu uso venha a se constituir brevemente em prática corrente, a ser empregada de média a larga escala na conservação de produtos, principalmente aqueles de origem tropical. Esse uso pode ser potencializado se fontes acessíveis puderem ser utilizadas como matéria-prima, fortalecendo atividades econômicas regionais.

7. REFERÊNCIAS

- ABBASI, A. M.; GUO, X.; FU, X.; ZHOU, L.; CHEN, Y.; ZHU, Y.; YAN, H. LIU, R. H. Comparative assessment of phenolic content and in vitro antioxidant capacity in the pulp and peel of mango cultivars. **International journal of molecular sciences**, v. 16, n. 6, p. 13507-13527, 2015.
- AGRIANUAL. Anuário da Agricultura Brasileira. São Paulo: Agrianual, p. 448, 2019.
- ALBUQUERQUE, P. B.; CERQUEIRA, M. A.; VICENTE, A. A.; TEIXEIRA, J. A.; & CARNEIRO-DA-CUNHA, M. G. Immobilization of bioactive compounds in *Cassia grandis* galactomannan-based films: influence on physicochemical properties. **International journal of biological macromolecules**, v. 96, p. 727-735, 2017.
- ANUÁRIO BRASILEIRO DA FRUTICULTURA 2018. Santa Cruz do Sul: Gazeta Santa Cruz, 2018. 90 p.
- ANWAR, R.; MALIK, A.U. Hot water treatment affects ripening quality and storage life of mango (*Mangifera indica* L.). **Pakistan Journal of Agricultural Sciences**. v. 44, p. 304–311, 2007.
- ASSIS, O. B. G. O uso de biopolímeros como revestimentos comestíveis protetores para conservação de frutas in natura e minimamente processadas. **Boletim de Pesquisa e Desenvolvimento**. São Carlos: Embrapa Instrumentação Agropecuária, 2009. 23p.
- ATARÉS, L; CHIRALT, A. Essential oils as additives in biodegradable films and coatings for active food packaging. **Trends in Food Science & Technology**, v. 48, p. 51-62, 2016.
- AZARAKHSH, N.; OSMAN, A.; GHAZALI, H. M.; TAN, C. P.; ADZAHAN, N. M. Lemongrass essential oil incorporated into alginate-based edible coating for shelf-life extension and quality retention of fresh-cut pineapple. **Postharvest Biology and Technology**, v. 88, p. 1-7, 2014.
- AZERÊDO, L. P. M.; SILVA, S. D. M.; LIMA, M. A. C.; DANTAS, R. L.; PEREIRA, W. E. Quality of ‘Tommy Atkins’ mango from integrated production coated with cassava starch associated with essential oils and chitosan. **Revista Brasileira de Fruticultura**, v.38, n.1, p.141-150, 2016.
- BALDWIN, ELIZABETH A.; HAGENMAIER, ROBERT; BAI, Jinhe (Ed.). **Edible coatings and films to improve food quality**. CRC Press, 415 p, 2011.
- BARROS-VELAZQUEZ, J. **Antimicrobial Food Packaging**. Academic Press, 678p. 2016.
- BHARTI, I.; SINGH, S.; & SAXENA, D. C. Influence of alkali treatment on physicochemical, pasting, morphological and structural properties of mango kernel starches derived from Indian cultivars. **International journal of biological macromolecules**, v. 125, p. 203-212, 2019.
- BAUTISTA-BAÑOS, S.; ROMANAZZI, G.; JIMÉNEZ-APARICIO, A. **Chitosan in the preservation of agricultural commodities**. CRC Press, 386 p, 2016.
- BATISTA, P. F.; LIMA, M. A. C. D.; TRINDADE, D. C. G. D.; ALVES, R. E. Quality of different tropical fruit cultivars produced in the Lower Basin of the São Francisco Valley1. **Revista Ciência Agronômica**, v. 46, n. 1, p. 176-184, 2015.
- BEATRIZ, A.; ARAÚJO, Y.J.K.; LIMA, D.P. Glicerol: um breve histórico e aplicação em sínteses estereosseletivas. **Química Nova**, v.34, 306-319, 2011.

BERTOLINI, Andrea (Ed.). **Starches: characterization, properties, and applications**. CRC Press, p. 290, 2009.

BIERHALS, Vânia S.; CHIUMARELLI, Marcela; HUBINGER, Miriam D. Effect of cassava starch coating on quality and shelf life of fresh-cut pineapple (*Ananas comosus* L. Merrill cv Pérola). **Journal of Food Science**, v. 76, n. 1, p. E62-E72, 2011.

BONILLA, J.; TALÓN, E.; ATARÉS, L.; VARGAS, M.; & CHIRALT, A. Effect of the incorporation of antioxidants on physicochemical and antioxidant properties of wheat starch–chitosan films. **Journal of Food Engineering**, v. 118, n. 3, p. 271-278, 2013.

BOTREL, D. A.; SOARES, N. F. F.; CAMILLOTO, G. P.; FERNANDES, R. V. B. Revestimento ativo de amido na conservação pós-colheita de pera Williams minimamente processada. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 40, n. 8, p.1814-1820, 2010.

CABALLERO, B.; FINGLAS, P.; TOLDRÁ, F. (Ed.). **Encyclopedia of food and health**. Academic Press, 773 p 2015.

CAMPOS, D.; PICCIRILLO, C.; PULLAR, R. C.; CASTRO, P. M.; PINTADO, M. M. Characterization and antimicrobial properties of food packaging methylcellulose films containing stem extract of Ginja cherry. **Journal of the Science of Food and Agriculture**, v. 94, n. 10, p. 2097-2103, 2014.

CARVALHO, R. L.; CABRAL, M. F.; GERMANO, T. A.; DE CARVALHO, W. M.; BRASIL, I. M.; GALLÃO, M. I.; De MIRANDA, M. R. A. Chitosan coating with trans-cinnamaldehyde improves structural integrity and antioxidant metabolism of fresh-cut melon. **Postharvest Biology and Technology**, v. 113, p. 29-39, 2016.

CASTRICINI, A.; CONEGLIAN, R. C. C.; DELIZA, R. Starch edible coating of papaya: effect on sensory characteristics. **Food Science and Technology**, v. 32, n. 1, p. 84-92, 2012.

CHEN, C. H.; KUO, W. S.; LAI, L. S. Effect of surfactants on water barrier and physical properties of tapioca starch/decolorized hsian-tsao leaf gumfilms. **Food Hydrocolloids**, v. 23, p. 714-721, 2009.

CHEN, C.; PENG, X.; ZENG, R.; CHEN, M.; WAN, C.; CHEN, J. Ficus hirta fruits extract incorporated into an alginate-based edible coating for Nanfeng mandarin preservation. **Scientia Horticulturae**, v. 202, p. 41-48, 2016.

CHEN, G.; DONG, S.; ZHAO, S.; LI, S.; & CHEN, Y. Improving functional properties of zein film via compositing with chitosan and cold plasma treatment. **Industrial Crops and Products**, v. 129, p. 318-326, 2019.

CHIUMARELLI, M.; HUBINGER, M. D. Evaluation of edible films and coatings formulated with cassava starch, glycerol, carnauba wax and stearic acid. **Food Hydrocolloids**, v. 38, p. 20–27, 2014.

CHOI, W.S.; SINGH, S.; LEE, Y.S. Characterization of edible film containing essential oils in hydroxypropyl methylcellulose and its effect on quality attributes of 'Formosa' plum (*Prunus salicina* L.). **LWT-Food Science and Technology**, v. 70, p. 213-222, 2016.

CIRILLO, G.; SPIZZIRRI, U. G.; IEMMA, F. (Ed.). **Functional Polymers in Food Science: From Technology to Biology, Volume 1: Food Packaging**. John Wiley & Sons, p. 354, 2015.

- CISSÉ, M.; POLIDORI, J.; MONTET, D.; LOISEAU, G.; DUCAMP-COLLIN, M. N. Preservation of mango quality by using functional chitosan-lactoperoxidase systems coatings. **Postharvest Biology and Technology**, v. 101, p. 10-14, 2015.
- CEAGESP. COMPANHIA DE ENTREPÓSITOS TERMINAL DE SÃO PAULO. Cotações: 2017. São Paulo. Disponível em: <http://www.ceagesp.gov.br/>. Acesso em: 18 fev. 2019.
- DANG, K. T. H.; SINGH, Z.; SWINNY, E. E. Edible coatings influence fruit ripening, quality, and aroma biosynthesis in mango fruit. **Journal Agricultural and Food Chemistry**. v. 56, p. 1361–1370, 2008.
- DE AQUINO, A.B.; BLANK, A.F.; DE AQUINO SANTANA, L. C. L. Impact of edible chitosan–cassava starch coatings enriched with *Lippia gracilis* Schauer genotype mixtures on the shelf life of guavas (*Psidium guajava* L.) during storage at room temperature. **Food chemistry**, v. 171, p. 108-116, 2015.
- DOMJÁN, A.; BAJDIK, J.; PINTYE-HÓDI, K. Understanding of the plasticizing effects of glycerol and PEG 400 on chitosan films using solid-state NMR Spectroscopy. **Macromolecules**, v.42, n.13, p.4667-4673, 2009.
- ESPITIA, P. J. P.; DU, W. X.; DE JESÚS A.B. R.; SOARES, N. D. F. F.; MCHUGH, T. H. Edible films from pectin: Physical-mechanical and antimicrobial properties-A review. **Food Hydrocolloids**, v. 35, p. 287-296, 2014.
- ELSABEE, M.Z.; ABDU, E.S. Chitosan based edible films and coatings: a review. **Materials Science and Engineering: C**, v. 33, n. 4, p. 1819-1841, 2013.
- ESHETU, A.; IBRAHIM, A. M.; FORSIDO, S. F.; KUYU, C. G. Effect of beeswax and chitosan treatments on quality and shelf life of selected mango (*Mangifera indica* L.) cultivars. **Heliyon**, v. 5, n. 1, p. e01116, 2019.
- FAKHOURI, F. M.; MARTELLI, S. M.; CAON, T.; VELASCO, J. I.; MEI, L. H. I. Edible films and coatings based on starch/gelatin: Film properties and effect of coatings on quality of refrigerated Red Crimson grapes. **Postharvest Biology and Technology**, v. 109, p. 57-64, 2015.
- FALADE, K.O.; AYETIGBO, O.E. Effects of annealing, acid hydrolysis and citric acid modifications on physical and functional properties of starches from four yam (*Dioscorea* spp.) cultivars. **Food hydrocolloids**, v. 43, p. 529-539, 2015.
- FALGUERA, V.; QUINTERO, J. P.; JIMÉNEZ, A.; MUÑOZ, J. A.; IBARZ, A. Edible films and coatings: Structures, active functions and trends in their use. **Trends in Food Science & Technology**, v. 22, n. 6, p. 292-303, 2011.
- FAO. Food and Agriculture Organization of the United Nations. Roma: FAOSTAT Database Gateway-FAO. Disponível em: <<http://faostat3.fao.org/>> Acesso em: 15 janeiro 2019.
- FORATO, L. A.; DE BRITTO, D.; DE RIZZO, J. S.; GASTALDI, T. A.; ASSIS, O. B. Effect of cashew gum-carboxymethylcellulose edible coatings in extending the shelf-life of fresh and cut guavas. **Food Packaging and Shelf Life**, v. 5, p. 68-74, 2015.
- GALUS, S.; KADZIŃSKA, J. Food applications of emulsion-based edible films and coatings. **Trends in Food Science & Technology**, v. 45, n. 2, p. 273-283, 2015.
- GERMANO, T. A.; AGUIAR, R. P.; BASTOS, M. S. R.; MOREIRA, R. A.; AYALA-ZAVALA, J. F.; de MIRANDA, M. R. A. Galactomannan-carnauba wax coating

improves the antioxidant status and reduces chilling injury of 'Paluma' guava. **Postharvest Biology and Technology**, v. 149, p. 9-17, 2019.

GOL, N.B.; PATEL, P.R.; RAO, T.V.R. Improvement of quality and shelf-life of strawberries with edible coatings enriched with chitosan. **Postharvest Biology and Technology**, v. 85, p. 185-195, 2013.

GUTIÉRREZ, T. J.; MORALES, N. J.; PÉREZ, E.; TAPIA, M. S.; FAMÁ, L. Physico-chemical properties of edible films derived from native and phosphated cush-cush yam and cassava starches. **Food Packaging and Shelf Life**, v. 3, p. 1-8, 2015.

HAN, J. H. (Ed.). **Innovations in food packaging**. Academic Press, p. 589, 2014.

HASSAN, B.; CHATHA, S. A. S.; HUSSAIN, A. I.; ZIA, K. M.; & AKHTAR, N. Recent advances on polysaccharides, lipids and protein based edible films and coatings: A review. **International journal of biological macromolecules**, v. 109, p. 1095-1107, 2018.

HONG, J.; ZENG, X. A.; BUCKOW, R.; HAN, Z.; WANG, M. S. Nanostructure, morphology and functionality of cassava starch after pulsed electric fields assisted acetylation. **Food Hydrocolloids**, v. 54, p. 139-150, 2016.

HOSSEINNEJAD, M.; JAFARI, S.M. Evaluation of different factors affecting antimicrobial properties of chitosan. **International journal of biological macromolecules**, v. 85, p. 467-475, 2016.

HUANG, H.; JIANG, Q.; CHEN, Y.; Li, X.; MAO, X.; CHEN, X.; GAO, W. Preparation, physico-chemical characterization and biological activities of two modified starches from yam (*Dioscorea opposita* Thunb.). **Food Hydrocolloids**, v. 55, p. 244-253, 2016.

IBGE - Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. Sistema IBGE de recuperação automática – SIDRA. Disponível em: <<http://www.sidra.ibge.gov.br/tabela/1613>>. Acesso em: 15 Janeiro 2019.

JANJARASSKUL T.; KROCHTA MJ. Edible packaging materials. **Annu Rev Food Sci Technol**.V. 1p. 415–448, 2010.

JAVANMARD, M. Shelf-life of apples coated with whey protein concentrate-gellan gum edible coatings. **Journal of Food Biosciences and Technology**, v. 1, n. 1, p. 55-62, 2011.

JIMENEZ, A.; FABRA, M. J.; TALENS, P.; & CHIRALT, A. Edible and biodegradable starch films: a review. **Food and Bioprocess Technology**, v. 5, p. 2058-2076, 2012.

JONGSRI, P.; ROJSITTHISAK, P.; WANGSOMBOONDEE, T.; SERAYPHEAP, K. Influence of chitosan coating combined with spermidine on anthracnose disease and qualities of 'Nam Dok Mai' mango after harvest. **Scientia Horticulturae**, v.224, p.180–187, 2017.

KANATT, S. R.; RAO, M. S.; CHAWLA, S. P.; SHARMA, A. Active chitosan-polyvinyl alcohol films with natural extracts. **Food Hydrocolloids**, v. 29, n. 2, p. 290-297, 2012.

KHALIQ, G.; MOHAMED, M. T. M.; ALI, A.; DING, P.; GHAZALI, H. M. Effect of gum arabic coating combined with calcium chloride on physico-chemical and

qualitative properties of mango (*Mangifera indica* L.) fruit during low temperature storage. **Scientia Horticulturae**, v. 190, p. 187-194, 2015.

KHALIQ, G.; MOHAMED, M. T. M.; GHAZALI, H. M.; DING, P.; ALI, A. Influence of gum arabic coating enriched with calcium chloride on physiological, biochemical and quality responses of mango (*Mangifera indica* L.) fruit stored under low temperature stress. **Postharvest Biology and Technology**, v. 111, p. 362-369, 2016.

KLANGMUANG, P.; SOTHORNVIT, R. Barrier properties, mechanical properties and antimicrobial activity of hydroxypropyl methylcellulose-based nanocomposite films incorporated with Thai essential oils. **Food Hydrocolloids**, v. 61, p. 609-616, 2016.

KIM, Se-Kwon (Ed.). **Chitin, chitosan, oligosaccharides and their derivatives: biological activities and applications**. CRC Press, p. 662, 2010.

LAWSON, T.; LYCETT, G.W.; ALI, A.; CHIN, C.F. Characterization of Southeast Asia mangoes (*Mangifera indica* L.) according to their physicochemical attributes. **Scientia Horticulturae**, v.243, p.189–196, 2019.

LECETA, I.; PEÑALBA, M.; ARANA, P.; GUERRERO, P.; DE LA CABA, K. Ageing of chitosan films: Effect of storage time on structure and optical, barrier and mechanical properties. **European Polymer Journal**, v. 66, p. 170-179, 2015.

LI, J. H.; MIAO, J.; WU, J. L.; CHEN, S. F.; & ZHANG, Q.Q. Preparation and characterization of active gelatin-based films incorporated with natural antioxidants. **Food Hydrocolloids**, v. 37, p. 166-173, 2014.

LI, J.; YE, F.; LIU, J.; ZHAO, G. Effects of octenylsuccination on physical, mechanical and moisture-proof properties of stretchable sweet potato starch film. **Food Hydrocolloids**, v. 46, p. 226-232, 2015.

LIMA, L. C.; DIAS, M. S. C.; CASTRO, M. D.; RIBEIRO JÚNIOR, P. M.; SILVA, E. D. B. Controle da antracnose e qualidade de mangas (*Mangifera indica* L.) cv. Haden, após tratamento hidrotérmico e armazenamento refrigerado em atmosfera modificada. **Ciência e Agrotecnologia**, v. 31, n. 2, p. 298-304, 2007.

LIU, F. X.; FU, S. F.; BI, X. F.; CHEN, F.; LIAO, X. J.; HU, X. S.; & WU, J. H. Physico-chemical and antioxidant properties of four mango (*Mangifera indica* L.) cultivars in China. **Food chemistry**, v. 138, n. 1, p. 396-405, 2013.

MACKAY, R.G.; TAIT, J.M. **Handbook of Chitosan Research and Applications**. Nova Science Publishers, p. 511, 2012.

MADRUGA, M. S.; de ALBUQUERQUE, F. S. M.; SILVA, I. R. A.; do AMARAL, D. S.; MAGNANI, M.; & NETO, V. Q. Chemical, morphological and functional properties of Brazilian jackfruit (*Artocarpus heterophyllus* L.) seeds starch. **Food Chemistry**, v.143, p.440–445, 2014.

MAHAJAN, P.V.; CALEB, O.J.; SINGH, Z.; WATKINS, C.B.; GEYER, M. Postharvest treatments of fresh produce. *Philos. Trans. Philosophical Transactions of the Royal Society A: Mathematical, Physical and Engineering Science*, v.372, p. 20130309, 2014.

MAHALIK, N. P.; NAMBIAR, A. N. Trends in food packaging and manufacturing systems and technology. **Trends in Food Science & Technology**, v. 21, n. 3, p. 117-128, 2010.

- MOHAN, T.; KARGL, R.; TRADT, K. E.; KULTERER, M. R.; BRAČIĆ, M.; HRIBERNIK, S.; RIBITSCH, V. Antifouling coating of cellulose acetate thin films with polysaccharide multilayers. **Carbohydrate polymers**, v. 116, p. 149-158, 2015.
- MOREIRA, M. R.; TOMADONI, B.; MARTÍN-BELLOSO, O.; SOLIVA-FORTUNY, R. Preservation of fresh-cut apple quality attributes by pulsed light in combination with gellan gum-based prebiotic edible coatings. **LWT-Food Science and Technology**, v. 64, n. 2, p. 1130-1137, 2015.
- MOUCO, M.A.; LIMA NETO, F. P. A-mangueira-no-vale-do-sao-francisco. Toda Fruta, São Paulo, jun. 2018.
- MUKHERJEE, S. K.; LITZ, R. E. **Introduction: botany and importance**. The mango: Botany, production and uses, n. Ed. 2, p. 1-18, 2009.
- NAKAMURA, Y. (Ed.). **Starch Metabolism and Structure**. Springer, p. 449, 2015.
- NAMBI, V. E.; THANGAVEL, K.; JESUDAS, D. M. Scientific classification of ripening period and development of colour grade chart for Indian mangoes (*Mangifera indica* L.) using multivariate cluster analysis. **Scientia Horticulturae**, v. 193, p. 90-98, 2015.
- NORAJIT, K.; KIM, K.M.; RYU, G.H. Comparative studies on the characterization and antioxidant properties of biodegradable alginate films containing ginseng extract. **Journal of Food Engineering**, v. 98, n. 3, p. 377-384, 2010.
- NTSOANE, M. L.; ZUDE-SASSE, M.; MAHAJAN, P.; & SIVAKUMAR, D. Quality assesment and postharvest technology of mango: A review of its current status and future perspectives. **Scientia Horticulturae**, v. 249, p. 77-85, 2019.
- OCHOA-VELASCO, C.E.; GUERRERO-BELTRÁN, J.A. Postharvest quality of peeled prickly pear fruit treated with acetic acid and chitosan. **Postharvest Biology and Technology**, v. 92, p. 139-145, 2014.
- OH, Y. A.; OH, Y. J.; SONG, A. Y.; WON, J. S.; SONG, K. B.; MIN, S. C. Comparison of effectiveness of edible coatings using emulsions containing lemongrass oil of different size droplets on grape berry safety and preservation. **LWT-Food Science and Technology**, v. 75, p. 742-750, 2017.
- OLIVEIRA, A.R.; MOREIRA, A.N.; TEXEIRA, A.H.C. Cultivo da mangueira. Embrapa Semiárido, versão eletrônica. 2010. Disponível em: <<https://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/bitstream/doc/884451/1/CultivodaMangueira.pdf>>. Acesso em: 11 jan. 2019.
- PAREEK, S. (Ed.). **Postharvest Ripening Physiology of Crops**. CRC Press, p. 664, 2016.
- PICCHIO, M. L.; LINCK, Y. G.; MONTI, G. A.; GUGLIOTTA, L. M.; MINARI, R. J.; IGARZABAL, C. I. A. Casein films crosslinked by tannic acid for food packaging applications. **Food hydrocolloids**, v. 84, p. 424-434, 2018.
- PILON, L.; SPRICIGO, P. C.; BRITTO, D.; ASSIS, O. B. G.; CALBO, A. G., FERRAUDO, A. S., FERREIRA, M. D. Effects of antibrowning solution and chitosan-based edible coating on the quality of fresh-cut apple. **International Journal of Postharvest Technology and Innovation**, v. 3, n. 2, p. 151-164, 2013.
- PLACKETT, David **Biopolymers: New materials for sustainable films and coatings**. Chichester, West Sussex, UK: Wiley, p. 341, 2011.

- PORTA, R.; DI PIERRO, P.; SABBAH, M.; REGALADO-GONZALES, C.; MARINIELLO, L.; KADIVAR, M.; ARABESTANI, A. Blend films of pectin and bitter vetch (*Vicia ervilia*) proteins: Properties and effect of transglutaminase. **Innovative Food Science & Emerging Technologies**, v. 36, p. 245-251, 2016.
- POSATI, T.; GIURI, D.; NOCCHETTI, M.; SAGNELLA, A.; GARIBOLDI, M.; FERRONI, C.; ALUIGI, A. Keratin-hydrotalcites hybrid films for drug delivery applications. **European Polymer Journal**, v. 105, p. 177-185, 2018.
- PREEDY, Victor R. (Ed.). **Essential Oils in Food Preservation, Flavor and Safety**. Academic Press, p. 930, 2015.
- RAMOS, A. M.; SOUSA, P. H. M.; BENEVIDES, S. D. Tecnologia da industrialização da manga. In: **MANGA: Produção Integrada, Industrialização e Comercialização**. 1. ed., Visconde do rio Branco- MG, Suprema Gráfica e editora Ltda, 2004. p. 571-604.
- RAZZAQ, K.; SINGH, Z.; KHAN, A.S.; KHAN, S.A.K.U.; ULLAH, S. Role of 1-MCP in reg-ulating ‘Kensington Pride’ mango fruit softening and ripening. **Plant Growth Regulators**. 78, 401–411,2016.
- RENGSUTTHI, K.; CHAROENREIN, S. Physico-chemical properties of jackfruit seed starch (*Artocarpus heterophyllus*) and its application as a thickener and stabilizer in chilli sauce. **LWT-Food Science and Technology**, v. 44, n. 5, p. 1309-1313, 2011.
- RODRIGUES, A. A. M.; SILVA, S. D. M.; DANTAS, A. L.; SILVA, A. F. D.; SANTOS, L. D. S.; MOREIRA, D. D. N. Physiology and postharvest conservation of ‘Paluma’ guava under coatings using Jack fruit seed-based starch. **Revista Brasileira de Fruticultura**, v. 40, n. 2, 2018.
- RODRÍGUEZ, M.; OSÉS, J.; ZIANI, K.; & MATÉ, J. I. Combined effect of plasticizers and surfactants on the physical properties of starch based edible films. **Food Research International**, v. 39, n. 8, p. 840–846, 2006.
- ROJAS-GRAÜ, M. A.; TAPIA, M. S.; RODRÍGUEZ, F. J.; CARMONA, A. J.; MARTIN-BELLOSO, O. Alginate and gellan-based edible coatings as carriers of antibrowning agents applied on fresh-cut Fuji apples. **Food Hydrocolloids**, Amsterdam, v. 21, n. 1, p. 118-127, 2007.
- ROWE, R.C.; SHESKEY, P.J.; QUINN, M.E. Handbook of pharmaceutical excipients. **American Pharmaceutical Association, Washington DC**, 6 ed, p 917, 2009.
- SALGADO, P. R.; ORTIZ, C. M.; MUSSO, Y. S.; DI GIORGIO, L.; MAURI, A. N. Edible films and coatings containing bioactives. **Current Opinion in Food Science**, v. 5, p. 86-92, 2015.
- SELLAMUTHU, P. S.; DENOYA, G. I.; SIVAKUMAR, D.; POLENTA, G. A.; & SOUNDY, P.. Comparison of the contents of bioactive compounds and quality parameters in selected mango cultivars. **Journal of Food Quality**, v. 36, n. 6, p. 394-402, 2013.
- SHEN, X. L.; WU, J. M.; CHEN, Y.; ZHAO, G. Antimicrobial and physical properties of sweet potato starch films incorporated with potassium sorbate or chitosan. **Food Hydrocolloids**, v. 24, n. 4, p. 285-290, 2010.
- SHI, J. (Ed.). **Functional food ingredients and nutraceuticals: processing technologies**. CRC Press, p. 680, 2015.

SHI, S.; XIAOWEI, M.; XU, W.; ZHOU, Y.; WU, H.; WANG, S. Evaluation of 28 mango genotypes for physicochemical characters, antioxidant capacity, and mineral content. **Journal of Applied Botany and Food Quality**, v. 88, n. 1, 2015.

SHI, Y.; MANINGAT, C C. (Ed.). **Resistant starch: Sources, applications and health benefits**. John Wiley & Sons, p. 313, 2013.

SHIMAZU, A.A.; MALI, S.; GROSSMANN, M.V.E. Efeitos plastificante e antiplastificante do glicerol e do sorbitol em filmes biodegradáveis de amido de mandioca. **Ciências Agrárias**, Londrina, v.28, n.1, p.79-88, 2007.

SIDDIQUI, M. W. (Ed.). **Eco-friendly technology for postharvest produce quality**. Academic Press, p. 324, 2016.

SILVA, Â.; DUARTE, A.; SOUSA, S.; RAMOS, A.; DOMINGUES, F. C. Characterization and antimicrobial activity of cellulose derivatives films incorporated with a resveratrol inclusion complex. **LWT-Food Science and Technology**, v. 73, p. 481-489, 2016.

SILVA, J. H. V.; JORDÃO FILHO, J. RIBEIRO, M. L. G.; SILVA, E. L. Efeitos da inclusão do farelo de sementes de jaqueira (*Artocarpus heterophyllus* Lam.) na ração sobre a produção, pigmentação da gema e umidade fecal em codornas. **Ciência Agrotécnica**, v. 31, n. 2, p. 523-530, 2007.

SINGH, N.; JERATH, N.; SINGH, G.; GILLM, P. Physico-chemical Characterization of Unexploited Mango Diversity in Sub-mountane Zone of Northern India. **Indian J. Plant Genet. Resour**, v. 25, n. 3, p.261–269, 2012.

SINGH, Z.; SINGH, R.K.; SANE, V.A.; NATH, P. Mango - postharvest biology and bio-technology. **Critical Reviews in Plant Sciences**. v.32, p.217–236, 2013.

SINGH, Z.; ZAHARAH, S.S. Controlled atmosphere storage of mango fruit: challenges and thrusts and its implications in international mango trade. **Acta Hortic**, v. 1066, p. 179–191, 2015.

SIVAKUMAR, D.; JIANG, Y.; YAHIA, E.M. Maintaining mango (*Mangifera indica* L.) fruit quality during the export chain. **Food Res. Int.** v. 44, n. 1254–1263, 2011.

SKURTYYS, O.; ACEVEDO, C.; PEDRESCHI, F.; ENRIONE, J.; OSORIO, F.; AGUILERA, J. M. **Food hydrocolloid edible films and coatings**. New York: Nova Science Publishers, p. 66, 2010.

SORADECH, S.; NUNTHANID, J.; LIMMATVAPIRAT, S.; LUANGTANA-ANAN, M. Utilization of shellac and gelatin composite film for coating to extend the shelf life of banana. **Food Control**, v. 73, p. 1310-1317, 2017.

SUSENO, N.; SAVITRI, E.; SAPEI, L.; PADMAWIJAYA, K. S. Improving shelf-life of cavendish banana using chitosan edible coating. **Procedia Chemistry**, v. 9, p. 113-120, 2014.

TAVASSOLI-KAFRANI, E.; SHEKARCHIZADEH, H.; MASOUDPOUR BEHABADI, M. Development of edible films and coatings from alginates and carrageenans. **Carbohydrate polymers**, v. 137, p. 360-374, 2016.

TORRES, C.; ROJAS, R.; CONTRERAS, J.; SERNA, L.; BELMARES, R.; & AGUILAR, C. Mango seed: Functional and nutritional properties. **Trends in Food Science & Technology**, v.55, p.109–117, 2016.

- TORRES-LEÓN, C.; VICENTE, A. A.; FLORES-LÓPEZ, M. L.; ROJAS, R., SERNA-Cock, L.; ALVAREZ-PÉREZ, O. B.; & AGUILAR, C. N. Edible films and coatings based on mango (var. Ataulfo) by-products to improve gas transfer rate of peach. **LWT-Food Science and Technology**, v.97, p.624-631, 2018.
- TRIGO, J. M.; ALBERTINI, S.; SPOTO, M. H. F.; SARMENTO, S. B. S.; LAI REYES, A. H.; SARRIÉS, G. A. Efeito de revestimentos comestíveis na conservação de mamões minimamente processados. **Brazilian Journal of Food Technology**, v. 15, n. 2, p. 125-133, 2012.
- VARGAS, M.; PASTOR, C.; CHIRALT, A.; MCCLEMENTS, D. J.; GONZALEZ-M' C. Recent advances in edible coatings for fresh and minimally processed fruits. **Critical Reviews in Food Science and Nutrition**, 48, 496-511, 2008.
- VÁZQUEZ-CELESTINO, D.; RAMOS-SOTELO, H.; RIVERA-PASTRANA, D.M.; VÁZQUEZ-BARRIOS, M.E.; MERCADO-SILVA, E.M. Effects of waxing, microperforated polyethylene bag, 1-methylcyclopropene and nitric oxide on firmness and shrivel and weight loss of 'Manila' mango fruit during ripening. **Postharvest Biol. Technol.**, v. 111, n. 398–405, 2016.
- VELICKOVA, E.; WINKELHAUSEN, E.; KUZMANOVA, S.; ALVES, V. D.; MOLDÃO-MARTINS, M. Impact of chitosan-beeswax edible coatings on the quality of fresh strawberries (*Fragaria ananassa* cv Camarosa) under commercial storage conditions. **LWT-Food Science and Technology**, v. 52, n. 2, p. 80-92, 2013.
- VERSINO, F.; LOPEZ, O. V.; GARCIA, M. A.; ZARITZKY, N. E. Starch based films and food coatings: An overview. **Starch-Stärke**. v. 68, n11-12, p.1026-1037, 2016.
- VIEIRA, E. L.; PEREIRA, M. E. C.; SANTOS, D. B. dos; LIMA, M. A. C. de. Aplicação de biofilmes na qualidade da manga 'Tommy Atkins'. **Magistra**, v. 21, n.3, p. 165-170, 2009.
- WALL-MEDRANO, A.; OLIVAS-AGUIRRE, F. J.; VELDERRAIN-RODRÍGUEZ, G. R.; GONZÁLEZ-AGUILAR, A.; LA ROSA, L. A. J.; LÓPEZ-DÍAZ, A.; ÁLVAREZ-PARRILLA, E. El mango: aspectos agroindustriales, valor nutricional/funcional y efectos en la salud. **Nutrición Hospitalaria**, v. 3, n. 1, p. 67-75,2015.
- WATANAWAN, C.; WASUSRI, T.; SRILAONG, V.; WONGS-AREE, C.; KANLAYANARAT, S. Near infrared spectroscopic evaluation of fruit maturity and quality of export Thai mango (*Mangifera indica* L. Var. Namdokmai). **Int. Food Res. J.** v. 21, n. 1073–1078, 2014.
- XIAO, Z.; LUO, Y.; LUO, Y.; WANG, Q. Combined effects of sodium chlorite dip treatment and chitosan coatings on the quality of fresh-cut d'Anjou pears. **Postharvest Biology and Technology**, v. 62, n. 3, p. 319-326, 2011.
- ZHONG, Y.; LI, Y. Effects of surfactants on the functional and structural properties of kudzu (*Pueraria lobata*) starch/ascorbic acid films. **Carbohydrate Polymers**, 85, 622-628, 2011.
- ZHONG, Y.; SONG, X.; LI, Y. Antimicrobial, physical and mechanical properties of kudzu starch-chitosan composite films as a function of acid solvent types. **Carbohydrate Polymers**, Barking, v. 84, n. 1, p. 335-342, Feb. 2011.
- ZHOU, R.; WANG, X.; HU, Y., ZHANG, G., YANG, P., HUANG, B. Reduction in Hami melon (*Cucumis melo* var. *saccharinus*) softening caused by transport vibration

by using hot water and shellac coating. **Postharvest Biology and Technology**, v. 110, p. 214-223, 2015.

Obs: Ciência e agrotecnologia (A2).

CAPÍTULO 2. CARACTERIZAÇÃO DO AMIDO DE DIFERENTES FONTES NÃO TRADICIONAIS E APLICAÇÃO COMO REVESTIMENTO EM MANGA ‘PALMER’

CHARACTERIZATION OF STARCH FROM DIFFERENT NON TRADITIONAL SOURCES AND APPLICATION AS COATING IN ‘PALMER’ MANGO FRUIT

Antonio Augusto Marques Rodrigues

Luana Ferreira da Silva

Rayssa Ribeiro da Costa

Débora Tamara Félix

José Henrique Bernardino Nascimento

Maria Auxiliadora Coêlho de Lima

ABSTRACT

Yam, cassava, jackfruit seed and mango seed kernel present potential for starch extraction and use in the food industry or for the formulation of biodegradable coatings. To this end, benefits are expected in the quality and shelf life of fruits such as mango, which require technologies to delay ripening. The objective of this study was to characterize starch from non-traditional sources and to evaluate the potential use as a 'Palmer' mango fruit coating. The starches used were cassava, mango seed kernel, jackfruit seed and yam, having been characterized for their physical, optical and chemical properties, for later use as 'Palmer' mango fruit coatings. The coatings used were 3% cassava starch; 3.5% jackfruit seeds; mango seeds kernel at 3.5% and 3.5% yam. These were compared to the control (uncoated). The fruits were stored at 24.4 ± 0.3 °C and $87.4 \pm 2.4\%$ RH and evaluated at 2, 3, 5, 7, 9, 10 and 12 days. The experimental design was completely randomized in a 5x7 factor. The total starch content of the studied sources was higher than 70%. Jackfruit seed and yam starches had higher amylose content. The starch extracted from the four sources presented low solubility and swelling power, especially the jackfruit seed. The coatings maintained the quality of the fruits, especially the mango seed kernel starch by reducing the respiratory rate and delaying color change. In addition, together with the jackfruit seed starch, resulted in less weight loss.

INDEX TERMS: amylose; solubility; weight loss; postharvest; respiratory rate; shelf life.

RESUMO

Inhame, mandioca, semente de jaca e amêndoa da manga apresentam potencial para a extração do amido e utilização na indústria alimentícia ou para formulação de revestimentos biodegradáveis. Para este fim, são esperados benefícios à qualidade e vida útil de frutas como a manga, que requerem tecnologias para retardar o amadurecimento. O objetivo desse trabalho foi caracterizar o amido de fontes amiláceas não tradicionais e avaliar o potencial de uso como revestimento em manga ‘Palmer’. Os amidos utilizados foram o de mandioca, amêndoa de manga, semente de jaca e inhame, tendo sido caracterizados para suas propriedades físicas, ópticas e químicas, para posterior uso como revestimentos em manga ‘Palmer’. Os revestimentos utilizados foram amido de mandioca a 3%; de semente de jaca a 3,5%; amêndoa de manga a 3,5% e de inhame a 3,5%. Estes foram comparados à testemunha (sem revestimento). Os frutos foram armazenados a $24,4 \pm 0,3^{\circ}\text{C}$ e $87,4 \pm 2,4\%$ de UR e avaliados aos 2, 3,5, 7, 9, 10 e 12 dias. O delineamento experimental foi inteiramente casualizado, em fatorial 5 x 7. A quantidade de amido total das fontes estudadas foi superior a 70%. Os amidos de semente de jaca e inhame apresentaram maior teor de amilose. Os amidos extraídos das quatro fontes apresentaram baixa solubilidade e poder de inchamento, destacando-se o de semente de jaca. Os revestimentos mantiveram a qualidade dos frutos, destacando-se o amido de amêndoa de manga por reduzir a taxa respiratória e atrasar a evolução da cor. Além disso, juntamente com o amido da semente da jaca, resultou em menor perda de massa.

TERMOS PARA INDEXAÇÃO: amilose; solubilidade; perda de massa; pós-colheita; taxa respiratória; vida útil.

INTRODUÇÃO

O amido é o polímero mais abundante na natureza sendo a principal fonte de reserva da maioria das plantas. É uma fonte de energia de baixo custo para a nutrição humana e pode ser encontrado em cereais, tubérculos, raízes, sementes e outros (Baldwin; Hagenmaier; Bai, 2011).

A molécula do amido é constituída principalmente por amilose e amilopectina. A amilose é uma macromolécula essencialmente linear, formada por unidades de D-glicose associadas em ligações α -1,4, com menos de 0,1% de ramificação (ligações α -1,6). Seu comprimento é de 4 a 100 unidades de glicose. A amilopectina é uma macromolécula menos hidrossolúvel que a amilose, constituída por unidades de D-glicose unidas por ligações α -1,4 e α -1,6, sendo essa última responsável pela ramificação da molécula, que apresenta comprimento de 20 a 30 unidades de glicose (Caballero; Finglas; Toldrá, 2015).

As principais fontes para extração do amido são o milho, trigo, batata e arroz. Além dessas, existem outras fontes amiláceas não tradicionais, como inhame, mandioca, semente de jaca e a amêndoa da manga. Estas têm alto potencial para a extração do amido e utilização na indústria alimentícia ou para formulação de filmes e ou revestimentos biodegradáveis (Caballero; Finglas; Toldrá, 2015; Falade; Ayetigbo, 2015; Guimarães et al., 2017; Madruga et al., 2014; Torres-León et al., 2016;).

O potencial apresentado pelos filmes e revestimentos preparados a partir do amido é devido principalmente a suas características de baixo custo; não apresentar sabor, odor ou cor; à baixa permeabilidade ao oxigênio, em condições de baixa umidade relativa; à biodegradabilidade; e à sua natureza comestível (Bonilla et al., 2013). Além disso, atualmente vem crescendo a procura dos consumidores por alimentos naturais, que atendam aos critérios de alta qualidade e segurança. Isto tem induzido empresas e pesquisadores a explorar diferentes formas de manutenção de qualidade, frescor e segurança do alimento (Espitia et al., 2014; Mahalik; Nambiar, 2010).

O uso de revestimentos em frutos apresenta alguns benefícios como melhoria na aparência, propriedades antimicrobianas, a toxicidade e redução na atividade metabólica (Pereek, 2016). No entanto, a película depositada sobre a casca deve permitir trocas gasosas adequadas entre o fruto e o meio, para evitar o processo fermentativo, que resulta em odores desagradáveis (Contreras-Oliva; Rojas-Argudo; Pérez-Gago, 2011).

A manga, por ser um fruto climatérico, tem rápido amadurecimento,

necessitando de tecnologias pós-colheita para aumentar sua vida útil. Sob temperatura ambiente e quando a colheita é realizada no início da maturação, esse tempo de vida útil pode variar de 8 a 12 dias, de acordo com a característica da cultivar. Atualmente, mesmo com sua distribuição para vários mercados, as tecnologias pós-colheita adotadas são insuficientes para permitir períodos prolongados de armazenamento. O uso de revestimentos pode ser uma alternativa e alguns estudos vêm sendo realizados em manga com esse intuito, sendo os principais revestimentos propostos elaborados a partir de quitosana, carboximetilcelulose (CMC), cera de carnaúba, goma arábica e fécula de mandioca (Guimarães et al., 2017; Jongsri et al., 2016; Khaliq et al., 2015).

Tendo em vista o potencial de novas fontes amiláceas e a necessidade de novas tecnologias pós-colheita, como o uso de revestimentos, o objetivo desse trabalho foi caracterizar o amido de quatro fontes amiláceas não tradicionais e avaliar o potencial de uso como revestimento em manga ‘Palmer’.

MATERIAL E MÉTODOS

Os amidos utilizados nesse estudo foram o de mandioca, amêndoa de manga, semente de jaca e inhame. Das fontes amiláceas, a mandioca ‘Pernambucana’ e o inhame ‘São Tomé’ foram obtidos em feira livre do município de Petrolina-PE, as amêndoas das sementes da manga ‘Tommy Atkins’ foram doadas pela empresa de polpa de frutas Valle Fruit e as sementes da jaca ‘Dura’ foram coletadas na zona rural do município de Areia-PB. Os amidos foram extraídos e caracterizados no Laboratório de Fisiologia Pós-colheita da Embrapa Semiárido, em Petrolina, Pernambuco.

Os amidos foram obtidos da seguinte forma: inicialmente, a mandioca, o inhame, as sementes de jaca e as amêndoas da manga foram descascadas e lavadas em água corrente e imersas em solução sanitizante de hipoclorito de sódio a 50 ppm, por 10 min. Em seguida foram trituradas em liquidificador industrial, até que os resíduos apresentassem bem finos. A massa triturada foi então prensada em tecido de algodão. A suspensão de amido foi obtida por decantação (12 horas), a temperatura ambiente (25 °C ± 2 °C). Em seguida, a suspensão de amido foi centrifugado duas vezes a 1100 rpm por 5 min, a 25 °C. Após as centrifugações, obteve-se o amido. O amido foi submetido ao congelamento para a posterior liofilização por 24 horas.

Para a caracterização das principais propriedades físicas, ópticas e químicas dos amidos das fontes estudadas, foram determinadas as seguintes variáveis:

- Morfologia dos grânulos de amido: foi pesado 1 g de amido e diluído em água destilada (2% p/v). A solução foi colocada em lâmina para visualização sob microscópio óptico Coleman N107T em ampliação de 400x. A forma dos grânulos de amido de cada fonte foi observada e capturada utilizando o software Dino Capture 2.0. As medições foram realizadas entre as maiores extremidades dos grânulos sendo observadas 100 medições por amostra. Os grânulos foram classificados em pequeno (1-10 μm), médio (11-25 μm) ou grande (> 25 μm), de acordo com Singh, McCarthy e Singh (2006);

- Teor de amido total (%): pesou-se 10 g de amostra com umidade conhecida, em elermayer. Em seguida, adicionou-se 75 mL de água destilada e 10 mL de ácido clorídrico P.A. Essas amostras foram autoclavadas a 120°C, por 20 minutos. Após esfriadas, foram neutralizadas com hidróxido de sódio a 40%, transferindo-se o volume para balão volumétrico de 250 mL. O volume foi completado com água destilada. Em seguida, foi realizada a titulação por Lane-Eynon, utilizando solução de Felhing A e B, com indicador azul de metileno, conforme metodologia do Instituto Adolfo Lutz-IAL (2005);

- Determinação dos teores de amilose e amilopectina: utilizou-se o método colorimétrico, conforme Zavareze et al. (2009). Foram amostrados 100 mg de cada tipo de amido e transferidos para balão volumétrico de 100 mL, sendo acrescido 1 mL de álcool etílico 96% GL e 9 mL de solução de NaOH 1N, levando a banho-maria, a 100 °C, por 10 min, com posterior resfriamento, durante 30 min. O volume foi completado com água destilada. De cada amostra, foi retirada alíquota de 5 mL e transferida para balão volumétrico de 100 mL, em que foi adicionado 1 mL de ácido acético 1 N e 2 mL de iodo a 2% (p/v), sendo, então, completado o volume com água destilada. A leitura de absorbância foi realizada 30 min após a adição da solução de iodo, a 610 nm. Os resultados foram comparados à curva padrão obtida a partir de 40 mg de amilose pura (Sigma). A amilopectina foi obtida por diferença;

- Propriedades ópticas: para a determinação instrumental da cor dos diferentes tipos de amido, foi utilizado colorímetro Minolta CR 400, com leituras pelo sistema CIELAB, representado pelas seguintes coordenadas: L (luminosidade), cromaticidade a* (-a verde, +a vermelho) e cromaticidade b* (-b azul, +b amarelo). Foram realizadas

cinco leituras em cada um dos amidos. Para a determinação da diferença total de cor (ΔE) foram utilizadas as médias dos padrões L, a^* e b^* , na seguinte equação:

$$(1) \Delta E = [(L - L_0)^2 + (a^* - a_0)^2 + (b^* - b_0)^2]^{0,5}$$

em que os valores de L, a^* e b^* foram os lidos nos diferentes tipos de amido. Os valores de L_0 , a_0 e b_0 correspondem ao padrão branco utilizado ($L_0 = 94,38$; $a_0^* = -0,71$; $b_0^* = 3,9$) (Goyeneche et al., 2014; Pires et al., 2013).

- Solubilidade e Poder de inchamento: foram determinados conforme Leach, Mccowen e Schoch (1959), em que uma dispersão de 1 g de amido em 40 mL de água, em tubos de falcon, foram agitados por 1 min e levados a banho maria por 30min, com agitação a cada 10 min, nas temperaturas 60, 70, 80 e 90°C. Os tubos foram centrifugados por 10 min, a 6500 rpm. O sobrenadante foi levado para estufa, a 105°C, por 24 h, para determinação da massa do amido solúvel (M1). Os tubos contendo os grânulos de amido intumescido (M2) foram pesados. A solubilidade e o poder de inchamento foram calculados conforme as seguintes equações:

$$(2) \text{Solubilidade (\%)} = (\text{Massa do amido solúvel} / \text{Massa inicial do amido}) * 100$$

$$(3) \text{Poder de inchamento (g.100 g}^{-1}\text{)} = ((\text{Massa do amido intumescido} / \text{Massa inicial do amido}) - \text{Massa do amido solúvel}) * 100$$

- Estabilidade ao congelamento e descongelamento (sinerese): determinado de acordo com o método proposto por Charoenrein et al. (2011), em que 5% de suspensão de amido foi aquecida a 95°C, por 30 minutos, em banho de água controlada. Após este procedimento, os tubos foram resfriados rapidamente, em banho de água com gelo. Em seguida, 20 g do gel obtido foi transferido para tubos de falcon hermeticamente fechados e submetidos a sucessivos ciclos de congelamento, a -18°C, e descongelamento, em banho térmico a 30°C, por 90 min, seguido por centrifugação 6500 rpm, por 10 min. O sobrenadante eliminado do gel foi pesado para expressar a percentagem de líquido separado por massa total da amostra.

As avaliações químicas e ópticas foram realizadas com cinco repetições, sendo os dados submetidos à análise de variância (ANOVA), pelo teste F ($p \leq 0,05$), e aplicando o teste de Tukey ($p \leq 0,05$), para a comparação das médias. As demais análises foram realizadas com quatro repetições e apresentadas por suas médias e desvios padrões.

Após a caracterização, os diferentes tipos de amido foram usados na preparação de revestimentos biodegradáveis para uso em manga 'Palmer', em que ensaios preliminares determinaram as concentrações de cada formulação. Nesses ensaios, foram

testadas diferentes concentrações de amido (2-4%) e glicerol (1-4%).

As mangas da cultivar Palmer foram colhidas no mês de outubro de 2017, no estágio de maturação 2, que se caracteriza por uma coloração verde claro da casca, na área de produção da empresa AM Export, localizada em Petrolina, PE. Os frutos foram transportados para o Laboratório de Fisiologia Pós-colheita da Embrapa Semiárido, onde foram lavados em água corrente para retirada do excesso de cal. Em seguida, foram sanificados em água clorada, a 200 ppm, por 10 minutos. Posteriormente, foram secos para a aplicação dos seguintes revestimentos: amido de mandioca a 3%; amido de semente de jaca a 3,5%; amido de amêndoa de manga a 3,5% e amido de inhame a 3,5%, além da testemunha (sem revestimento). A todos os tratamentos, exceto a testemunha, foram adicionados: 1% de glicerol, 0,3% de Tween 80 e 0,3% de óleo de girassol. Após secos, os frutos foram armazenados a $24,4 \pm 0,3^{\circ}\text{C}$ a $87,4 \pm 2,4\%$ de UR, para avaliações aos 0, 2, 3, 5, 7, 9, 10 e 12 dias.

Esses frutos foram submetidos as análises de: perda de massa (%), sendo obtida pela diferença percentual de massa dos frutos no dia da colheita e no dia da avaliação; atividade respiratória ($\text{mol.kg}^{-1}.\text{h}^{-1}$), realizada com equipamento analisador de O_2 e CO_2 Witt PA 7.0, após os frutos terem sido mantidos durante 10 minutos dentro de recipiente hermeticamente fechado; e determinação da cor através de colorímetro Minolta CR 400, utilizando o sistema de leitura CIELAB, representado pelas seguintes coordenadas: Luminosidade (L), Cromo (C) e ângulo Hue ($^{\circ}\text{H}$), sendo a leitura realizada na região verde da casca.

O delineamento experimental utilizado foi inteiramente casualizado, em esquema fatorial 5×7 (revestimento \times tempo de armazenamento), com quatro repetições, sendo compostas por quatro frutos cada. Os dados foram submetidos à análise de variância pelo teste F ($p \leq 0,05$). Quando houve efeito significativo do fator tempo de armazenamento e ou da interação com o fator revestimento, foi aplicada análise de regressão polinomial até o terceiro grau. Quando houve efeito significativo do fator revestimentos isoladamente, foi aplicado o teste de Tukey ($p \leq 0,05$), para comparação das médias.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Características físicas, ópticas e químicas de amidos extraídos de diferentes fontes

A morfologia dos grânulos de amido de mandioca, do inhame, de semente de

jaca e da amêndoa da manga foi observada por microscopia óptica (Figura 1). Os amidos de inhame e amêndoa de manga caracterizaram-se por uma estrutura mais arredondada ou ovalada, com muitos grânulos oblongos. O amido de mandioca apresentou-se levemente arredondado com a tendência de formar cantos retos, enquanto o de semente de jaca mostrou-se com uma estrutura variando de irregular a poligonal. Foi possível observar que o tamanho do grânulo varia de acordo com a origem botânica (Martins, Gutkoski e Martins, 2018). Os maiores grânulos foram observados no amido de inhame, com valores médios de $35,08 \pm 5,22 \mu\text{m}$ sendo considerados, a partir da classificação proposta por Singh, Mccarthy e Singh (2006), como de tamanho grande. Os amidos de amêndoa de manga e mandioca, com valores médios respectivos de $19,01 \pm 2,43$ e $13,54 \pm 2,2 \mu\text{m}$, foram classificados como tamanho médio, seguindo o mesmo critério. O amido de semente de jaca apresentou o menor valor médio dos grânulos $7,32 \pm 1,45 \mu\text{m}$ e se enquadrou como de tamanho pequeno, conforme indicado pelos autores citados. Madruga et al. (2014), estudando duas cultivares de jaca, relataram valores médios de 6-11 μm .

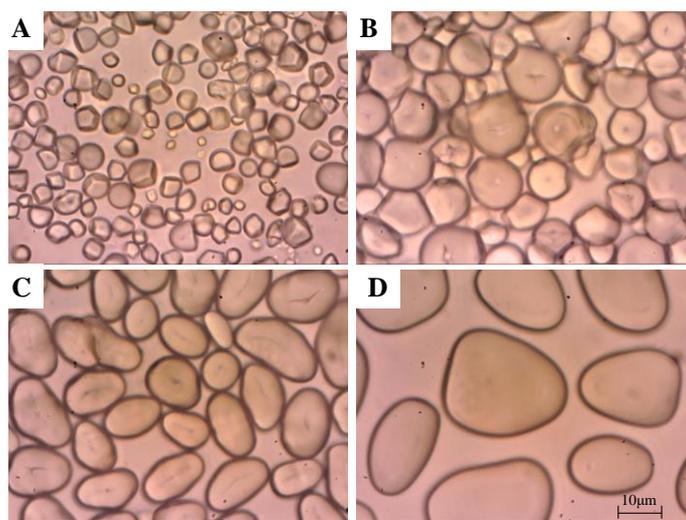


Figura 1. Microfotografia dos grânulos de semente de jaca (A), amido de mandioca (B), amêndoa de manga (C) e inhame (D) na ampliação de 400x.

De acordo com Falade e Ayetigbo (2015), o tamanho dos grânulos é um atributo importante na interação das partículas, na homogeneização em produtos alimentícios e na formulação de filmes e revestimentos biodegradáveis. Quanto menor a partícula, maior será a quantidade por unidade de massa e maior será o potencial para obter homogeneidade.

A maior quantidade de amido total foi apresentada nos amidos de mandioca e de

amêndoa de manga, com respectivamente 89,29 e 88,42%, diferindo estatisticamente dos demais (Tabela 1). Os quatro tipos de amido se enquadraram nas especificações mínimas exigidas pela legislação brasileira para amidos comerciais utilizados na indústria alimentar (Brasil,1978). A legislação indica o mínimo de 70% de amido total para este tipo de uso.

Tabela 1. Composição química dos amidos de mandioca, semente de jaca, amêndoa de manga e inhame.*

Fonte de amido	Amido total (%)	Amilopectina (%)	Amilose (%)
Mandioca	89,26 a	79,06 a	20,94 c
Inhame	70,00 c	64,91 c	35,09 a
Semente de jaca	79,83 b	65,02 c	34,98 a
Amêndoa de manga	88,42 a	69,55 b	30,45 b
CV (%)	2,53	2,02	4,63

*Médias seguidas da mesma letra, na coluna, não diferem entre si pelo teste de Tukey ($p \leq 0,05$).

A menor concentração de amilopectina e, conseqüentemente, a maior concentração de amilose foram observadas nos amidos de semente de jaca e de inhame (Tabela 1). Os valores observados estão de acordo com os reportados em outros estudos (Huang et al., 2016; Zhu, 2016). Desta maneira, espera-se que principalmente os amidos de semente de jaca e inhame apresentem o melhor potencial para revestimento devido à concentração de amilose que os caracterizam, tendo em vista sua importância na formação dos revestimentos. No entanto, outras características que contribuem para uma melhor adequação de uma matéria prima à constituição de um revestimento também devem ser observadas.

De maneira geral, a maioria dos amidos nativos apresenta entre 18 e 30% de amilose e de 70 a 82% de amilopectina, além de outros constituintes (lipídeos, proteínas e minerais). Quanto menor for a quantidade desses outros constituintes e maior a quantidade de amilose, melhor a característica na formação de filmes e revestimentos pois a amilose está ligada diretamente às características químicas e físicas do filme (Baldwin; Hagenmaier; Bai, 2011; Nakamura, 2015; Zhu, 2016).

No que se refere às características ópticas, o amido da amêndoa de manga apresentou a menor luminosidade, o menor valor para o atributo a*, o maior para b* e a maior diferença de cor, diferindo estatisticamente dos demais (Tabela 2). A resposta está associada à coloração amarelada do amido da amêndoa de manga, que, de acordo

com Torres-Leon et al. (2016), é decorrente da síntese de carotenoides na amêndoa. Por esse fato, distinguiu-se dos demais, os quais apresentavam visualmente coloração branca. Entre os demais amidos, o de inhame apresentou a maior luminosidade enquanto o de semente da jaca, a menor diferença de cor em relação ao padrão.

Tabela 2. Caracterização óptica dos amidos de mandioca, semente de jaca, amêndoa de manga e inhame.*

Fonte de amido	L*	a*	b*	ΔE
Mandioca	96,68 b	-0,15 a	1,98 c	3,10 c
Inhame	97,76 a	-0,34 b	2,38 c	3,73 b
Semente de jaca	92,68 c	-0,40 b	3,22 b	1,86 d
Amêndoa de manga	82,68 d	-1,23 c	13,57 a	15,23 a
CV (%)	0,41	6,36	2,94	3,92

*Médias seguidas pela mesma letra, na coluna, não diferem entre si pelo teste de Tukey ($p \leq 0,05$).

A diferença na coloração entre as diferentes fontes amiláceas pode ser atribuída à presença dos materiais encontrados em pequenas quantidades no amido, como proteínas, fibras, açúcares, látex, pigmentos, lipídeos, minerais, entre outros, que não se desprendem na hora da extração. Esses outros constituintes também podem interferir na formação dos filmes e revestimentos devido a alterações nas características químicas do amido (Falade; Ayetigbo, 2015).

A solubilidade e o poder de inchamento dos amidos extraídos de diferentes fontes aumentaram com o aquecimento de 60 a 90°C (Figura 2). O amido de mandioca apresentou a maior solubilidade e poder de inchamento, como taxas de incremento maiores para a solubilidade dos 60 para 70°C e de 80 para 90°C. No que se refere ao poder de inchamento, o maior ganho foi observado com o aquecimento de 80 para 90°C.

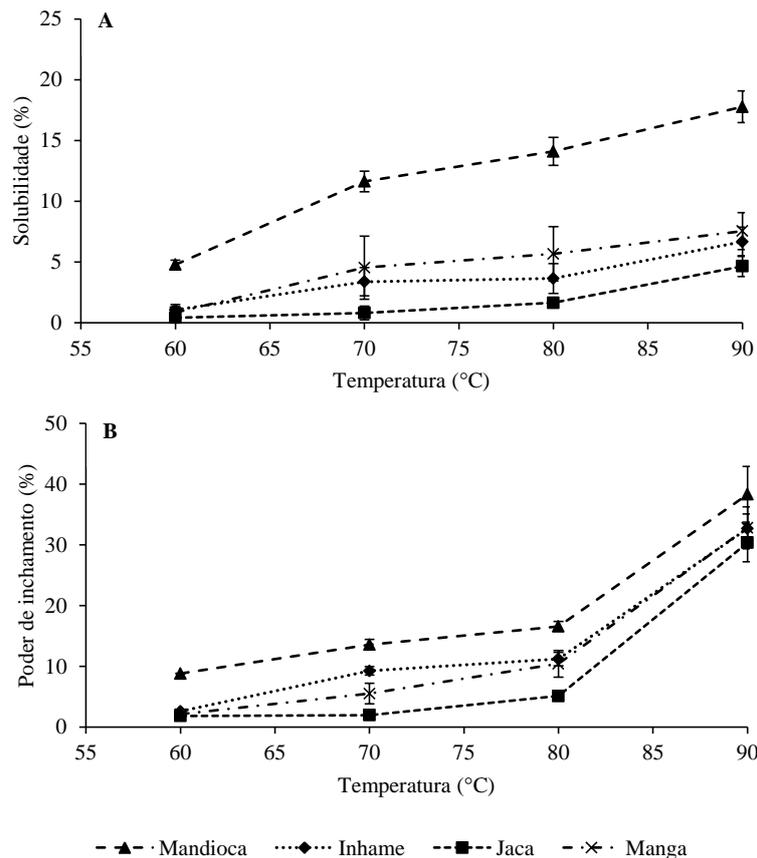


Figura 2. Solubilidade (A) e poder de inchamento (B) dos amidos de mandioca, inhame, semente de jaca e amêndoa de manga em diferentes temperaturas.

O comportamento similar na solubilidade e no poder de inchamento é esperado devido a ambos dependerem do arranjo das moléculas de amilose e amilopectina. O amido que apresenta a menor solubilidade e menor poder de inchamento é o de semente de jaca. Esse fato está relacionado com a quantidade de amilose presente, pois esta restringe o poder de inchamento e mantém a integridade dos grânulos inchados assim como as cadeias de amilose complexadas com lipídios restringem tanto o inchaço granular quanto a lixiviação da amilose (Martins; Gutkoski; Martins, 2018).

As diferenças na solubilidade e poder de inchamento durante o aquecimento são decorrentes da estrutura molecular, tamanho do grânulo e fonte botânica, além das diferenças de amilose e amilopectina presentes no amido (Huang et al., 2015). Geralmente, quanto maior a quantidade de amilose mais compacto o amido se torna, ficando mais difícil sua exsudação nos grânulos inchados, o que reduz a solubilidade e indica o comportamento de lixiviação durante a gelificação. O poder de inchamento é uma medida de hidratação do amido sob diferentes temperaturas e sob excesso de água. Quanto maior esse poder, menor a resistência da ligação das pontes de hidrogênio

existentes entre as moléculas de amilose e amilopectina (Kumar et al., 2018).

O amido de amêndoa de manga apresentou a maior sinerese em relação aos demais durante os ciclos de congelamento e descongelamento (Figura 3). No primeiro ciclo de descongelamento (primeiro dia), esse amido apresentou uma porcentagem acintosa de sinerese 48,99%, enquanto o de inhame 8,33% e os de semente de jaca e mandioca 0%. Os amidos de semente de jaca, amêndoa de manga e mandioca apresentaram crescimento acentuado na sinerese no terceiro ciclo de descongelamento (quinto dia). Ao final do quinto ciclo (oitavo dia), o amido de amêndoa de manga apresentou sinerese de 68,6% enquanto nos demais foi abaixo de 52%. Doan et al. (2019) associaram a menor capacidade de resistir aos ciclos de congelamento e descongelamento a um alto poder de inchamento associado a uma baixa quantidade de amilopectina.

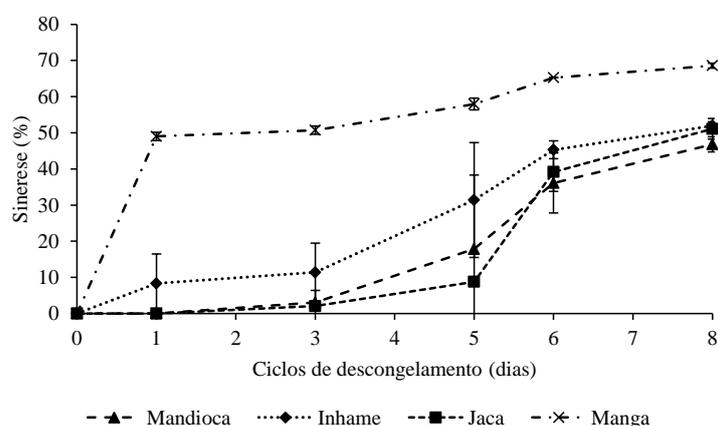


Figura 3. Sinerese dos amidos extraídos de inhame, semente de jaca, mandioca e amêndoa de manga em ciclos de congelamento e descongelamento.

A sinerese é um indicador da estabilidade ao congelamento e descongelamento, sendo quantificada pela porcentagem de água que o gel de amido perde após os ciclos de variação de temperatura. Nestes ciclos, são simuladas algumas alterações físicas indesejáveis que podem ocorrer. Essa estabilidade pode ser influenciada pela estrutura molecular, conteúdo de amilose e amilopectina e teor de água presente no amido (Zhu, 2014).

Potencial para aplicação de revestimentos a partir de fontes não tradicionais de amido em manga ‘Palmer’

A perda de massa dos frutos diferiu em função dos revestimentos aplicados e ao

longo do armazenamento (Figura 4A). Ao longo dos 12 dias, houve um aumento linear na perda de massa, sendo que as mangas revestidas com amido de inhame (AI), amido de mandioca (AM) e o de amêndoa de manga (AAM) apresentaram os menores valores, representados por 4,96; 4,68 e 4,68%, respectivamente. Em linhas gerais, os revestimentos com os quatro tipos de amido diminuíram a perda de massa em comparação com a testemunha com destaque para os amidos de mandioca e amêndoa de manga, cujos valores foram 33,8% menores que o dos frutos da testemunha. Essa menor perda de massa encontrada nos frutos revestidos podem estar associados à diminuição da perda de água para o ambiente e da presença de lipídeos nos amidos que, por serem hidrofóbicos, contribuíram para formar uma melhor barreira contra a umidade (Madruga et al., 2014; Torres-Leon et al., 2016).

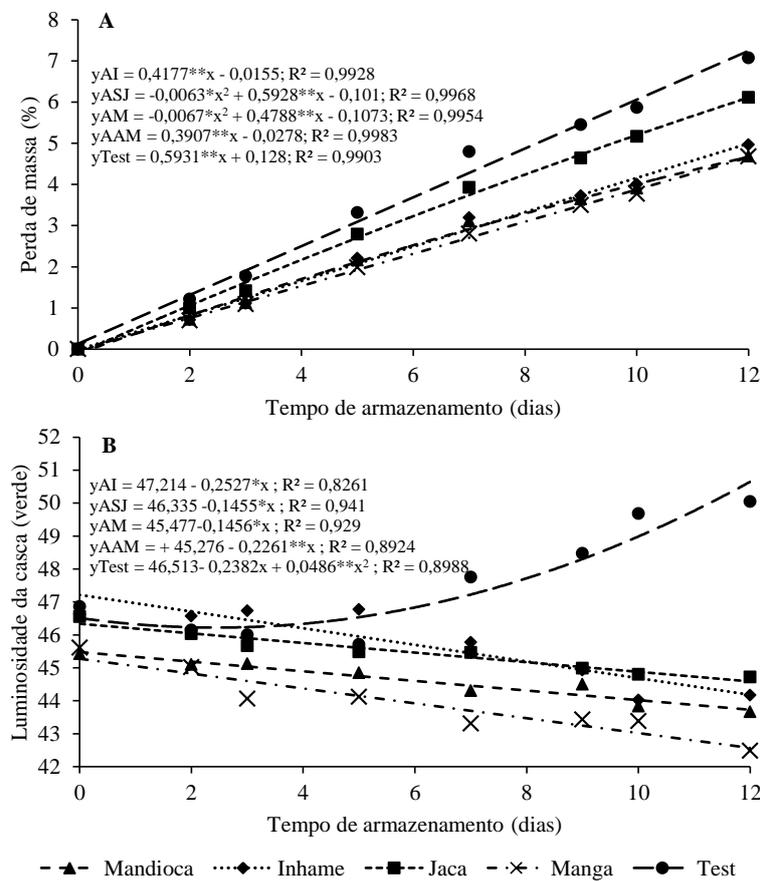


Figura 4. Perda de massa fresca (A) e luminosidade (B) da casca na área verde de manga ‘Palmer’ sob revestimentos à base de amido de inhame; amido de semente de jaca; amido de mandioca; amido de amêndoa de manga e a testemunha (Test), durante o armazenamento a $24,4 \pm 0,3^{\circ}\text{C}$ e $87,4 \pm 2,4\%$ de UR.

O nível de perda de massa observado, em torno de 5%, é aceitável para frutos frescos. O principal fator que ocasiona a perda de massa no armazenamento é a perda de água da fruta para o meio ambiente, fazendo com que o fruto apresente murcha e, dessa maneira, diminua a sua aceitação no mercado (Pareek, 2016).

A luminosidade da casca na região verde foi influenciada pela interação entre os revestimentos e o tempo de armazenamento (Figura 4 B). Para os frutos revestidos, houve diminuição ao longo do armazenamento enquanto para os frutos da testemunha a luminosidade aumentou no período. De acordo com Jongsri et al. (2016), a luminosidade é um indicador de mudança de cor da casca. À medida que a fruta avança sua maturação, os valores de L tendem a aumentar.

O croma da casca também foi influenciado pela interação entre revestimentos e tempo de armazenamento (Figura 5A). O croma da casca dos frutos do tratamento testemunha aumentou durante o tempo. Os frutos revestidos com amido de inhame, mandioca e amêndoa de manga praticamente não sofreram alteração. Esta resposta sugere um retardo na maturação. Além disso, o croma também pode ser influenciado pela presença de cicatrizes, tecidos que sofreram injúrias além de compostos químicos que foram se depositando ao longo do armazenamento.

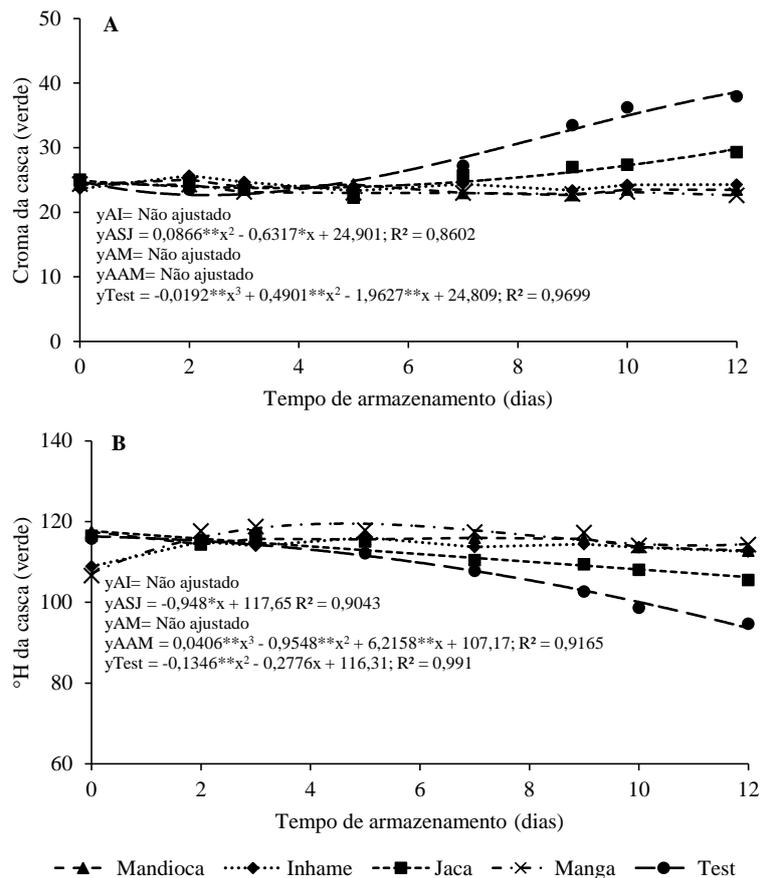


Figura 5. Croma (A) e ângulo de cor - °H (B) da casca na região verde da manga ‘Palmer’ sob revestimentos à base de amido de inhame; amido de semente de jaca; amido de mandioca; amido de amêndoa de manga e a testemunha (Test), durante o armazenamento a $24,4 \pm 0,3^\circ\text{C}$ e $87,4 \pm 2,4\%$ de UR.

O °H diferiu entre os frutos influenciado pela interação revestimento e tempo de armazenamento (Figura 5B). Os frutos da testemunha apresentaram diminuição do °H em relação aos frutos recobertos, indicando que os mesmos sofreram retardo na mudança na coloração verde, em que, ao final do armazenamento, os frutos da testemunha apresentavam uma coloração mais amarelada que os demais. De acordo com Hussain et al. (2015), esse retardo na mudança da cor verde é um indício de amadurecimento lento em resposta à menor atividade da clorofilase, que é responsável pela degradação da clorofila durante a maturação.

O pico respiratório ocorreu no 7º dia de armazenamento, para os frutos recobertos com os amidos de mandioca, semente de jaca e os frutos sem revestimentos (Figura 6). Para os frutos revestidos com os amidos de inhame e amêndoa de manga, a maior atividade respiratória ocorreu no 8º dia de armazenamento. Limitação de

sensibilidade do equipamento e os intervalos de realização das leituras podem ter dificultado uma melhor visualização do pico climatérico. Os frutos recobertos com amido de amêndoa de manga apresentaram a menor atividade respiratória, sendo 27% menor que os da testemunha ao final do armazenamento. Esta resposta é coerente com a hipótese de que os revestimentos agiram como uma barreira de proteção ao redor dos frutos, modificando a atmosfera, reduzindo as taxas metabólicas e contribuindo para o retardo do amadurecimento. Esse fato também foi relatado por Jongsri et al. (2016), em mangas ‘Nam Dok Mai’, com revestimentos à base de quitosana.

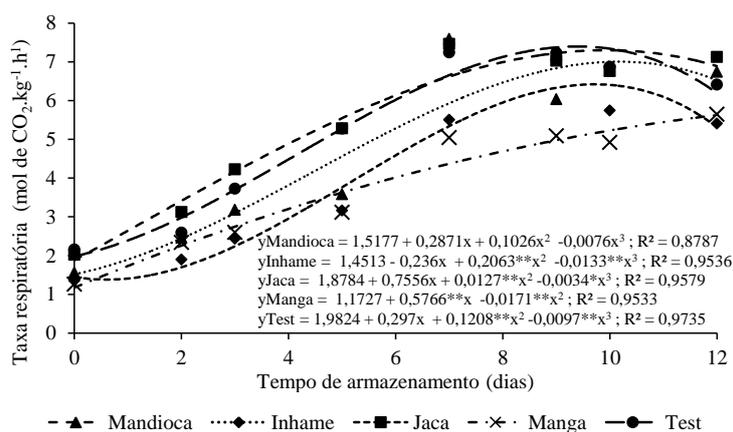


Figura 6. Taxa respiratória de manga ‘Palmer’ durante o armazenamento a $24,4 \pm 0,3^\circ\text{C}$ e $87,4 \pm 2,4\%$ de UR, sob revestimentos a base de amido de inhame; amido de semente de jaca; amido de mandioca; amido de amêndoa de manga e a testemunha (Test).

De maneira geral, as quatro fontes apresentaram enorme potencial para extração de amido. Além disso, os amidos extraídos foram eficazes em sua utilização como revestimento biodegradável. Com estudos mais aprofundados, esses revestimentos podem vir a ser utilizados em grande escala, agregando valor às fontes, principalmente à semente de jaca e à amêndoa de manga, que são subprodutos da indústria e atualmente pouco utilizados. Essa nova utilização seria vantajosa para regiões produtoras de frutas, principalmente devido à disponibilidade das quatro fontes estudadas, com destaque para a amêndoa da manga, que pode ser obtida de várias fábricas de polpa presentes em regiões produtoras da fruta, como o Submédio do Vale do São Francisco.

CONCLUSÕES

As quatro fontes amiláceas apresentaram boas propriedades para extração de amido e uso na composição de revestimentos para manga, tendo apresentado altos teores de amido e amilose bem como baixa solubilidade e poder de inchamento. Em relação às propriedades ópticas, os amidos de inhame e mandioca apresentaram maior luminosidade enquanto o da semente da jaca foi o mais próximo ao padrão de cor utilizado. Ao final dos ciclos de congelamento e descongelamento, os amidos de mandioca, inhame e semente de jaca apresentaram uma maior resistência.

As quatro fontes amiláceas utilizadas mostraram potencial para aplicação como revestimento em manga ‘Palmer’, tendo reduzido a perda de massa e a taxa respiratória, o que repercute em atraso do amadurecimento. Destacou-se o amido de amêndoa de manga, que reduziu a taxa respiratória e a perda de massa nos frutos revestidos, à semelhança do observado como o uso de revestimentos à base de amidos de semente de jaca e de mandioca, que diminuíram as alterações na cor da casca da manga ‘Palmer’.

REFERÊNCIAS

- BALDWIN, E.A.; HAGENMAIER, R; BAI, J (Ed.). **Edible coatings and films to improve food quality**. 2nd Edition. . Boca Raton: CRC Press, 415p, 2011.
- BONILLA, J. et al. Effect of the incorporation of antioxidants on physicochemical and antioxidant properties of wheat starch–chitosan films. **Journal of Food Engineering**, 118(3): 271-278, 2013.
- BRASIL. Resolução n.º 12/78 da Comissão Nacional de Normas e Padrões para Alimentos. Aprova as normas técnicas especiais do Estado de São Paulo, revistas pela CNNPA, relativas a alimentos (e bebidas). Diário Oficial da República Federativa do Brasil, Brasília, jul. 1978.
- CABALLERO, B; FINGLAS, P; TOLDRÁ, F. (Ed.). **Encyclopedia of Food and Health**. Boca Raton: Academic Press. 773p, 2015.
- CHAROENREIN, S. et al. Effect of konjac glucomannan on syneresis, textural properties and the microstructure of frozen rice starch gels. **Carbohydrate Polymers**, 83(1): 291-296, 2011.
- CONTRERAS-OLIVA, A.; ROJAS-ARGUDO, C.; PÉREZ-GAGO, M. B. Effect of solid content and composition of hydroxypropyl methylcellulose – lipid edible coatings on physicochemical, sensory and nutritional quality of ‘Valencia’ oranges. **International Journal of Food Science and Technology**, 46(11): 2437-2445, 2011.
- DOAN, H.X.N. et al. Characterization of rice starch gels reinforced with enzymatically-produced resistant starch. **Food Hydrocolloids**, 91(2019): 76-82, 2019.
- ESPITIA, P. J. P. et al. Edible films from pectin: Physical-mechanical and antimicrobial properties - A review. **Food Hydrocolloids**, 35(2014): 287-296, 2014.
- FALADE, K.O.; AYETIGBO, O.E. Effects of annealing, acid hydrolysis and citric acid modifications on physical and functional properties of starches from four yam (*Dioscorea* spp.) cultivars. **Food hydrocolloids**, 43(2015): 529-539, 2015.
- GUIMARÃES, G.H.C. et al. Impact of cassava starch-alginate based coatings added with ascorbic acid and elicitor on quality and sensory attributes during pineapple storage. **African Journal of Agricultural Research**, 12(9): 664-673, 2017.
- GOYENECHE, R. et al. Application of citric acid and mild heat shock to minimally processed sliced radish: color evaluation. **Postharvest Biology and Technology**, 93(2014): 106–113, 2014.
- HUANG, H. et al. Preparation, physico-chemical characterization and biological activities of two modified starches from yam (*Dioscorea opposita* Thunb.). **Food Hydrocolloids**, 55(2016): 244-253, 2016.
- HUANG, J. et al. Comparison of physicochemical properties of B-type nontraditional starches from different sources. **International journal of biological macromolecules**, 78(2015): 165-172, 2015.

HUSSAIN, P. R. et al. Retention of storage quality and post-refrigeration shelf-life extension of plum (*Prunus domestica* L.) cv. Santa Rosa using combination of carboxymethyl cellulose (CMC) coating and gamma irradiation. **Radiation Physics and Chemistry**, 107(2015): 136-148, 2015.

INSTITUTO ADOLFO LUTZ. **Normas analíticas, métodos químicos e físicos para análise de alimentos**. 2ª Edição. São Paulo, v.1, 371p. 2005.

JONGSRI, P. et al. Effect of molecular weights of chitosan coating on postharvest quality and physicochemical characteristics of mango fruit. **LWT-Food Science and Technology**, 73(2016): 28-36, 2016.

KHALIQ, G. et al. Effect of gum arabic coating combined with calcium chloride on physico-chemical and qualitative properties of mango (*Mangifera indica* L.) fruit during low temperature storage. **Scientia Horticulturae**, 190(2015): 187-194, 2015.

KUMAR, L. et al. The effects of dairy ingredients on the pasting, textural, rheological, freeze-thaw properties and swelling behaviour of oat starch. **Food Chemistry**, 245 (2018): 518–524, 2018.

LEACH, H. W.; McCOWEN, L. D.; SCHOCH, T. J. Structure of the starch granule. I. Swelling and solubility patterns of various starches. **Cereal Chemistry**, 36(6): 534-544, 1959.

MADRUGA, M. S. et al. Chemical, morphological and functional properties of Brazilian jackfruit (*Artocarpus heterophyllus* L.) seeds starch. **Food Chemistry**, 143(2014): 440–445, 2014.

MAHALIK, N. P., NAMBIAR, A. N. Trends in food packaging and manufacturing systems and technology. **Trends in Food Science and Technology**, 21(3): 117-128, 2010.

MARTINS, P. C., GUTKOSKI, L. C., MARTINS, V. G. Impact of acid hydrolysis and esterification process in rice and potato starch properties. **International journal of biological macromolecules**, 120(2018): 959-965, 2018.

NAKAMURA, Y (Ed.). **Starch Metabolism and Structure**. Berlin: Springer, 451p, 2015.

PAREEK, S. (Ed.). **Postharvest ripening physiology of fruits. Innovations in postharvest technology series**. Boca Raton: CRC Press, 2016. 664p.

PIRES, C. et al. Hake proteins edible films incorporated with essential oils: physical, mechanical, antioxidant and antibacterial properties. **Food Hydrocolloids**, 30(1): 224-231, 2013.

SINGH, J., MCCARTHY, O. J., SINGH, H. Physico-chemical and morphological characteristics of New Zealand Taewa (*Maori potato*) starches. **Carbohydrate Polymers**, 64(4): 569-581, 2006.

TORRES-LEÓN, C. et al. Mango seed: functional and nutritional properties. **Trends in Food Science and Technology**, 55(2016): 109-117, 2016.

ZAVAREZE, E. R. et al. Caracterização química e rendimento de extração de amido de arroz com diferentes teores de amilose. **Brazilian Journal of Food Technology**, 1(2009): 24-30, 2009.

ZHU, F. Structure, physicochemical properties, and uses of millet starch. **Food Research International**, 64(2014): 200-211, 2014.

ZHU, F. Structure, properties, and applications of aroid starch. **Food Hydrocolloids**, 52(2016): 378-392, 2016.

CAPÍTULO 3. PROPRIEDADES E CARACTERIZAÇÃO DE FILMES BIODEGRADÁVEIS OBTIDOS A PARTIR DE DIFERENTES FONTES DE AMIDO

PROPERTIES AND CHARACTERIZATION OF BIODEGRADABLE FILMS OBTAINED FROM DIFFERENT STARCH SOURCES

RESUMO

O uso de polímeros naturais biodegradáveis para a conservação de alimentos vem aumentando como reflexo das preocupações da sociedade com a sustentabilidade. Entre os polímeros naturais, o amido destaca-se pela alta disponibilidade em escala mundial, alto rendimento de extração, valor nutricional, baixo custo, biodegradabilidade e biocompatibilidade. Além das fontes tradicionais, existem diversas outras com potencial para extração. O objetivo desse trabalho foi identificar filmes de diferentes fontes amiláceas não tradicionais com potencial para aplicação em frutos e hortaliças. Os filmes biodegradáveis foram preparados em três concentrações (2, 3 e 3,5%) de amido para cada uma das fontes a saber: mandioca, inhame, semente de jaca e amêndoa de manga. Os amidos de mandioca, semente de jaca, amêndoa de manga e inhame são ingredientes promissores na formulação de filmes, apresentando boas características físicas, ópticas, como transparência, e mecânicas, principalmente a tensão na ruptura. O aumento da concentração de amido influenciou diretamente a espessura, permeabilidade ao vapor da água, tensão na ruptura e força de perfuração. Os filmes derivados de cada tipo de amido com maior potencial para a utilização, de acordo com as suas características, foram mandioca 3%, semente da jaca 3,5%, manga 2% e inhame 3%.

PALAVRAS-CHAVE: permeabilidade ao vapor de água, propriedades mecânicas, propriedades ópticas

ABSTRACT

The use of natural biodegradable polymers for food preservation has been increasing as a reflection of society's concerns about sustainability. Among the natural polymers, starch stands out for the high availability in the world, high extraction yield, nutritional value, low cost, biodegradability and biocompatibility. In addition to the traditional sources, there are several others with potential for extraction. The objective of this study was to identify films from different non-traditional starch sources with potential for use in fruits and vegetables. The biodegradable films were prepared in three concentrations (2, 3 and 3.5%) of starch for each source: cassava, yam, jackfruit seed and mango seed kernel. Cassava starch, jackfruit seed, mango seed kernel and yam are promising ingredients in the formulation of films, exhibiting good physical, optical, transparency, and mechanical characteristics, especially stress at rupture. The increase in starch concentration directly influenced the thickness, water vapor permeability, rupture stress and drilling force. The films derived from each type of starch with the greatest potential for use, according to their characteristics, were 3% cassava, 3.5% jackfruit seed, 2% mango seed and 3% yam.

KEY-WORDS: permeability to water vapor, mechanical properties, optical properties.

INTRODUÇÃO

A maioria dos polímeros usados para a fabricação de itens de embalagem são à base de petróleo, que não são biodegradáveis, gerando alto impacto ambiental no seu descarte (Arfat et al., 2017). Consequentemente, este descarte aumenta a poluição. Esta realidade incentiva o uso de polímeros naturais biodegradáveis para embalagens de alimentos (Priyadarshi et al., 2018).

Dessa forma, o desenvolvimento de filmes comestíveis e ou biodegradáveis surge como alternativa para substituir parcial ou totalmente polímeros sintéticos para a fabricação de embalagens. Além da preocupação ambiental, avança entre os consumidores a busca por um estilo de vida mais saudável (Dick et al., 2015). Entre os polímeros de fontes renováveis, polissacarídeos e proteínas são os mais utilizados para a formação de filmes biodegradáveis (Han, 2014). Entre os polissacarídeos, o amido destaca-se pela capacidade de formação de filme, por apresentar grande disponibilidade em escala mundial, alto rendimento de extração, valor nutricional, baixo custo,

biodegradabilidade, biocompatibilidade e por ser comestível (Shah et al., 2016).

Para a formação de uma solução filmogênica com amido, faz-se necessário o aquecimento já que seus grânulos não podem ser solúveis em água fria, mesmo que, ao absorver certa quantidade de água, haja algum inchamento. Com o aumento da temperatura, as moléculas de amido vibram intensamente, rompendo as ligações intermoleculares, estabelecendo ligações de hidrogênio com a água e provocando um decréscimo do número e tamanho das regiões cristalinas. Com isso, a viscosidade da solução aumenta consideravelmente, já que, com o inchamento, os grânulos se aderem uns aos outros e, com a agitação, adquire aspecto gelatinoso (Corke et al., 2016).

Diversas são as fontes amiláceas para a extração de amido, sendo milho, trigo, arroz e batata as mais comuns (Caballero et al., 2015). Além dessas fontes, pode-se citar a mandioca, que é de extrema importância alimentícia, principalmente para a América do Sul, além de diversas outras não tradicionais com potencial para extração e uso como filmes ou revestimentos biodegradáveis devido ao alto rendimento, teor de amido e boa composição química. Com estas características, o inhame, a semente da jaca e a amêndoa da manga são consideradas fontes potenciais deste polissacarídeo (Falade; Ayetigbo, 2015; Guimarães et al., 2017; Madruga et al., 2014; Torres-León et al., 2018).

Por outro lado, possui pontos fracos, como a natureza altamente hidrofílica, o que o torna uma fraca barreira a vapor de água, e o fato de sofrer processo de retrogradação, implicando em variações nas suas propriedades mecânicas com o tempo (Li et al., 2015). No entanto, suas propriedades são melhoradas com a utilização de agentes plastificantes, como o glicerol (Gutierrez et al., 2015).

As características de um filme ideal incluem a capacidade de impedir ou reduzir a transferência de umidade do ambiente circundante para o alimento, a resistência mecânica, a elasticidade e a transparência, evitando interferir na aparência do produto (Gutierrez et al., 2015). O estudo das propriedades de barreira, características ópticas e mecânicas de filmes formados a partir de fontes não tradicionais de amido, em diferentes concentrações, apoiará a identificação de materiais para o desenvolvimento de novas estruturas biodegradáveis bem como definirá a necessidade de inclusão de aditivos para melhorar a adesão e estabilidade da matriz.

O objetivo desse trabalho foi identificar filmes de diferentes fontes amiláceas não tradicionais com potencial para aplicação em frutas e hortaliças.

MATERIAL E MÉTODOS

Os amidos utilizados foram de mandioca, inhame, amêndoa de manga e semente de jaca. A mandioca e o inhame foram obtidos em feira livre do município de Petrolina-PE, a amêndoa da semente da manga foi doada pela empresa de polpa de frutas Valle Fruit e as sementes da jaca foram coletadas na zona rural do município de Areia-PB. A extração do amido foi realizada no Laboratório de Fisiologia Pós-Colheita da Embrapa Semiárido, em Petrolina, PE. Para a obtenção dos amidos as matérias-primas foram inicialmente descascadas e lavadas em água corrente e imersas em solução sanificante de hipoclorito de sódio a 50 ppm, por 10 min. Em seguida foram trituradas em liquidificador industrial, até que os resíduos apresentassem bem finos. A massa triturada foi então prensada em tecido de algodão. A suspensão de amido foi obtida por decantação (12 horas), a temperatura ambiente ($25\text{ }^{\circ}\text{C} \pm 2\text{ }^{\circ}\text{C}$). Em seguida, a suspensão de amido foi centrifugado duas vezes a 1100 rpm por 5 min, a $25\text{ }^{\circ}\text{C}$. Após as centrifugações, obteve-se o amido, que foi submetido ao congelamento para a posterior liofilização por 24 horas. Os filmes biodegradáveis foram preparados a partir de três concentrações (2, 3 e 3,5%) de amido para cada uma das fontes amiláceas, com a adição de concentração fixa de glicerol (1%) proposta por Rodrigues et al. (2018).

No preparo de cada uma das soluções filmogênicas, as temperaturas de geleificação utilizadas foram aquelas indicadas na literatura como adequadas. O amido de mandioca foi aquecido a 70°C (Azeredo et al., 2016), os amidos de semente de jaca e amêndoa de manga, a 85°C (Barthi et al., 2019; Madruga et al., 2014) e o de inhame, a 90°C (Gutierrez et al., 2015), sob agitação constante para garantir a gelatinização. Todas elas foram mantidas em suas respectivas temperaturas por um período de 15 min. Após esse período, foi adicionado o glicerol e a suspensão foi homogenizada, a 10.000 rpm, por 5 minutos. Para a formação do filme, foram colocados para secar em placas de teflon 25 x15 cm, durante 48 h, em temperatura constante de 24°C , a 50% de UR.

Os filmes obtidos foram caracterizados quanto a: espessura, solubilidade em água, permeabilidade ao vapor da água, coloração, transparência, tensão na ruptura, elasticidade e força de perfuração.

As espessuras dos filmes foram determinadas usando um micrômetro Mitutoyo (Modelo MDC-25M, MFG / Japão). As espessuras reportadas representaram valores médios de cinco medições aleatórias realizadas em diferentes partes do filme. Os

resultados foram apresentados em μm .

A solubilidade em água foi determinada em percentagem da matéria seca do filme que é solúvel em água. Foi determinada através do método proposto por Hafsa et al. (2016). Amostras de 2 cm^2 , com umidade conhecida foram pesadas (massa inicial) e colocadas em 50 mL de água destilada e posta sob agitação constante por 24 horas, a 25°C . Após esse período, a água foi retirada e as amostras foram secas em estufa, a 105°C , até o peso constante (massa final). A percentagem de solubilidade foi calculada usando a seguinte equação:

$$(1) \text{ Solubilidade em água (\%)} = \frac{\text{Massa Inicial} - \text{Massa Final}}{\text{Massa Inicial}} \times 100$$

A permeabilidade ao vapor da água (PVA) foi determinada de acordo com o método descrito pela ASTM E 96-00 (2000) com algumas modificações. Os filmes, no formato de disco, foram colocados numa célula contendo água no interior, formando uma membrana de modo a garantir que a perda de água ocorresse exclusivamente através do filme. As células foram colocadas em um dessecador, em sala climatizada com umidade relativa controlada, sendo pesadas a cada 24 horas, durante 7 dias consecutivos, em balança analítica. As análises foram realizadas em 4 repetições para cada tipo de filme. A permeabilidade foi calculada pela seguinte equação, tendo sido expressa em $\text{kg mm.Pa}^{-1} \text{ h}^{-1} \text{ m}^{-2}$:

$$(2) \text{ PVA} = \frac{\text{Fluxo de perda} \times \text{Espessura}}{\text{Pressão de saturação} \times \text{área}}$$

A caracterização óptica foi realizada através de um colorímetro Minolta CR 400, utilizando o sistema de leitura CIELAB, representado pelas seguintes coordenadas: L (luminosidade), cromaticidade a^* (-a verde, +a vermelho) e cromaticidade b^* (-b azul, +b amarelo). Foram realizadas cinco leituras em cada um dos filmes. Para a determinação da diferença total de cor (ΔE), foram utilizadas as médias dos padrões L, a^* e b^* na seguinte equação:

$$(3) \Delta E = [(L - L_0)^2 + (a^* - a_0)^2 + (b^* - b_0)^2]^{0,5}$$

em que os valores de L, a^* e b^* foram os medidos nos diferentes tipos de filme e os de L_0 , a_0 e b_0 correspondem ao padrão branco utilizado ($L_0 = 94,38$; $a_0^* = -0,71$; $b_0^* = 3,9$) (Goyeneche et al., 2014; Pires et al., 2013).

A transparência do filme determinada por um espectrofotômetro UV-VIS Varian, modelo Carry 50 Bio, UV-Vis, (Mulgrave VIC, Australia). As análises foram realizadas em triplicatas. As amostras de filme foram fixadas na cubeta para que o feixe de luz passasse sobre a superfície do filme. A transparência foi determinada a 600 nm,

que é o comprimento de onda típico usado em filmes (Han; Floros, 1997). Os valores foram expressos em porcentagem, a partir da seguinte equação:

$$(4) \text{ Transparência (\%)} = \frac{\text{Abs (600 nm)}}{\text{Espessura}}$$

As propriedades mecânicas foram determinadas por ensaios de tração (tensão na ruptura e elasticidade), usando a máquina universal de ensaios DL (Digital Line) da EMIC. As medições foram feitas seguindo o método padrão da Sociedade Americana para Testes e Materiais D882-97 (ASTM, 1997). O corpo de prova utilizado de acordo com as normas da ASTM possuía 25 mm de largura e 115 mm de comprimento. A separação entre as garras foi ajustada a 60 mm e a velocidade a 1,0 mm s⁻¹. Foram realizadas cinco repetições para cada tipo de filme.

A força de perfuração foi determinada em texturômetro eletrônico Extralab TAXT Plus (Stable Micro Systems, Surrey, Reino Unido), sendo os filmes foram fixados em duas placas de acrílico com diâmetro de 60 mm de abertura e perfurado por uma ponteira de 6 mm de diâmetro, deslocando-se perpendicularmente a uma velocidade de 1 mm s⁻¹, de acordo com o método proposto por Gontard et al. (1994).

Os dados foram submetidos à análise de variância (ANOVA) e as médias dos diferentes filmes foram comparadas pelo teste de Tukey, a 5 % de probabilidade. Com o objetivo de correlacionar as características que mais diferiram entre os tipos de filme, foi realizada uma análise de componentes principais. Para estabelecer a importância das variáveis dentro de cada componente, utilizou-se o critério de Jolliffe (1972) e, para agrupar os filmes que apresentavam maior similaridade com relação às variáveis estudadas, realizou-se análise de cluster. As análises foram feitas utilizando o software JMP[®] 10.0.0.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

As espessuras nos filmes variaram de 54 a 92 µm, sendo que os mais espessos foram os de amido de inhame e amêndoa de manga na concentração de 3,5% (Tabela 1). De maneira geral, à medida que aumentou a concentração de amido, independente da fonte amilácea, a espessura do filme também aumentou com valores próximos a 50% quando se aumentou de 2 para 3,5%. Esse fato também foi relatado por Wang et al. (2017), que, trabalhando com amido extraído de milho normal, ceroso e com alto teor de amilose, observaram aumento na espessura dos filmes à medida que aumentaram as

concentrações do carboidrato. O aumento da espessura se deve principalmente a uma maior quantidade de massa utilizada que, conseqüentemente, aumenta o número de grânulos, ampliando, assim, a área de superfície, o que acarretará em uma melhor interação com o plastificante.

Tabela 1. Espessura, solubilidade em água e permeabilidade ao vapor da água (PVA) de filmes à base de amidos de mandioca (AM), semente de jaca (ASJ), amêndoa de manga (AAM) e inhame (AI), em diferentes concentrações.*

Filme	Espessura (μm)	Solubilidade (%)	PVA ($\text{Kg mm Pa}^{-1} \text{h}^{-1} \text{m}^{-2}$)
AM 2%	54 ^f	26,38 ^a	3,45 x 10 ⁻¹⁰ bc
AM 3%	70 ^{de}	24,03 ^{abc}	3,19 x 10 ⁻¹⁰ bc
AM 3,5%	74 ^{cd}	24,96 ^{ab}	3,14 x 10 ⁻¹⁰ bc
ASJ 2%	60 ^{ef}	24,85 ^{ab}	3,03 x 10 ⁻¹⁰ c
ASJ 3%	76 ^{bcd}	18,38 ^{bcd}	3,21 x 10 ⁻¹⁰ bc
ASJ 3,5%	89 ^{ab}	16,76 ^{cd}	4,39 x 10 ⁻¹⁰ b
AAM 2%	71 ^{de}	12,48 ^d	16,4 x 10 ⁻¹⁰ a
AAM 3%	87 ^{abc}	16,54 ^d	14,4 x 10 ⁻¹⁰ a
AAM 3,5%	90 ^a	15,99 ^d	15,8 x 10 ⁻¹⁰ a
AI 2%	64 ^{def}	18,61 ^{bcd}	11,3 x 10 ⁻¹⁰ a
AI 3%	85 ^{abc}	12,37 ^d	15,6 x 10 ⁻¹⁰ a
AI 3,5%	92 ^a	11,56 ^d	13,2 x 10 ⁻¹⁰ a

*Médias seguidas de letras iguais, na coluna, não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

A espessura é uma característica importante para os filmes uma vez que está ligada diretamente às propriedades de barreira, como a PVA e permeabilidade ao O₂ e CO₂. Como os filmes à base de amido são hidrofílicos, a espessura pode influenciar particularmente a PVA devido à diferença entre a pressão do vapor da água e o acúmulo de umidade na interface do filme (Gutiérrez et al., 2015).

As maiores solubilidades em água foram observadas nos filmes de amido de mandioca em todas as concentrações e no amido de semente de jaca a 2% (ASJ 2%), diferindo estatisticamente dos demais (Tabela 1). Os demais filmes apresentaram as menores solubilidades. De acordo com Pelissari et al. (2013), não existe um valor ideal para a solubilidade. Deve-se considerar a aplicação ou forma de uso do filme. Por exemplo, os filmes podem atuar para proteger um alimento da alta atividade da água ou para evitar a exsudação de um produto fresco ou congelado.

Como observado na tabela 1, a solubilidade variou de 11,56 a 24,96%, sendo

esses valores menores ou similares a resultados encontrados na literatura. Silva et al. (2019) reportaram valores entre 10-23%, em filmes à base de mandioca. Moosavian & Mohammadi Nafchi (2017) observaram valores médios de 22 a 32%, em filmes à base de mandioca conendo menta. Por sua vez, Luchese et al. (2018) relataram solubilidade de 13,7 a 26,5%, para filmes biodegradáveis à base de batata, trigo, milho e mandioca.

O início da solubilidade pode ser explicado pelo fato de as moléculas do solvente, ao serem absorvidas pelos polímeros, penetrarem na rede macromolecular, forçando a separação das cadeias poliméricas. Esse afrouxamento da estrutura do polímero ocorre devido à liberação dos componentes da matriz no ambiente após algum tempo de exposição (Pryadarshi et al., 2018).

A PVA foi maior para os amidos de amêndoa de manga e inhame em todas as concentrações, diferindo estatisticamente das outras duas fontes (Tabela 1). Estatisticamente, a concentração de amido não influenciou a PVA. Foi possível notar que as duas fontes que apresentaram as maiores espessuras (âmendoa de manga e inhame) também apresentaram maior PVA. Esse efeito foi destacado por Gutiérrez et al. (2015), em filmes de amido de mandioca e de inhame. Segundo os autores, o aumento na espessura do filme aumenta a resistência à transferência de água e, conseqüentemente, a pressão parcial de equilíbrio da água na superfície interna dos filmes.

Essa é a propriedade mais importante em filmes biodegradáveis por causa de sua íntima relação com as reações deteriorantes, afetando diretamente a vida útil do produto. Através dela, é possível estimar a quantidade de água que será ganha ou perdida dos alimentos recobertos com o filme. Quanto maior a PVA, mais facilmente as moléculas de água se difundem na rede de polissacarídeos (Ahmadi et al., 2012; Dick et al., 2015).

Os valores observados nesse trabalho estão abaixo daqueles reportados por outros autores (Gutiérrez et al., 2015; Dick et al., 2015; Fakhouri et al., 2015). No entanto, diversos fatores, como a fonte do hidrocolóide e sua proporção, a espessura utilizada, a diferença na proporção do agente plastificante, bem como as diferenças no procedimento do teste podem afetar a PVA.

A cor dos filmes biodegradáveis é um fator importante para a aceitação dos consumidores. A Tabela 2 apresenta os valores para as variáveis estudadas nos diferentes filmes. De acordo com os valores de luminosidade (L), a*, b*, diferença de cor (ΔE) e transparência (T), destaca-se que os filmes de amido de amêndoa de manga,

independente de sua concentração, apresentaram coloração mais amarelada em relação aos demais, que apresentaram menor L, maior b*, maior ΔE e maior valor de T. Para a última variável, quanto maior for o valor, mais opaco é o filme.

Tabela 2. Características ópticas e transparência de filmes à base de amidos de mandioca (AM), semente de jaca (ASJ), amêndoa de manga (AAM) e inhame (AI).*

Filme	L	a*	b*	ΔE	T (%)
AM 2%	93,87 ^a	-0,51 ^{cd}	4,09 ^{ef}	0,20 ^c	3,35 ^f
AM 3%	93,46 ^{ab}	-0,62 ^{fg}	4,29 ^{def}	0,56 ^c	2,74 ^h
AM 3,5%	93,61 ^{ab}	-0,60 ^{efg}	4,13 ^{def}	0,34 ^c	2,14 ^j
ASJ 2%	93,76 ^{ab}	-0,55 ^{def}	4,44 ^{cde}	0,38 ^c	3,57 ^e
ASJ 3%	93,30 ^b	-0,61 ^{fg}	4,78 ^c	0,98 ^c	2,29 ⁱ
ASJ 3,5%	93,81 ^a	-0,52 ^{de}	4,57 ^{cd}	0,45 ^c	1,62 ^k
AAM 2%	91,94 ^c	-0,65 ^g	8,17 ^b	12,08 ^b	7,35 ^c
AAM 3%	91,76 ^c	-1,21 ^h	10,28 ^a	24,11 ^a	8,94 ^a
AAM 3,5%	91,74 ^c	-1,32 ⁱ	10,52 ^a	25,68 ^a	7,62 ^b
AI 2%	93,67 ^{ab}	-0,33 ^a	3,98 ^{ef}	0,34 ^c	6,03 ^d
AI 3%	93,88 ^a	-0,41 ^{ab}	3,92 ^f	0,18 ^c	3,00 ^g
AI 3,5%	93,74 ^{ab}	-0,44 ^{bc}	3,94 ^f	0,25 ^c	2,14 ^j

* Médias seguidas de letras iguais, na coluna, não diferem entre si pelo teste de Tukey, a 5% de probabilidade.

Diferenças na coloração podem ser atribuídas à presença dos materiais encontrados em pequenas quantidades no amido, como proteínas, fibras, açúcares, látex, pigmentos, lipídeos, minerais, entre outros, que não se desprendem na hora da extração. Esses outros constituintes também podem causar alterações químicas no amido dificultando a formação de filme (Falade; Ayetigbo, 2015; Pelissari et al., 2013).

De acordo com Priyadarshi et al. (2018), a transparência é outra propriedade importante que devemos considerar no caso do filme ter a finalidade de embalagem de alimentos uma vez que os consumidores sempre procuram a visibilidade do produto. Nesse estudo, a transparência variou de 1,62 a 8,94. Esses valores são próximos aos reportados por Ramos et al. (2013), que, em filmes de polietileno de baixa densidade (LDPE), polipropileno orientado (OPP) e polietileno, observaram valores respectivos de 3,05, 1,67 e 1,51.

As propriedades mecânicas são características importantes no processo de desenvolvimento de uma nova embalagem pois esse material deve possuir resistência ao esforço mecânico, mantendo sua integridade durante o transporte, manuseio e

armazenamento (Priyadarshi et al., 2018). Na tabela 3, são apresentadas as características mecânicas de tensão na ruptura, elasticidade e força de perfuração.

Tabela 3. Propriedades mecânicas de tensão na ruptura (TR), elasticidade (E) e força de perfuração (FP) de filmes à base de amidos de mandioca (AM), semente de jaca (ASJ), amêndoa de manga (AAM) e inhame (AI).*

Filme	TR (MPa)	E (%)	FP (N)
AM 2%	11,19 ^d	5,01 ^c	5,40 ^f
AM 3%	24,30 ^c	5,09 ^c	10,90 ^{de}
AM 3,5%	28,15 ^{abc}	6,62 ^c	15,65 ^{ab}
ASJ 2%	6,64 ^d	26,79 ^a	8,76 ^e
ASJ 3%	24,20 ^c	5,73 ^c	15,58 ^{ab}
ASJ 3,5%	33,83 ^{ab}	6,61 ^c	17,67 ^a
AAM 2%	10,54 ^d	16,26 ^b	3,73 ^f
AAM 3%	23,50 ^c	5,22 ^c	8,92 ^e
AAM 3,5%	33,02 ^{ab}	7,76 ^c	14,52 ^{bc}
AI 2%	22,08 ^c	9,50 ^{bc}	9,72 ^e
AI 3%	26,83 ^{bc}	6,39 ^c	13,18 ^{cd}
AI 3,5%	36,63 ^a	10,74 ^{bc}	17,03 ^a

*Médias seguidas de mesmas letras nas colunas não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

A tensão na ruptura mede a deformação enquanto uma força é aplicada a uma taxa constante. A maior tensão na ruptura foi observada no amido de inhame a 3,5% (AI 3,5%), apresentando valor médio de 36,63 MPa (Tabela 3). Essa maior tensão na ruptura do amido de inhame pode estar ligada diretamente à sua quantidade de amilose. Por ter ligações mais estáveis, a amilose tem o potencial de formar filmes mais fortes (López; Gacia 2012). De maneira geral, a tensão na ruptura aumentou com a concentração de amido para todos as fontes utilizadas.

Os valores médios observados, de 6,64 a 36,63 Mpa, estão dentro da faixa já reportada por outros autores para filmes à base de amido. López e García (2012) mencionaram valores de 31,8 MPa, em amido de milho; 36,7 MPa, em amido de jacatupé; e 29,7 MPa, em amido de mandioca. Ortega-Toro et al. (2014) relataram valores de 8,4-24,3 Mpa, em amido de milho com diferentes concentrações de glicerol. Pelissari et al. (2013) observaram valores de 19,3 MPa, em amido de banana. Comparando com filmes sintéticos, essa faixa está dentro dos valores reportados por Chambi & Grosso (2011), que, trabalhando com polietileno de baixa densidade, relataram valores de 23-28 MPa, enquanto Polat et al. (2018), trabalhando com

polietileno de baixa densidade associado a nano partículas metálicas, mencionaram tensão na ruptura entre 15,36-18,99 MPa. Esses valores encontrados com os filmes biodegradáveis estão próximos aos filmes sintéticos mostrando que os de amido têm potencial para utilização, pois apresentam a resistência necessária para a manipulação da embalagem sem causar dano ao produto alimentício.

A elasticidade aumentou do comprimento original da amostra para o ponto de quebra, sem que praticamente houvesse diferença entre os filmes, com exceção do amido de semente de jaca a 2% , que apresentou, 26,79% (Tabela 3). À medida que os filmes se tornam mais elásticos, a sua resistência à tração diminui e, conseqüentemente, menor é a sua integridade. Nesse sentido, a melhor escolha para filmes seria os que apresentaram elasticidade moderada.

Os filmes que apresentaram a maior resistência, avaliada por meio da força de perfuração, foram amido de mandioca a 3,5% (15,65 N), amido de semente de jaca a 3 e a 3,5% (15,58 e 17,67 N) e amido de inhame a 3,5% (17,03 N), como mostra a Tabela 3. Em linhas gerais, à medida que aumentou a concentração de amido foi preciso mais força para perfurar o filme, independente da fonte amilácea. Esses valores apresentaram o mesmo comportamento da tensão na ruptura. Os filmes com concentrações de 3 e 3,5%, para todos os tipos de amido, apresentaram maiores valores que os reportados por outros autores. Araujo-Faro et al. (2010) relataram valores médios de 7,1 N, em amido de quinoa, enquanto Andrade-Mahecha (2009) citou valores médios de 8 N, em amido de araruta, e Pelissari et al. (2013) destacaram valores médios de 6 N, em amido de banana.

Tanto a transparência como as propriedades mecânicas dos filmes das quatro fontes amiláceas são próximas ou similares a valores reportados para filmes comerciais derivados do petróleo, mostrando, assim, o potencial de utilização das mesmas. As diferenças existentes nos filmes biodegradáveis à base dos amidos de mandioca, semente de jaca, amêndoa de manga e inhame, quanto às variáveis analisadas, foram explicadas em 78,27% por dois componentes principais CP1= 49,49% e CP2= 28,78% (Tabela 4). No componente 1, as variáveis que apresentaram maior importância para explicar as diferenças entre os filmes foram Luminosidade (L); a^* ; b^* , ΔE , permeabilidade ao vapor de água (PVA) e a transparência (T). No componente 2, as variáveis de maior importância foram TR, FP e espessura. Nesse contexto, as variáveis que não apresentaram relevância para explicar as diferenças entre os filmes biodegradáveis foram a elasticidade (E) e a solubilidade, pois apresentaram autovetores

baixos em todos os componentes principais.

Tabela 4. Autovetores de dois componentes principais (CP1, CP2) das variáveis analisadas em filmes biodegradáveis à base de amido de mandioca, semente de jaca, amêndoa de manga e inhame.

Característica	Autovetores	
	CP1	CP2
Tensão na ruptura	0,079	0,535
Elasticidade	-0,044	-0,298
Força de perfuração	-0,056	0,512
Espessura	0,229	0,452
Luminosidade	-0,404	0,118
*a	-0,366	0,029
*b	0,413	-0,094
Diferença total de cor (ΔE)	0,415	-0,066
Permeabilidade ao vapor de água (PVA)	0,326	0,066
Solubilidade	-0,231	-0,263
Transparência	0,367	-0,238
Autovalores	5,445	3,166
Variância acumulada (%)	49,49	78,27

A partir das semelhanças observadas entre os diferentes filmes biodegradáveis, a análise de cluster separou em 3 grupos (Figura 1). No grupo 1, os filmes de AM 2%, AM 3%, AM 3,5%, ASJ 2%, ASJ 3% e AI 2% foram separados dos demais por apresentarem maior luminosidade, maiores valores no componente a* de cor e maior solubilidade. No grupo 2, os filmes ASJ 3,5%, AI 3% e AI 3,5% foram associados por apresentarem maiores força de perfuração, maior tensão na ruptura e maior espessura. No grupo 3, foram reunidos todos os filmes a base de amido de amêndoa de manga por apresentarem maior permeabilidade ao vapor da água, maior diferença de cor em relação ao padrão (ΔE), maiores valores no componente b* de cor e apresentar os maiores valores de transparência, sendo que quanto maior o valor menos transparência.

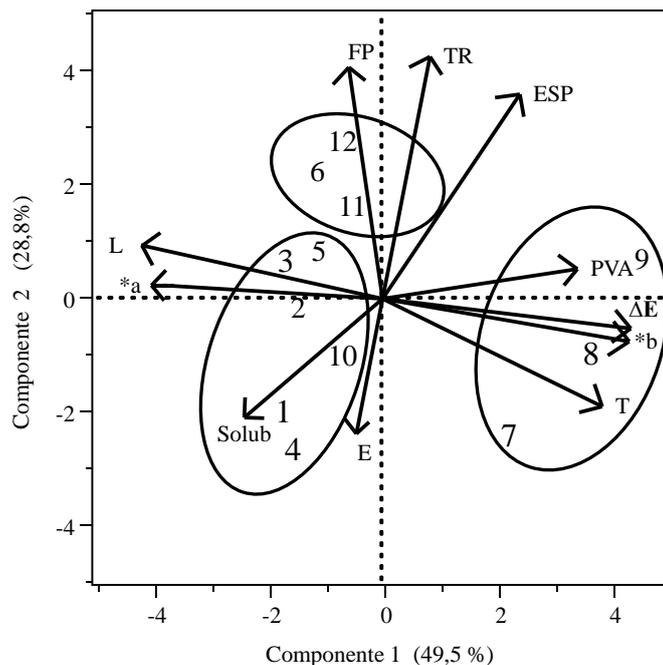


Figura 1. Autovetores reunidos em três grupos referentes às variáveis analisadas em filmes biodegradáveis à base de amido de mandioca, semente de jaca, amêndoa de manga e inhame.

1= Amido de mandioca 2% (AM 2%); 2= Amido de mandioca 3% (AM 3%); 3= Amido de mandioca 3,5% (AM 3,5%); 4= Amido de semente de jaca 2% (ASJ 2%); 5= Amido de semente de jaca 3% (ASJ 3%); 6= Amido de semente de jaca 3,5% (ASJ 3,5%); 7= Amido de amêndoa de manga 2% (AAM 2%); 8= Amido de amêndoa de manga 3% (AAM 3%); 9= Amido de amêndoa de manga 3,5% (AAM 3,5%); 10= Amido de inhame 2% (AI 2%); 11= Amido de inhame 3% (AI 3%); 12= Amido de inhame 3,5% (AI 3,5%).

TR= tensão na ruptura, E= elasticidade, FP= força de perfuração, Esp= espessura, L= luminosidade, ΔE = diferença total de cor, PVA= permeabilidade ao vapor da água, Solub=solubilidade, T= transparência.

CONCLUSÕES

Os amidos de mandioca, semente de jaca, amêndoa de manga e inhame mostraram-se ingredientes promissores na formulação de filmes, apresentando boas características físicas, ópticas e mecânicas. A concentração de amido utilizada na fabricação do filme afetou diretamente as suas características. O aumento na concentração de amido aumentou diretamente a espessura, permeabilidade ao vapor da água, tensão na ruptura e a força de perfuração. Considerando todas as características estudadas, os filmes de maior potencial, para cada fonte de amido, foram mandioca a 3%, semente de jaca a 3,5%, amêndoa de manga a 2% e inhame a 3%.

REFERÊNCIAS

- Ahmadi, R., Kalbasi-Ashtari, A., Oromiehie, A., Yarmand, M. S., & Jahandideh, F. (2012). Development and characterization of a novel biodegradable edible film obtained from psyllium seed (*Plantago ovata* Forsk). *Journal of Food Engineering*, 109(4), 745-751. <http://dx.doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2011.11.010>
- American Society for Testing and Materials – ASTM. (1997). Annual book of ASTM standards (Designation D 882-97: standard test method for tensile properties of thin plastic sheeting, pp. 159-197). Philadelphia: American Society for Testing and Materials.
- American Society for Testing and Materials – ASTM. (2000). Annual book of ASTM standard (Designation E96-00: Standard method for water vapor transmission of materials, pp. 785-792). Philadelphia: American Society for Testing and Materials.
- Andrade-Mahecha, MM (2009). Elaboração e caracterização de biofilmes de farinha de biri (*Canna indica* L.). (Dissertação de mestrado). Universidade Estadual de Campinas, Campinas.
- Araujo-Farro, P. C., Podadera, G., Sobral, P. J., & Menegalli, F. C. (2010). Development of films based on quinoa (*Chenopodium quinoa*, Willdenow) starch. *Carbohydrate Polymers*, 81(4), 839-848. <http://dx.doi.org/10.1016/j.carbpol.2010.03.051>
- Arfat, Y. A., Ejaz, M., Jacob, H., & Ahmed, J. (2017). Deciphering the potential of guar gum/Ag-Cu nanocomposite films as an active food packaging material. *Carbohydrate polymers*, 157, 65-71. <http://dx.doi.org/10.1016/j.carbpol.2016.09.069>.
- AZERÊDO, L. P. M., SILVA, S. D. M., LIMA, M. A. C., DANTAS, R. L., PEREIRA, W. E. (2016). Quality of ‘Tommy Atkins’ mango from integrated production coated with cassava starch associated with essential oils and chitosan. *Revista Brasileira de Fruticultura*, 38(1), 141-150. <http://dx.doi.org/10.1590/0100-2945-270/14>
- Bharti, I., Singh, S., & Saxena, D. C. (2019). Influence of alkali treatment on physicochemical, pasting, morphological and structural properties of mango kernel starches derived from Indian cultivars. *International journal of biological macromolecules*, 125, 203-212. <https://dx.doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2018.12.034>
- Caballero, B; Finglas, P; Toldrá, F. (2015). *Encyclopedia of Food and Health*. Cambridge: Academic Press.
- Chambi, H. N. M., & Grosso, C. R. F. (2011). Mechanical and water vapor permeability properties of biodegradable films based on methylcellulose, glucomannan, pectin and gelatin. *Food Science and Technology*, 31(3), 739-746. <http://dx.doi.org/10.1590/S0101-20612011000300029>.
- Corke, H., Faubion, J., Seetheraman, K., Wrigley, C. (2016). *Encyclopedia of Food Grains*. Cambridge: Academic Press.
- Dick, M., Costa, T. M. H., Gooma, A., Subirade, M., de Oliveira Rios, A., & Flôres, S. H. (2015). Edible film production from chia seed mucilage: Effect of glycerol concentration on its physicochemical and mechanical properties. *Carbohydrate Polymers*, 130, 198-205. <http://dx.doi.org/10.1016/j.carbpol.2015.05.040>.
- Fakhouri, F. M., Martelli, S. M., Caon, T., Velasco, J. I., & Mei, L. H. I. (2015). Edible films and coatings based on starch/gelatin: Film properties and effect of coatings on

- quality of refrigerated Red Crimson grapes. *Postharvest Biology and Technology*, 109, 57-64. <http://dx.doi.org/10.1016/j.postharvbio.2015.05.015>.
- Falade, K.O & Ayetigbo, O.E. (2015). Effects of annealing, acid hydrolysis and citric acid modifications on physical and functional properties of starches from four yam (*Dioscorea* spp.) cultivars. *Food hydrocolloids*, 43, 529-539. <http://dx.doi.org/10.1016/j.foodhyd.2014.07.008>.
- Gontard, N., Duchez, C., Cuq, J.-L., & Guilbert, S. (1994). Edible composite films of wheat gluten and lipids: water vapour permeability and other physical properties. *International Journal of Food Science & Technology*, 29(1), 39-50. <http://dx.doi.org/10.1111/j.1365-2621.1994.tb02045.x>.
- Goyeneche, R., Agüero, M.V., Roura, S., & Scala, K.D. (2014). Application of citric acid and mild heat shock to minimally processed sliced radish: color evaluation. *Postharvest Biol. Technol.* 93, 106–113. <http://dx.doi.org/10.1016/j.postharvbio.2014.02.011>.
- Guimarães, G. H. C., Dantas, R. L., de Sousa, A. S. B., Soares, L. G., Melo, R.S., R., da Silva, R., & Silva, S.M. (2017). Impact of cassava starch-alginate based coatings added with ascorbic acid and elicitor on quality and sensory attributes during pineapple storage. *African Journal of Agricultural Research*, 12(9), 664–673. <http://dx.doi.org/10.5897/AJAR2016.11652>.
- Gutiérrez, T. J., Tapia, M. S., Pérez, E., & Famá, L. (2015). Structural and mechanical properties of edible films made from native and modified cush-cush yam and cassava starch. *Food Hydrocolloids*, 45, 211-217. <http://dx.doi.org/10.1016/j.foodhyd.2014.11.017>.
- Hafsa, J., ali Smach, M., Khedher, M. R. B., Charfeddine, B., Limem, K., Majdoub, H., & Rouatbi, S. (2016). Physical, antioxidant and antimicrobial properties of chitosan films containing Eucalyptus globulus essential oil. *LWT-Food Science and Technology*, 68, 356-364. <http://dx.doi.org/10.1016/j.lwt.2015.12.050>.
- Han, Jung H. (2014). *Innovations in food packaging*. Cambridge: Academic Press.
- Han, Jung H & Floros, John D. (1997). Casting antimicrobial packaging films and measuring their physical properties and antimicrobial activity. *Journal of Plastic Film & Sheeting*, 13(4), 287-298. <http://dx.doi.org/10.1177/875608799701300405>.
- Jolliffe, I.T. Discarding variables in a principal component analysis. (1972) I. Artificial data. *Appl. Stat.*, 21(2), 160-173. <http://dx.doi.org/10.2307/2346488>.
- López, O. V.; García, M. A. Starch films from a novel (*Pachyrhizus ahipa*) and conventional sources: development and characterization (2012). *Materials Science and Engineering: C*, 32(7), 1931-1940. <http://dx.doi.org/10.1016/j.msec.2012.05.035>.
- Li, J., Ye, F., Liu, J., Zhao, G. (2015). Effects of octenylsuccination on physical, mechanical and moisture-proof properties of stretchable sweet potato starch film. *Food Hydrocolloids*, 46, 226-232. <http://dx.doi.org/10.1016/j.foodhyd.2014.12.017>.
- Luchese, C. L., Benelli, P., Spada, J. C., & Tessaro, I. C. (2018). Impact of the starch source on the physicochemical properties and biodegradability of different starch-based films. *Journal of Applied Polymer Science*, 135(33), 46564.

<http://dx.doi.org/10.1002/app.46564>.

Madruga, M. S., de Albuquerque, F. S. M., Silva, I. R. A., do Amaral, D. S., Magnani, M., & Neto, V. Q. (2014). Chemical, morphological and functional properties of Brazilian jackfruit (*Artocarpus heterophyllus* L.) seeds starch. *Food Chemistry*, 143, 440–445. <http://dx.doi.org/10.1016/j.foodchem.2013.08.003>.

Moosavian, V; Mohammadi Nafchi, A. (2017). Biodegradable Films Based on Cassava Starch/Mentha piperita Essence: Fabrication, Characterization and Properties. *Journal of Chemical Health Risks*, 7, 3. <http://dx.doi.org/10.22034/JCHR.2017.544185>.

Ortega-Toro, R., Jiménez, A., Talens, P., & Chiralt, A. (2014). Effect of the incorporation of surfactants on the physical properties of corn starch films. *Food Hydrocolloids*, 38, 66-75. <http://dx.doi.org/10.1016/j.foodhyd.2013.11.011>.

Pelissari, F. M., Andrade-Mahecha, M. M., Sobral, P. J. do A., & Menegalli, F. C. (2013). Comparative study on the properties of flour and starch films of plantain bananas (*Musa paradisiaca*). *Food Hydrocolloids*, 30(2), 681–690. <http://dx.doi.org/10.1016/j.foodhyd.2012.08.007>.

Pires, C., Ramos, C., Teixeira, B., Batista, I., Nunes, L., & Marques, A. (2013). Hake proteins ediblefilms incorporated with essential oils: physical, mechanical, antioxidant and antibacterial properties. *Food Hydrocolloids*, 30(1), 224-231. <http://dx.doi.org/10.1016/j.foodhyd.2012.05.019>.

Polat, S; Fenercioğlu, H; Güçlü, M. (2018). Effects of metal nanoparticles on the physical and migration properties of low density polyethylene films. *Journal of Food Engineering*, 229, 32-42. <http://dx.doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2017.12.004>.

Priyadarshi, R., Kumar, B., & Negi, Y. S. (2018). Chitosan film incorporated with citric acid and glycerol as an active packaging material for extension of green chilli shelf life. *Carbohydrate polymers*, 195, 329-338. <http://dx.doi.org/10.1016/j.carbpol.2018.04.089>

Ramos, Ó. L., Reinas, I., Silva, S. I., Fernandes, J. C., Cerqueira, M. A., Pereira, R. N., Vicente, A. A., Pocas, M. F., Pintado, M. E., & Malcata, F. X. (2013). Effect of whey protein purity and glycerol content upon physical properties of edible films manufactured therefrom. *Food Hydrocolloids*, 30(1), 110–122. <http://dx.doi.org/10.1016/j.foodhyd.2012.05.001>.

RODRIGUES, A. A. M., SILVA, S. D. M., DANTAS, A. L., SILVA, A. F. D., SANTOS, L. D. S., MOREIRA, D. D. N. (2018). Physiology and postharvest conservation of ‘Paluma’ guava under coatings using Jack fruit seed-based starch. *Revista Brasileira de Fruticultura*, 40(2), <http://dx.doi.org/10.1590/0100-29452018352>.

Shah, U., Naqash, F., Gani, A., & Masoodi, F. A. (2016). Art and science behind modified starch edible films and coatings: a review. *Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety*, 15(3), 568-580. <http://dx.doi.org/10.1111/1541-4337.12197>.

Silva, O.A, Pellá, M.G., Pellá, M.G., Caetano, J., Simões, M.R., Bittencourt, P.R.S., & Dragunski.D.C. (2019) Synthesis and characterization of a low solubility edible film based on native cassava starch. *International Journal of Biological Macromolecules*, 128, 290-296. <http://dx.doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2019.01.132>.

Torres-León, C., Vicente, A. A., Flores-López, M. L., Rojas, R., Serna-Cock, L.,

Alvarez-Pérez, O. B., & Aguilar, C. N. (2018). Edible films and coatings based on mango (var. Ataulfo) by-products to improve gas transfer rate of peach. *LWT*, 97, 624-631. <http://dx.doi.org/10.1016/j.lwt.2018.07.057>.

Wang, K., Wang, W., Ye, R., Liu, A., Xiao, J., Liu, Y., & Zhao, Y. (2017). Mechanical properties and solubility in water of corn starch-collagen composite films: Effect of starch type and concentrations. *Food chemistry*, 216, 209-216. <http://dx.doi.org/10.1016/j.foodchem.2016.08.048>.

CAPITULO 4. QUALIDADE E CONSERVAÇÃO PÓS-COLHEITA DE MANGA 'TOMMY ATKINS' SOB REVESTIMENTOS BIODEGRADÁVEIS À BASE DE AMIDOS DE SEMENTE DE JACA E AMÊNDOA DE MANGA

MANGO 'TOMMY ATKINS' POST-HARVEST QUALITY AND CONSERVATION UNDER BIODEGRADABLE COATINGS BASED ON JACKFRUIT SEED STARCH AND MANGO SEED KERNEL

RESUMO

A manga, por ter uma curta vida útil, necessita de técnicas para prolongar esse tempo, sendo o uso de revestimentos biodegradáveis uma possibilidade. Entre os materiais formadores, estão amido, quitosana e ceras. Diversas são as fontes amiláceas utilizadas para a extração do amido. Além das mais tradicionais, existem outras com potencial, como a semente da jaca e a amêndoa de manga. O objetivo deste trabalho foi determinar o potencial dos amidos de semente de jaca e amêndoa de manga, associados ou não a quitosana, como revestimento biodegradável na manga 'Tommy Atkins' e sua influência na qualidade, nos compostos bioativos e na atividade antioxidante dos frutos revestidos. O experimento foi realizado em delineamento inteiramente casualizado, em fatorial 7x6 (revestimento x tempo de armazenamento), com 4 repetições. Foram aplicados os revestimentos amido de amêndoa de manga 2%; amido de amêndoa de manga 1% + quitosana 1%; amido de semente de jaca 3,5%; amido de semente de jaca 1,75% + quitosana 1,75; quitosana 2%; cera de carnaúba e controle. Em todos os revestimentos, exceto a cera e o controle, foram adicionados: Tween 80 (0,3%), óleo de girassol (0,3%) e glicerol (2%). Os frutos foram armazenados por 21 dias sob refrigeração ($12,1 \pm 0,2^{\circ}\text{C}$ e $89 \pm 3\%$ de UR) seguido de nove dias em temperatura ambiente ($23,3 \pm 0,2^{\circ}\text{C}$ e $89 \pm 3\%$ de UR) com avaliações a cada dois dias. A aplicação de revestimentos foi benéfica à extensão da vida pós-colheita e manutenção da qualidade, atrasando o amadurecimento, devido à inibição da taxa respiratória. Os frutos revestidos não só mantiveram a firmeza, como também preservaram a qualidade, retardando o aumento das substâncias pécicas e β -caroteno, degradação da clorofila, atividade da α -amilase e degradação do amido. Os revestimentos mais eficientes foram quitosana, cera de carnaúba, amido de semente de jaca + quitosana e amido de amêndoa de manga.

Palavras-Chave: α -amilase; atmosfera modificada; β -caroteno; clorofila; vida útil.

ABSTRACT

Because mango has a short shelf life, it requires techniques to prolong this time; the use of biodegradable coatings is a possibility. Among the materials used are starch, chitosan and waxes. Several starch sources are used for starch extraction. In addition to the more traditional starch sources, there are others with potential, such as jackfruit and mango seeds kernel. The objective of this study was to determine the potential of jackfruit and mango seeds kernel starches, associated or not with chitosan, as a biodegradable coating on 'Tommy Atkins' mango and its influence on the quality, bioactive compounds and antioxidant activity of coated fruits. The experiment was carried out in a completely randomized design, in factorial 7x6 (coating x storage time), with four replicates. 2% mango seed kernel starch; 1% mango seed kernel starch + 1% chitosan; 3.5% jackfruit seed starch; 1.75% jackfruit seed starch + chitosan 1.75; 2% chitosan; carnauba wax coatings and control were applied. In all coatings except wax and control, Tween 80 (0.3%), sunflower oil (0.3%) and glycerol (2%) were added. The fruits were stored for 21 days under refrigeration (12.1 ± 0.2 °C and $89 \pm 3\%$ RH) followed by nine days at room temperature (23.3 ± 0.2 °C and $89 \pm 3\%$ UR) with evaluations every two days. The coatings application was beneficial to post-harvest life extension and quality maintenance, delaying maturation due to inhibition of respiratory rate. The coated fruits not only maintained firmness, but also preserved the quality, delaying the increase of pectic compounds and β -carotene, chlorophyll degradation, α -amylase activity and starch degradation. The most efficient coatings were chitosan, carnauba wax, jackfruit seed starch + chitosan and mango seed kernel starch.

Keywords: α -amylase; modified atmosphere; β -carotene; chlorophyll; shelf life.

1. INTRODUÇÃO

A manga é uma das frutas tropicais mais importante do mundo. É produzida em mais de 90 países e ocupa o quinto lugar na produção entre os principais frutos cultivados (MATHEYAMBATH et al., 2015).

O Brasil é sétimo maior produtor mundial de manga e quarto maior exportador. No ano de 2016, foram produzidas 1,002 milhões de toneladas, sendo os estados da Bahia, Pernambuco e São Paulo os maiores produtores, nesta ordem (FAO, 2019; IBGE, 2019). A principal cultivar é a Tommy Atkins, que ocupa cerca de 80% do plantio de manga no Brasil, em decorrência, principalmente, da sua maior resistência a pragas e doenças (DA SILVA et al., 2014).

A manga por ser um fruto climatérico tem curta vida útil. Sua alta perecibilidade repercute em quantidade significativa de perdas pós-colheita, tanto quantitativas como qualitativas, durante a comercialização. Com o intuito de aumentar o tempo de vida útil e diminuir essas perdas diversas técnicas pós-colheita têm sido utilizadas e ou estudadas. Entre elas, cita-se o uso de revestimentos biodegradáveis (NTSOANE et al., 2019).

Os revestimentos biodegradáveis conferem melhor aparência ao fruto, retardam a perda de água e contribuem para a manutenção dos atributos sensoriais. Devido à sua capacidade de formar um filme transparente na superfície da fruta, agem como uma barreira à troca de água e gases (O_2 e CO_2), modificando a atmosfera interna do fruto (SINGH et al., 2013).

Os principais materiais formadores de revestimentos são os polissacarídeos, as proteínas e os lipídeos. Entre eles, destacamos amido, quitosana, alginato, pectina, as ceras, resina de goma laca (HAM, 2014; BALDWIN et al., 2012). Diversas são as fontes amiláceas para extração do amido. No entanto, além das fontes tradicionais, como milho, trigo e batata, fontes pouco convencionais, que têm potencial para extração e utilização como revestimentos biodegradáveis, devem ser avaliadas adequadamente. Entre essas fontes, podemos destacar a semente da jaca e a amêndoa de manga, principalmente por apresentarem elevado teor de amido e amilose (MADRUGA et al., 2014; TORRES-LEÓN et al., 2018). No entanto, são escassas as informações da utilização dessas fontes como revestimento biodegradáveis na manga.

Outras alternativas utilizadas como revestimentos de frutas são a quitosana e cera de carnaúba, que têm sido amplamente estudadas e mostram resultados satisfatórios

na manga, como diminuição da perda de massa, aumento na vida útil e retardo na atividade metabólica. A quitosana também é bastante utilizada para compor o revestimento, havendo diversos estudos que associam seu uso para a melhoria das características em alguns tipos de revestimentos (DANG et al., 2008; JONGSRI et al., 2017).

De maneira geral, os polissacarídeos, como o amido e a quitosana, necessitam de agentes plastificantes, pois suas estruturas são quebradiças e duras, devido a extensas interações entre as moléculas. Esses agentes plastificantes, como o glicerol, têm a função de aumentar a elasticidade e a flexibilidade do revestimento (CHIUMARELLI; HUBINGER, 2014; HAM, 2014). Além dos plastificantes, agentes surfactantes como o Tween são necessários para ajudar na redução da tensão superficial da solução de formação de película e melhorar a capacidade de molhabilidade e a adesão da película (JANJARASSKUL; KROCHTA, 2010).

Tendo em vista a necessidade de aumentar a vida útil da manga, a utilização de revestimentos biodegradáveis tem se mostrado uma técnica promissora, a partir dos estudos desenvolvidos, mas ainda com alguns efeitos insuficientes para a extensão do armazenamento requerido para alguns casos. Com isso, tem-se a necessidade de buscar fontes alternativas para ingredientes base dos revestimentos. Pela grande disponibilidade em microrregiões do Nordeste brasileiro, podemos destacar a semente de jaca e, principalmente, a amêndoa de manga. No último caso, a região do submédio do Vale do São Francisco possui uma grande produção dessa fruta, além de várias fábricas de polpa. Dessa maneira, o objetivo deste trabalho foi identificar o potencial dos amidos de semente de jaca e amêndoa de manga como revestimento biodegradável na manga ‘Tommy Atkins’ e sua influência na qualidade, nos compostos bioativos e na atividade antioxidante dos frutos revestidos.

2. MATERIAL E MÉTODOS

2.1 Condução do experimento

Os frutos de manga ‘Tommy Atikins’ foram colhidos no estádio de maturação 2, na área de produção da empresa Fruitier Agrícola, localizada no município de Juazeiro –BA. O experimento foi conduzido no Laboratório de Fisiologia Pós-Colheita da Embrapa Semiárido, em Petrolina, PE. Os frutos foram lavados em água corrente para a retirada do excesso de cal e sanificado em solução de hipoclorito de sódio a 200 ppm, por 10 min. Após secagem sob condição ambiente, os frutos foram identificados e pesados para a posterior aplicação dos revestimentos.

O experimento foi realizado em delineamento inteiramente casualizado com 4 repetições, sendo 4 frutos por repetição. O arranjo experimental foi em esquema fatorial 7x6 (revestimento x tempo de armazenamento).

Os revestimentos utilizados foram: amido de amêndoa de manga a 2%; amido de amêndoa de manga a 1% + quitosana a 1%; amido de semente de jaca a 3,5%; amido de semente de jaca a 1,75% + quitosana a 1,75%; quitosana a 2%; cera de carnaúba e controle. Em todos os revestimentos, exceto a cera e o controle, foram adicionados: Tween 80 (0,3%), óleo de girassol (0,3%) e glicerol (2%).

Os amidos foram obtidos da seguinte forma: inicialmente, as sementes de jaca e as amêndoas da manga foram descascadas e lavadas em água corrente e imersas em solução sanificante de hipoclorito de sódio a 50 ppm, por 10 min. As sementes e as amêndoas foram trituradas em liquidificador industrial, até que os resíduos apresentassem bem finos. A massa triturada foi então prensada em tecido de algodão. A suspensão de amido foi obtida por decantação (12 horas), a temperatura ambiente (25 °C ± 2 °C). Em seguida, a suspensão de amido foi centrifugado duas vezes a 1100 rpm por 5 min, a 25 °C. Após as centrifugações, obteve-se o amido. O amido foi submetido ao congelamento para a posterior liofilização por 24 horas.

As soluções foram preparadas da seguinte maneira:

Amido de amêndoa de manga e de semente de jaca – independente das concentrações, foram diluídos com água destilada e aquecidos a temperatura de 85°C, sob agitação constante, para garantir a gelatinização por um período de 15 min. Após esse período, foram adicionados os agentes aditivos e levadas ao homogeneizador a 10.000 rpm, por 5 minutos;

Quitosana – para todas as concentrações utilizadas, foi diluída em ácido acético glacial PA (1%), tendo o pH da solução sido ajustado para aproximadamente 3. Em seguida, a solução ficou sob agitação constante por 12 horas para diluição. Após a completa diluição, foram adicionados os agentes aditivos e levadas ao homogeneizador, a 10.000 rpm, por 5 minutos;

Cera de carnaúba – foi utilizada foi o produto comercial Primmax Wax 40WR na proporção de 1:2 (cera:água), preparada através da mistura dos dois líquidos sem a adição de nenhum agente aditivo;

Após secos, os frutos foram acondicionados em caixas de papelão ondulado do tipo aberta e armazenados sob refrigeração, a $12,1 \pm 0,2^{\circ}\text{C}$ e $88,9 \pm 2,8\%$ de UR, por 21 dias, quando, então, foram retirados para a temperatura ambiente, $23,3 \pm 0,2^{\circ}\text{C}$ e $88,6 \pm 2,7\%$ de UR, permanecendo por até 9 dias, para simulação de comercialização para o mercado externo. As avaliações foram feitas aos 21, 23, 25, 27, 29 e 30 dias após a colheita dos frutos. Na data de colheita (dia 0 de avaliação), foram selecionados 30 frutos ao acaso, antes da aplicação dos tratamentos, para a caracterização da maturidade e qualidade do lote colhido.

2.2 Avaliações

Perda de massa (%): determinada através de pesagem diária de cada repetição, em cada data de avaliação, em balança semianalítica, levando em consideração a massa inicial, sendo o percentual obtido por diferença durante o armazenamento;

Taxa respiratória ($\text{mol.kg}^{-1}.\text{h}^{-1}$): medida em um analisador de O_2 e CO_2 Witt PA 7.0, após os frutos terem sido mantidos durante 10 minutos em um recipiente hermeticamente fechado.

Escala de aparência: seguiu-se a escala de notas proposta por Lima et al. (2007), com notas variando de 4-0, onde as avaliações ocorriam nos dias das análises. Cada ponto da escala representa:

4 – fruto isento de manchas e com aparência fresca;

3 – sinais de murcha inicial (perda de brilho e turgor) e/ou presença de manchas em até 5% da superfície do fruto;

2 – manchas em 6% a 20% da superfície e/ou enrugamento inicial;

1 – manchas em 21% a 40% do fruto e com avanço de enrugamento (intensidade moderada);

0 – manchas em mais de 40% da área do fruto e/ou enrugamento em intensidade severa e/ou podridão;

Danos a lenticelas: são expressos na casca do fruto e são caracterizados pela coloração avermelhada em respostas a baixas temperaturas ou coloração escura em decorrência do manuseio inadequado, sendo avaliados conforme a escala de notas proposta por Lima et al. (2007), em que:

4 – fruto isento de lenticelas;

3 – sinais de danos iniciais às lenticelas e/ou presença em até 5% da superfície do fruto;

2 – lenticelas com danos em 6% a 20% da superfície do fruto;

1 – danos às lenticelas em 21% a 40% do fruto;

0 – danos às lenticelas em mais de 40% da área do fruto;

Evolução da coloração da casca e da polpa: através de avaliação objetiva, com colorímetro digital Minolta CR 400, expressando a cor nos componentes L (luminosidade), C (croma) e H (°Hue), sendo a leitura da casca realizada na região verde;

Determinação de clorofila e β-caroteno: de acordo com o método proposto por Nagata e Yamashita (1992), pesou-se 1 g da polpa e adicionou-se 10 mL da solução extratora acetona-hexano (4:6), agitando-se em homogeneizador por 1 minuto. O sobrenadante foi lido em quatro comprimentos de onda, em espectrofotômetro UV-VIS Varian, modelo Carry 50 Bio, UV-Vis, (Mulgrave VIC, Australia): 663 nm, 645 nm, 505 nm e 453 nm. Os teores dos pigmentos foram calculados pelas seguintes equações:

Clorofila a ($\mu\text{g} \cdot 100 \text{ mL}^{-1}$) = $(0,999A_{663} - 0,0989A_{645}) \times 1000$

Clorofila b ($\mu\text{g} \cdot 100 \text{ mL}^{-1}$) = $(-0,328A_{663} + 1,77 A_{645}) \times 1000$

β-caroteno ($\mu\text{g} \cdot 100 \text{ mL}^{-1}$) = $(0,216 A_{663} - 1,22 A_{645} - 0,304 A_{505} + 0,452 A_{453}) \times 1000$

(A_{663} , A_{645} , A_{505} e A_{453} referem-se, respectivamente, às absorbâncias a 663 nm, 645nm, 505 nm e 453 nm)

Teor de sólidos solúveis (SS, %): com leitura realizada em refratômetro digital com compensação automática de temperatura (ATAGO, Digital Pocket Refractometer, modelo PAL-1), conforme AOAC (2012). A escala de leitura do equipamento usado variava de 0 a 65 °Brix;

Acidez titulável (AT – g. ácido cítrico.100 g⁻¹ de polpa): com a utilização de um titulador automático, da marca Metrohm (modelo 848 Titrino plus), a partir da

diluição de 1 grama de polpa da amostra em 50 mL de água destilada, titulando-se com solução de NaOH 0,1 N, até a neutralização (pH 8,1), conforme o método do Instituto Adolfo Lutz- IAL (2005);

Relação SS/AT: mediante divisão das variáveis SS por AT (IAL, 2005);

Ácido ascórbico (mg.100 g⁻¹): determinado por titulometria, utilizando-se solução de DFI (2,6-dicloro-fenol-indofenol 0,002 %) até obtenção de coloração róseo claro permanente, utilizando-se 5 g de polpa em 50 mL de ácido oxálico 0,5%, conforme Strohecker & Henning (1967);

Firmeza da polpa (N): realizada no texturômetro eletrônico Extralab TAXT Plus (Stable Micro Systems, Surrey, Reino Unido), utilizando ponteira de 6 mm de diâmetro, realizando-se após a retirada da casca do fruto, com leitura realizada nos dois lados na região mediana;

Teor de pectina solúvel (mg.100 g⁻¹): foram pesados de 5-10 g de amostra de polpa, de acordo com a maturação do fruto, sendo adicionados 20 mL de etanol a 95%, homogeneizando-se em Turrax e mantendo-se em repouso sob refrigeração por 30 min, para posterior filtração a vácuo. O filtrado foi descartado e o resíduo lavado duas vezes com 10 mL de etanol a 75%, sob vácuo. O resíduo foi transferido para um becker e adicionado 20 mL de água destilada e agitado por 1 hora, em mesa agitadora. Em seguida, ocorreu a filtração. O volume filtrado foi transferido para um balão volumétrico e completado para 100 mL (McREADY; McCOMB, 1952). Para quantificação, tomou-se uma alíquota máxima desse extrato de 1,0 mL, adicionando-se 3,6 mL de tetraborato de sódio com os tubos imersos em gelo, sendo agitados e colocados em banho maria a 100°C, por 5 minutos. Os tubos foram resfriados e receberam 60 µL de 3-fenilfenol (m-hidroxidifenil). A mistura foi homogeneizada e deixada em repouso, sendo lida entre 10 e 15 minutos após a agitação, a 520 nm (BLUMENKRANTZ; ASBOE-HANSEN, 1973).

Teor de amido (g.100 g⁻¹): pesou-se de 5-15 g de amostras da polpa e, em seguida, foram realizadas quatro lavagens com água destilada, em centrífuga a 11.000 rpm, por 10 minutos, descartando-se o sobrenadante. A amostra foi transferida para balão de condensador com 75 mL de água e 5 mL de ácido clorídrico, sendo mantido em refluxo por 2 horas. Em seguida, procedeu-se ao resfriamento e neutralizou-se a solução com carbonato de sódio a 20%. A amostra foi filtrada para um balão de 200 mL e aferido com água destilada (AOAC, 2012). A partir deste extrato, procedeu-se a leitura dos açúcares redutores, conforme metodologia que utiliza o reagente ácido 3,5-

dinitrossalicílico (DNS), proposta por Miller (1959). Os resultados foram multiplicados por 0,9 sendo este fator correspondente ao rendimento da transformação da sacarose em glicose, na hidrólise.

Atividade da enzima α -amilase: foi realizada na polpa dos frutos, conforme o método descrito por Bernfeld (1955), modificado por Khader (1992). Foram utilizadas 3 g da amostra para extração em 40 mL de tampão fosfato 0,02 M pH 6,9, a 4°C, contendo polivinilpirrolidona (PVP) 2% e 0,5 g de metabissulfito de sódio. A amostra foi homogeneizada em ultraturrax e, em seguida, foi submetida a 2 centrifugações a 11000 rpm por 15 minutos, a 4°C. O segundo sobrenadante obtido é o extrato enzimático. Foi retirada uma alíquota de 1 mL do extrato enzimático sendo adicionada 0,5 mL de amido solúvel 1% em tampão fosfato 0,02 M pH 6,9, contendo PVP 2% e NaCl 0,007 M. Os tubos de ensaio foram agitados e incubados a 37°C, por 30 min. Após retiradas as amostras da incubação, a reação foi interrompida com a adição de 0,5 mL de NaOH 2 N. A partir daí, procedeu-se de acordo com o método descrito por Miller (1959), retirando-se uma alíquota de 1,5 mL e adicionando 1 mL de ácido 3,5-dinitrossalicílico (DNS). As amostras foram agitadas e colocadas em banho maria a 100°C, por 5 min. Após resfriadas, essas amostras foram adicionadas a 7,5 mL de H₂O e as leituras foram realizadas a 540nm.

Obtenção do extrato para determinação dos teores de polifenóis extraíveis totais e da atividade antioxidante: obtido conforme metodologia descrita por Larrauri et al. (1997), pesando-se aproximadamente 15 g de polpa de manga 'Tommy Atkins' congelada em ultra freezer a -85°C, adicionando-se 20 mL de metanol 50%, deixando-se descansar por 1 hora para extração e centrifugando-se, em seguida, por 15 minutos, em 15.000 rpm. Foi retirado o sobrenadante, colocando-o em balão volumétrico. Adicionou-se 4 mL de acetona a 70% ao resíduo, deixando-se extrair por 1 hora. Nova centrifugação por 15 minutos, em 15.000 rpm, foi realizada. O sobrenadante foi retirado e colocado junto com o primeiro, completando-se o balão para 50 mL com água destilada, quando necessário. O extrato foi utilizado em até 30 dias, sendo conservado em freezer;

Polifenóis extraíveis totais (mg.100 g⁻¹): determinada de acordo com Larrauri et al.(1997). Tomou-se uma alíquota de 250 a 400 μ L do extrato fenólico, completando para 1000 μ L com água destilada. Essa diluição foi acrescida de 1 mL do reagente de Folin Ciocalteu, 2,0 mL de carbonato de sódio 20% e 2,0 mL de água destilada. Agitou-

se o tubo de ensaio, deixando-se descansar por 30 minutos, ao abrigo de luz. A leitura foi realizada em espectrofotômetro, no comprimento de onda 700 nm;

Atividade Antioxidante Total - AAT por ABTS ($\mu\text{M Trolox.g fruta}^{-1}$): determinada pelo método do radical ABTS^+ de acordo com método desenvolvido por Miller et al. (1993), com modificações. O radical ABTS^+ foi preparado através da reação, em concentração de 7 mM de persulfato de potássio (2,45 μM , concentração final), seguido de repouso no escuro à temperatura ambiente durante 16 horas antes da utilização. Foram utilizadas três diluições do extrato da polpa da manga. A solução de ABTS^+ foi diluída com etanol até uma absorbância de $0,700 \pm 0,05$, a 734 nm. Após a adição de 30 μL de amostra ou padrão Trolox a 3 mL de solução de ABTS^+ diluída, as absorbâncias foram lidas 6 min após a agitação. Soluções etanólicas de Trolox de concentrações conhecidas foram usados para a curva padrão.

2.3 Análise estatística

Os dados foram avaliados quanto à distribuição normal por meio do teste de Shapiro-Wilk. Aqueles que atenderam ao princípio da normalidade foram submetidos à análise de variância pelo teste F (5% de probabilidade). Para o fator tempo de armazenamento isoladamente e para sua interação com o fator revestimento, foi aplicada análise de regressão polinomial até o terceiro grau. Para o fator revestimento isolado, foi aplicado o teste de Tukey ($p \leq 0,05$), quando observada significância pelo teste F. Os dados que não atenderam ao pressuposto de distribuição normal foram analisados por estatística descritiva, utilizando-se suas médias e desvios-padrões.

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

As características físicas e químicas das mangas ‘Tommy Atkins’ no momento da colheita (Tabela 1), no estágio de maturação 2, serviram de referencial para avaliar as mudanças em decorrência do uso dos revestimentos ao longo do armazenamento. Essas mangas apresentavam baixa atividade respiratória, alta acidez titulável, baixo teor de sólidos solúveis, alta firmeza da polpa, alto teor de amido, baixo teor de pectina solúvel e baixa concentração de β -caroteno na polpa. Os valores de acidez titulável, sólidos solúveis, relação SS/AT e a firmeza da polpa estão de acordo com os valores obtidos por Santos et al. (2008), analisando a cultivar Tommy Atkins no estágio de maturação 2.

Tabela 1. Caracterização da maturidade e qualidade das mangas ‘Tommy Atkins’ por ocasião da colheita, em estágio de maturação 2.

Característica	Valor médio
Taxa respiratória (mol de CO ₂ .kg ⁻¹ .h ⁻¹)	2,21 ± 0,47
Luminosidade da casca (região verde)	55,96 ± 4,45
Croma da casca (região verde)	33,23 ± 3,71
Ângulo Hue da casca (região verde)	112,37 ± 5,23
Luminosidade da polpa	74,42 ± 6,13
Croma da polpa	61,26 ± 4,79
Ângulo Hue da polpa	90,48 ± 4,09
Teor de clorofila <i>a</i> (µg.100 mL ⁻¹)	15,01 ± 1,9
Teor de clorofila <i>b</i> (µg.100 mL ⁻¹)	9,28 ± 1,91
Teor de β -caroteno (µg.100 mL ⁻¹)	94,61 ± 12,89
Teor de sólidos solúveis – SS (%)	8,13 ± 1,10
Acidez titulável – AT (g.100 mL ⁻¹)	0,91 ± 0,12
Relação SS/AT	9,19 ± 2,09
Teor de ácido ascórbico (mg.100 g ⁻¹)	37,45 ± 3,04
Firmeza da polpa (N)	87,17 ± 9,22
Teor de pectina solúvel (g.100 g ⁻¹)	0,011 ± 0,001
Teor de amido (g.100 g ⁻¹)	4,03 ± 0,46
Atividade da α -Amilase (µM.g ⁻¹ .min ⁻¹)	2,13 ± 0,19
Teor de polifenóis extraíveis totais (mg.100 g ⁻¹)	22,24 ± 2,45
Atividade antioxidante pelo método ABTS (µM Trolox.g suco ⁻¹)	1,66 ± 0,34

Os componentes de cor de casca, principalmente o baixo valor de croma e o alto valor do °Hue, são coerentes com o estágio de maturação 2 que se caracteriza por uma coloração da casca verde clara. Somente à medida que o fruto ganha a coloração amarela, aumenta a intensidade de cor e diminuem os valores do °Hue. Com o amadurecimento, ao longo do armazenamento, os frutos sofreram alterações nas

variáveis indicadas na Tabela 1 bem como em suas características organolépticas que o tornarão adequados para o consumo.

Das variáveis analisadas, os dados do °Hue e da luminosidade da polpa, ao longo do período de estudo, não apresentaram distribuição normal, sendo apresentadas com suas médias e seus respectivos desvios padrões. Para perda de massa e taxa respiratória, não houve efeito significativo da interação tempo de armazenamento com revestimento, havendo apenas o efeito isolado dos revestimentos, para a primeira variável, e do tempo, para a segunda. No entanto, para melhor visualização do comportamento dos frutos ao longo do tempo, optou-se por apresentar as médias e desvios padrões, seguido por seu efeito isolado. As demais variáveis foram apresentadas, de acordo com a análise de variância, considerando a interação do tempo de armazenamento com os revestimentos ou os efeitos isolados de cada fator, conforme o caso.

A perda de massa não apresentou interação entre os revestimentos e o tempo de armazenamento. No entanto, foi crescente para todos os frutos revestidos (Figura 1A). Os frutos revestidos com cera de carnaúba apresentaram a menor perda de massa (Figura 1B), diferindo estatisticamente dos demais, que foi 40% menor que nos frutos do controle. Estes, por sua vez, apresentaram a maior perda de massa média ao longo de todo o armazenamento. Os frutos dos demais revestimentos apresentaram perda de massa de 14-21% menor que os frutos do controle, não diferindo entre si.

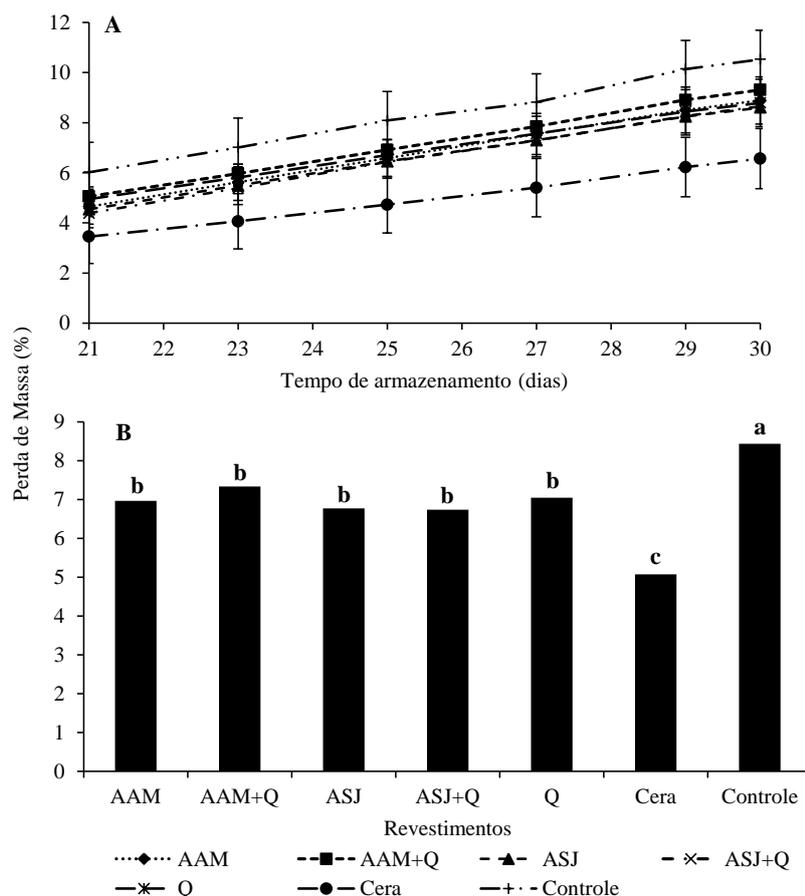


Figura 1. Perda de massa de mangas ‘Tommy Atkins’ durante o armazenamento por 21 dias sob refrigeração ($12,1 \pm 0,2^{\circ}\text{C}$ e $89 \pm 3\%$ de UR) seguido de 9 dias em temperatura ambiente ($23,3 \pm 0,2^{\circ}\text{C}$ e $89 \pm 3\%$ de UR) – A – e sob influência apenas dos revestimentos à base de amido de amêndoa de manga (AAM); amido de amêndoa de manga + quitosana (AAM+Q); amido de semente de jaca (ASJ); amido de semente de jaca + quitosana (ASJ+Q); quitosana (Q); cera de carnaúba (Cera) e controle - B.

A perda de massa é uma característica física muito importante uma vez que está associada diretamente com a perda de água, com a aparência de murcha, que também pode ser relacionado com uma alta taxa metabólica (VÁZQUEZ-CELESTINO et al., 2016). As perdas de massa apresentadas pelos frutos recobertos são aceitáveis pois estão abaixo do limite indicado por Hussain et al. (2010), que relataram que, quando as perdas são maiores que 10% em frutas *in natura*, a sua superfície torna-se propensa a defeitos de qualidade, como a presença de sinais visíveis de murcha, comprometendo a comercialização.

De maneira geral, os revestimentos à base de cera apresentam uma grande eficiência na manutenção da massa inicial do fruto, pois, devido à sua natureza lipídica são hidrofóbicos, conferindo melhores barreiras à umidade do que os polissacarídeos e proteínas (BALDWIN et al., 2012; HAN, 2014). Esse comportamento tem sido relatado

por diversos autores, como Vázquez-Celestino et al. (2016), em manga ‘Manila’; Sing et al. (2016), em berinjela; Chen et al. (2019), em ameixa da Índia; e Motamedi et al. (2018), em laranja ‘Valencia’.

A taxa respiratória apresentou interação significativa entre o tempo de armazenamento e os revestimentos (Figura 2). É possível visualizar que os frutos sem revestimentos apresentaram o pico climatérico no 25º dia. Os frutos revestidos com amido de amêndoa de manga (AAM), amido de amêndoa de manga + quitosana (AAM+Q), amido de semente de jaca + quitosana (ASJ+Q) e cera de carnaúba (Cera) apresentaram o pico climatérico no 27º dia. O pico climatérico respiratório para os frutos recobertos com quitosana (Q) e amido de semente de jaca (ASJ) foram retardados, observando-se apenas um incremento a partir do 28º dia de armazenamento sem que fosse delimitado um pico durante o período estudado.

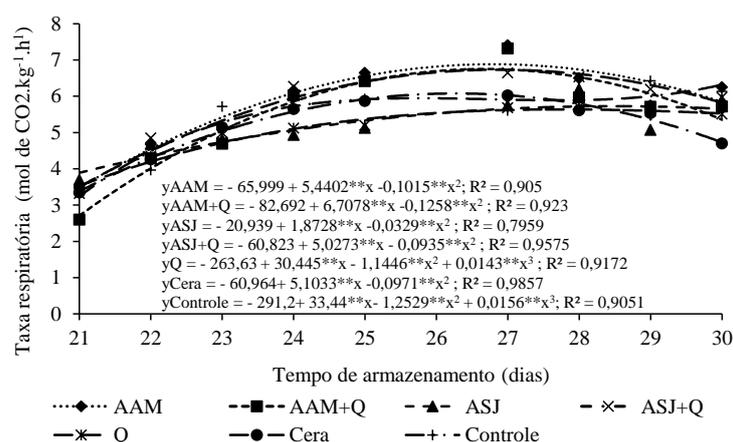


Figura 2. Taxa respiratória de mangas ‘Tommy Atkins’ sob revestimentos à base de amido de amêndoa de manga (AAM); amido de amêndoa de manga + quitosana (AAM+Q); amido de semente de jaca (ASJ); amido de semente de jaca + quitosana (ASJ+Q); quitosana (Q); cera de carnaúba (Cera) e controle, durante o armazenamento por 21 dias sob refrigeração ($12,1 \pm 0,2^\circ\text{C}$ e $89 \pm 3\%$ de UR) seguido de 9 dias em temperatura ambiente ($23,3 \pm 0,2^\circ\text{C}$ e $89 \pm 3\%$ de UR).

Esperava-se efeitos mais visíveis sobre os picos climatéricos, principalmente nos frutos revestidos, no decorrer do tempo de armazenamento. No entanto, a diferenciação desses efeitos pode ter sido prejudicada pela possível sensibilidade insuficiente do equipamento utilizado para fazer as leituras ou pela característica da manga ‘Tommy Atkins’ de aumento respiratório e alcance do pico climatérico em

intervalo de tempo curto e que pode ter coincido com o espaço entre as leituras realizadas para determinação da atividade respiratória.

Redução na taxa respiratória em frutos recobertos com quitosana de diferentes pesos moleculares foi relatada por Jongsri et al. (2016), em mangas ‘Nam Dok Mai’ armazenadas a 25°C, por 16 dias. O atraso do pico respiratório também foi observado por Rodrigues et al. (2018) com o uso de revestimento constituído da associação do amido de semente de jaca com quitosana, em goiaba ‘Paluma’. Esse melhor desempenho da quitosana sozinha ou em combinação com amido ocorre por ela ser mais hidrofóbica que o amido e a sua associação pode gerar revestimentos com melhores propriedades de barreira ao CO₂ (PELISSARI et al., 2012).

A taxa respiratória é um dos fatores determinantes da longevidade pós-colheita da fruta, já que se trata de um processo oxidativo das substâncias de reserva que leva o órgão à senescência. O aumento da taxa metabólica está fortemente associado com a ação do etileno, que leva ao amadurecimento em resposta ao padrão climatérico da manga (BIBI; BALOCH, 2014).

Dentre os atributos de qualidade, a aparência é apontada como um dos principais, pois é considerada o primeiro item no momento da escolha de compra. As mangas ‘Tommy Atkins’ ao saírem da refrigeração, aos 21 dias, apresentaram aparência correspondente à do momento da colheita, recebendo a nota máxima 4 (Figura 3). Ao serem transferidos para a temperatura ambiente ($23,3 \pm 0,2^{\circ}\text{C}$), foram ocorrendo alterações na aparência. No entanto, a nota mínima recebida pelos frutos ao final do período, não representou potencial de rejeição do produto pelo consumidor, pois indicava que apenas em torno de 5% da área da manga estava afetada. As notas mais baixas foram atribuídas aos frutos revestidos com amido de amêndoa de manga (AAM) no 29° dia de armazenamento e aos frutos sem revestimento (Controle) no 30° dia. Ambos, de acordo com a escala adotada, apresentavam menos de 20% da manga afetada por mancha e ou enrugamento.

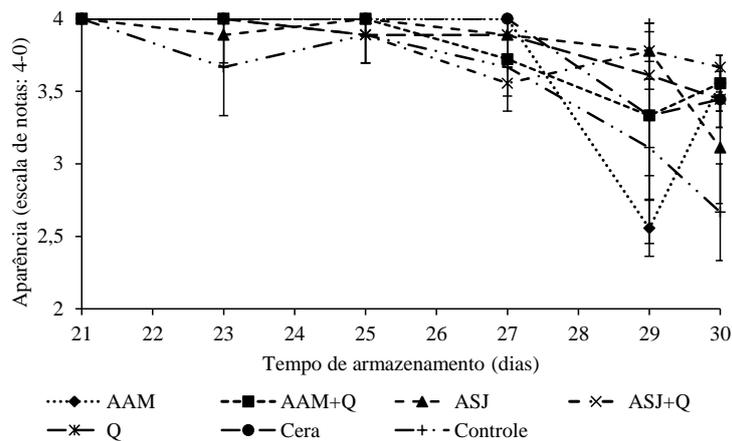


Figura 3. Aparência de mangas ‘Tommy Atkins’ sob revestimentos à base de amido de amêndoa de manga (AAM); amido de amêndoa de manga + quitosana (AAM+Q); amido de semente de jaca (ASJ); amido de semente de jaca + quitosana (ASJ+Q); quitosana (Q); cera de carnaúba (Cera) e controle, durante o armazenamento por 21 dias sob refrigeração ($12,1 \pm 0,2^{\circ}\text{C}$ e $89 \pm 3\%$ de UR) seguido de 9 dias em temperatura ambiente ($23,3 \pm 0,2^{\circ}\text{C}$ e $89 \pm 3\%$ de UR).

Ao final dos 30 dias de armazenamento, os frutos com melhor aparência foram aqueles recobertos com amido de amêndoa de manga (AAM), amido de amêndoa de manga + quitosana (AAM+Q) e amido de semente de jaca + quitosana (ASJ+Q), conforme Figura 3. Os frutos desprovidos de revestimento apresentaram notas inferiores a 3, indicando que ainda apresentavam aparência apta para a comercialização, pois estavam acima da nota 2.

A aparência do fruto é influenciada diretamente pela perda de massa, uma vez que à medida que o fruto começa a perder a água devido aos processos de respiração e transpiração ele tende a murchar, o que leva a posterior comprometimento da comercialização (HUSSAIN et al., 2015). Além disso, a aparência é afetada diretamente pela presença de manchas escuras na casca, ataques por microrganismos (como os fungos), danos pelo frio e o manuseio inadequado. O uso de revestimentos pode amenizar ou impedir essas mudanças ocorridas na aparência.

Lenticelas são células subepidérmicas não-amadurecidas que entram em erupção através da epiderme para facilitar a oxigenação passiva dos tecidos internos (PAREEK, 2016). As mudanças na sua estrutura e espessura podem ser originadas por diversos motivos, como estado de umidade no momento da colheita, diferenças entre cultivares,

manuseio pós-colheita inadequado, temperatura de armazenamento (FEYGENBERG et al., 2014).

Os danos às lenticelas observados nesse trabalho foram identificados pela coloração avermelhada no seu contorno. Ao serem transferidas do armazenamento refrigerado, aos 21 dias, as mangas recobertas com amido de semente de jaca apresentaram a maior proporção de danos, com nota 1,9, representando, portanto, acima de 21% da superfície do fruto afetada pelo problema (Figura 4). Ao longo de todo o armazenamento em temperatura ambiente, os frutos revestidos com amido de amêndoa de manga + quitosana, quitosana, cera e frutos do controle apresentaram danos às lenticelas em até 5%, com notas acima de 3. Os frutos revestidos com amido de semente de jaca sofreram os maiores danos, tornando-se mais evidentes com a transferência para a condição ambiente. De maneira geral, o aparecimento dos danos às lenticelas pode ter associação com características genéticas da cultivar, uma vez que Tommy Atkins, juntamente com Keit, são altamente suscetíveis (RYMBAI et al., 2012).

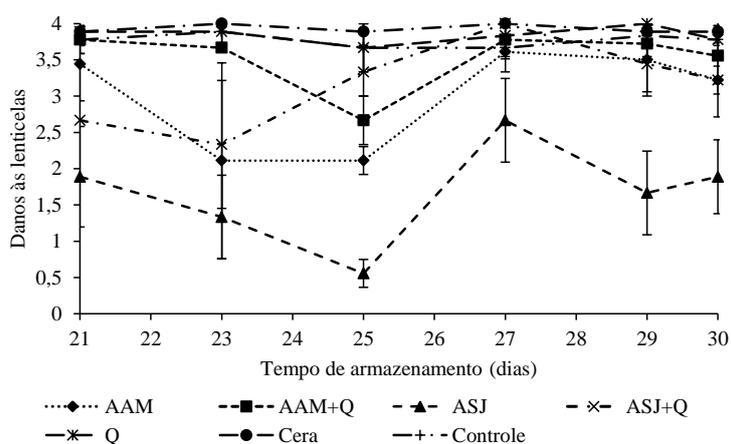


Figura 4. Danos às lenticelas de mangas ‘Tommy Atkins’ sob revestimentos à base de amido de amêndoa de manga (AAM); amido de amêndoa de manga + quitosana (AAM+Q); amido de semente de jaca (ASJ); amido de semente de jaca + quitosana (ASJ+Q); quitosana (Q); cera de carnaúba (Cera) e controle, durante o armazenamento por 21 dias sob refrigeração ($12,1 \pm 0,2^{\circ}\text{C}$ e $89 \pm 3\%$ de UR) seguido de 9 dias em temperatura ambiente ($23,3 \pm 0,2^{\circ}\text{C}$ e $89 \pm 3\%$ de UR).

A luminosidade da casca não foi influenciada pela interação entre revestimento e tempo de armazenamento; no entanto, observou-se efeito isolado para os dois fatores (Figura 5). A luminosidade da casca aumentou ao longo do armazenamento, porém a variação foi restrita, de difícil constatação a olho nu (Figura 5A). Os frutos do controle

apresentaram os maiores valores médios, diferindo estatisticamente dos demais (Figura 5B). Nos frutos revestidos com ASJ+Q e com cera de carnaúba foram observados valores médios de luminosidade da casca menores (respectivamente, de 53,83 e 53,61) que nos tratamentos amido de amêndoa da manga e controle.

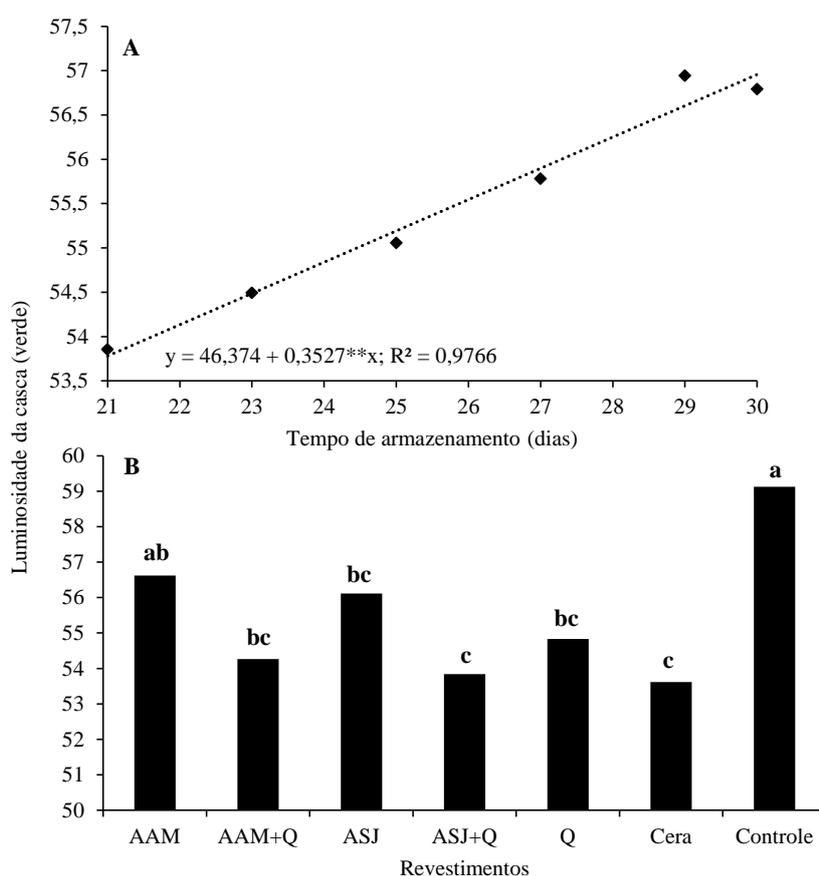


Figura 5. Luminosidade da casca (na área verde) de mangas ‘Tommy Atkins’ durante o armazenamento por 21 dias sob refrigeração ($12,1 \pm 0,2^\circ\text{C}$ e $89 \pm 3\%$ de UR) seguido de 9 dias em temperatura ambiente ($23,3 \pm 0,2^\circ\text{C}$ e $89 \pm 3\%$ de UR) – A – e sob influência apenas dos revestimentos à base de amido de amêndoa de manga (AAM); amido de amêndoa de manga + quitosana (AAM+Q); amido de semente de jaca (ASJ); amido de semente de jaca + quitosana (ASJ+Q); quitosana (Q); cera de carnaúba (Cera) e controle - B.

O aumento da luminosidade no decorrer do armazenamento também foi reportado por Azeredo et al. (2016), em mangas ‘Tommy Atkins’ com revestimentos à base de quitosana e amido de mandioca associados a óleos essenciais, e por Jongsri et al. (2016), em mangas ‘Nam Dok Mai’ com revestimentos de quitosana de diferentes massas moleculares.

O croma diz respeito à intensidade da cor e seu aumento é indício de que a superfície adquiriu cores mais puras, sem interferências de cicatrizes, tecidos que sofreram injúrias, presença de compostos químicos opacos depositados ao longo do tempo, entre outros. O croma também sofreu influência dos dois fatores isoladamente. Na figura 6A, é possível observar o aumento linear do croma da casca na cor verde ao longo do armazenamento, atingindo valores médios de 42,07, aos 30 dias. As maiores alterações ocorreram nos frutos revestidos com amido de amêndoa de manga, amido de amêndoa de manga + quitosana e os frutos do controle, que diferiram estatisticamente dos tratamentos amido de semente de jaca e cera de carnaúba (Figura 6B).

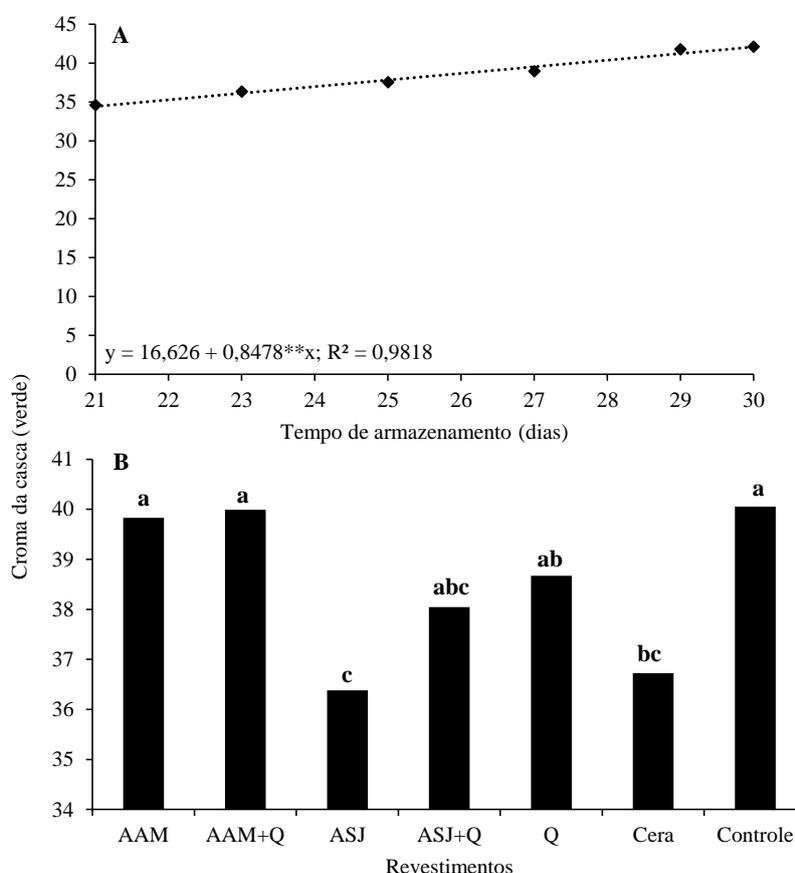


Figura 6. Cromo da casca (na área verde) de mangas ‘Tommy Atkins’ durante o armazenamento por 21 dias sob refrigeração ($12,1 \pm 0,2^\circ\text{C}$ e $89 \pm 3\%$ de UR) seguido de 9 dias em temperatura ambiente ($23,3 \pm 0,2^\circ\text{C}$ e $89 \pm 3\%$ de UR) – A – e sob influência apenas dos revestimentos à base de amido de amêndoa de manga (AAM); amido de amêndoa de manga + quitosana (AAM+Q); amido de semente de jaca (ASJ); amido de semente de jaca + quitosana (ASJ+Q); quitosana (Q); cera de carnaúba (Cera) e controle - B.

A menor alteração sofrida no croma foi para os frutos revestidos com amido de semente de jaca, sendo um indício de diminuição na evolução da coloração da casca. O aumento do croma ao longo do armazenamento em manga foi relatado por diversos autores, como Azeredo et al. (2016) e Amariz et al. (2010), em manga ‘Tommy Atkins’, bem como Silva et al. (2017), em manga ‘Palmer’.

Em linhas gerais, o °Hue da casca diminuiu ao longo armazenamento (Figura 7). A maior diminuição ocorreu nos frutos sem revestimentos, enquanto os revestidos com ASJ+Q e quitosana apresentaram as menores alterações até o 29°. dia de armazenamento. De maneira geral, os frutos revestidos apresentaram uma mudança de aproximadamente 10% menor no °Hue que os do controle.

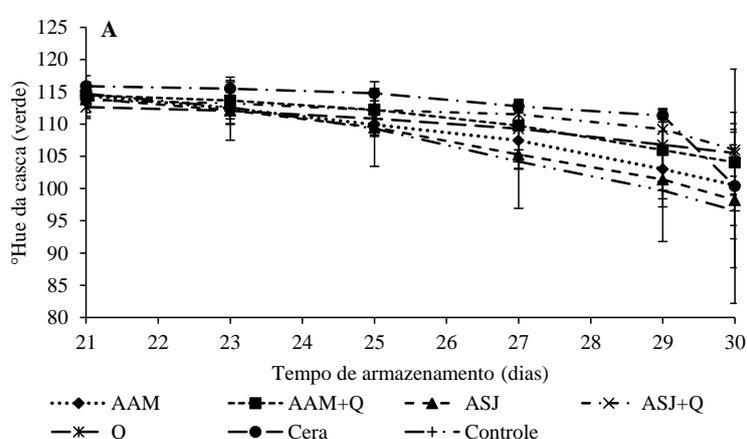


Figura 7. Ângulo de cor (°Hue) da casca de mangas ‘Tommy Atkins’ sob revestimentos à base de amido de amêndoa de manga (AAM); amido de amêndoa de manga + quitosana (AAM+Q); amido de semente de jaca (ASJ); amido de semente de jaca + quitosana (ASJ+Q); quitosana (Q); cera de carnaúba (Cera) e controle, durante o armazenamento por 21 dias sob refrigeração ($12,1 \pm 0,2^{\circ}\text{C}$ e $89 \pm 3\%$ de UR) seguido de 9 dias em temperatura ambiente ($23,3 \pm 0,2^{\circ}\text{C}$ e $89 \pm 3\%$ de UR).

De acordo com Jongsri et al. (2016), a luminosidade e o ângulo Hue são indicadores ideais para a mudança de coloração da casca. Ao longo do armazenamento, os valores de L tendem a aumentar e os valores de °Hue a diminuir. Dessa forma, à medida que a maturação da fruta avança, a cor da casca muda do verde para o amarelo, indicando o amadurecimento da manga. De acordo com Hussain et al. (2015), a manutenção da cor verde é um indício do retardo do amadurecimento, em resposta à menor atividade da clorofilase, que é responsável pela degradação da clorofila durante a maturação.

Essa mudança nos componentes da cor foi percebida visualmente, diferenciando-se uma mudança bastante acentuada nos frutos sem revestimentos, que mudaram de coloração verde-claro, na transferência da refrigeração para a condição ambiente, para amarelo mais intenso em relação aos frutos sem revestimentos, ao final do armazenamento (Figura 8). Os revestimentos contribuíram para a manutenção da coloração verde ao longo do armazenamento.

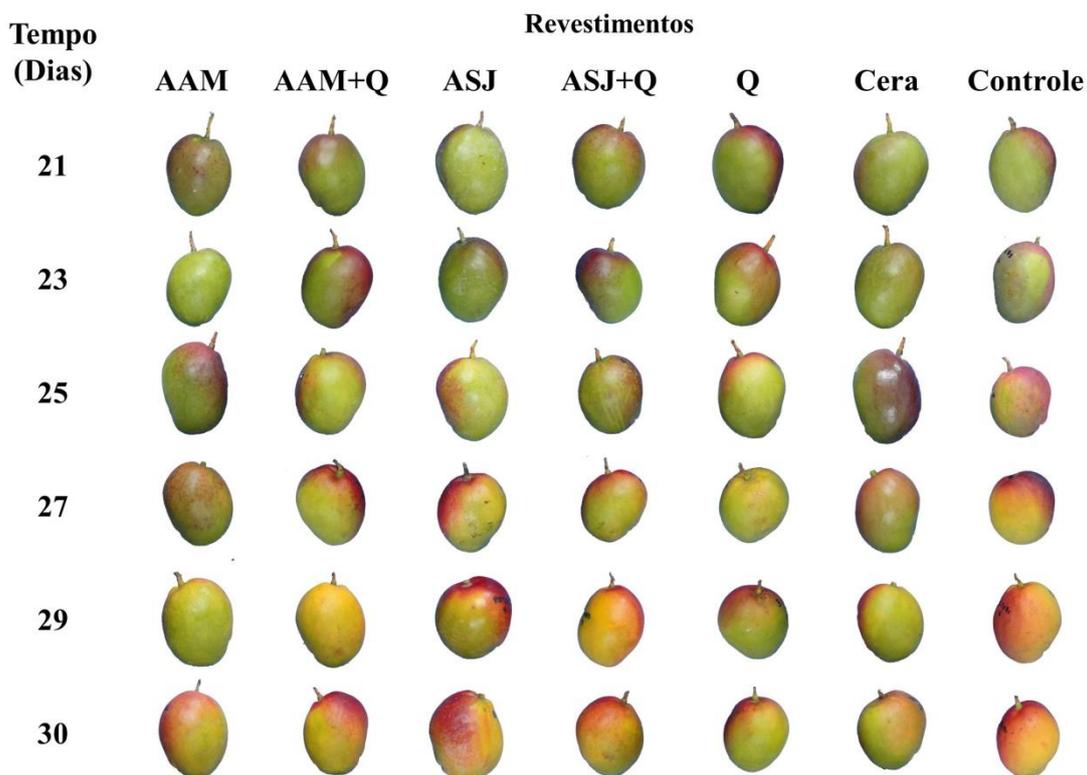


Figura 8. Mangas ‘Tommy Atkins’ sob revestimentos à base de amido de amêndoa de manga (AAM); amido de amêndoa de manga + quitosana (AAM+Q); amido de semente de jaca (ASJ); amido de semente de jaca + quitosana (ASJ+Q); quitosana (Q); cera de carnaúba (Cera) e controle, durante o armazenamento por 21 dias sob refrigeração ($12,1 \pm 0,2^{\circ}\text{C}$ e $89 \pm 3\%$ de UR) seguido de 9 dias em temperatura ambiente ($23,3 \pm 0,2^{\circ}\text{C}$ e $89 \pm 3\%$ de UR).

De maneira geral, não ocorreu variação acentuada na luminosidade da polpa ao longo do armazenamento (Figura 9), observando-se, a partir do 25º dia, que os valores tenderam a uma diminuição.

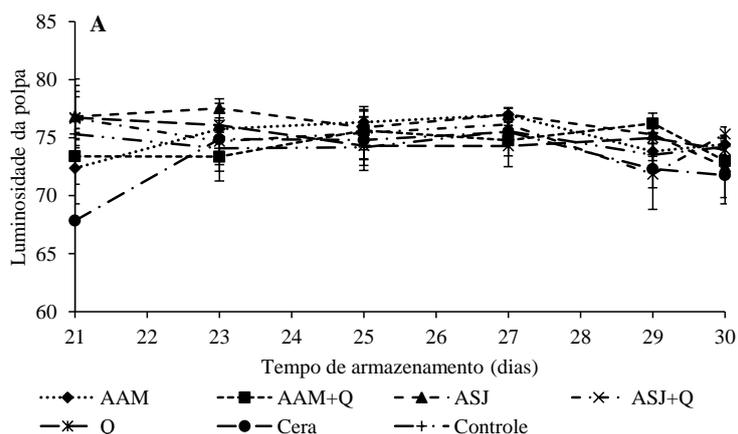


Figura 9. Luminosidade da polpa de mangas ‘Tommy Atkins’ sob revestimentos à base de amido de amêndoa de manga (AAM); amido de amêndoa de manga + quitosana (AAM+Q); amido de semente de jaca (ASJ); amido de semente de jaca + quitosana (ASJ+Q); quitosana (Q); cera de carnaúba (Cera) e controle, durante o armazenamento por 21 dias sob refrigeração ($12,1 \pm 0,2^{\circ}\text{C}$ e $89 \pm 3\%$ de UR) seguido de 9 dias em temperatura ambiente ($23,3 \pm 0,2^{\circ}\text{C}$ e $89 \pm 3\%$ de UR).

Essa diminuição na luminosidade de polpa foi observada por Serpa et al. (2014), em mangas ‘Palmer’ revestidas com amido de mandioca associados a extrato de cravo e de canela sob armazenamento em temperatura ambiente, a $25 \pm 2^{\circ}\text{C}$, e por Amariz et al. (2010), em mangas ‘Tommy Atkins’ revestidas com CMC em diferentes concentrações sob armazenamento em temperatura ambiente, a $20,3 \pm 2^{\circ}\text{C}$. A luminosidade representa o brilho, sendo importante sua manutenção ao longo do armazenamento, tendo em vista que esse atributo está diretamente ligado com a qualidade e afeta a aceitação do consumidor (LIU et al. 2013).

O croma da polpa apresentou efeito isolado do tempo de armazenamento. Ao longo do armazenamento, houve aumento nos valores de croma, desde 59,65, quando os frutos saíram da refrigeração, para 66,43, no 30º dia de armazenamento em temperatura ambiente (Figura 10).

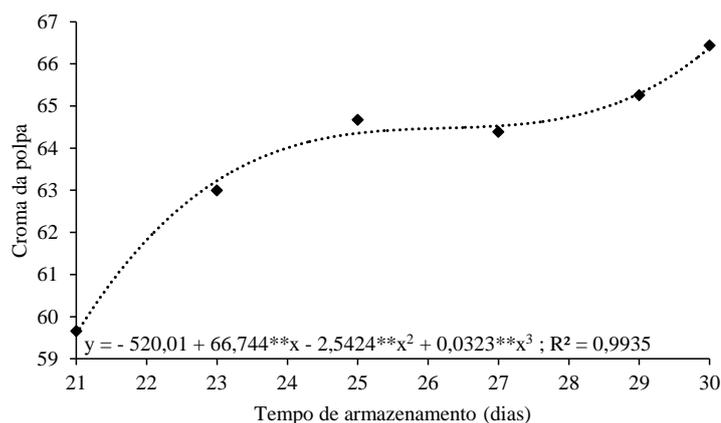


Figura 10. Cromia da polpa de mangas ‘Tommy Atkins’ durante o armazenamento por 21 dias sob refrigeração ($12,1 \pm 0,2^{\circ}\text{C}$ e $89 \pm 3\%$ de UR) seguido de 9 dias em temperatura ambiente ($23,3 \pm 0,2^{\circ}\text{C}$ e $89 \pm 3\%$ de UR).

O cromia mede a intensidade de cor de forma que, quanto menor seus valores, menos intensa é a cor. De acordo com Guillén et al. (2013), essa intensidade deve ser maior nos frutos que não foram recobertos, pois espera-se que neles a maturação seja mais rápida. No entanto, apesar de outras variáveis terem sinalizado atraso na maturação em frutos recobertos, o cromia da polpa não pode ser usado como indicador dessa resposta na manga ‘Tommy Atkins’ a partir dos revestimentos testados neste estudo. Esse mesmo comportamento do cromia da polpa ao longo armazenamento foi reportado por Silva et al. (2017), em mangas ‘Palmer’ revestida com diferentes concentrações de quitosana armazenada sob temperatura ambiente (25°C).

O °Hue da polpa sofreu efeito isolado do tempo de armazenamento e dos revestimentos (Figura 11). Ao longo do armazenamento, ocorreu diminuição de 91,95 para 86,37 (Figura 11A). Os frutos revestidos com amido de semente de jaca, quitosana e cera sofreram menor diminuição no °Hue que os do controle (Figura 11B). De acordo com Silva et al. (2017), a mudança de cor pode ser um forte indicador de mudanças químicas e nutricionais na manga, pois, à medida que manga amadurece, a clorofila vai sendo degradada e os níveis de carotenoides vão aumentando.

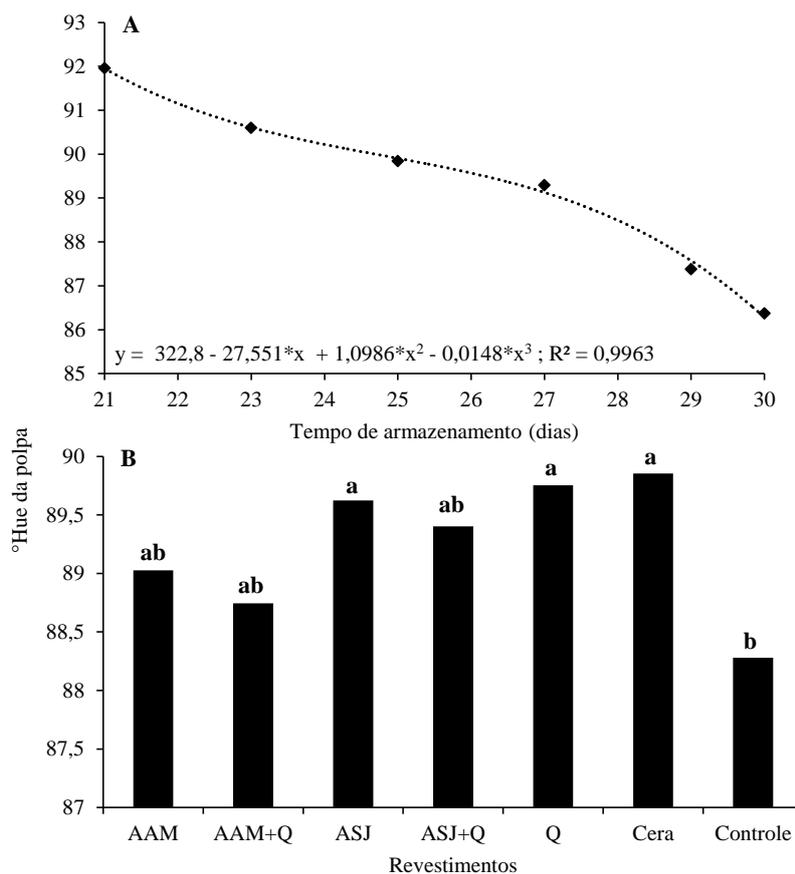


Figura11. Ângulo de cor (°Hue) da polpa de mangas ‘Tommy Atkins’ durante o armazenamento por 21 dias sob refrigeração ($12,1 \pm 0,2^{\circ}\text{C}$ e $89 \pm 3\%$ de UR) seguido de 9 dias em temperatura ambiente ($23,3 \pm 0,2^{\circ}\text{C}$ e $89 \pm 3\%$ de UR) – A – e sob influência apenas dos revestimentos à base de amido de amêndoa de manga (AAM); amido de amêndoa de manga + quitosana (AAM+Q); amido de semente de jaca (ASJ); amido de semente de jaca + quitosana (ASJ+Q); quitosana (Q); cera de carnaúba (Cera) e controle - B.

Apesar dos parâmetros luminosidade, croma e °Hue da polpa não apresentarem diferenças acintosas, visualmente foi possível observarmos que os frutos que não foram revestidos tiveram uma maior mudança na cor que os frutos revestidos (Figura 12). Ao longo do armazenamento, os frutos sem revestimento desenvolveram a coloração amarela intenso mais rápida que os demais. A caracterização da coloração da polpa é muito importante principalmente para determinar a aceitação pelo consumidor de mangas in natura como também na indústria. Por exemplo, as frutas destinadas à fabricação de sucos e néctares, apresentando polpas de coloração mais intensa, não necessitam da adição de corantes. Esta característica é também fator determinante na aceitação de mangas minimamente processadas (SELLAMUTHU et al., 2013).

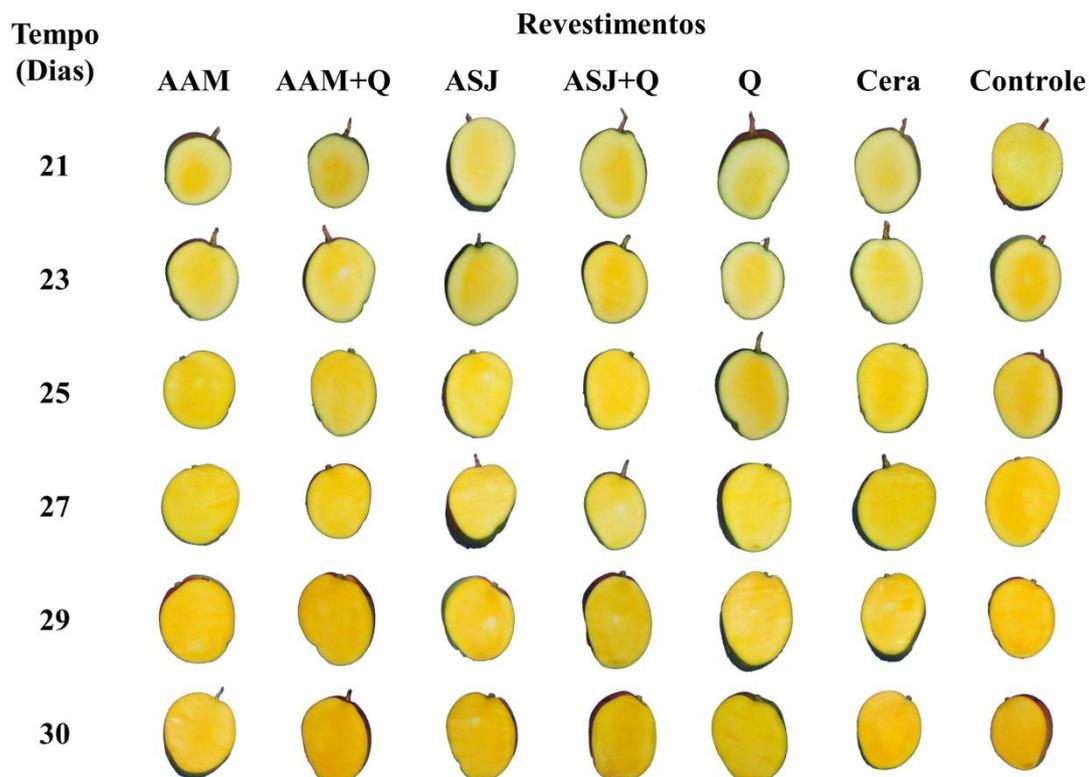


Figura 12. Mangas ‘Tommy Atkins’ sob revestimentos à base de amido de amêndoa de manga (AAM); amido de amêndoa de manga + quitosana (AAM+Q); amido de semente de jaca (ASJ); amido de semente de jaca + quitosana (ASJ+Q); quitosana (Q); cera de carnaúba (Cera) e controle, durante o armazenamento por 21 dias sob refrigeração ($12,1 \pm 0,2^{\circ}\text{C}$ e $89 \pm 3\%$ de UR) seguido de 9 dias em temperatura ambiente ($23,3 \pm 0,2^{\circ}\text{C}$ e $89 \pm 3\%$ de UR).

Analisando o teor de clorofila *a*, observa-se que foi degradada ao longo do armazenamento (Figura 13A). No dia da colheita, os frutos apresentavam valores médios de $15,01 \mu\text{g}.100 \text{ mL}^{-1}$ (Tabela 1). Ao saírem do armazenamento refrigerado, possuíam $6,84 \mu\text{g}.100 \text{ mL}^{-1}$. Na condição de temperatura ambiente, esses teores diminuíram acintosamente.

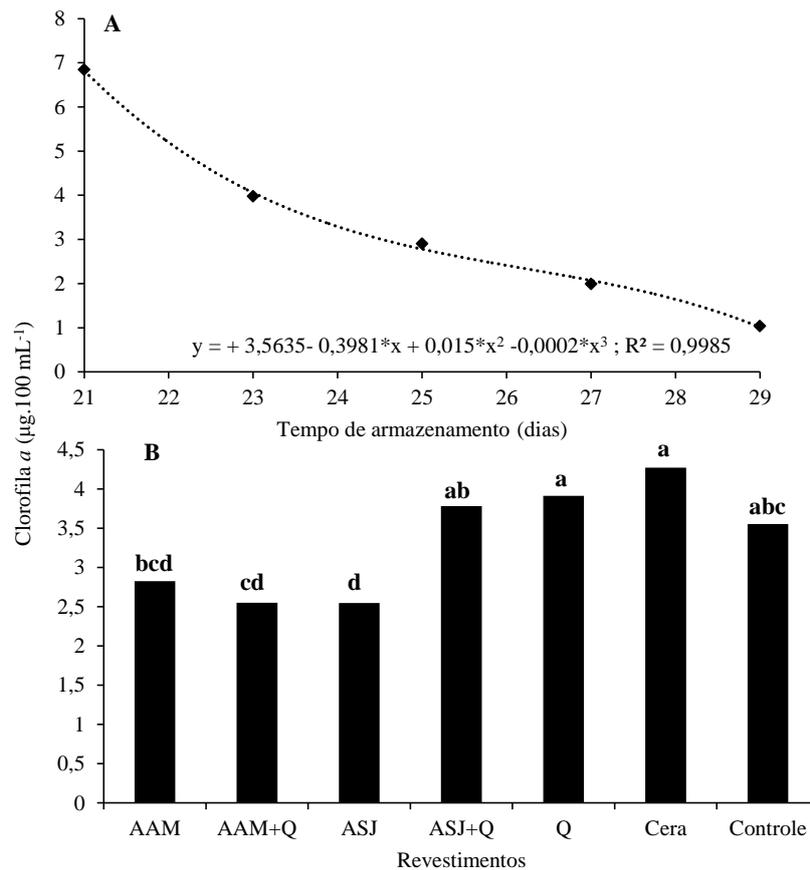


Figura 13. Teor de clorofila *a* de mangas ‘Tommy Atkins’ durante o armazenamento por 21 dias sob refrigeração ($12,1 \pm 0,2^\circ\text{C}$ e $89 \pm 3\%$ de UR) seguido de 9 dias em temperatura ambiente ($23,3 \pm 0,2^\circ\text{C}$ e $89 \pm 3\%$ de UR) – A – e sob influência apenas dos revestimentos à base de amido de amêndoa de manga (AAM); amido de amêndoa de manga + quitosana (AAM+Q); amido de semente de jaca (ASJ); amido de semente de jaca + quitosana (ASJ+Q); quitosana (Q); cera de carnaúba (Cera) e controle - B.

Essa variável foi influenciada pelos dois fatores isoladamente. Considerando-se o fator tempo de armazenamento, observa-se que todos os teores diminuíram em todos os frutos, ao longo do período avaliado (Figura 13A), sendo possível quantificar o teor de clorofila *a* até o 29º dia, quando apresentavam $1,03 \mu\text{g}\cdot 100 \text{ mL}^{-1}$. Em relação aos revestimentos, foi possível destacar que os maiores teores médios foram observados nos frutos recobertos com quitosana e cera de carnaúba, com valores respectivos de $3,91$ e $4,27 \text{ } 03 \mu\text{g}\cdot 100 \text{ mL}^{-1}$, indicando que esses dois revestimentos promoveram atraso na maturação dos frutos comparativamente maior.

O teor de clorofila *b* também foi influenciado pelo efeito isolado dos dois fatores (Figura 14). Ao serem colhidos, os frutos apresentavam teor de clorofila *b* de

9,28 $\mu\text{g}\cdot 100\text{ mL}^{-1}$, que foi sendo degradado ao longo armazenamento (Figura 14A). Ao saírem da refrigeração, aos 21 dias, os frutos apresentaram uma diminuição de 40,5% no teor.

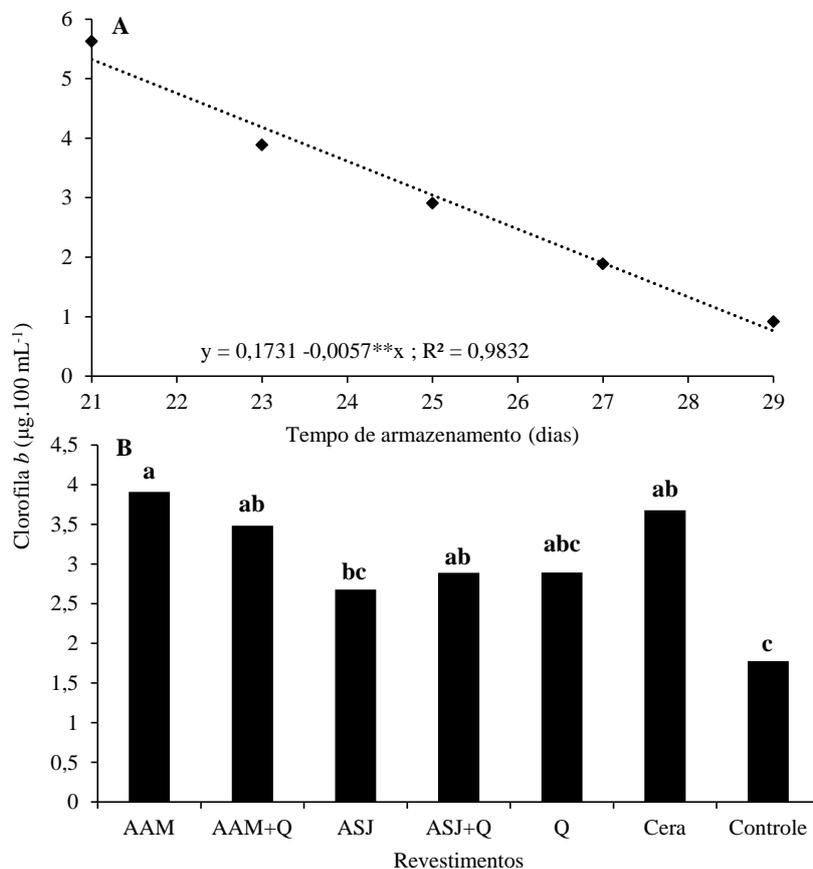


Figura 14. Teor de clorofila *b* de mangas ‘Tommy Atkins’ durante o armazenamento por 21 dias sob refrigeração ($12,1 \pm 0,2^\circ\text{C}$ e $89 \pm 3\%$ de UR) seguido de 9 dias em temperatura ambiente ($23,3 \pm 0,2^\circ\text{C}$ e $89 \pm 3\%$ de UR) – A – e sob influência de revestimentos à base de amido de amêndoa de manga (AAM); amido de amêndoa de manga + quitosana (AAM+Q); amido de semente de jaca (ASJ); amido de semente de jaca + quitosana (ASJ+Q); quitosana (Q); cera de carnaúba (Cera) e controle - B.

A maioria dos os revestimentos mantiveram maiores teores de clorofila *b* em relação ao controle, exceto os tratamentos amido de semente de jaca + quitosana e quitosana, sendo a maior degradação apresentada nos frutos sem revestimento (Figura 14B). Os frutos que apresentaram os maiores teores médios de clorofila foram os recobertos com amido de amêndoa de manga $3,90\ (\mu\text{g}\cdot 100\text{ mL}^{-1})$. Esse atraso na diminuição da clorofila consequentemente acarretará em aumento no tempo de vida útil no fruto.

A variável teor de β -caroteno da polpa sofreu interação entre os fatores tempo de armazenamento e revestimento, sendo possível observar valores crescentes para todos os frutos (Figura 15). Os frutos que apresentaram os menores teores no decorrer do tempo foram os revestidos por amido de semente de jaca, quitosana e cera de carnaúba, sendo possível esta observação até o 27º dia de armazenamento.

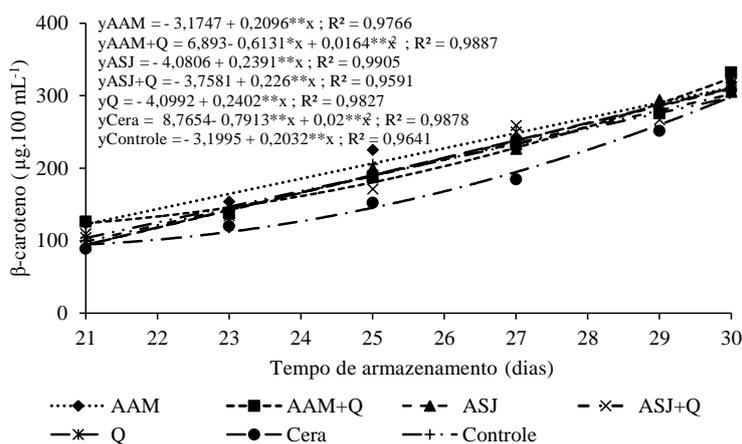


Figura 15. Teor de β -caroteno da polpa de mangas ‘Tommy Atkins’ sob revestimentos a base de amido de amêndoa de manga (AAM); amido de amêndoa de manga + quitosana (AAM+Q); amido de semente de jaca (ASJ); amido de semente de jaca + quitosana (ASJ+Q); quitosana (Q); cera de carnaúba (Cera) e controle, durante o armazenamento por 21 dias sob refrigeração ($12,1 \pm 0,2^\circ\text{C}$ e $89 \pm 3\%$ de UR) seguido de 9 dias em temperatura ambiente ($23,3 \pm 0,2^\circ\text{C}$ e $89 \pm 3\%$ de UR).

Todos os frutos apresentaram aumento no teor de β -caroteno e diminuição nos teores de clorofila *a* e *b* durante o armazenamento em temperatura ambiente ($23,3 \pm 0,2^\circ\text{C}$), sendo que, em frutos recobertos com alguns tipos de revestimentos, as taxas foram mais lentas (Figuras 13,14 e 15). Alguns revestimentos não só diminuíram as taxas de aumento do β -caroteno como também desaceleraram a decomposição de pigmentos de clorofila. Esse efeito sinaliza atraso na degradação da clorofila, que representa maior potencial de vida útil aos frutos.

Os pigmentos carotenoides e clorofilas são responsáveis diretos pela cor dos frutos durante a maturidade. Esses pigmentos são sintetizados, no caso dos carotenoides, ou degradados, em se tratando de clorofilas, em taxas mais rápidas à medida que a fruta vai amadurecendo e têm esta taxa diminuída quando a fruta inicia a senescência (DÍAZ-MULA et al., 2008; NAEM et al., 2018). A cor verde durante o primeiro estágio de maturação é principalmente atribuída à presença de clorofila.

Durante a maturação e senescência, os pigmentos de cloroplastos desaparecem, enquanto os pigmentos de cromoplastos (carotenoides) são gerados e esterificados por ácidos graxos.

O teor de sólidos solúveis e a acidez titulável não diferiram significativamente entre os revestimentos, nem tão pouco foram influenciados pela interação com o tempo de armazenamento. No entanto, sofreram efeito isolado do tempo armazenamento (Figura 16). No dia da colheita, os frutos possuíam um valor 8,1°Brix (Tabela 1) e, ao saírem do armazenamento refrigerado, aos 21 dias, apresentaram teores médios de 10,4°Brix, representando um aumento de 28% (Figura 16A). No armazenamento sob temperatura ambiente, houve aumento até valores médios de 13,0°Brix, ao 30. dia.

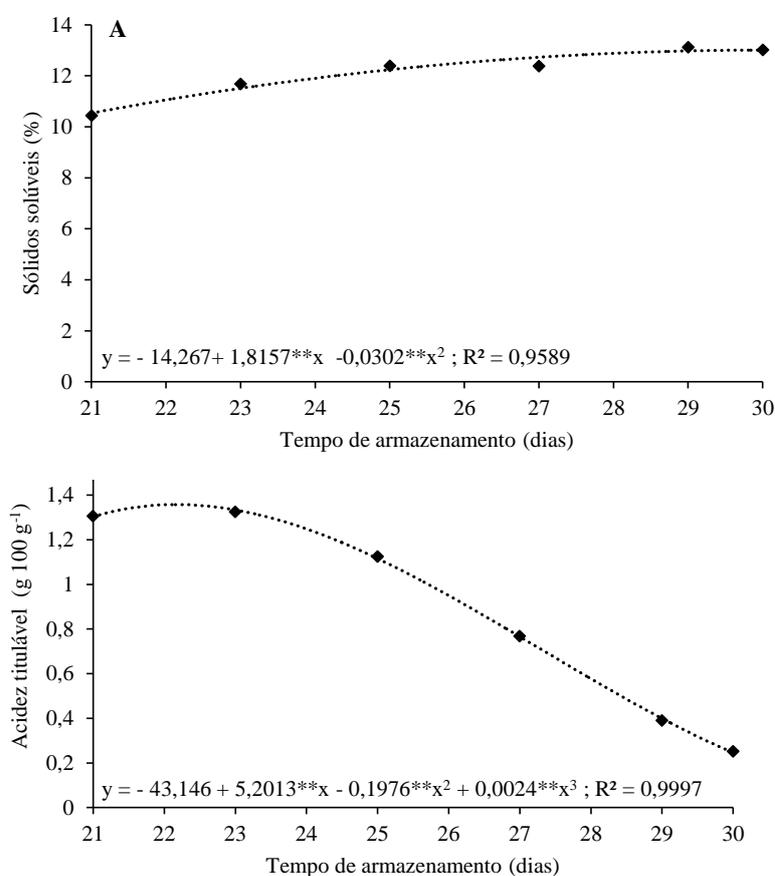


Figura 16. Teor de sólidos solúveis (A) e acidez titulável (B) de mangas ‘Tommy Atkins’ durante o armazenamento por 21 dias sob refrigeração ($12,1 \pm 0,2^\circ\text{C}$ e $89 \pm 3\%$ de UR) seguido de 9 dias em temperatura ambiente ($23,3 \pm 0,2^\circ\text{C}$ e $89 \pm 3\%$ de UR).

Segundo Medeiros et al. (2012), o aumento no teor de sólidos solúveis durante o amadurecimento ocorre devido à degradação de polissacarídeos presentes na fruta e pode ser incrementado com o aumento da perda de água, que resulta em concentração

dos açúcares existentes nos tecidos da fruta. De acordo com Batista et al. (2015), o teor de sólidos solúveis pode variar de acordo com a cultivar da manga, sendo que, em Van Dyke, Haden, Kent, Tommy Atkins, Palmer, Keitt, Espada e Rosa, os valores podem variar de 12 a 18,1°Brix. Os valores médios reportados para manga ‘Tommy Atkins’, 13,4°Brix, são próximos aos observados nesse estudo.

De maneira geral, na manga, o aumento no teor de sólidos solúveis está ligado diretamente com a degradação do amido. Ao se aplicar revestimentos, espera-se que essa degradação seja retardada e, conseqüentemente, resulte numa maior vida útil para o fruto (PAREEK, 2016).

A acidez titulável diminuiu ao longo do armazenamento sob temperatura ambiente, sendo que, aos 21 dias, os frutos apresentavam valores médios de 1,31 g.100 mL⁻¹ (Figura 16B). Ao 30° dia do armazenamento, os frutos apresentaram uma diminuição de 80%, com valores de 0,25 g.100 mL⁻¹.

De acordo com Mahto e Das (2013), para frutos climatéricos, é característico a diminuição da acidez titulável durante o armazenamento pois, com o amadurecimento, os ácidos orgânicos normalmente são consumidos. Com o uso de revestimentos nos frutos, esperava-se uma diminuição mais lenta da acidez titulável ao longo armazenamento.

A relação SS/AT apresentou efeito isolado para os dois fatores, podendo-se observar aumento cúbico no decorrer do armazenamento (Figura 17A), com valores crescentes de 8,03 para 53,58, ao final do período. Esse aumento acintoso após as mangas serem retiradas para condição ambiente também foi reportado por Azerêdo et al. (2016), para a cultivar Tommy Atkins. A maior relação SS/AT ocorreu nos frutos revestidos com amido de amêndoa de manga + quitosana (Figura 17B).

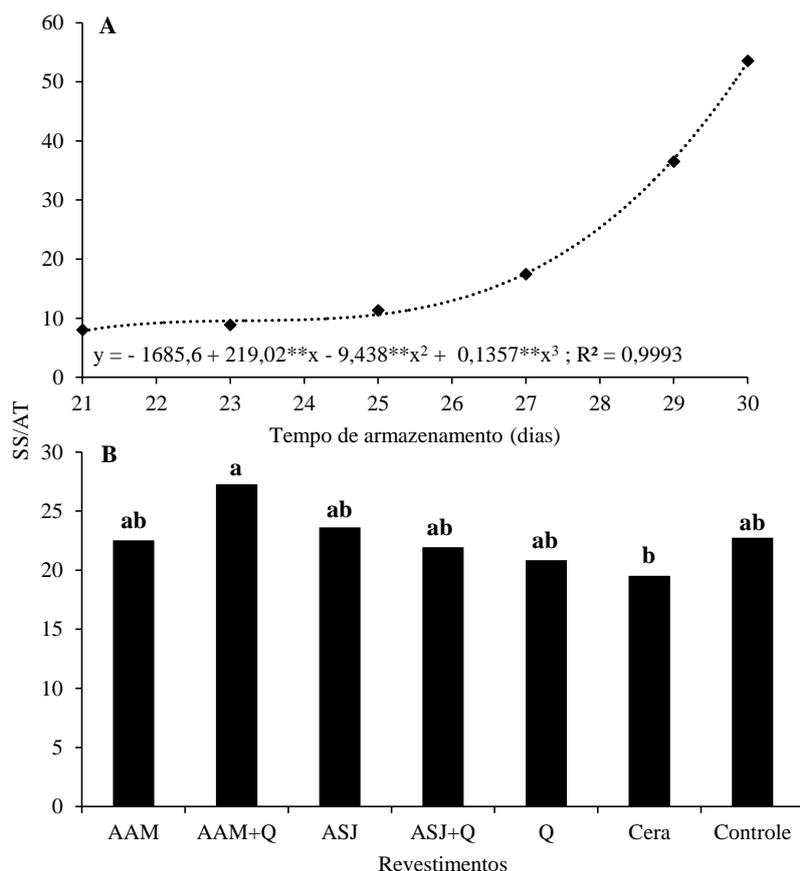


Figura 17. Relação SS/AT de mangas ‘Tommy Atkins’ durante o armazenamento por 21 dias sob refrigeração ($12,1 \pm 0,2^\circ\text{C}$ e $89 \pm 3\%$ de UR) seguido de 9 dias em temperatura ambiente ($23,3 \pm 0,2^\circ\text{C}$ e $89 \pm 3\%$ de UR) – A – e sob influência de revestimentos a base de amido de amêndoa de manga (AAM); amido de amêndoa de manga + quitosana (AAM+Q); amido de semente de jaca (ASJ); amido de semente de jaca + quitosana (ASJ+Q); quitosana (Q); cera de carnaúba (Cera) e controle - B.

A relação entre SS e AT é um dos indicadores de sabor e de seleção de frutos, relacionando a quantidade de açúcares e ácidos presentes. Essa relação tende a aumentar durante o amadurecimento, devido ao aumento nos teores de açúcares e à diminuição dos ácidos orgânicos. Na manga ‘Tommy Atkins’, essa relação é em torno dos 50 no ponto ideal de consumo (BATISTA et al., 2015; CHITARRA; CHITARRA, 2005).

O teor de ácido ascórbico sofreu efeito isolado dos fatores, sendo possível observar que, ao longo do armazenamento, observou-se leve aumento até o 27º dia, com tendência à estabilização a partir daí (Figura 18A). Esse comportamento foi observado por Serpa et al. (2014), em mangas ‘Palmer’ revestidas com amido de mandioca associado a extrato de cravo e canela.

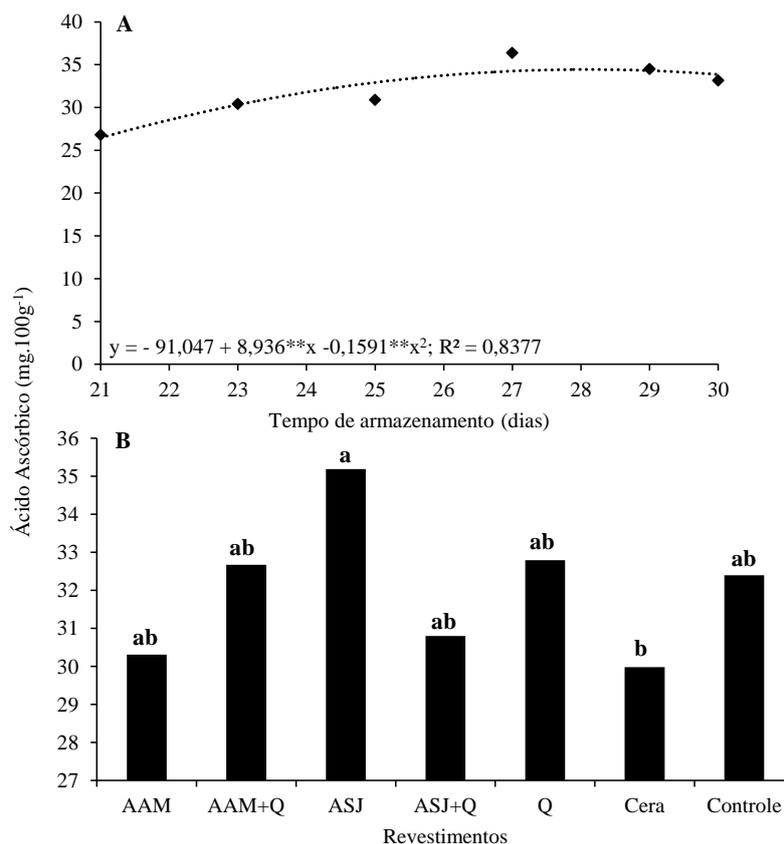


Figura 18. Teor de ácido ascórbico de mangas ‘Tommy Atkins’ durante o armazenamento por 21 dias sob refrigeração ($12,1 \pm 0,2^\circ\text{C}$ e $89 \pm 3\%$ de UR) seguido de 9 dias em temperatura ambiente ($23,3 \pm 0,2^\circ\text{C}$ e $89 \pm 3\%$ de UR) – A – e sob a influência de revestimentos a base de amido de amêndoa de manga (AAM); amido de amêndoa de manga + quitosana (AAM+Q); amido de semente de jaca (ASJ); amido de semente de jaca + quitosana (ASJ+Q); quitosana (Q); cera de carnaúba (Cera) e controle - B.

Em relação aos revestimentos, os frutos que foram recobertos com amido de semente de jaca, cujos valores médios foram de $35,18 \text{ mg.}100 \text{ g}^{-1}$, apresentaram os teores de ácido ascórbico maiores que aqueles que receberam aplicação de cera (Figura 18B). Na literatura, podemos encontrar divergência sobre esses valores. No entanto, podem variar em função da composição genética, dos fatores climáticos pré-colheita, da maturidade e dos métodos utilizados para a conservação pós-colheita (NAEEM et al., 2018). Ainda, os princípios químicos e sensibilidade dos métodos de determinação respondem por variações amplas na quantificação do ácido ascórbico em frutas.

O ácido ascórbico pode aumentar e ou diminuir ao longo do armazenamento pois o etileno produzido durante o amadurecimento dos frutos pode aumentar o teor de ácido ascórbico para ajudar no amadurecimento, esse acúmulo pode ter diferentes usos

no fruto. Pode ser usado para neutralizar radicais livres, para a biossíntese de hormônios vegetais (etileno e ácido giberélico) e pode servir como substrato para a biossíntese de oxalato e tartarato. Da mesma forma, o ácido ascórbico é oxidado pela violaxantina de-epoxidase no ciclo da xantofila. Assim, diminuições de ácido ascórbico ao longo do armazenamento podem ser atribuídas às suas diferentes funções durante o amadurecimento dos frutos (DAVEY et al., 2000; IBARRA-GARZA et al., 2015). De acordo com Denre et al. (2013), podemos classificar o ácido ascórbico como um dos principais antioxidantes hidrofílicos que captam os radicais livres que são prejudiciais ao organismo e outras espécies reativas de oxigênio (ROS). Dessa forma, os revestimentos têm um papel importante em retardar a sua degradação.

As mudanças na firmeza da polpa de mangas ‘Tommy Atkins’ foram influenciadas pela interação significativa entre os revestimentos e o tempo de armazenamento (Figura 19). Ao término do armazenamento refrigerado, os maiores valores de firmeza foram observados nos frutos revestidos com amido de semente de jaca e quitosana com valores respectivos de 91,42 e 88,12 N. De maneira geral, a firmeza diminuiu para todos os revestimentos ao longo do armazenamento. A partir do 25º dia, quando o amadurecimento se tornou mais acintoso, todos os frutos sofreram diminuição drástica na firmeza. Até o 27º dia, foi possível observar diferenças claras entre os revestimentos, sendo que os frutos recobertos com amido de amêndoa de manga (AAM) e amido de semente de jaca + quitosana (ASJ+Q) caracterizaram-se por valores respectivos de 9,25 e 10,23 N.

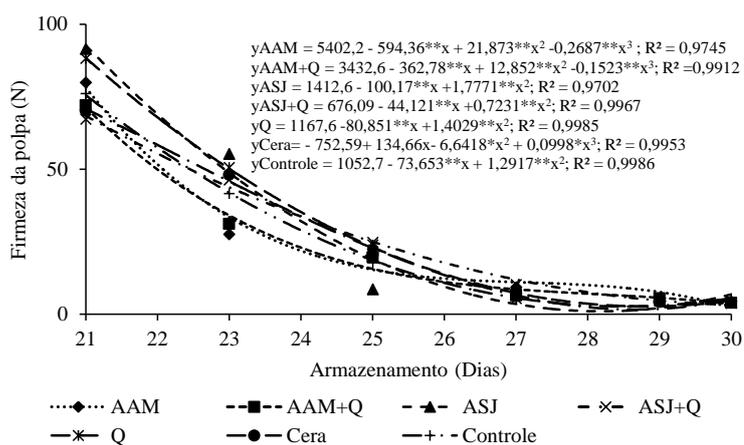


Figura 19. Firmeza da polpa de mangas ‘Tommy Atkins’ sob revestimentos à base de amido de amêndoa de manga (AAM); amido de amêndoa de manga + quitosana (AAM+Q); amido de semente de jaca (ASJ); amido de semente de jaca + quitosana (ASJ+Q); quitosana (Q); cera de carnaúba (Cera) e controle, durante o armazenamento por 21 dias sob refrigeração (12,1 ±

0,2°C e 89 ± 3% de UR) seguido de 9 dias em temperatura ambiente (23,3 ± 0,2°C e 89 ± 3% de UR).

A firmeza dos frutos é um dos principais atributos de qualidade, determinando a vida útil e o valor de mercado, além de ser um dos principais elementos julgados pelo consumidor na hora da compra (CHEN et al., 2019; HONG et al., 2012). Diversos trabalhos reportam a diminuição da firmeza na polpa da manga no decorrer do armazenamento (LI et al., 2014; RAZZAQ et al., 2016; REDDY et al., 2016). Esse declínio na firmeza é causado pela degradação do amido, das enzimas da parede celular, incluindo pectinametilesterase (PME), poligalacturonase (PG) e celulase, que hidrolisam componentes da parede celular, incluindo pectinas e celulose (LI et al., 2014). Dessa forma, com a utilização dos revestimentos, a degradação promovida por essas enzimas é retardada, preservando a firmeza por um maior período de tempo.

Os teores de pectina solúvel aumentaram ao longo do armazenamento para todos os frutos, sendo que os maiores valores foram observados para aqueles sem revestimento (Figura 20). Todos os revestimentos retardaram o aumento das substâncias pécnicas, no entanto os menores teores foram observados nos frutos recobertos com quitosana, amido de semente de jaca e cera de carnaúba que apresentaram variação 35% menor que o controle, ao final do armazenamento.

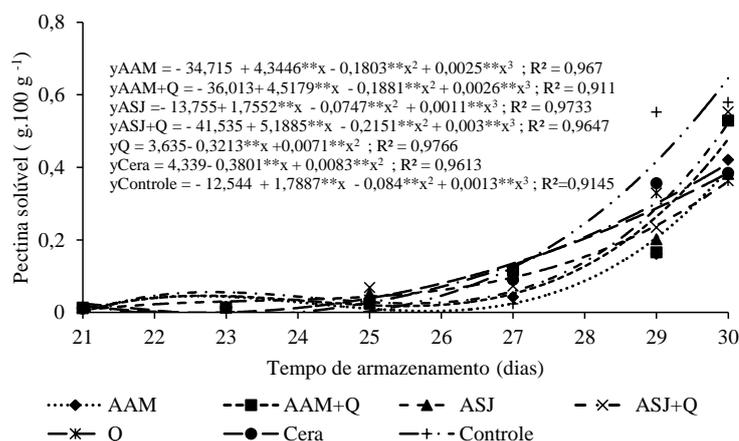


Figura 20. Teor de pectina solúvel de mangas ‘Tommy Atkins’ sob revestimentos à base de amido de amêndoa de manga (AAM); amido de amêndoa de manga + quitosana (AAM+Q); amido de semente de jaca (ASJ); amido de semente de jaca + quitosana (ASJ+Q); quitosana (Q); cera de carnaúba (Cera) e controle, durante o armazenamento por 21 dias sob refrigeração (12,1 ± 0,2°C e 89 ± 3% de UR) seguido de 9 dias em temperatura ambiente (23,3 ± 0,2°C e 89 ± 3% de UR).

O amolecimento na manga ocorre devido a modificações na parede celular. Uma dessas mudanças ocorre na estrutura das pectinas. As pectinas são caracterizadas pelo alto conteúdo de ácido galacturônico, polímero de alta massa molecular, que pode ser metil esterificado, fornecendo propriedades de gelificação (MIERCZYŃSKA et al., 2015). As enzimas que se destacam no amolecimento dos tecidos da manga são PME, PG, pectina liase, β -galactosidase e α -arabinofuranosidase. A PME catalisa a desmetilação do ácido poligalacturônico em pectina enquanto a PG catalisa a hidrólise das ligações α -1,4-glicosídicas do ácido poligalacturônico (BRUMMELL et al., 2004, PANIAGUA et al., 2014).

Os diferentes componentes das pectinas têm sido bem estudados. No entanto, sua mútua interligação com a sua estrutura e alterações mecânicas devido à degradação pós-colheita em frutas ainda não é bem compreendida. A determinação das propriedades mecânicas da parede celular é indispensável para a compreensão do mecanismo do amolecimento fisiológico e da deterioração da qualidade de frutos durante a pós-colheita (CÁRDENAS- PÉREZ, 2018; ZDUNEK et al., 2016).

O amido foi degradado ao longo do armazenamento. Ao serem colhidos, os frutos apresentavam teores médios de $4,03 \text{ g} \cdot 100 \text{ g}^{-1}$ (Tabela 1) e, ao saírem da refrigeração, aos 21 dias, $3,01 \text{ g} \cdot 100 \text{ g}^{-1}$ (Figura 21). Ao serem acondicionados sob temperatura ambiente ($23,3 \pm 0,2^\circ\text{C}$), essa degradação ocorreu de forma mais rápida, sendo possível quantificar o teor de amido até o 27º de armazenamento.

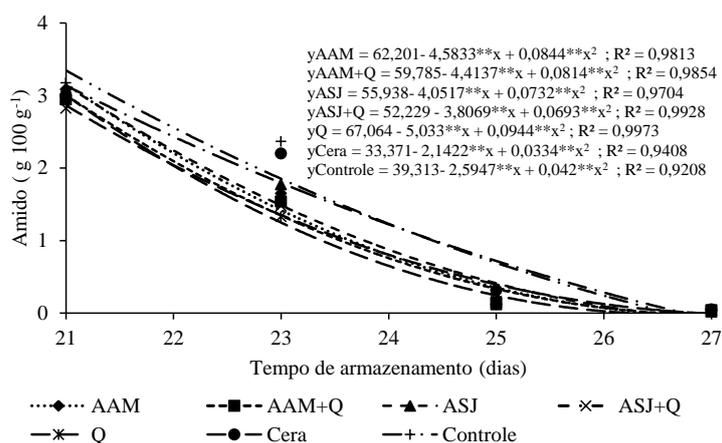


Figura 21. Amido de mangas ‘Tommy Atkins’ sob revestimentos à base de amido de amêndoa de manga (AAM); amido de amêndoa de manga + quitosana (AAM+Q); amido de semente de jaca (ASJ); amido de semente de jaca + quitosana (ASJ+Q); quitosana (Q); cera de carnaúba (Cera) e controle, durante o armazenamento por 21 dias sob refrigeração ($12,1 \pm 0,2^\circ\text{C}$ e $89 \pm 3\%$ de UR) seguido de 9 dias em temperatura ambiente ($23,3 \pm 0,2^\circ\text{C}$ e $89 \pm 3\%$ de UR).

Os frutos que sofreram a maior degradação foram os recobertos com amido de semente de jaca e quitosana. A menor degradação ao longo do armazenamento foi observada nos frutos recobertos com cera de carnaúba. Isso pode ser explicado por que a cera de carnaúba tem origem lipídica e conseqüentemente são hidrofóbicos, conferindo melhores barreiras à umidade do que os polissacarídeos (BALDWIN et al., 2011).

O amido é a principal fonte de reserva e seu metabolismo é fundamental para o crescimento e desenvolvimento das plantas. O aumento nos níveis de açúcares durante a maturação das frutas está diretamente ligado com os níveis de amido, que vai sendo degradado ao longo do amadurecimento (BALDWIN et al., 2011; CHANG et al., 2013). Dessa forma, pode-se afirmar que o aumento de açúcares ao longo da maturação, a diminuição da firmeza e acidez, o aumento das pectinas e sólidos solúveis estão diretamente ligados com a presença de amido (BALOCH; BIBI, 2012).

Ainda, é possível observar diferentes respostas para os dois tipos de amido. Tais diferenças devem ser atribuídas a: suas características físicas e químicas, como tamanho dos grânulos, quantidade de amilose e amilopectina; suas respostas à permeabilidade ao vapor dos gases; além da presença de outros constituintes, mesmo em concentrações baixas, como lipídeos (BARTHI et al., 2019; MADRUGA et al., 2014).

A atividade da enzima α -amilase também foi influenciada pela interação entre os revestimentos e o tempo de armazenamento (Figura 22). Em linhas gerais, a atividade da α -amilase atingiu um pico de ação e depois diminuiu. Esse pico de atividade ocorreu entre o 23° e 25° dia, quando o fruto ainda apresentava altos teores de amido. Os frutos que estavam revestidos com amido de amêndoa de manga; amido de amêndoa de manga + quitosana e cera de carnaúba retardaram esse pico para o 25° dia, com valores respectivos de 2,75; 2,82 e 2,34 $\mu\text{M}\cdot\text{g}^{-1}\cdot\text{min}^{-1}$. As menores atividades foram observadas, ao final do armazenamento, nos frutos recobertos com amido de semente de jaca.

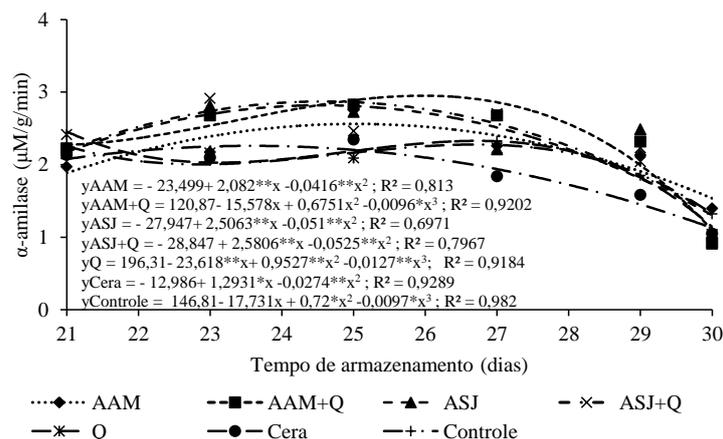


Figura 22. Atividade da enzima α -amilase de mangas ‘Tommy Atkins’ sob revestimentos à base de amido de amêndoa de manga (AAM); amido de amêndoa de manga + quitosana (AAM+Q); amido de semente de jaca (ASJ); amido de semente de jaca + quitosana (ASJ+Q); quitosana (Q); cera de carnaúba (Cera) e controle, durante o armazenamento por 21 dias sob refrigeração ($12,1 \pm 0,2^\circ\text{C}$ e $89 \pm 3\%$ de UR) seguido de 9 dias em temperatura ambiente ($23,3 \pm 0,2^\circ\text{C}$ e $89 \pm 3\%$ de UR).

A α -amilase é responsável pela maior parte da atividade amilolítica na manga. Durante a maturação, ocorre aumento na atividade amilásica e da hidrólise do amido, que é o principal carboidrato presente no fruto imaturo (PALIYATH et al., 2008). A atividade da α -amilase aumenta durante o crescimento do fruto e começa a decrescer após o amadurecimento, estando esse decréscimo associado à redução no conteúdo de amido nos últimos estádios do desenvolvimento (SILVA et al., 2008).

O teor de polifenóis extraíveis totais variou no decorrer do tempo de armazenamento em função do revestimento utilizado, tendo os frutos apresentado valores variando de $15,95$ a $25,85 \text{ mg}\cdot 100 \text{ g}^{-1}$ e sendo possível observar que aqueles revestidos com amido de amêndoa de manga sem ou com a adição da quitosana apresentaram seus maiores valores aos 21 dias, diminuindo ao final (Figura 23). Nos demais frutos, os teores aumentaram até o 23º dia de armazenamento e diminuíram ao final do período. Dessa maneira, os revestimentos formaram ao redor do fruto uma barreira semi permeável que possibilitou leve alterações no teor de polifenóis ao longo do armazenamento.

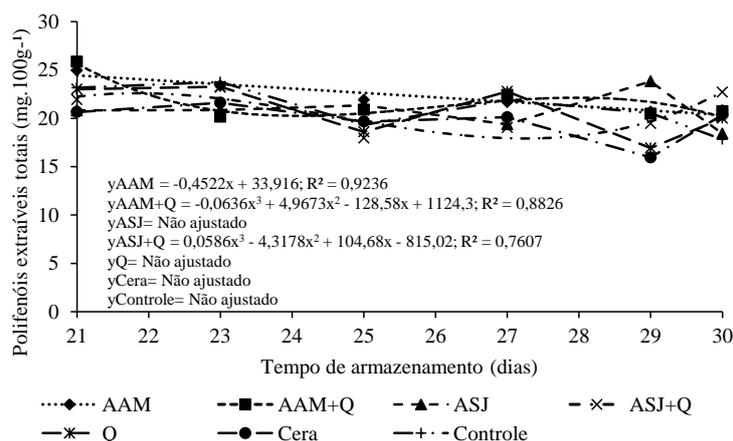


Figura 23. Teor de polifenóis extraíveis totais de mangas ‘Tommy Atkins’ sob revestimentos à base de amido de amêndoa de manga (AAM); amido de amêndoa de manga + quitosana (AAM+Q); amido de semente de jaca (ASJ); amido de semente de jaca + quitosana (ASJ+Q); quitosana (Q); cera de carnaúba (Cera) e controle, durante o armazenamento por 21 dias sob refrigeração ($12,1 \pm 0,2^\circ\text{C}$ e $89 \pm 3\%$ de UR) seguido de 9 dias em temperatura ambiente ($23,3 \pm 0,2^\circ\text{C}$ e $89 \pm 3\%$ de UR).

Os fenólicos são reconhecidos como importantes agentes anti-inflamatórios e protetores contra doenças crônicas e cânceres, bem como por apresentar diversas aplicações na indústria (ACOSTA-ESTRADA et al., 2014). Eles são metabólitos secundários e controlam múltiplas operações bioquímicas. Também possuem potencial antioxidante, podendo capturar tanto eletrófilos e ROS (espécies reativas de oxigênio) e ligar íons metálicos, têm a capacidade de auto-oxidação e regulam certas funções enzimáticas. Os principais fenólicos observados na manga são: quercetina, ácido gálico, campferol, luteína, ácido clorogênico, ácido vanílico, ácido cafeico e ácido salicílico (VITHANA et al., 2019; MARINOVA et al., 2005).

A atividade antioxidante total determinada pelo método do ABTS foi influenciada pela interação significativa entre os dois fatores em estudo (Figura 24). Observou-se variação ao longo do tempo, tendo os frutos apresentado atividade antioxidante desde 1,11 a 2,15 ($\mu\text{M Trolox.g}^{-1}$ suco). Os maiores valores foram observados nos frutos revestidos com amido de semente de jaca e amido de semente de jaca + quitosana.

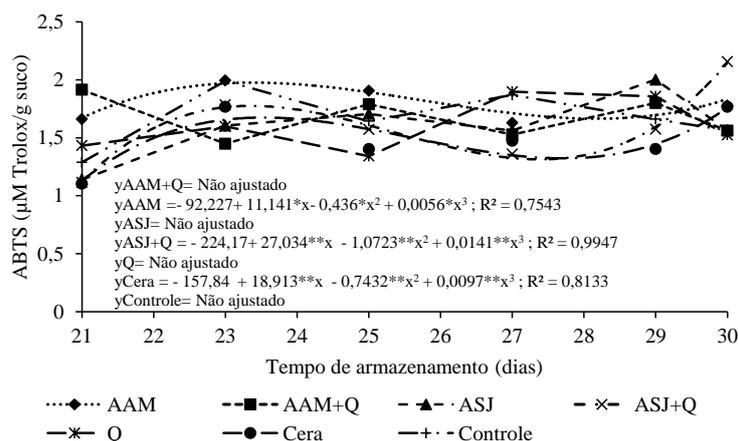


Figura 24. Atividade antioxidante total, método ABTS, de mangas ‘Tommy Atkins’ sob revestimentos à base de amido de amêndoa de manga (AAM); amido de amêndoa de manga + quitosana (AAM+Q); amido de semente de jaca (ASJ); amido de semente de jaca + quitosana (ASJ+Q); quitosana (Q); cera de carnaúba (Cera) e controle, durante o armazenamento por 21 dias sob refrigeração ($12,1 \pm 0,2^\circ\text{C}$ e $89 \pm 3\%$ de UR) seguido de 9 dias em temperatura ambiente ($23,3 \pm 0,2^\circ\text{C}$ e $89 \pm 3\%$ de UR).

Os valores médios obtidos nesse estudo estão de acordo com valores reportados na literatura. Espera-se que o teor de antioxidantes dos frutos aumente com o decorrer da maturação e, particularmente durante o amadurecimento ou estágio plenamente maduro, os antioxidantes voltam a diminuir (NAEEM et al., 2018).

Nutricionalmente, a manga contém uma quantidade substancial de β -caroteno, ácido ascórbico, fibra dietética, açúcares solúveis e vários minerais que são boas fontes de nutrientes e contribuem para os benefícios para a saúde (NTSOANE et al., 2019). O ácido ascórbico, os polifenóis e o β -caroteno contribuem para a atividade antioxidante. Eles atuam diretamente na redução de espécies reativas de oxigênio (ROS), tais como $\text{O}_2^{\bullet-}$, H_2O_2 e OH^- (ROSALIE et al., 2015). As ROS são constantemente geradas em tecidos vegetais, por um grande número de vias metabólicas, sendo que, em concentrações baixas, são responsáveis pela ativação de respostas de defesas, mas, em concentrações altas, são responsáveis pelo agravamento de lesões, o que leva a danos oxidativos aos aminoácidos, lipídios e aos ácidos nucleicos (ZSIGMOND et al., 2011; NIRANJANA et al., 2015). Para esse estudo, os revestimentos não exerceram nenhum papel negativo na atividade antioxidante da manga ‘Tommy Atkins’.

Diante das variáveis analisadas, podemos constatar que os revestimentos apresentam um enorme potencial para a utilização na manga ‘Tommy Atkins’, onde os revestimentos ajudaram na manutenção da qualidade pós colheita dos frutos.

4. CONCLUSÕES

Os frutos revestidos não só mantiveram a firmeza, como também apresentaram melhoria na qualidade pós-colheita, com amadurecimento retardado durante o armazenamento em temperatura ambiente. Esta resposta foi observada pela diminuição do aumento das substâncias pécnicas e β -caroteno, degradação da clorofila, atividade da enzima α -amilase e degradação do amido. Os revestimentos de maior destaque foram quitosana, cera de carnaúba, amido de semente de jaca + quitosana e amido de amêndoa de manga, apresentando um enorme potencial para serem utilizados para a conservação pós-colheita da manga 'Tommy Atkins'.

5. REFERÊNCIAS

- ACOSTA-ESTRADA, B. A.; GUTIÉRREZ-URIBE, J. A.; SERNA-SALDÍVAR, S. O. Bound phenolics in foods, a review. **Food chemistry**, v. 152, p. 46-55, 2014.
- AMARIZ, A.; LIMA, M. A. C.; TRINDADE, D. C. G.; SANTOS, A. C. N.; RIBEIRO, T. P. Revestimentos à base de carboximetilcelulose e dextrina em mangas ‘Tommy Atkins’ armazenada sob refrigeração. **Ciência Rural**. Santa Maria, v. 40, n. 10, p. 2199-2205, 2010.
- AOAC International. **Official Methods of Analysis of AOAC International**. 19 ed. Gaithersburg, MD, USA, 2012.
- AZERÊDO, L. P. M.; SILVA, S. D. M.; LIMA, M. A. C., DANTAS, R. L.; & PEREIRA, W. E. Quality of ‘Tommy Atkins’ mango from integrated production coated with cassava starch associated with essential oils and chitosan. **Revista Brasileira de Fruticultura**, 38(1):141-150, 2016.
- BALDWIN, E.A.; HAGENMAIER, R; BAI, J (Ed.). **Edible coatings and films to improve food quality**. CRC Press, 2011.
- BALOCH, M.; BIBI, F. Effect of harvesting and storage conditions on the post harvest quality and shelf life of mango (*Mangifera indica* L.) fruit. *South African Journal of Botany*, v. 83, p. 109–116, 2012.
- BATISTA, P. F.; LIMA, M. A. C. D.; TRINDADE, D. C. G. D.; & ALVES, R. E. Quality of different tropical fruit cultivars produced in the Lower Basin of the São Francisco Valley1. **Revista Ciência Agrônômica**, v. 46, n. 1, p. 176-184, 2015.
- BERNFELD, P. Enzymes in carbohydrate metabolism. In: *Methods in enzymology*, Vol. 1. (Colwick, S. P. and Kaplan, N. O. Eds). Academic Press, New York, 149-50, 1955.
- BIBI, F.; BALOCH, M. K. Postharvest quality and shelf life of mango (*Mangifera indica* L.) fruit as affected by various coatings. **Journal of Food Processing and Preservation**. v. 38, n. 1, p. 499–507, 2014.
- BHARTI, I.; SINGH, S.; & SAXENA, D. C. Influence of alkali treatment on physicochemical, pasting, morphological and structural properties of mango kernel starches derived from Indian cultivars. **International journal of biological macromolecules**, v. 125, p. 203-212, 2019.
- BLUMENKRANTZ, N.; ASBOE-HANSEN, G. New methods for quantitative determination of uronic acids. **Analytical Biochemistry**, New York, v. 54, n. 2, p. 484-489, 1973.
- BRUMMELL, D. A.; CIN, V. D.; CRISOSTO, C. H.; & LABAVITCH, J. M. Cell wall metabolism during maturation, ripening and senescence of peach fruit. **Journal of Experimental Botany** v. 55, n. 405, p. 2029–2039, 2004.
- CÁRDENAS-PÉREZ, S.; CHANONA-PÉREZ, J. J.; GÜEMES-VERA, N.; CYBULSKA, J.; SZYMANSKA-CHARGOT, M.; CHYLINSKA, M.; & ZDUNEK, A. Structural, mechanical and enzymatic study of pectin and cellulose during mango ripening. **Carbohydrate polymers**, v. 196, p. 313-321, 2018.

- CHANG, L.; XIAO, Y. M.; SHE, L. F.; XIA, Y. P. Analysis of gene expression and enzyme activities related to starch metabolism in *Lycoris sprengeri* bulbs of different sizes. **Science Horticulturae**, 161, p. 118-124, 2013.
- CHEN, H.; SUN, Z.; YANG, H. Effect of carnauba wax-based coating containing glycerol monolaurate on the quality maintenance and shelf-life of Indian jujube (*Zizyphus mauritiana* Lamk.) fruit during storage. **Scientia Horticulturae**, v. 244, p. 157-164, 2019.
- CHITARRA, M. I. F.; CHITARRA, A. B. **Pós-colheita de frutas e hortaliças: fisiologia e manuseio**. 2 ed. Lavras: UFLA, 785p, 2005.
- CHIUMARELLI, M.; HUBINGER, M. D. Evaluation of edible films and coatings formulated with cassava starch, glycerol, carnauba wax and stearic acid. **Food Hydrocolloids**, v. 38, p. 20–27, 2014.
- DANG, K.; SINGH, Z.; SWINNY, E. Edible coatings influence fruit ripening, quality and aroma biosynthesis in Mango fruit. **J. Agric. Food Chem.** 56, 1361–1370, 2008.
- DA SILVA, A. C.; de SOUZA, A. P.; LEONEL, S.; de SOUZA, M. E.; RAMOS, D. P.; TANAKA, A. A. Growth and flowering of five mango cultivar under subtropics conditions of Brazil. **American Journal of Plant Sciences**, v. 5, n. 03, p. 393, 2014.
- DAVEY, M.W.; MONTAGU, M.V.; INZÉ, D.; SANMARTIN, M.; KANELLIS, A.; SMIRNOFF, N.; BENZIE, I.J.J.; STRAIN, J.J.; FAVELL, D.; FLETCHER, J. Plant L-ascorbic acid: chemistry function, metabolism, bioavailability and effects of processing. **Journal of the Science of Food and Agriculturae**.v. 80, p. 825–860, 2000.
- DENRE, M.; CHAKRAVARTY, A.; PAL, S.; & BHATTACHARYA, A. Changes in some biochemical characteristics in response to foliar applications of chelator and micronutrients in green pungent pepper. **International Journal of Plant Physiology and Biochemistry**, v. 5, n. 2, p. 25-35, 2013.
- DÍAZ-MULA, H. M.; ZAPATA, P. J.; GUILLÉN, F.; CASTILLO, S.; MARTÍNEZ-ROMERO, D.; VALERO, D.; & SERRANO, M. Changes in physicochemical and nutritive parameters and bioactive compounds during development and on-tree ripening of eight plum cultivars: a comparative study. **Journal of the Science of Food and Agriculture**, v. 88, n. 14, p. 2499-2507, 2008.
- FAO. Food and Agriculture Organization of the United Nations. Roma: FAOSTAT Database Gateway-FAO. Disponível em: <<http://faostat3.fao.org/>> Acesso em: 15 janeiro 2019.
- FEYGENBERG, O.; KEINAN, A.; KOBILER, I.; FALIK, E.; PESIS, E.; LERS, A.; & PRUSKY, D. Improved management of mango fruit through orchard and packinghouse treatments to reduce lenticel discoloration and prevent decay. **Postharvest biology and technology**, v. 91, p. 128-133, 2014.
- GUILLÉN, F.; DÍAZ-MULA, H. M.; ZAPATA, P. J.; VALERO, D.; SERRANO, M.; CASTILLO, S.; MARTÍNEZ-ROMERO, D. *Aloe arborescence* and *Aloe vera* gels as coating in delaying postharvest ripening in peach and plum fruit. **Postharvest Biology and Technology**. v. 83, p. 54-57, 2013.
- HAN, J. H. (2014). *Innovations in food packaging*. Cambridge: Academic Press.

- HONG, K.; XIE, J.; ZHANG, L.; SUN, D.; GONG, D. Effects of chitosan coating on postharvest life and quality of guava (*Psidium guajava* L.) fruit during cold storage. **Scientia Horticulturae**, v. 144, p. 172–178, set. 2012.
- HUSSAIN, P. R.; MEENA, R. S.; DAR, M. A.; WANI, A. M. Carboxymethyl cellulose coating and low-dose gamma irradiation improves storage quality and shelf life of pear (*Pyrus communis* L., cv. Bartlett/William). **Journal of Food Science**. v. 75, n. 9, p. 586-596, 2010.
- HUSSAIN, P. R.; SURADKAR, P. P.; WANI, A. M.; & DAR, M. A. Retention of storage quality and post-refrigeration shelf-life extension of plum (*Prunus domestica* L.) cv. Santa Rosa using combination of carboxymethyl cellulose (CMC) coating and gamma irradiation. **Radiation Physics and Chemistry**, v. 107, p. 136-148, 2015.
- IBARRA-GARZA, I. P.; RAMOS-PARRA, P. A.; HERNÁNDEZ-BRENES, C.; & JACOBO-VELÁZQUEZ, D. A. Effects of postharvest ripening on the nutraceutical and physicochemical properties of mango (*Mangifera indica* L. cv Keitt). **Postharvest Biology and Technology**, v. 103, p. 45-54, 2015.
- IBGE - Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. Sistema IBGE de recuperação automática – SIDRA. Disponível em: <<http://www.sidra.ibge.gov.br/tabela/1613>>. Acesso em: 15 Janeiro 2019.
- INSTITUTO ADOLFO LUTZ. **Normas analíticas, métodos químicos e físicos para análise de alimentos**. 2ª Edição. São Paulo, v.1, 371p. 2005.
- JANJARASSKUL T, KROCHTA MJ. Edible packaging materials. **Annu Rev Food Sci Technol** 1:415–448, 2010.
- JONGSRI, P.; ROJSITTHISAK, P.; WANGSOMBOONDEE, T.; SERAYPHEAP, K. Influence of chitosan coating combined with spermidine on anthracnose disease and qualities of ‘Nam Dok Mai’ mango after harvest. **Sci. Hortic.** 224, 180–187, 2017.
- JONGSRI, P.; WANGSOMBOONDEE, T.; ROJSITTHISAK, P.; & SERAYPHEAP, K. Effect of molecular weights of chitosan coating on postharvest quality and physicochemical characteristics of mango fruit. **LWT-Food Science and Technology**, v. 73, p. 28-36, 2016.
- KHADER, S. E. S. A. Effect of gibberellic acid and vapor gard on ripening, amylase and peroxidase activities and quality of mango fruits during storage. **Journal of horticultural science**, v. 67, n. 6, p. 855-860, 1992.
- LARRAURI, J. A.; RUPÉREZ, P.; SAURA-CALIXTO, F. Effect of drying temperature on the stability of polyphenols and antioxidant activity of red grape pomace peels. **Journal of Agricultural Food Chemistry**, v. 45, p.1390-1393, 1997.
- LI, P.; ZHENG, X.; LIU, Y.; & ZHU, Y. Pre-storage application of oxalic acid alleviates chilling injury in mango fruit by modulating proline metabolism and energy status under chilling stress. **Food chemistry**, v. 142, p. 72-78, 2014.
- LIMA, M. A. C.; TRINDADE, D. C. G.; SANTOS, A. C. N.; PAES, P. C. Armazenamento refrigerado de manga ‘Tommy Atkins’ sob atmosfera modificada (Smartbag™). IN: CONGRESSO IBEROAMERICANO DE TECNOLOGÍA POSTCOSECHA Y AGROEXPORTACIONES, 5, 2007, Cartagena. Artigos completos...Cartagena:GPR/AITEP. 2007. p. 1288-1296.

- LIU, F. X.; FU, S. F.; BI, X. F.; CHEN, F.; LIAO, X. J.; HU, X. S.; & WU, J. H. Physico-chemical and antioxidant properties of four mango (*Mangifera indica* L.) cultivars in China. **Food chemistry**, v. 138, n. 1, p. 396-405, 2013.
- MADRUGA, M. S.; de ALBUQUERQUE, F. S. M.; SILVA, I. R. A.; do AMARAL, D. S.; MAGNANI, M.; & NETO, V. Q. Chemical, morphological and functional properties of Brazilian jackfruit (*Artocarpus heterophyllus* L.) seeds starch. **Food Chemistry**, 143, 440–445, 2014.
- MAHTO, R.; DAS, M. Effect of gamma irradiation on the physico-chemical and visual properties of mango (*Mangifera indica* L.), cv. ‘Dushehri’ and ‘Fazli’ stored at 20°C. **Postharvest Biology and Technology**. 86, 447–455, 2013.
- MARINOVA, D.; RIBAROVA, F.; & ATANASSOVA, M. Total phenolics and total flavonoids in Bulgarian fruits and vegetables. **Journal of the University of Chemical Technology and Metallurgy**, v. 40, n. 3, p. 255-260, 2005.
- MATHEYAMBATH, A.C.; SUBRAMANIAN, J.; PALIYATH, G. **Mango**. In: Encyclopedia of Food and Health. CABALLERO, B; FINGLAS, P; TOLDRÁ, F. Cambridge: Academic Press, 2015.
- McREADY, P. M.; McCOMB, E. A. Extraction and determination of total pectin materials. **Analytical Chemistry**, Washington, v. 24, n. 12, p. 1586-1588, 1952.
- MEDEIROS, B. G. D. S.; PINHEIRO, A. C.; CARNEIRO-DA-CUNHA, M. G.; & VICENTE, A. A. Development and characterization of a nanomultilayer coating of pectin and chitosan–Evaluation of its gas barrier properties and application on ‘Tommy Atkins’ mangoes. **Journal of Food Engineering**, v. 110, n. 3, p. 457-464, 2012.
- MIERCZYŃSKA, J.; CYBULSKA, J.; PIECZYWEK, P. M.; ZDUNEK, A. Effect of storage on rheology of water-soluble, chelate-soluble and diluted alkali-soluble pectin in carrot cell walls. **Food Bioprocess Technology**, 8, 171–180, 2015.
- MILLER, G. L. Use of dinitrosalicylic acid reagent for determination of reducing sugars. **Analytical Chemistry**, Washington, v. 31, n. 3, p. 426-428, 1959.
- MILLER, N. J.; DIPLOCK, A. T.; RICE-EVANS, C.; DAVIES, M. J.; GOPINATHAN, V.; MILNER, A. A novel method for measuring antioxidant capacity and its application to monitoring the antioxidant status in premature neonates. **Clinical Science**, v. 84, n.4, p.407 – 412, 1993.
- MOTAMEDI, E.; NASIRI, J.; MALIDARREH, T. R.; KALANTARI, S.; NAGHAVI, M. R.; & SAFARI, M. Performance of carnauba wax-nanoclay emulsion coatings on postharvest quality of ‘Valencia’ orange fruit. **Scientia Horticulturae**, v. 240, p. 170-178, 2018.
- NAEEM, A.; ABBAS, T.; ALI, T. M.; & HASNAIN, A. Effect of guar gum coatings containing essential oils on shelf life and nutritional quality of green-unripe mangoes during low temperature storage. **International journal of biological macromolecules**, v. 113, p. 403-410, 2018.
- NAGATA, M.; YAMASHITA, I. Simple method for simultaneous determination of chlorophyll and carotenoids in tomato fruit. **Nippon Shokuhin Kogyo Gakkaishi**, v. 39, n. 10, p. 925-928, 1992.
- NIRANJANA, R.; GAYATHRI, R.; MOL, S. N.; SUGAWARA, T.; HIRATA, T.; MIYASHITA, K.; GANESAN, P. Carotenoids modulate the hallmarks of cancer cells. **Journal of Functional Foods**, v. 18, p. 968 – 985, 2015.

- NTSOANE, M. L.; ZUDE-SASSE, M.; MAHAJAN, P.; & SIVAKUMAR, D. Quality assesment and postharvest technology of mango: A review of its current status and future perspectives. **Scientia Horticulturae**, v. 249, p. 77-85, 2019.
- PALIYATH, G.; MURR, D. P.; HANDA, A. K.; & LURIE, S. **Postharvest biology and technology of fruits, vegetables, and flowers**. John Wiley & Sons, 2008.
- PANIAGUA, C.; POSÉ, S.; MORRIS, V. J.; KIRBY, A. R.; QUESADA, M. A.; & MERCADO, J. A. (2014). Fruit softening and pectin disassembly: An overview of nanostructural pectin modifications assessed by atomic force microscopy. **Annals of Botany**, 114(6), 1375–1383, 2014.
- PAREEK, S. (Ed.). **Postharvest ripening physiology of fruits. Innovations in postharvest technology series**. Boca Raton: CRC Press, 2016. 664p.
- PELISSARI, F. M.; YAMASHITA, F.; GARCIA, M. A.; MARTINO, M. N.; ZARITZKY, N. E.; & GROSSMANN, M. V. E. Constrained mixture design applied to the development of cassava starch–chitosan blown films. **Journal of Food Engineering**, v. 108, n. 2, p. 262-267, 2012.
- RAZZAQ, K.; SINGH, Z.; KHAN, A. S.; KHAN, S. A. K. U.; & ULLAH, S. Role of 1-MCP in regulating ‘Kensington Pride’ mango fruit softening and ripening. **Plant growth regulation**, v. 78, n. 3, p. 401-411, 2016.
- REDDY, S. V. R.; SHARMA, R. R.; SRIVASTAVA, M.; & KAUR, C. Effect of pre-harvest application of Salicylic acid on the postharvest behavior of 'Amrapali' mango fruits during storage. **Indian Journal of Horticulturae**. 73(3), 405-409, 2016.
- RODRIGUES, A. A. M.; SILVA, S. D. M.; DANTAS, A. L.; SILVA, A. F. D.; SANTOS, L. D. S.; & MOREIRA, D. D. N. Physiology and postharvest conservation of ‘Paluma’ guava under coatings using Jack fruit seed-based starch. **Revista Brasileira de Fruticultura**, v. 40, n. 2, 2018.
- ROSALIE, R.; JOAS, J.; DEYTIEUX-BELLEAU, C.; VULCAIN, E.; PAYET, B.; DUFOSSÉ, L.; LÉCHAUDEL, M. Antioxidant and enzymatic responses to oxidative stress induced by pre-harvest water supply reduction and ripening on mango (*Mangifera indica* L. cv. ‘Cogshall’) in relation to carotenoid content. **Journal of plant physiology**, v. 184, p. 68-78, 2015.
- RYMBAI, H.; SRIVASTAV, M.; SHARMA, R. R.; SINGH, S. K. Lenticels on mango fruit: Origin, development, discoloration and prevention of their discoloration. **Scientia Horticulturae**, v.135, p.164-170, 2012.
- SANTOS, D.B.; PEREIRA, M.E.C.; VIEIRA, E.L.; LIMA, M.A.C. Caracterização físico-química dos estádios de maturação da manga 'Tommy Atkins' produzida no município de Iaçú-BA. **Magistra**, v. 20, p. 342-348, 2008.
- SELLAMUTHU, P. S.; DENOYA, G. I.; SIVAKUMAR, D.; POLENTA, G. A.; & SOUNDY, P. Comparison of the contents of bioactive compounds and quality parameters in selected mango cultivars. **Journal of Food Quality**, v. 36, n. 6, p. 394-402, 2013.
- SERPA, M. F. P.; CASTRICINI, A.; MITSUBUZI, G. P.; MARTINS, R. N.; BATISTA, M. F.; & de ALMEIDA, T. H. Conservação de manga com uso de fécula de mandioca preparada com extrato de cravo e canela. **Ceres**, v. 61, n. 6, 2015.

- SILVA, A. P. F. B.; NASCIMENTO, J. R. O. do.; LAJOLO, F. M.; CORDENUNSI. Starch mobilization and sucralose accumulation in the pulp of Keitt mangoes during postharvest ripening. **Journal of Food Biochemistry**. v. 32, p. 384-395, 2008.
- SILVA, G. M. C.; SILVA, W. B.; MEDEIROS, D. B.; SALVADOR, A. R.; CORDEIRO, M. H. M.; da SILVA, N. M.; & MIZOBUTSI, G. P. The chitosan affects severely the carbon metabolism in mango (*Mangifera indica* L. cv. Palmer) fruit during storage. **Food Chemistry**, v. 237, p. 372-378, 2017.
- SINGH, S.; KHEMARIYA, P.; RAI, A.; RAI, A. C.; KOLEY, T. K.; & SINGH, B. Carnauba wax-based edible coating enhances shelf-life and retain quality of eggplant (*Solanum melongena*) fruits. **LWT-Food Science and Technology**, v. 74, p. 420-426, 2016.
- SINGH, Z.; SINGH, R.K.; SANE, V.A.; NATH, P. Mango - postharvest biology and bio-technology. **Crit. Rev. Plant Sci.** 32, 217–236, 2013.
- STROHECKER, R.; HENNING, H. M. **Análisis de vitaminas: métodos comprobados**. Madrid: Paz Montalvo, 1967. 428p.
- TORRES-LEÓN, C.; VICENTE, A. A.; FLORES-LÓPEZ, M. L.; ROJAS, R.; SERNA-Cock, L.; ALVAREZ-PÉREZ, O. B.; & AGUILAR, C. N. Edible films and coatings based on mango (var. Ataulfo) by-products to improve gas transfer rate of peach. **LWT**, 97, 624-631, 2018.
- VÁZQUEZ-CELESTINO, D.; RAMOS-SOTELO, H.; RIVERA-PASTRANA, D. M.; VÁZQUEZ-BARRIOS, M. E.; & MERCADO-SILVA, E. M. Effects of waxing, microperforated polyethylene bag, 1-methylcyclopropene and nitric oxide on firmness and shrivel and weight loss of 'Manila' mango fruit during ripening. **Postharvest Biology and Technology**, v. 111, p. 398-405, 2016.
- VITHANA, M. D. K.; SINGH, Z.; & JOHNSON, S. K. Harvest maturity stage affects the concentrations of health-promoting compounds: Lupeol, mangiferin and phenolic acids in the pulp and peel of ripe 'Kensington Pride' mango fruit. **Scientia Horticulturae**, v. 243, p. 125-130, 2019.
- ZDUNEK, A.; KOZIOŁ, A.; CYBULSKA, J. LEKKA, M. The stiffening of the cell walls observed during physiological softening of pears. **Planta**, 243(2), 519–529, 2016.
- ZSIGMOND, L.; TOMASSKOVICS, B.; DEÁK, V.; RIGÓ, G.; SZABADOS, L.; BÁNHÉGYI SZARKA, A. Enhanced activity of galactono-1, 4-lactone dehydrogenase and ascorbate–glutathione cycle in mitochondria from Complex III deficient Arabidopsis. **Plant Physiology and Biochemistry**, v. 49, n. 8, p. 809-815, 2011.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

As quatro fontes amiláceas utilizadas, mandioca, inhame, semente de jaca e amêndoa de manga, apresentaram potencial para extração do amido devido principalmente aos altos teores de amido e altas concentrações de amilose. Os filmes desenvolvidos a partir dessas quatro fontes apresentaram grande potencial, com valores de características relativas a propriedades mecânicas e ópticas equiparados aos de filmes comerciais. Notou-se que à medida que aumentamos a concentração de amido algumas características são diretamente influenciadas como a espessura, tensão na ruptura e a força de perfuração. A cor do amido influenciou a cor do filme, sendo que os de amêndoa de manga apresentaram cor amarelada. Apesar do potencial observado para o desenvolvimento dos filmes, é necessário a realização de outras análises como a de microscopia eletrônica de varredura (MEV), espectroscopia no infravermelho com transformada de Fourier (FTIR), ângulo de contato e permeabilidade ao O₂ e Co₂ para uma maior confirmação desse potencial.

Com a aplicação dos quatro tipos de amido sob a forma de revestimento na manga ‘Palmer’, foi possível observar que os melhores resultados foram encontrados com o revestimento de amido de amêndoa de manga que conseguiu diminuir a perda de massa, atrasar o pico climatérico, retardar a evolução da coloração. Foi visto também que a coloração do amido da amêndoa da manga não influenciou negativamente no seu uso como revestimento biodegradável pois não foi possível observar diferenças visuais em relação aos demais.

No experimento realizado com a manga ‘Tommy Atkins’ foi possível observar que, durante o armazenamento refrigerado (21 dias), as características físicas e químicas sofreram poucas alterações, com exceção das clorofilas *a* e *b* que tiveram variações relevantes nesta fase. Ao serem transferidos para a condição ambiente, as mudanças nas características físicas e químicas dos frutos se tornaram mais bruscas, sendo que os revestimentos ajudaram na diminuição do aumento das substâncias pécnicas e β -caroteno, degradação da clorofila, atividade da enzima α -amilase e degradação do amido. Os revestimentos de maior destaque foram quitosana, cera de carnaúba, amido de semente de jaca + quitosana e amido de amêndoa de manga.

Em comparação com o experimento realizado com a manga ‘Palmer’ o revestimento de amêndoa de manga não possuiu o mesmo desempenho, esse fato pode ser relacionado com a diferença existente entre as cascas das duas variedades.