

INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E TECNOLOGIA
GOIANO - CAMPUS RIO VERDE
DIRETORIA DE PESQUISA E PÓS-GRADUAÇÃO
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM TECNOLOGIA DE
ALIMENTOS

DESENVOLVIMENTO DE FILME E REVESTIMENTO À
BASE DE PECTINA DO PEQUI INCORPORADO DE
NANOPÁRTICULAS DE ZnO E APLICAÇÃO EM PÓS-
COLHEITA DE MANGA

Mestranda: Itatiane Catarina Guerra
Orientadora: Prof. Dr^a. Geovana Rocha Plácido
Coorientador: Prof. Dr. Daniel Emanuel Cabral de Oliveira

RIO VERDE- GOIÁS
Fevereiro – 2021

INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E TECNOLOGIA
GOIANO - CAMPUS RIO VERDE
DIRETORIA DE PESQUISA E PÓS-GRADUAÇÃO
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM TECNOLOGIA DE
ALIMENTOS

DESENVOLVIMENTO DE FILME E REVESTIMENTO À
BASE DE PECTINA DO PEQUI INCORPORADO DE
NANOPÁRTICULAS DE ZnO E APLICAÇÃO EM PÓS-
COLHEITA DE MANGA

Mestranda: Itatiane Catarina Guerra
Orientadora: Dr^a. Geovana Rocha Plácido
Coorientador: Dr. Daniel Emanuel Cabral de Oliveira

Dissertação apresentada, como parte das exigências para obtenção do título de MESTRE EM TECNOLOGIA DE ALIMENTOS, no Programa de Pós-Graduação - *Stricto sensu* - em Tecnologia de Alimentos do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia Goiano – Campus Rio Verde – Área de concentração: Tecnologia e Processamento de Alimentos.

RIO VERDE- GOIÁS
Fevereiro – 2021

Sistema desenvolvido pelo ICMC/USP
Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)
Sistema Integrado de Bibliotecas - Instituto Federal Goiano

G934d CATARINA GUERRA, ITATIANE
DESENVOLVIMENTO DE FILME E REVESTIMENTO À BASE DE
PECTINA DO PEQUI INCORPORADO DE NANOPARTÍCULAS DE
ZnO E APLICAÇÃO EM PÓS-COLHEITA DE MANGA/ITATIANE
CATARINA GUERRA; orientadora Geovana Rocha Plácido;
co-orientador Daniel Emanuel Cabral de Oliveira. --
Rio Verde, 2021.
70 p.

Dissertação (Mestrado em Tecnologia de Alimentos)
-- Instituto Federal Goiano, Campus Rio Verde, 2021.

1. filmes biodegradáveis. 2. nanotecnologia. 3.
embalagens para alimentos. 4. pequi (Caryocar
brasiliense, Camb.). 5. manga in natura. I. Rocha
Plácido, Geovana, orient. II. Emanuel Cabral de
Oliveira, Daniel, co-orient. III. Título.

TERMO DE CIÊNCIA E DE AUTORIZAÇÃO PARA DISPONIBILIZAR PRODUÇÕES TÉCNICO-CIENTÍFICAS NO REPOSITÓRIO INSTITUCIONAL DO IF GOIANO

Com base no disposto na Lei Federal nº 9.610/98, AUTORIZO o Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia Goiano, a disponibilizar gratuitamente o documento no Repositório Institucional do IF Goiano (RIIF Goiano), sem ressarcimento de direitos autorais, conforme permissão assinada abaixo, em formato digital para fins de leitura, download e impressão, a título de divulgação da produção técnico-científica no IF Goiano.

Identificação da Produção Técnico-Científica

- Tese Artigo Científico
 Dissertação Capítulo de Livro
 Monografia – Especialização Livro
 TCC - Graduação Trabalho Apresentado em Evento
 Produto Técnico e Educacional - Tipo: _____

Nome Completo do Autor: Itatiane Catarina Guerra

Matrícula: 2019102330740069

Título do Trabalho: Desenvolvimento de filme e revestimento a base de pectina do pequi incorporado de nanopartículas de ZnO e aplicação em pós-colheita de manga.

Restrições de Acesso ao Documento

Documento confidencial: Não Sim, justifique: _____

Informe a data que poderá ser disponibilizado no RIIF Goiano:

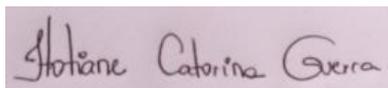
- O documento está sujeito a registro de patente? Sim Não
O documento pode vir a ser publicado como livro? Sim Não

DECLARAÇÃO DE DISTRIBUIÇÃO NÃO-EXCLUSIVA

O/A referido/a autor/a declara que:

- o documento é seu trabalho original, detém os direitos autorais da produção técnico-científica e não infringe os direitos de qualquer outra pessoa ou entidade;
- obteve autorização de quaisquer materiais incluídos no documento do qual não detém os direitos de autor/a, para conceder ao Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia Goiano os direitos requeridos e que este material cujos direitos autorais são de terceiros, estão claramente identificados e reconhecidos no texto ou conteúdo do documento entregue;
- cumpriu quaisquer obrigações exigidas por contrato ou acordo, caso o documento entregue seja baseado em trabalho financiado ou apoiado por outra instituição que não o Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia Goiano.

Rio Verde – GO, 13/ 04 / 2021.



Assinatura do Autor e/ou Detentor dos Direitos Autorais

Ciente e de acordo:



Assinatura do(a) orientador



SERVIÇO PÚBLICO FEDERAL
MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO
SECRETARIA DE EDUCAÇÃO PROFISSIONAL E TECNOLÓGICA
INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E TECNOLOGIA GOIANO

Ata nº 4/2021 - NREPG-RV/CPG-RV/DPGPI-RV/CMPRV/IFGOIANO

PRÓ-REITORIA DE PESQUISA, PÓS-GRADUAÇÃO E INOVAÇÃO

ATA DE DEFESA - PÓS-GRADUAÇÃO

Unidade do IF Goiano:	Campus Rio Verde	
Programa de Pós-Graduação :	Tecnologia de Alimentos	
Defesa de:	Dissertação	Defesa de número: 67
Data: 22/02/2021	Hora de início: 08:30h	Hora de encerramento: 11:30h
Matrícula do discente:	2019102330740069	
Nome do discente:	Itatiane Catarina Guerra	
Título do trabalho:	Desenvolvimento de Filmes à base de pectina do Pequi incorporado de Nanopartículas de ZnO e aplicação em Pós-colheita em manga <i>in natura</i>	
Orientador:	Geovana Rocha Plácido	
Área de concentração:	Tecnologia e Processamento de Alimentos	
Linha de Pesquisa:	Pós-colheita e processamento de grãos e vegetais	
Projeto de pesquisa de vinculação	Aplicação de embalagens bioativas obtidas do mesocarpo do pequi em alimentos minimamente processados	
Titulação:	Mestre em Tecnologia de Alimentos	

Nesta data, reuniram-se os componentes da Banca Examinadora, Prof^a. Dr^a. Geovana Rocha Plácido (Orientadora), Prof^a. Dr^a. Mariana Buranelo Egea (Avaliadora interna) e Prof^a. Dr^a. Suzana Maria Loures de Oliveira Marcionilio (Avaliadora externa) sob a presidência da primeira, em sessão pública realizada por vídeo conferência via Google Meet à distância, para procederem a avaliação da defesa de dissertação, em nível de Mestrado, de autoria de **ITATIANE CATARINA GUERRA**, discente do Programa de Pós-Graduação em Tecnologia de Alimentos do Instituto Federal Goiano - Campus Rio Verde. A sessão foi aberta pela presidente da Banca Examinadora, Geovana Rocha Plácido, que fez a apresentação formal dos membros da banca. A palavra, a seguir, foi concedida o(a) autor (a) da dissertação para, em 40 min., proceder à apresentação de seu trabalho. Terminada a apresentação, cada membro da banca arguiu o(a) examinado(a), tendo-se adotado o sistema de diálogo sequencial. Terminada a fase de arguição, procedeu-se a avaliação da defesa. Tendo-se em vista as normas que regulamentam o Programa de Pós-Graduação em Tecnologia de Alimentos, e procedidas às correções recomendadas, a dissertação foi APROVADA, considerando-se integralmente cumprido este requisito para fins de obtenção do título de **MESTRE EM TECNOLOGIA DE ALIMENTOS**. A conclusão do curso dar-se-á quando da entrega na secretaria do PPGTA da versão definitiva da dissertação, com as devidas correções. Assim sendo, esta ata perderá a validade se não cumprida essa condição, em até **60** (sessenta) dias da sua ocorrência. A Banca Examinadora recomendou a publicação dos artigos científicos oriundos dessa Tese em periódicos de circulação nacional e/ou internacional, após procedida as modificações sugeridas. Cumpridas as formalidades da pauta, a presidência da mesa encerrou esta sessão de defesa de dissertação de mestrado, e foi lavrada a presente Ata, que, após lida e achada conforme, será assinada pelos membros da Banca Examinadora.

Decisão da banca: Aprovada

Esta defesa é parte dos requisitos necessários para a obtenção do título de Mestre em Tecnologia de Alimentos.

O competente diploma será expedido após cumprimento dos demais requisitos, conforme as normas do Programa, a legislação pertinente e a regulamentação interna do IF Goiano.

Documento assinado eletronicamente por:

- Suzana Maria Loures de Oliveira Marcionilio, PROFESSOR ENS BASICO TECN TECNOLOGICO, em 22/02/2021 13:46:32.
- Mariana Buranelo Egea, PROFESSOR ENS BASICO TECN TECNOLOGICO, em 22/02/2021 11:46:51.
- Geovana Rocha Plácido, PROFESSOR ENS BASICO TECN TECNOLOGICO, em 22/02/2021 11:29:56.

Este documento foi emitido pelo SUAP em 05/02/2021. Para comprovar sua autenticidade, faça a leitura do QRCode ao lado ou acesse <https://suap.ifgoiano.edu.br/autenticar-documento/> e forneça os dados abaixo:

Código Verificador: 237451
Código de Autenticação: 60533ba64c





**SERVIÇO PÚBLICO FEDERAL MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO
SECRETARIA DE EDUCAÇÃO PROFISSIONAL E TECNOLÓGICA INSTITUTO
FEDERAL DE EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E TECNOLOGIA GOIANO**

**INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E TECNOLOGIA GOIANO –
CAMPUS RIO VERDE
DIRETORIA DE PESQUISA E PÓS-GRADUAÇÃO PROGRAMA DE PÓS-
GRADUAÇÃO EM TECNOLOGIA DE ALIMENTOS**

**Desenvolvimento de filmes à base de pectina do pequi incorporado de nanopartículas
de ZnO e aplicação em pós-colheita em manga *in natura***

Autora: Itatiane Catarina Guerra Orientadora: Geovana Rocha Plácido

**TITULAÇÃO: Mestre em Tecnologia de Alimentos – Área de Concentração em
Tecnologia e Processamento de Alimentos.**

APROVADA em 22 de fevereiro de 2021.

**Dr^a. Suzana Maria Loures de
Oliveira Marcionilio
Avaliadora externa IF
Goiano/Rio Verde**

**Dr^a. Mariana Buranelo Egea
Avaliadora interna
IF Goiano/Rio Verde**

**Dr^a. Geovana Rocha Plácido Presidente da banca
IF Goiano/Rio Verde**

Documento assinado eletronicamente por:

- **Suzana Maria Loures de Oliveira Marcionilio**, PROFESSOR ENS BASICO TECN TECNOLOGICO, em 22/02/2021 16:27:07.
- **Mariana Buranelo Egea**, PROFESSOR ENS BASICO TECN TECNOLOGICO, em 22/02/2021 16:00:14.
- **Geovana Rocha Placido**, PROFESSOR ENS BASICO TECN TECNOLOGICO, em 22/02/2021 15:35:17.

Este documento foi emitido pelo SUAP em 05/02/2021. Para comprovar sua autenticidade, faça a leitura do QRCode ao lado ou acesse <https://suap.ifgoiano.edu.br/autenticar-documento/> e forneça os dados abaixo:

Código Verificador: 237452
Código de Autenticação: 4611951b7a



INSTITUTO FEDERAL GOIANO
Campus Rio Verde
Rodovia Sul Goiana, Km 01, Zona Rural, None, RIO VERDE / GO, CEP 75901-970
(64) 3620-5600

AGRADECIMENTOS

Primeiramente, agradeço a Deus, pela vida, pelas bênçãos recebidas, pela saúde e garra em estudar, pela família que tanto me apoia e de cuja convivência tanto abdiquei durante esse período de estudo. Obrigada, Deus, por tudo, tudo, tudo! Agradeço por ser meus olhos e minha direção em todos os momentos, por me guiar e me levar pelos melhores caminhos. A Ele toda honra e toda Glória, amém!

À minha família, presente divino de Deus descender de vocês! Obrigada, Deus, por eles!! Agradeço imensamente a eles por todo apoio nessa trajetória. Meu sustento, minha base, vocês são meu “tudo”, minha razão em existir, meu motivo de querer prosseguir e ser alguém melhor, a vocês, que não tiveram essa oportunidade que tive aqui, a vocês dedico tudo o que consegui. Amo vocês incondicionalmente!

Em especial a meu esposo Agriez, meu muito obrigada por todo apoio, por toda dedicação e companheirismo, por todas as noites e todos os finais de semana me ajudando com a realização da pesquisa, orientando em momentos em que pensei desistir, você foi fundamental para a realização deste trabalho também. Imensamente grata a Deus por me conceder dividir uma vida com uma pessoa tão maravilhosa como você! Te amo!

Agradeço de todo meu coração à minha orientadora, Profa. Dra Geovana Rocha Plácido, obrigada por todo carinho, por toda atenção, por todo empenho na realização desta pesquisa, por todo esforço e comprometimento, sempre se fez tão presente, mesmo em dias em que não estava bem de saúde. Obrigada não apenas pelas orientações, mas também pelos conselhos diversos. Sem você nada seria realizado. Conseguimos!! Esse título é nosso!

Ao meu coorientador externo, Daniel Emanuel Cabral de Oliveira, agradeço por todo apoio na realização deste projeto. Muito obrigada!

Ao IFGoiano, agradeço pela oportunidade em realizar o Mestrado, pela infraestrutura ofertada, por todo conhecimento proporcionado, obrigada! Ao

Laboratório de Pós-Colheita (IFGoiano), LabMulti (UFG), CRTI (UFG), pelo excelentíssimo trabalho realizado por ambos, fundamental para obtenção dos resultados da pesquisa.

À minha parceira de laboratório July Maendra, que não mediu esforços nem horários para me ajudar nessa jornada. Obrigada pela parceria de sempre, por dividir comigo o laboratório, por me escutar. A Juliana, que, na reta final, tanto me ajudou para a realização das análises, que mostrou esse lado especial que ela tem. Ao Richards, que mesmo de longe me auxiliou na elaboração de gráficos.

Aos demais amigos e colegas, obrigada a cada um, que, de uma forma ou de outra, compartilharam esses momentos comigo, contribuíram cada um a seu modo para a realização deste trabalho. Maior felicidade poder dividir esses momentos com vocês! Obrigada!!

BIOGRAFIA DA AUTORA

Itatiane Catarina Guerra, nasceu em Várzea Grande, Estado de Mato Grosso, no dia 01 de março de 1990. Filha de Arenici Catarina Guerra e Weriston Lima Dutra. Engenheira de Alimentos, formada pelo Instituto Federal de Educação Ciência e Tecnologia de Mato Grosso – Campus Bela Vista (2016), e Técnica em Química, formada pela mesma Instituição em 2014. Durante a graduação, foi estagiária na BRF FOODS no Laboratório de Microbiologia e Carne Cozida Congelada (20 – 2016). No mesmo ano foi contratada, atuando na área de qualidade no setor de aves, carne cozida congelada e hambúrguer. Em 2017, trabalhou como analista de qualidade na indústria de Refrigerantes Marajá, neste mesmo ano foi chamada para trabalhar na Coca-Cola, onde atuou na área de qualidade por um ano e cinco meses.

Em abril de 2019, foi admitida no Programa de Pós-Graduação em Tecnologia de Alimentos do Instituto Federal Goiano Campus Rio Verde a nível Mestrado Profissional. Durante o mestrado, participou da Semana Nacional de Ciência e Tecnologia (SETEC) em Brasília – DF e executou seu projeto de Mestrado de desenvolvimento de filmes e revestimentos sob a orientação da Professora Dra. Geovana Rocha Plácido.

RESUMO

GUERRA, ITATIANE CATARINA. Instituto Federal Goiano – Campus Rio Verde – GO. JANEIRO de 2021. **Desenvolvimento de filmes à base de pectina do pequi incorporados de nanopartículas de ZnO e aplicação de revestimento em manga *in natura***. Orientadora: Prof^ª. Dr^ª. Geovana Rocha PIÁcido. Co-orientadores: Prof^ª. Dr. Daniel Emanuel Cabral de Oliveira.

Os filmes biodegradáveis são uma solução inovadora de embalagem na indústria de alimentos, sendo uma alternativa para contribuir para redução da poluição ambiental, podendo funcionar como barreiras, além de reduzirem os resíduos de maneira viável. Alguns pesquisadores vêm estudando o desenvolvimento de filmes biodegradáveis contendo compostos ativos que possam atuar como antioxidantes e antimicrobianos naturais, ou seja, uma estratégia interessante para produção de novas embalagens. Neste trabalho, o objetivo foi extrair a pectina do mesocarpo de pequi (*Caryocar brasiliense* Camb) e preparar soluções filmogênicas incorporadas com nanopartículas ZnO nas seguintes formulações: 1,6% de pectina, 0,7% de glicerol e 0; 0,25; 0,50 e 1% de nanopartículas ZnO. Os filmes foram obtidos pelo método de *casting* e analisadas as propriedades físicas, mecânicas, as propriedades térmicas, as propriedades de barreira, reologia, atividade antimicrobiana e biodegradabilidade dos filmes. As soluções filmogênicas foram aplicadas para o revestimento na manga *in natura*, tendo os frutos sido imersos durante 1 min, e avaliada a vida de prateleira (*shelf life*) quanto à perda de massa, firmeza da polpa, acidez total, teor de sólidos solúveis (brix), cor e taxa respiratória. Os filmes apresentaram diâmetros médios de espessura entre 0,10 e 0,13 mm e alta solubilidade em água, o que facilitou sua biodegradabilidade em 48 h. Em relação aos frutos, de acordo com os resultados obtidos, conclui-se que o revestimento com 1% de nanopartículas influenciou positivamente na firmeza, perda de massa, Brix, respiração e coloração dos frutos de manga até 15 dias após a aplicação, sendo

considerado o melhor tratamento estudado.

Palavras-chave: *Caryocar brasiliense* Camb. Biodegradáveis. Embalagens para alimentos. Filmes Nanotecnologia. Pequi manga *in natura*.

ABSTRACT

GUERRA, ITATIANE CATARINA. Instituto Federal Goiano (Goiano Federal Institute), Rio Verde Campus, Goiás State (GO), Brazil, January 2021. **Development of pequi pectinate films incorporated with ZnO nanoparticles and application of fresh mango coating.** Advisor: Prof. Dr. Plácido, Geovana Rocha. Co-advisor: Prof. Dr. Oliveira, Daniel Emanuel Cabral de.

Biodegradable films are an innovative packaging solution in the food industry, as they are an alternative for reducing the environmental pollution, acting as barriers and waste reducer in a viable way. Some researchers have been studying the development of biodegradable films containing active compounds that can act as a natural antioxidant and antimicrobial, that is, an interesting strategy to produce new packaging. This paper aimed to extract pectin from the pequi mesocarp (*Caryocar brasiliense* Camb) and prepare filmogenic solutions incorporated with ZnO nanoparticles, in the following formulations: (a) 1.6% pectin; (b) 0.7% glycerol; and (c) 0, 0.25, 0.50, and 1% ZnO nanoparticles. The films were obtained by the casting method, and the physical, mechanical, thermal, and barrier properties, rheology, antimicrobial activity, and biodegradability of the films were analyzed. The filmogenic solutions were applied on the *in natura* mango for coating, in which the fruits were immersed for 1 min, and soon the shelf life was evaluated was evaluated for mass loss, pulp firmness, total acidity, soluble solids content (brix), color, and respiratory rate. The films presented the average thickness diameters from 0.10 to 0.13 mm and high solubility in water, which favored the biodegradability of the films in 48 h. Considering the results obtained, it is concluded that the coating with 1% of nanoparticles had a positive influence on firmness, mass loss, Brix, respiration, and coloration of mango fruit up to 15 days after application, thus being considered the best treatment studied.

Keywords: *Caryocar brasiliense* Camb. Biodegradable films. Food packaging. *in natura* mango. Nanotechnology. Pequi.

LISTA DE FIGURAS

		Página
Figura 1	Detalhe da inflorescência terminal de <i>Caryocar brasiliense</i> Camb ocorrente no bioma cerrado no Brasil Central.....	5
Figura 2	Aspecto visual do fruto de pequi e seus componentes: (A) fruto inteiro; (B) mesocarpo externo ou polpa branca; (C) pirênios ou putâmens;(D) espinhos (endocarpo); (E) amêndoa (semente).....	6
Figura 3	Preparação das amostras. (A) Recepção e seleção dos frutos; (B) Limpeza e descascamento dos frutos; (C) Branqueamento (E) Desidratação em estufa.....	23
Figura 4	Extração da pectina: (A) Pesagem da Farinha do mesocarpo do pequi e ácido cítrico; (B) Solução da farinha do mesocarpo do pequi com ácido cítrico em água destilada; (C) Solução sendo filtrada e em seguida resfriada a 4 °C; (D) Filtrado com álcool etílico (95%) e filtração da pectina; (E) Pectina úmida e pectina seca moída.....	24
Figura 5	Obtenção das nanopartículas de ZnO.....	25
Figura 6	Fluxograma de preparação dos filmes.....	25
Figura 7	Determinação de teor de água.....	26
Figura 8	Análise de solubilidade em água.....	27
Figura 9	Análise de espessura.....	28
Figura 10	Análise de cor.....	29
Figura 11	Análise de propriedades mecânica. a); Análise de tensão em filmes de pectina do mesocarpo do pequi incorporados com nanopartículas de ZnO (Texturômetro (Texture Analyser, TA-XT Plus, Surrey, England) b) Análise de módulo de elasticidade no filme de pectina do mesocarpo do pequi incorporado com nanopartículas de ZnO (Máquina Universal	30

	de Ensaio Instron (Instron, 3367, Grove City, USA)	
Figura 12	<u>Esquematização do sistema de permeação ao vapor de água utilizado...</u>	32
Figura 13	Análise de atividade antimicrobiana.....	33
Figura 14	Análise de biodegradabilidade de filmes de pectina incorporados de nanopartículas de ZnO.....	34
Figura 15	Coleta das amostras.....	35
Figura 16	Preparo das mangas.....	35
Figura 17	Revestimento das mangas.....	36
Figura 18	Disposição das mangas na bancada para pesagem para perda de massa.	37
Figura 19	Análise de firmeza da manga.....	38
Figura 20	Análise de °Brix das mangas.....	39
Figura 21	Análise da acidez titulável das mangas.....	39
Figura 22	Recipientes vedados para determinação das taxas respiratórias.....	40
Figura 23	Propriedades Térmicas.....	45
Figura 24	Resultados das análises reológicas das soluções filmogênicas incorporadas com nanopartículas ZnO, analisadas a 25°C (a, b) e a 40°C (c, d)	47
Figura 25	Espectros de FT-IR para os diferentes filmes de pectinas incorporados com nanopartículas. Composição dos filmes: T1 (0% de nanopartículas), T2 (0,25% de nanopartículas), T3 (0,50% de nanopartículas) e T4 (1% de nanopartículas)	50
Figura 26	Imagens de microscopia eletrônica de varredura de superfície de filmes incorporados com nanopartículas de ZnO. (T1) 0% de nanopartículas, (T2) 0,25% de nanopartículas, (T3) 0,50% de nanopartículas e (T4) 1 % de nanopartículas.....	51
Figura 27	Imagens de microscopia eletrônica de varredura de superfície de filmes incorporados com nanopartículas de ZnO. (T1) 0% de nanopartículas, (T2) 0,25% de nanopartículas, (T3) 0,50% de nanopartículas e (T4) 1 % de nanopartículas.	52
Figura 28	Atividade antimicrobiana para os diferentes filmes de pectinas incorporados com 0%; 0,25%; 0,50% e 1% de nanopartículas contra <i>Staphylococcus aureus</i> , <i>Pseudomonas aeruginosa</i> e <i>Salmonella enteritidis</i>	53

Figura 29	Imagens dos filmes de pectinas incorporados com nanopartículas no dia inicial até data final de análise de biodegradabilidade: filmes T1, T2, T3 e T4. Composição dos filmes: T1 (0% de nanopartículas), T2 (0,25% de nanopartículas), T3 (0,50% de nanopartículas) e T4 (1% de nanopartículas)	54
Figura 30	(a): Classificação da coloração da epiderme de frutos de mangas revestidos com pectina do mesocarpo do pequi incorporados com nanopartículas de ZnO. 0 = Frutos com 100% do epicarpo verde; 1 = Frutos com até 75% do epicarpo verde; 2 = Frutos com 50% do epicarpo verde; 1 = Frutos com até 75% do epicarpo amarela; e 0 = Frutos com 100% do epicarpo amarelo com enrugamento em intensidade severa e/ou podridão.....	55
Figura 31	(b)- Tabela de resultados das mangas revestidas com pectina do mesocarpo do pequi incorporadas com nanopartículas de ZnO.....	56
Figura 32	Perda de massa em frutos de mangas sem revestimentos e com revestimentos de pectinas + nanopartículas, armazenados por até 12 dias.....	57
Figura 33	Firmeza em frutos de mangas sem revestimentos e com revestimentos de pectinas + nanopartículas, armazenados por até 12 dias.....	58
Figura 34	Teor de sólidos solúveis em frutos de mangas sem revestimentos e com revestimentos de pectina + nanopartículas, armazenados por até 12 dias.....	59
Figura 35	Acidez titulável em frutos de mangas sem revestimentos e com revestimentos de pectinas + nanopartículas, armazenados por até 12 dias.....	60
Figura 36	Taxa respiratória (mg CO ₂ kg ⁻¹ h ⁻¹) titulável em frutos de mangas sem revestimentos e com revestimentos de pectinas + nanopartículas, armazenados por até 12 dias.....	61

LISTA DE TABELAS

	Página
Tabela 1 Nanopartículas para aplicação em embalagens de alimentos.....	10
Tabela 2 Teor de água, solubilidade, espessura e gramatura dos filmes biodegradáveis.....	42
Tabela 3 Parâmetros cor e opacidade dos filmes ativos biodegradáveis incorporados com nanopartículas.....	43
Tabela 4 Propriedades mecânicas dos filmes ativos biodegradáveis incorporados com nanopartículas.....	44
Tabela 5 Parâmetros reológicos do modelo de Newton e Lei da Potência nas temperaturas de 25 °C e 40 °C.....	48
Tabela 6 Permeabilidade ao vapor de água.....	48
Tabela 7 Resultados da média das zonas de inibição.....	53

LISTA DE SÍMBOLOS, SIGLAS, ABREVIACIONES E UNIDADES

AM $\Rightarrow\Rightarrow\Rightarrow$	Atmosfera modificada
FT-IR $\Rightarrow\Rightarrow$	Infravermelho com transformada de Fourier
PVA $\Rightarrow\Rightarrow$	Permeabilidade ao vapor de água
ZnO $\Rightarrow\Rightarrow$	Óxido de zinco
ZnO-NPs \Rightarrow	Nanopartículas de óxido de zinco

SUMÁRIO

	Página
1	INTRODUÇÃO 1
2	REVISÃO BIBLIOGRÁFICA 4
2.1	Gerenciamento de perdas e desperdícios..... 4
2.2	Pequi (<i>caryocar brasiliense</i> Camb) 5
2.3	Nanotecnologia..... 7
2.4	O interesse do uso de nanopartículas em filmes e revestimento..... 8
2.5	Manga (<i>mangifera indica</i> L.)..... 11
2.6	Objetivos..... 12
2.7	Referências 13
3	CAPÍTULO I 20
3.1	Introdução 21
3.2	Metodologia 23
3.2.1	Preparação do mesocarpo do pequi 23
3.2.2	Extração de pectina do mesocarpo do pequi 23
3.2.3	Obtenção das nanopartículas de zinco (ZnO)..... 24
3.2.4	Elaboração dos filmes..... 25
3.2.5	Caracterização dos filmes 26
3.2.5.1	<i>Teor de umidade</i> 26
3.2.5.2	<i>Solubilidade</i> 26
3.2.5.3	<i>Espessura</i> 27
3.2.5.4	<i>Gramatura</i> 28
3.2.5	Propriedades ópticas 28
3.2.5.1	<i>Cor e opacidade</i> 28

3.2.6	Propriedades mecânicas.....	30
3.2.7	Propriedades térmicas.....	31
3.2.8	Análise de reologia	31
3.2.9	Permeabilidade ao vapor de água	31
3.2.10	Espectroscopia de infravermelho por transformada de fourier (FT-IR).....	32
3.2.11	Microscopia de varredura (MEV).....	33
3.2.12	Atividade antimicrobiana.....	33
3.2.13	Biodegradabilidade	33
3.3	Aplicação de revestimento em mangas <i>in natura</i>	34
3.3.1	Coleta das mangas	34
3.3.2	Preparação das soluções filmogênicas e aplicação na superfície da fruta	35
3.3.3	Caracterização e avaliação da qualidade da manga <i>in natura</i>	36
3.3.3.1	<i>Coloração da epiderme</i>	36
3.3.3.2	<i>Perda de massa</i>	37
3.3.3.3	<i>Firmeza do fruto</i>	38
3.3.3.4	<i>Teor de sólidos solúveis</i>	38
3.3.3.5	<i>Acidez titulável</i>	39
3.3.3.6	<i>Taxa respiratória</i>	40
3.3.4	Análise estatística	41
3.4	Resultados	42
3.4.1	Teor de umidade, solubilidade, espessura e gramatura	42
3.4.2	Propriedades ópticas	43
3.4.3	Propriedades mecânicas.....	44
3.4.4	Propriedades térmicas.....	45
3.4.5	Análise de reologia	46
3.4.6	Permeabilidade ao vapor de água (wvp).....	48
3.4.7	Espectroscopia de infravermelho por transformada de fourier (FT-IR).....	49
3.4.8	Microscopia eletrônica de varredura	50
3.4.9	Atividade antimicrobiana.....	52
3.4.10	Biodegradabilidade	54
3.4.11	Avaliação da qualidade do fruto.....	54
3.4.11.1	<i>Coloração da epiderme</i>	54
3.4.11.2	<i>Perda de massa</i>	57
3.4.11.3	<i>Firmeza do fruto</i>	58

3.4.11.4	Teor de sólidos solúveis	59
3.4.11.5	Acidez titulável.....	60
3.4.11.6	Taxa respiratória	61
3.5	Conclusões.....	62
3.6	Referências	62

1 INTRODUÇÃO

O surgimento dos primeiros plásticos totalmente sintéticos se deu do início do século XX e sua versatilidade acabou se tornando aliada aos baixos custos, tendo sua produção sido iniciada a partir dos anos 1950 bem como sua utilização em larga escala. A produção global de plásticos atingiu a marca de 348 milhões de toneladas em 2017 (PLASTICSEUROPE, 2018). Esse aumento do consumo do plástico vem contribuindo para sua presença em grandes quantidades no lixo urbano.

O polipropileno é considerado um dos polímeros mais utilizados na fabricação de embalagens plásticas flexíveis, sendo a maioria deles derivados de hidrocarbonetos fósseis não biodegradáveis. E o acúmulo desses materiais no meio ambiente, principalmente nos oceanos, vem causando diversos impactos negativos à biodiversidade do planeta e já representam 12% da composição do lixo global (WORLD BANK GROUP, 2018).

Uma das alternativas para os problemas causados pelo descarte indevido desses resíduos seria a substituição dos plásticos tradicionais por polímeros biodegradáveis, que são polímeros produzidos a partir de seres vivos ou a partir de fontes renováveis de energia (BRITO *et al.*, 2011). Quando esses polímeros estão em condições favoráveis, eles se degradam em ambientes biologicamente ativos, não produzindo rejeitos tóxicos para o ambiente.

A qualidade da fruta está direta e intimamente associada ao manejo e às condições ambientais durante todo o período de armazenamento. As mangas são frutas que têm alto valor nutritivo por fornecerem uma fonte natural de energia, como vitaminas, proteínas, fibra alimentar e amido (OAK *et al.*, 2019). É considerada uma importante fruta tropical em razão do seu alto valor nutricional e da sua atraente fragrância (JONGSRI *et al.*, 2016 apud TULLIO, F.; TULLIO, L., 2020).

A manga (*Mangifera indica* L.) pertence a um grupo de frutas exóticas, e vem se tornando cada vez mais importante no mercado mundial de frutas, principalmente nas

últimas duas décadas. Sua produção mundial aumentou aproximadamente 45% entre 2007 e 2017. Nesse mesmo ano de 2017, foram produzidos 50,65 milhões de toneladas métricas, correspondendo de perto ao aumento médio observado no consumo de manga na Europa, ou seja, 42% de 2007 a 2017 (FAO, 2019).

A manga é considerada uma fruta climatérica, geralmente colhida no estágio verde de maturação, sendo o transporte e o armazenamento feitos em temperaturas de 10 °C a 15 °C. Os frutos devem ser submetidos a procedimentos de amadurecimento pós-colheita em seu destino final para que seu sabor exótico e agradável possa se desenvolver plenamente (LEHNER; SIEGMUND, 2020).

Há muitos fatores que afetam potencialmente a qualidade final das mangas, como, por exemplo, danos externos e mecânicos, causados durante o transporte, armazenamento e amadurecimento pós-colheita, que provocam o escurecimento da polpa, deterioração da textura ou alterações no desenvolvimento do sabor (BRECHT; YAHIA, 2017; NTSOANE *et al.*, 2019; TAITI *et al.*, 2015; TAITI *et al.*, 2016).

As espécies reativas de oxigênio são um dos principais reguladores das vias de sinalização envolvidas nos processos de desenvolvimento das frutas, ou seja, são os metabólitos essenciais na regulação das respostas de estresse de frutas a flutuações ambientais, mas, quando em excesso, podem causar danos e perda de qualidade diretamente no fruto (DECROS *et al.*, 2019; SILVA, W. *et al.*, 2018). Com isso, é necessário desenvolver tecnologia de pós-colheita eficaz para manter não somente as características naturais, mas também a qualidade, e minimizar o processo de maturação durante a cadeia de exportação ou período de comercialização.

A aplicação de revestimento em frutas e hortaliças está se tornando um dos métodos mais populares para estender a vida útil comercial. Essa aplicação na pré-colheita pode ser considerada uma alternativa importante para a solução de vários problemas. Existem diferentes métodos, como aplicação pré e pós-colheita de quitosana (LIN *et al.*, 2020), nanopartículas (SHI *et al.*, 2013) e poliaminas (MIRDEHAGHAN; RAHIMI, 2016), que são usados para manter a firmeza e a proteção, além de controlar a decomposição de colheitas de frutas frescas. O uso de revestimentos que entrem em contato direto com os alimentos, elaboradas a partir de biopolímeros no lugar de materiais sintéticos convencionais, é uma nova tendência que surge em resposta à demanda dos consumidores para o uso de produtos naturais que causem pequeno impacto ambiental (DELGADO *et al.*, 2016). O revestimento, além de levar uma mudança ao redor da fruta, resultando na criação de uma atmosfera modificada (AM),

vai atuar também como barreira das trocas gasosas especialmente para O₂, CO₂ e etileno.

Os filmes contendo biopolímeros estão sendo considerados uma das respostas mais viáveis aos problemas ambientais, principalmente aqueles causados pelos materiais plásticos de embalagens não biodegradáveis, em razão da sua ecologia e sustentabilidade. Além disso, os filmes nanocompósitos à base de biopolímeros têm a função de melhorar a qualidade dos alimentos, prevenir o crescimento microbiano e a atividade enzimática para aumentar a segurança e melhorar a vida útil dos alimentos (RHIM.; NG, 2007).

Em virtude das vantagens que podem ser oferecidas pela utilização de filmes e/ou revestimentos para alimentos, o presente trabalho teve como objetivo a elaboração e a caracterização de filmes e revestimentos à base de pectina do mesocarpo do pequi, incorporada com nanopartículas de ZnO. Estes filmes foram estudados quanto a suas propriedades tecnológicas e aplicados como revestimentos em mangas (*Mangifera indica* L.) *in natura* para avaliar os efeitos do revestimento, visando a fornecer uma estratégia de agregação de valor a esses produtos, maior estabilidade e qualidade nutricional e maior competitividade no mercado.

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 Gerenciamento de perdas e desperdícios

O desperdício de alimentos é um enorme desafio que afeta todas as etapas da cadeia de suprimento de alimentos, sendo a redução de sua quantidade um dos principais objetivos para reduzir o impacto ambiental causado pelos sistemas alimentares (KUMMU *et al.*, 2012), além do aumento de sua eficiência econômica (PARFITT; BARTHEL; MACNAUGHTON, 2010 apud RODRIGUES JUNIOR, 2019). O desperdício de alimentos também é considerado uma questão social e ética, já que a pobreza alimentar é amplamente difundida também nos países desenvolvidos (GALLI; HEBINCK; CARROLL, 2018), onde estilos de consumo de alimentos insustentáveis são frequentemente associados ao desperdício de alimentos (BLAIR; SOBAL, 2006 apud BARROS, 2019; FRANCO; CICATIELLO, 2018). O gerenciamento de perdas e de desperdícios está diretamente relacionado com a heterogeneidade nos padrões de geração, com as propriedades físicas e químicas, bem como com as dificuldades e discrepâncias subjacentes na quantificação de seu crescente volume.

Muitos estudos identificaram que a fonte de perda e desperdício de alimentos depende de fatores socioculturais, econômicos, geográficos e políticos (CANALI *et al.*, 2014; THYBERG; TONJES, 2016 apud RODRIGUES JUNIOR, 2019). No entanto, pode-se dizer que a perda de alimentos e a geração de resíduos são uma questão subjetiva, pois a percepção, o tempo e o local de um indivíduo também determinam o que pode ou não ser consumido (QUESTED *et al.*, 2013; SCHNEIDER, 2008). Em geral, os fatores determinantes do desperdício residencial, institucional e comercial de alimentos podem ser classificados em quatro categorias principais: modernização dos sistemas alimentares (incluindo causas tecnológicas e de infraestrutura), fatores culturais e fatores sociodemográficos e políticas, que ajudam a gerar desperdício de

alimentos (ASCHEMANN-WITZEL *et al.*, 2015).

Atualmente, os consumidores buscam reduzir os problemas ambientais associados às embalagens de alimentos e demandam materiais biodegradáveis. Os estudos têm se concentrado em materiais biopoliméricos como matéria-prima para embalagem e preservação de alimentos (PERSIN *et al.*, 2011), onde os cientistas e engenheiros de alimentos estão tentando desenvolver novos materiais para filmes biodegradáveis, com base, principalmente, em materiais de fontes renováveis, que são abundantes na natureza. Em geral, esses materiais são baratos e muitos deles são considerados resíduos ou subprodutos (KIM *et al.*, 2006 apud DINIZ, 2020).

2.2 Pequi (*Caryocar brasiliense* Camb)

O pequi (*Caryocar brasiliense* Camb) é uma fruta nativa do Cerrado brasileiro que tem significativa relevância econômica para as regiões produtoras (LEÃO *et al.*, 2017 apud VIEIRA, 2017). Em 2016, o estado de Minas Gerais foi responsável por 73% da produção total, com uma produção de mais de 20.000 t de pequi no Brasil (TURINI, 2016). As cascas (exocarpo e mesocarpo) representam ~80% da massa do fruto inteiro e apresentam alto teor de fibras alimentares (~45%). Além disso, a avaliação do perfil de monossacarídeos revelou presença de uma grande quantidade de polissacarídeos péclicos (~56%) (LEÃO *et al.*, 2017 apud VIEIRA, 2017).

A espécie tem inflorescências (Figura 1) que produzem um número variado de flores, relativamente grandes e vistosas, de cor amarela ou branca, hermafroditas, cíclicas, de simetria radial com 5 a 6 sépalas e outro tanto de pétalas, soldadas na base ou livres. Seu androceu é formado por numerosos estames vermelhos, soldados na base ou formando grupos com filetes glandulares. O ovário é formado por 4 até 20 carpelos com outros tantos lóculos, cada qual com um só óvulo (DIAS; MORAIS, 2011).



Figura 1 - Detalhe da inflorescência terminal de *Caryocar brasiliense* Camb ocorrente no bioma cerrado no Brasil Central

Fonte: Dias; Morais (2011).

O pequi é normalmente comercializado inteiro ou na forma de polpa conservada em lata. Em relação ao processamento do fruto, a casca, composta por exocarpo e mesocarpo, costuma ser descartada. As informações da composição química são bastante escassas (MONTEIRO *et al.*, 2015) e se houvesse estudos mais aprofundados sobre a caracterização, seria possível a exploração adequada deste produto e de seus subprodutos.

O fruto (Figura 2) caracteriza-se por ser uma drupa verde, com epicarpo coriáceo carnoso, contendo geralmente de 1 a 4 caroços (putâmens ou pirênios), podendo atingir até 6 unidades, envolvidos por um mesocarpo amarelo claro, endocarpo lenhoso espinhoso e sementes reniformes (ALMEIDA *et al.*, 1998).

De acordo com Silva, F. *et al.* (2012), o peso do mesocarpo externo tem médias que variam de 61,53 a 220 g, inferindo que aproximadamente três quartos do peso do fruto são determinados pelo mesocarpo externo. Em relação ao peso da polpa por putâmem, foram registrados valores médios que variaram entre 5,38 e 14,25 g.

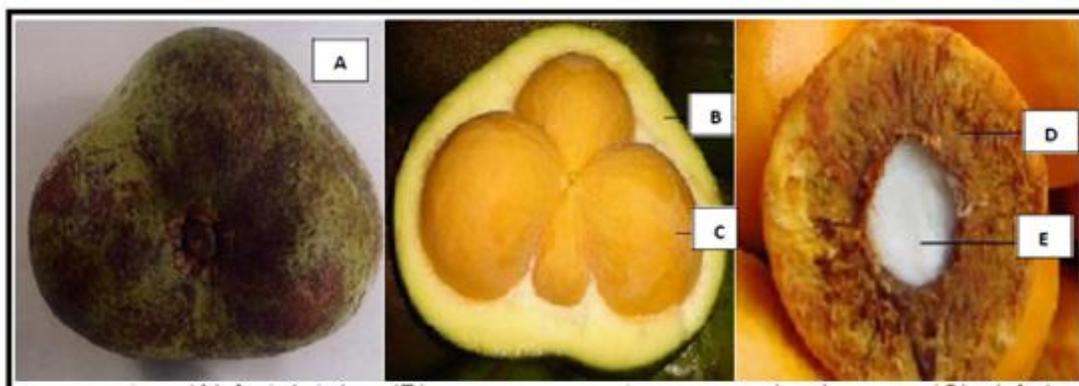


Figura 2 - Aspecto visual do fruto de pequi e seus componentes: (A) fruto inteiro; (B) mesocarpo externo ou polpa branca; (C) pirênios ou putâmens; (D) espinhos (endocarpo); (E) amêndoa (semente)

Fonte: Silva, F. *et al.* (2012).

O pequi gera uma série de benefícios, contribuindo para o enriquecimento nutricional, além de ser fonte de renda para muitas pessoas. O melhor aproveitamento da casca do fruto do pequi pode constituir uma atividade econômica, social e ecológica interessante, uma vez que possibilitará a ampliação dos lucros, geração de novos empregos e redução de resíduos orgânicos depositados no meio ambiente (COUTO, 2014).

Estudo desenvolvido por Alves *et al.* (2014), Cordeiro *et al.* (2013), Leão *et al.*, (2017 apud VIEIRA, 2017), Ribeiro *et al.* (2014) e de Sousa *et al.* (2012) relatou

que a amêndoa de pequi apresenta alto teor de energia, lipídios, proteínas e fibras alimentares. Enquanto a casca do pequi (exocarpo e mesocarpo externo) é o maior componente da fruta e um resíduo sólido do processamento do pequi, rico em fibras alimentares e compostos fenólicos. A polpa de pequi tem alto teor de carotenoides, lipídios, fibras alimentares, zinco e magnésio, sendo fonte de cálcio e polifenóis.

No entanto, apesar do potencial tecnológico desses subprodutos agrícolas, eles são descartados e poucas aplicações foram relatadas na literatura como formulações para o desenvolvimentos de novos produtos (SOARES JÚNIOR *et al.*, 2009).

Um estudo comparando a composição química da farinha de casca com a farinha de mesocarpo externa (sem casca) de pequi concluiu que ambos apresentam altos níveis de fibra alimentar total (43 e 40 g/100 g, respectivamente), principalmente fibras insolúveis, mas com quantidades consideráveis de fibra solúvel (22% e 24% do total de fibras, respectivamente). Com relação à farinha, ou seja, com ou sem exocarpo, quando for aplicada, vai depender da sua adequação quanto à cor, pois a farinha preparada com o exocarpo é um pouco mais escura do que aquela preparada sem o exocarpo (LEÃO *et al.*, 2017 apud VIEIRA, 2017).

2.3 Nanotecnologia

A nanotecnologia pode ser definida como a manipulação da matéria em tamanho de 1–100 nm, a qual permite a criação de materiais com propriedades físicas, químicas e biológicas únicas não encontradas em sua macroescala (NATIONAL NANOTECHNOLOGY INITIATIVE, 2019).

Desde o seu surgimento na década de 1980, essa tecnologia gerou inúmeras inovações em todos os setores científicos e industriais, incluindo a indústria de alimentos (XIAOJIA; HUEY-MIN, 2016). Os pesquisadores estão aproveitando para desenvolver novos produtos com ingredientes em nanoescala, que visam a aumentar a retenção de sabor e cor, a aumentar a biodisponibilidade de nutrientes, a estender a vida útil e a evitar a deterioração microbiana, pensando também em remover contaminantes e aumentar a resistência dos materiais de embalagem (DASGUPTA *et al.*, 2015).

Seu uso em grau alimentício em níveis de nanoescala vem mostrando características interessantes e tem como uns dos principais objetivos não só melhorar a segurança e qualidade dos alimentos, mas também elaborar e desenvolver novos e

inovadores produtos alimentícios com propriedades únicas. A nanotecnologia vem sendo usada para produzir uma variedade de alimentos e bebidas, como, por exemplo, pudins, cream cheese, maionese, molhos para salada, produtos assados, leites de nozes e bebidas esportivas, pois a US Food and Drug Administration não obriga a rotulagem de itens que considera inofensivos (FDA, 2018), sendo bem provável que muitos consumidores não estejam cientes dessa tecnologia em seus alimentos.

Os nanomateriais são materiais mais básicos que estão sendo amplamente utilizados na sociedade moderna. As nanopartículas de ZnO têm tamanho entre 1 e 100 nm e uma propriedade antimicrobiana eficaz (XU *et al.*, 2020). As NPS inorgânicas têm mostrado principalmente as novas funções biológicas desenvolvidas em razão do seu tamanho em nanoescala e da estrutura distinta (GUNALAN; SIVARAJ; RAJENDRAN, 2012). As NPS metálicas vêm crescendo de interesse nas últimas décadas em razão de suas características de inibição do crescimento em procariotos e morte celular induzida por toxicidade em eucariotos (LONG *et al.*, 2006; MAGREZ *et al.*, 2006). Com relação à atividade antimicrobiana, alguns dos mais indicados a serem usados foram os óxidos metálicos como MgO, ZnO e CaO em razão da produção de espécies reativas de oxigênio na superfície do metal (GUPTA *et al.*, 2018; SAWAI; YOSHIKAWA, 2004). Além das atividades antimicrobianas, os óxidos de metais inorgânicos têm um valor adicional por fornecerem oligoelementos importantes ao corpo (PADMAVATHY; VIJAYARAGHAVAN, 2008). Quando comparados aos orgânicos, os agentes inorgânicos podem ser utilizados no tratamento de bactérias patogênicas, apresentando uma vantagem em relação à menor toxicidade, seletividade e especificidade (AKBAR *et al.*, 2019).

O óxido de zinco tem capacidade eficaz na mecânica e nas propriedades de barreira de filmes poliméricos, e uma vez que as nanopartículas (NPs) têm atividade antibacteriana contra cepas Gram-positivas e Gram-negativas, ele pode ser aplicado para inibir microrganismos patogênicos comuns encontrados em produtos alimentícios (ARISTIZABAL-GIL *et al.*, 2019).

2.4 O interesse do uso de nanopartículas em filmes e revestimento

Uma das formas de manter a qualidade durante o armazenamento das frutas e hortaliças são aplicações de filmes e revestimentos ativos, eficazes em retardar o

amadurecimento e a senescência pela regulação da umidade, solutos e trocas gasosas (NCAMA *et al.*, 2018).

Os revestimentos podem ser aplicados diretamente na superfície de frutas, vegetais e outros produtos alimentícios, enquanto o filme é usado como material de embalagem de embrulho (AGUIRRE-JOYA *et al.*, 2018).

Essas embalagens, quando aplicadas em alimentos, apresentam vantagens bem claras quando se trata da nanotecnologia, sendo uma das áreas em que a nanotecnologia está mais madura. Seu uso tem sido para melhorar as propriedades dos materiais, como também desenvolver embalagens ativas e inteligentes. As partículas nanométricas de óxido de zinco e de prata têm sido usadas para estender a vida de prateleira dos alimentos, reduzindo o crescimento microbiológico durante o armazenamento (MIHINDUKULASURIYA; LIM, 2014).

Há uma necessidade crescente de desenvolver materiais de embalagem, como filmes e revestimentos, a partir de matrizes renováveis ou de resíduos. O desenvolvimento de embalagens que entrem em contato direto com os alimentos, elaboradas a partir de biopolímeros no lugar de materiais sintéticos convencionais, é uma nova tendência que surge em resposta à demanda dos consumidores para o uso de produtos naturais que causem menor impacto ambiental (DELGADO *et al.*, 2016). Diante disto, estudos têm sido conduzidos buscando desenvolver e empregar materiais biodegradáveis no envolvimento de produtos alimentícios. A preocupação com a decomposição e com a degradação dos materiais vem atuando de forma decisiva para o crescimento de pesquisas que possam contribuir para a diminuição do impacto ambiental.

Os filmes melhoram a qualidade dos produtos alimentícios, protegendo-os da deterioração física, química e biológica, o que resulta em uma vida útil prolongada e maior segurança. Os compostos antimicrobianos podem ser incorporados em filmes biodegradáveis para proporcionar estabilidade microbiológica nos alimentos (MAIA, G.; LOPES; SILVA, W., 2017 apud MAIA, D., 2019), uma vez que os filmes podem ser utilizados como transportadores de uma variedade de aditivos para prolongar a vida útil do produto e garantir a segurança microbiológica, controlando a crescimento microbiano nas superfícies dos alimentos. Além disso, com a incorporação de um agente antimicrobiano em filmes, obtêm-se sistemas de liberação controlada (GRANDE-TROVAR *et al.*, 2018).

Vários relatórios confirmam que esses nanomateriais podem melhorar com

êxito a segurança dos alimentos, aprimorando a eficácia das embalagens dos alimentos, a validade e o valor nutricional como aditivos, sem alterar o sabor e as características físicas dos produtos alimentares (DAS; REBECA, 2018; XIAOJIA *et al.*, 2018).

De acordo com Ghanbarzadeh, Oleyaei e Almasi (2015), o uso de nanobiocompósitos em embalagens de alimentos aumentou a capacidade da embalagem de alimentos de atuar como uma barreira contra gases. As aplicações de várias nanopartículas em embalagens de alimentos são mostradas brevemente na Tabela 1.

Tabela 1 - Nanopartículas para aplicação em embalagens de alimentos

Tipos de Nanopartículas	Matriz	Ação
Prata	Espargos, Suco de laranja, Carne de aves, Melão fresco, Exsudatos de carne bovina	Retarda o crescimento de psicotrópicos aeróbicos, leveduras e bolores; efeito antimicrobiano contra <i>Escherichia coli</i> e <i>Staphylococcus aureus</i>
Óxido de Zinco	Suco de laranja, albumina de ovo líquido	Reduz efetivamente a contagem de <i>Lactobacillus plantarum</i> , <i>Salmonella</i> , Levedura e bolores, sem alterações nos parâmetros de qualidade
Óxido de titânio	Jujuba chinês, morango	Reduz o escurecimento, amadurecimento lento, senescência e decadência
Óxido de prata	Fatia de maçã	Retarda deterioração microbiana

Fonte: Ghanbarzadeh; Oleyaei; Almasi (2015).

Conforme as vantagens mencionadas acima, o consumidor tem-se preocupado em termos de embalagens, não somente com relação à qualidade, mas se são biodegradáveis e ecológicos, sendo que o lado bom dessas preocupações leva as pesquisas e as indústrias a usar métodos de conscientização em questões ambientais.

O desenvolvimento de nanopartículas de óxido metálico vem chamando a atenção como um agente antimicrobiano devido à sua segurança, estabilidade e aplicação contra uma ampla gama de bactérias patogênicas (ROOPAN *et al.*, 2019). Com isso, o desenvolvimento de nanopartículas de óxido de zinco por meio de vários métodos acabou ganhando grande atenção devido a suas propriedades exclusivas e ampla aplicação (DIMAPILIS *et al.*, 2018; LINGARAJU *et al.*, 2016; NAZOORI; KARIMINIK, 2018; SIDDIQI *et al.*, 2018).

O óxido de zinco (ZnO) é considerado um composto inorgânico semicondutor do grupo II-VI. O motivo de o grupo receber essa denominação é pelo fato de o zinco e o oxigênio, respectivamente, pertencerem aos grupos 12 (II B) e 16 (VI A) da tabela periódica (DE ABREU MOURA *et al.*, 2021). O metal zinco e o não metal oxigênio são unidos principalmente por uma ligação iônica, resultando em íons Zn^{2+} e O^{2-} , que

exercem atração eletrostática entre si (SOARES, R., 2018). Essa atração eletrostática permite a formação do retículo cristalino de ZnO. O ZnO sintético constitui-se de um pigmento branco com alto poder de reflexão da luz, apresentando alto poder de absorção das radiações na região do ultravioleta, o que explica sua aplicação em formulações de protetores solares (MAYRINCK *et al.*, 2014). É também um semicondutor de banda larga (3,4 eV), com uma estrutura wurtzite. Ele tem uma grande energia de ligação excitônica (~60 meV) e energia térmica (~25 meV). Quando aplicado em filmes, o ZnO tem a propriedade de umedecimento, importante em processos industriais como secagem, pintura, revestimento etc., além de apresentar fortes propriedades piezoelétricas e piroelétricas, o que o torna um material útil em atuadores e nanogeradores (MARKOVIC *et al.*, 2020).

As nanopartículas de ZnO apresentam um mecanismo de ação específico, atuando na condutividade elétrica e térmica, na absorção óptica e na estabilidade em elevadas temperaturas, além de propriedades biológicas, como sua ação antimicrobiana (PORTO, 2018; SOUZA, 2016). Pina (2019) afirma que o mecanismo de ação antimicrobiana das nanopartículas de ZnO mais aceito é devido a dois fatores principais: o primeiro fator está na formação e liberação de espécies ativas de oxigênio e o segundo fator é devido ao dano da parede celular por causa da interação e adesão das partículas. Além desses fatores, as nanopartículas de óxido de zinco também podem impedir o crescimento de várias espécies bacterianas, mesmo em concentrações ou doses muito pequenas.

2.5 Manga (*Mangifera indica* L.)

A manga (*Mangifera indica* L.) é uma das frutas tropicais mais populares do mundo. As mangas são frutos de caroço (drupa), que contêm uma grande semente rodeada por polpa amarelo-alaranjada, sendo apreciada tanto por suas características sensoriais quanto por seu valor nutricional (BURTON-FREEMAN; SANDHU; EDIRISINGHE, 2017). A produção mundial de manga foi de aproximadamente de 52,08 milhões de toneladas no ano 2018 e teve aumento de 150% em relação à década anterior.

Além de serem frutas frescas, a manga também pode ser processada como polpa, sucos, néctares, concentrados, geleias, geleias em pó e frutas secas (BERARDINI

et al., 2005). As cascas e sementes de manga representam, respectivamente, 35% a 60% do peso total da fruta, fornecem energia, fibra alimentar, carboidratos, proteínas e gorduras (BADDI *et al.*, 2015; GARCIA-AMEZQUITA *et al.*, 2018), além de serem ricas em fitoquímicos como compostos fenólicos, flavonoides e carotenoides. Esses compostos bioativos são de interesse graças à sua alta atividade antioxidante e às suas propriedades terapêuticas (BARRETO *et al.*, 2008; DORTA; LOBO; GONZALEZ, 2012; SERNA-COCK; GARCÍA-GONZALES; TORRES-LEÓN, 2016)

A qualidade da manga desempenha papel importante na aceitação dos consumidores, ainda que suas preferências mudem de acordo com a região de comercialização (SELLAMUTHU *et al.*, 2013). A aparência da manga é considerada um dos fatores mais importante no sucesso da sua comercialização.

Os cuidados e tecnologias empregados na etapa de pós-colheita sem dúvida são tão importantes quanto aqueles empregados na fase de produção, e a omissão desses cuidados e dessas tecnologias pode ocasionar perdas qualitativas e quantitativas irreversíveis nessa etapa. O aumento do tempo de comercialização das mangas pode ser feito pela colheita dos frutos ainda firmes, entretanto, é necessário que o ponto de maturação atenda às exigências do consumidor quanto a seus atributos sensoriais (RODRIGUES, A., *et al.*, 2019). Por isso se faz necessária, para melhor atender as demandas do consumidor, uma agregação de valor a cultivares que tenham características diferenciadas, principalmente para atingir mercados mais exigentes.

2.6 Objetivos

Constitui **Objetivo geral** desenvolver filmes e revestimentos à base de pectina do mesocarpo do pequi incorporado de nanopartículas de Zinco (ZnO) e aplicar o revestimento na manga *in natura*, avaliando os efeitos do revestimento, visando à agregação de valor a esses produtos.

São **objetivos específicos**:

- a) extrair pectina do mesocarpo do pequi utilizando ácido cítrico como agente extrator;
- b) desenvolver filmes biodegradáveis com diferentes concentrações de nanopartículas de ZnO (0; 0,25; 0,50 e 1% p/v) e caracterizá-los quanto a suas propriedades mecânicas, atividade antimicrobiana, propriedades térmicas, biodegradabilidade e propriedades de barreira ao vapor da água;

- c) utilizar as mesmas soluções filmogênicas utilizadas na formulação dos filmes biodegradáveis para revestir mangas (*Mangifera indica* L.) para promover a estabilidade e estender sua vida de prateleira; e
- d) avaliar o efeito das soluções filmogênicas como revestimentos em mangas (*Mangifera indica* L.) *in natura* quanto à perda de massa, firmeza da polpa, acidez total, teor de sólidos solúveis (brix), cor e taxa respiratória.

2.7 Referências

AGUIRRE-JOYA, J. A. *et al.* Conceitos básicos aplicados a embalagens comestíveis para alimentos. *In: Embalagem e preservação de alimentos. Academic Press*, p.1-61, 2018.

ALMEIDA, S. P. *et al.* **Cerrado: espécies vegetais úteis**. Planaltina: EMBRAPA-CPAC, 1998. 464 p.

AKBAR, A. *et al.* Synthesis and antimicrobial activity of zinc oxide nanoparticles against foodborne pathogens *Salmonella typhimurium* and *Staphylococcus aureus*. **Biocatalysis and Agricultural Biotechnology**, v.17, p.36-42, 2019.

ALVES, A. M. *et al.* Características físicas e nutricionais de frutos de pequi dos estados de Tocantins, Goiás e Minas Gerais. **Braz J Food Technol**, n.17, p.198-203, 2014.

ARISTIZABAL-GIL, M. V. *et al.* ZnO and ZnO/CaO nanoparticles in alginate films. Synthesis, mechanical characterization, barrier properties and release kinetics. **LWT**, v.112, p.108217, 2019.

ASCHEMANN-WITZEL, J. *et al.* Desperdício de alimentos relacionado ao consumidor: causas e potencial de ação. **Sustentabilidade**, v.7, n.6, p.6457-6477, 2015.

BADDI, J. *et al.* Casca de manga: Uma fonte potencial de fito-nutrientes bioativos naturais em alimentos funcionais. **Asian Journal of Dairy and Food Research**, v.34, n.1, p.75-77, 2015.

BARRETO, J. C. *et al.* Caracterização e quantificação de compostos polifenólicos em casca, grão, folhas e casca de manga (*Mangifera indica* L.). **Jornal de química agrícola e alimentar**, v.56, n.14, p.5599-5610, 2008.

BARROS, R. da S. de C. Por que a integração do indicador da Pegada Ecológica na Produção e no Consumo de Carne Bovina Global pode ser benéfica para gerações futuras da humanidade? **Brazilian Journal of Animal and Environmental Research**, v.2, n.6, 2019.

BERARDINI, N. *et al.* Aproveitamento de cascas de manga como fonte de pectina e polifenólicos. **Innovative Food Science & Emerging Technologies**, v.6, n.4, p.442-

452, 2005.

BRECHT, J. K.; YAHIA, E. M. Harvesting and postharvest technology of mango. *In*: SIDDIQ, M.(ed), Michigan State University, USA; BRECHT, J. K., University of Florida, USA; SIDHU, J. S., Kuwait University, Kuwait (ass.ed.). **Handbook of mango fruit: Production, postharvest science, processing technology and nutrition**, 1st.ed., © John Wiley & Sons Ltd., p.105-129, 2017.

BRITO, G. F. *et al.* Biopolímeros, Polímeros Biodegradáveis e Polímeros Verdes. **Revista Eletrônica de Materiais e Processos**, v.6.2, p.127-139, 2011.
BURTON-FREEMAN, B. M.; SANDHU, A. K.; EDIRISINGHE, I. Mangas e seus componentes bioativos: Adicionando variedade ao prato de frutas para a saúde. **Comida e função**, v.8, n.9, p.3010-3032, 2017.

CANALI, M. *et al.* (ed). Drivers of current food waste generation, threats of future increase and opportunities for reduction. 189p., 2014. **FUSIONS**, University of Bologna, Italy. <http://www.eu-fusions.org/uploads/deliverables/FUSIONSDriversfoodwaste2014.pdf>

CORDEIRO, M. W. S. *et al.* Características técnicas, composição químico-nutricional e óleos essenciais da polpa de *Caryocar brasiliense* nativo do Estado de Mato Grosso. **Revista Brasileira de Fruticultura**, Jaboticabal, v.35, n.4, p.1127-1139, 2013.

COUTO, E. M. **Utilização da farinha de casca de pequi (*Caryocar brasiliense* Camb) na elaboração de pão de forma**. 2014.

DAS, M. P.; REBECCA, L. Jeyanthi. Remoção de chumbo (II) por nanopartículas de óxido de ferro inspiradas em fito. **Nature Environment and Pollution Technology**, v.17, n.2, p.569-574, 2018.

DAS, M. P. *et al.* Exploração de nanopartículas de prata auxiliadas por folhas de *Wedelia chinensis* para aplicações antioxidantes, antibacterianas e citotóxicas in vitro. **Jornal de análises de alimentos e medicamentos**, v.26, n.2, p.917-925, 2018.
DAS, M. P.; REBECCA, L. J. Remoção de chumbo (II) por nanopartículas de óxido de ferro inspiradas em fito. **Nature Environment and Pollution Technology**, v.17, n.2, p.569-574, 2018.

DASGUPTA, N. *et al.* Nanotecnologia em agroalimentos: do campo ao prato. **Food Research International**, v. 69, p.381-400, 2015.

DE ABREU MOURA, F. J. *et al.* Estudo de propriedades fotocatalíticas de nanopartículas de ZnO com diferentes dopantes. **Brazilian Journal of Development**, v.7, n.3, 23p., 2021. DOI:10.34117/bjdv7n3-054

DECROS, G. *et al.* Obtenha o equilíbrio certo: homeostase de ROS e sinalização redox em frutas. **Fronteiras na ciência das plantas**, v.10, p.1091, 2019.

DELGADO, J. F. *et al.* Development of innovative biodegradable films based on biomass of *Saccharomyces cerevisiae*. **Innovative Food Science & Emerging Technologies**, v.36, p.83-91, 2016.

DE SOUSA, F. C. *et al.* Parâmetros físicos e físico-químicos da polpa de pequi. **Revista Verde de Agroecologia e Desenvolvimento Sustentável**, v.7, n.1, p.10, 2012.

DIAS, A. M.; MORAIS, M. C. **Estudo morfoanatômico e prospecção fitoquímica das folhas de *Caryocar brasiliense* Camb ocorrentes na base aérea de Anápolis-GO.** 76p. Monografia (Bacharelado em Farmácia), Universidade Estadual de Goiás, 2011.

DIMAPILIS, E. A. S. *et al.* Nanopartículas de óxido de zinco para desinfecção de água. **Sustainable Environment Research**, v.28, n.2, p.47-56, 2018.

DINIZ, E.C. Compósito biopolímero e óxido de zinco nanoestruturado para aplicação como substitutivo de pele. Dissertação (Mestrado em Engenharia Biomédica), 106f, Universidade Federal de Pernambuco, Recife, 2020.

DORTA, E.; LOBO, M. G.; GONZALEZ, M. Reutilização de subprodutos da manga: estudo do efeito do solvente de extração e da temperatura em suas propriedades antioxidantes. **Journal of Food Science**, v. 77, n.1, p.C80-C88, 2012.

FAO. F. A. O. of the U. N.-. FAOSTAT Database Gateway-FAO. 2019. Retrieved from <http://faostat3.fao.org>

FDA (Food and Drug Administration). FDA emite orientações para apoiar o desenvolvimento responsável de produtos nanotecnológicos, US Food and Drug Administration, 2018. Disponível em: <http://www.fda.gov/NewsEvents/Newsroom/PressAnnouncements/ucm402499.htm>, Acesso em: 22 dez. 2020.

FRANCO, S.; CICATIELLO, C. Food waste due to over-nutrition in the Italians' dietary habits. **FrancoAngeli, Fascicolo: 1**, p.159-180, 2018. DOI: 10.3280/RISS2018-001012

GALLI, F.; HEBINCK, A.; CARROLL, B. Addressing food poverty in systems: governance of food assistance in three European countries. **Food Security**, v.10, n.6, p.1353-1370. <https://doi.org/10.1007/s12571-018-0850-z>

GARCIA-AMEZQUITA, L. E. *et al.* Diferenças no conteúdo de fibra alimentar de frutas e seus subprodutos quantificados por metodologias oficiais convencionais e integradas da AOAC. **Journal of Food Composition and Analysis**, v.67, p.77-85, 2018.

GHANBARZADEH, B.; OLEYAEI, S. A.; ALMASI, H. Nanostructured Materials Utilized in Biopolymer-based Plastics for Food Packaging Applications. **Crit Rev Food Sci Nutr**. v.55, n.12, p.1699-723, 2015. DOI: 10.1080/10408398.2012.731023

GRANDE-TOVAR C. D. *et al.* Revestimentos de quitosana enriquecidos com óleos essenciais: Efeitos sobre fungos envolvem decomposição de frutas e mecanismos de ação. **Tendências em Food Science & Technology**, n.78, p.61-71, 2018.

GUNALAN, S.; SIVARAJ, R.; RAJENDRAN, V. Nanopartículas de ZnO sintetizadas por Green contra patógenos bacterianos e fúngicos. **Progress in Natural Science:**

Materials International, v.22, n.6, p.693-700, 2012.

GUPTA, M. *et al.* Atividade antimicrobiana efetiva de partículas nano de ZnO verdes de *Catharanthus roseus*. **Fronteiras em microbiologia**, v.9, p.2030, 2018. Iniciativa Nacional de Nanotecnologia. Nanotecnologia 101., 2019. Disponível em: <https://www.nano.gov/nanotech-101>. Acesso em: 5 jan. 2021

LEHNER, T. B.; SIEGMUND, B. O impacto da ventilação durante o amadurecimento pós-colheita no desenvolvimento de compostos aromáticos e na qualidade sensorial de mangas (*Mangifera indica* L.) cv. Kent. **Química alimentar**, v.320, p.126608, 2020.

LINGARAJU, K. *et al.* Síntese biogênica de nanopartículas de óxido de zinco usando *Ruta graveolens* (L.) e suas atividades antibacteriana e antioxidante. **Nanociência aplicada**, v.6, n.5, p.703-710, 2016.

LIN, Y. *et al.* Efeitos do tratamento com quitosana na capacidade de armazenamento e nas propriedades de qualidade de frutos longan durante o armazenamento. **Química alimentar**, v.306, p.125627, 2020.

LONG, T. C. *et al.* O dióxido de titânio (P25) produz espécies reativas de oxigênio na microglia cerebral imortalizada (BV2): implicações para a neurotoxicidade das nanopartículas. **Ciência e tecnologia ambiental**, v.40, n.14, p.4346-4352, 2006.

MAGREZ, A. *et al.* Cellular toxicity of carbon-based nanomaterials. **Nano letters**, v.6, n.6, p.1121-1125, 2006.

MAIA, D. S. V. **Atividade antibacteriana de extrato de butiá (*Butia odorata* Barb. Rodr.): mecanismo de ação, aplicação em sistema alimentar e em biofilme bacteriano**. Tese (Doutorado em Ciência e Tecnologia de Alimentos), 108f., il., Universidade Federal de Pelotas, Pelotas, 2019.

MARKOVIC, M. K. *et al.* Filmes finos de ZnO híbridos tipo 'sanduíche' produzidos por uma combinação de deposição de camada atômica e química úmida usando um mercapto silano como precursor orgânico único. **Nanotecnologia**, v.31, n.18, p.185603, 2020.

MAYRINCK, C. *et al.* Síntese, propriedades e aplicações de óxido de zinco nanoestruturado. **Revista Virtual de Química**, v.6, n.5, p.1185-1204, 2014.

MIHINDUKULASURIYA, S. D. F; LIM, L.T. Nanotechnology Development in Food Packaging: A review. **Trends in Food Science & Technology**, n.40, 1p.49-167, 2014.

MIRDEHGHAN, S. H.; RAHIMI, S. Pre-harvest application of polyamines enhances antioxidants and table grape (*Vitis vinifera* L.) quality during postharvest period. **Food Chemistry**, v.196, p.1040-1047, 2016.

MONTEIRO, S. S. *et al.* Compostos fenólicos e atividade antioxidante de extratos de casca de pequi (*Caryocar brasiliense* Camb.). **International Food Research Journal**, v.22, n.5, p.1985, 2015.

NATIONAL NANOTECHNOLOGY INICIATIVE. **What Is Nanotechnology?** 2019. **Disponível em:** <http://www.nano.gov/html/facts/whatIsNano.html>. Acesso em: dez. 2020.

NAZOORI, E. S.; KARIMINIK, A. In vitro evaluation of antibacterial properties of zinc oxide nanoparticles on pathogenic prokaryotes. **Journal of Applied Biotechnology Reports**, v.5, n.4, p.162-165, 2018.

NCAMA, K. *et al.* Plant-based edible coatings for managing postharvest quality of fresh horticultural produce: a review. **AGRIS, Journal Article, Publisher: Elsevier Ltd**, v.16, Issue 2, 2018

NTSOANE, M. L. *et al.* Avaliação da qualidade e tecnologia pós-colheita da manga: uma revisão de seu status atual e perspectivas futuras. **Scientia Horticulturae**, v.249, p.77-85, 2019.

OAK, P. *et al.* Metabolomic Dynamics Reveals Oxidative Stress in Spongy Tissue Disorder During Ripening of *Mangifera indica* L. Fruit. **Metabolites**, v.9, n.11, p.255, 2019.

PADMAVATHY, N.; VIJAYARAGHAVAN, R. Enhanced bioactivity of ZnO nanoparticles-an antimicrobial study. **Science and technology of advanced materials**, v.9, n.3, p.035004, 2008.

PERSIN, Z. *et al.* Desafios e oportunidades na pesquisa e tecnologia de polissacarídeos: A EPNOE vê para a próxima década nas áreas de materiais, alimentos e cuidados com a saúde. **Polímeros de Carboidratos**, v.84, n.1, p.22-32, 2011.

PINA, H. de V. *et al.* **Síntese, caracterização e avaliação biológica de filmes à base de PCL/ZNO para aplicação em embalagens de alimentos**. Dissertação (Mestrado em Ciências e Engenharia de Materiais), 58f., il.color, Universidade Federal de Campina Grande, Campina Grande, PB, 2019.
<http://dspace.sti.ufcg.edu.br:8080/jspui/handle/riufcg/15099>

PLASTICSEUROPE. 2018. **Revisão anual 2017-2018**. Disponível em: URL https://www.plasticseurope.org/download_file/force/1830/181. Acesso em: out. 2020.

PORTO, R. C.T. *et al.* Nanopartículas de óxido de zinco sintetizadas pelo método poliol: caracterização e avaliação da atividade antibacteriana. **Matéria** (Rio J.) v.22, p.1-8. supl.1, Rio de Janeiro 2017, Epub Jan 08, 2018. <https://doi.org/10.1590/s1517-707620170005.0248>

QUESTED, T. E. *et al.* Sopa de espaguete: o complexo mundo dos comportamentos de desperdício de alimentos. **Recursos, Conservação e Reciclagem**, v.79, p.43-51, 2013.

RHIM, J.-W.; NG, P. K. W. Filmes nanocompósitos baseados em biopolímero natural para aplicações em embalagens. **Revisões críticas em ciência de alimentos e nutrição**, v.47, n.4, p.411-433, 2007. DOI: 10.1080/10408390600846366

RIBEIRO, D. M. *et al.* Carotenoides estão relacionados ao teor colorido e lipídico da

- polpa pequi (*Caryocar brasiliense* Camb) da Savana Brasileira. **Ciência e Tecnologia de Alimentos**, v.34, n.3, p.507-512, 2014.
- RODRIGUES, A. A. M. *et al.* **Revestimentos e filmes biodegradáveis de deferentes amiláceas: Caracterização e aplicação pós-colheita em manga.** 2019.
- RODRIGUES JUNIOR, J. **Desperdício de alimentos em food services: uma revisão sistemática da literatura**, Monografia (Bacharelado em Administração), Universidade de Brasília, Departamento de Administração, Brasília, 2019. 57f., il., 2019.
- ROOPAN, S. M. *et al.* Nanocompósito CuO/C: síntese e otimização utilizando sacarose como fonte de carbono e sua atividade antifúngica. **Ciência e Engenharia de Materiais: C**, v.101, p.404-414, 2019.
- SAWAI, J.; YOSHIKAWA, T. Quantitative evaluation of antifungal activity of metallic oxide powders (MgO, CaO and ZnO) by an indirect conductimetric assay. **Journal of applied microbiology**, v.96, n.4, p.803-809, 2004.
- SCHNEIDER, F. **Desperdiçando comida - um comportamento insistente.** Waste-The Social Context '08, Questões e soluções urbanas, **Alberta**, 2008.
- SELLAMUTHU, P. S. *et al.* Os vapores do óleo essencial suprimem o desenvolvimento da antracnose e aumentam as atividades enzimáticas antioxidantes e relacionadas à defesa no abacate. **Postharvest Biology and Technology**, v.81, p. 66-72, 2013.
- SERNA-COCK, L.; GARCÍA-GONZALES, E.; TORRES-LEÓN, C. Potencial agroindustrial da casca de manga com base em suas propriedades nutricionais e funcionais. **Food Reviews International**, v.32, n.4, p.364-376, 2016.
- SHI, S. *et al.* Efeito do revestimento de quitosana/nanossílica nas características físico-químicas de frutos longan em temperatura ambiente. **Journal of Food Engineering**, v.118, n.1, p.125-131, 2013.
- SIDDIQI, K.S. *et al.* Propriedades das nanopartículas de óxido de zinco e sua atividade contra micróbios. **Cartas de pesquisa em nanoescala**, v.13, n.1, p.1-13, 2018.
- SILVA, F. H. L. *et al.* Populações, matrizes e idade da planta na expressão de variáveis físicas em frutos do pequi. **Revista Brasileira de Fruticultura**, Jaboticabal, v.34, n.3, p.806-813, set. 2012.
- SILVA, W. B. *et al.* Quitosana atrasa o amadurecimento e a produção de ROS em frutos de goiaba (*Psidium guajava* L.). **Food Chemistry**, v.242, p.232-238, 2018.
- SOARES JÚNIOR, M. S. *et al.* **Qualidade de biscoitos formulados com diferentes teores de farinha de casca de pequi.** 2009.
- SOARES, R. V. C. **Estudo das propriedades óticas e elétricas de filmes finos de óxido de zinco.** Dissertação (Mestrado), Universidade de São Paulo, (Catálogo USP), 2018. 10.11606/D.43.2018.tde-13062018-195831

SOUZA, M. I. A. V. de. Incorporação de nanopartículas de óxido de zinco a um cimento de ionômero de vidro por meio da calcinação: Avaliação de propriedades mecânicas e físicas. Dissertação (Mestrado em Ciências Odontológicas), Universidade Estadual Paulista (UNESP), Araraquara, SP, 2016.

TAITI, C. *et al.* Utilização de compostos orgânicos voláteis e parâmetros físico-químicos no monitoramento do amadurecimento pós-colheita de frutas tropicais importadas. **European Food Research and Technology**, v.241, n.1, p.91-102, 2015.

TAITI, C. *et al.* Às vezes, um pouco de manga ajuda muito: uma abordagem rápida para avaliar como os diferentes sistemas de remessa afetam a qualidade comercial da fruta. **Métodos analíticos de alimentos**, v.9, n.3, p.691-698, 2016.

THYBERG, K. L.; TONJES, D. J. Drivers de desperdício de alimentos e suas implicações para o desenvolvimento de políticas sustentáveis. **Recursos, Conservação e Reciclagem**, v.106, p.110-123, 2016.

TULLIO, F. B. M.; TULLIO, L. (org.). **As engenharias frente a sociedade, a economia e o meio ambiente 5** [recurso eletrônico]. Atena, Ponta Grossa – Paraná – Brasil, 2020.

TURINI, E. Conjuntura Mensal de Pequi. CONAB (2016). **Relatório** 16-05-23-17-46-45, 2016.

VIEIRA, D. P. L. Farinhas de casca de pequi: caracterização físico-química, perfil de fenólicos, antioxidantes e avaliação do potencial como fonte de pectina via extração por micro-ondas. Tese (Doutorado em Ciência de Alimentos), Universidade Federal de Minas Gerais, Faculdade de Farmácia, 129f., il., 2017

WORLD BANK GROUP. **Annual Report 2018**. Washington, DC: International Bank for Reconstruction and Development, 2018.

XIAOJIA, H.; HUEY-MIN, H. Nanotecnologia em ciência de alimentos: avaliação de funcionalidade, aplicabilidade e segurança. **Jornal de análise de alimentos e drogas**, v.24, n.4, p.671-681, 2016.

XIAOJIA, H. *et al.* Toxicity of engineered nanomaterials mediated by nano–bio–eco interactions. **Journal of Environmental Science and Health, Part C**, v.36, n.1, p.21-42, 2018.

XU, J. *et al.* Effect of ZnO nanoparticles combined radio frequency pasteurization on the protein structure and water state of chicken thigh meat. **LWT**, v.134, p.110168, 2020.

CAPÍTULO I

Desenvolvimento de filme à base de pectina do mesocapo do pequi incorporado de nanopartículas de ZnO

Resumo

Filmes e revestimentos compostos à base pectinas, contendo cloreto de cálcio, glicerol e diferentes concentrações de nanopartículas de zinco (0; 0,25; 0,50 e 1% p/v) foram produzidos pela técnica de “*casting*” para avaliar o efeito da adição das nanopartículas. Os filmes foram caracterizados quanto a suas propriedades físicas, ópticas, mecânicas, térmicas, permeabilidade ao vapor de água, biodegradabilidade e espectroscopia de infravermelho, bem como avaliada sua atividade antimicrobiana. As soluções filmogênicas foram produzidas para avaliar sua aplicação em manga *in natura* (*Mangifera indica* L.) e sua combinação com a avaliação da qualidade da fruta, incluindo coloração da epiderme, perda de massa, firmeza do fruto, teor de sólidos solúveis, acidez titulável e taxa respiratória. A adição de nanopartículas apresentou resultado positivo, mas o que se destacou foi o tratamento com maior adição de nanopartículas ZnO (T4 – 1% de nanopartículas ZnO) para as permeabilidades ao vapor de água, infravermelho e atividade antimicrobiana. Além disso, a solubilidade, a espessura e a gramatura das amostras dos filmes foram significativas para o resultado da biodegradabilidade dos filmes. O tratamento com revestimento de nanopartículas a 1% proporcionou a melhor manutenção da qualidade dos frutos. No 12º dia, os frutos com esta cobertura apresentaram o melhor retardamento em seu amadurecimento.

Palavras-chave: *Mangifera indica* L. Embalagens para alimentos. Filmes.

Nanopartículas de ZnO. Revestimentos.

CHAPTER I

Development of a pectin-based film from the pequi mesocarp incorporated with ZnO nanoparticles

Resumo Abstract

Films and coatings pectin-based compounds containing calcium chloride, glycerol, and different concentrations of zinc nanoparticles (0, 0.25, 0.50, and 1% w/v) were produced by the casting technique to evaluate the effect of adding nanoparticles. The films were characterized as for their physical, optical, mechanical, and thermal properties, water vapor permeability, biodegradability, and infrared spectroscopy, as well as their antimicrobial activity. Filmogenic solutions were produced to evaluate their application in *in natura* mango (*Mangifera indica* L.). Epidermis coloring, mass loss, fruit firmness, soluble solids content, titratable acidity, and respiratory rate were included in the evaluation of the fruit quality. The addition of nanoparticles showed a positive result, but the treatment with greater addition of ZnO nanoparticles (T4 - 1% of ZnO nanoparticles) stood out for water vapor, infrared permeability, and antimicrobial activity. In addition, the solubility, thickness, and weight of the film samples were significant for the result of the films biodegradability. Treatment with 1% nanoparticle coating provided the best maintenance of fruit quality. On the 12th day, the fruits with this cover presented the best delay in the ripening.

Keywords: *Mangifera indica* L. Coatings. Films. Food packaging. ZnO nanoparticles.

3.1 Introdução

Nos últimos anos, a preocupação com os graves problemas ambientais vem aumentando, isso porque o material de embalagem de alimentos é quase exclusivamente à base de petróleo comercial, levando os pesquisadores a buscar alternativas como filmes biodegradáveis.

A maioria das coberturas plásticas usadas hoje em dia é feita de polietileno (PE), que precisa ser removido do campo após o uso. Essa cobertura se fragmenta em

pedaços menores durante o uso e na remoção, formando micro a macroplásticos, levando à poluição do meio ambiente, o que está se tornando um grande problema. As coberturas de plástico biodegradáveis fornecem benefícios de produção de safra comparáveis à cobertura de PE, mas, além disso, os filmes biodegradáveis podem ser cultivados no solo após o uso, oferecendo, assim, uma alternativa sustentável (BRODHAGEN *et al.*, 2017; COWAN *et al.*, 2014; MILES *et al.*, 2017). Em uma pesquisa, foi demonstrado que o filme biodegradável se desintegra em CO₂ e H₂O após certo período através dos processos de oxidação e degradação microbiana (GHIMIRE *et al.*, 2020; ROVINA *et al.*, 2020).

Segundo Hornung *et al.* (2018), há diferentes tipos de polímeros naturais, como amido, celulose, colágeno, quitosana, gelatina, entre outros, frequentemente usados para produzir filmes biodegradáveis. Assim, os filmes são obtidos a partir de materiais com características termoplásticas. Com isso, a nanotecnologia tem crescido cada vez mais, devido às suas extensas novas aplicações em amplos campos relacionados aos estudos científicos e tecnológicos, sendo um desses interesses atribuídos aos filmes com presença de compósitos.

Os nanocompósitos são uma boa opção, pois neles são introduzidos materiais de tamanho nanométrico contendo compostos biodegradáveis que são convertidos em microunidades por organismos em decomposição no ambiente. As nanopartículas de ZnO têm sido utilizadas em filmes para embalagens de alimentos, devido às suas propriedades ótimas, por exemplo, resistência às trocas gasosas, flexibilidade e atividade antibacteriana (WALCZAK *et al.*, 2015).

Em embalagens ativas, nanopartículas antimicrobianas como zinco, ferro, ouro, prata e dióxido de titânio são usadas para inibir o crescimento microbiano, prolongar a qualidade do produto e aumentar a vida útil dos produtos alimentícios (ALIZADEH-SANI *et al.*, 2020). Entre os óxidos metálicos, as propriedades antimicrobianas do óxido de zinco (ZnO) são exemplares, tornando-o um dos materiais mais úteis na área de alimentos. Na verdade, nanopartículas de ZnO podem manter a cor do produto como também melhorar sua qualidade por um longo período, além de aumentar as propriedades mecânicas do material de embalagem (AL-NAAMANI; DOBRETSOV; DUTTA, 2016). As nanopartículas de ZnO têm sido as de maior interesse nos últimos anos por causa de seu fascinante potencial no desempenho de filmes e revestimentos.

A aplicação de nanopartículas de ZnO em filmes e revestimentos para alimentos, além de proteger os alimentos e aumentar sua vida útil, também pode reduzir

a poluição ambiental, pois elimina o uso de materiais plásticos nas embalagens (PONTES *et al.*, 2013). Tendo em vista isso, foram investigados os efeitos dos filmes com pectina do mesocarpo do pequi incorporados de nanopartículas de ZnO através da avaliação e da comparação dos filmes obtidos pelo método casting, de forma controlada e padronizada em relação às propriedades físicas, mecânicas, permeabilidade a vapor de água, atividade antimicrobiana, propriedades térmicas e quanto à biodegradabilidade.

2 METODOLOGIA

2.1 Preparação do mesocarpo do pequi

Os frutos de pequi foram obtidos em feiras livres do município de Rio Verde, GO e do centro de Cuiabá, MT, e transportados ao Laboratório de Frutas e Hortaliças do Instituto Federal Goiano – Câmpus Rio Verde – GO. Para preparação do mesocarpo, foi feita, segundo a metodologia adaptada de Siqueira, B. et al. (2012), a sanitização dos frutos, que foram selecionados (Figura 3) e sanitizados em água clorada por três minutos (100 mg. L⁻¹). Com auxílio de uma faca, os frutos foram descascados, separando o pericarpo. O mesocarpo do pequi foi separado da amêndoa. As cascas e o mesocarpo foram submetidos a um processo de branqueamento em água fervente por 6 min, sendo, então, desidratados em estufa por 16 h, na temperatura de 60 °C. Após a desidratação, o produto foi moído e armazenado em sacos de polietileno.



Figura 3 - Preparação das amostras. (A) Recepção e seleção dos frutos; (B) Limpeza e descascamento dos frutos; (C) Branqueamento (E) Desidratação em estufa

Fonte: A autora (2020).

2.2 Extração de pectina do mesocarpo do pequi

Através da farinha do mesocarpo do pequi, a pectina foi extraída em meio ácido, com o uso de ácido cítrico, conforme Munhoz, Sanjinez-Argandoña e Soares

Júnior (2010) com modificações (Figura 4). Uma amostra de 16 g de farinha do mesocarpo do pequi e 32 g de ácido cítrico foram dissolvidos em 800 mL de água destilada. A extração ocorreu por 1 h e 20 min, com temperatura de 80 °C. Em seguida, a solução foi filtrada em papel filtro e resfriada a 4 °C por 2 h. Ao filtrado se adicionou, na proporção de 1:2, álcool etílico (95%). Nesta solução, o gel obtido, neste caso a pectina, foi filtrado e levado para estufa para secagem a 60 °C até peso constante (SIQUEIRA, B. *et al.*, 2012).

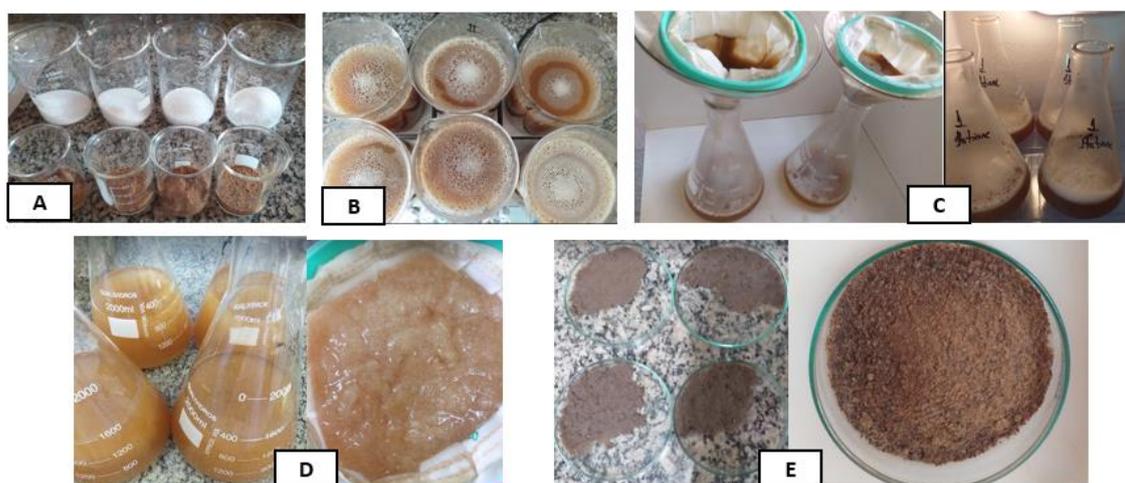


Figura 4 - Extração da pectina: (A) Pesagem da Farinha do mesocarpo do pequi e ácido cítrico; (B) Solução da farinha do mesocarpo do pequi com ácido cítrico em água destilada; (C) Solução sendo filtrada e em seguida resfriada a 4 °C; (D) Filtrado com álcool etílico (95%) e filtração da pectina; (E) Pectina úmida e pectina seca moída

Fonte: A autora (2020).

2.3 Obtenção das nanopartículas de zinco (ZnO)

A preparação da solução nanocompósita foi feita segundo o método de irradiação de micro-ondas (SATHIYA *et al.*, 2018). Primeiramente, 0,3 M de solução foi preparado por dissolução de acetato de zinco desidratado em água destilada. O pH da solução foi ajustado para 10 por adição de NaOH 2 M. A solução ficou em descanso por 24 h até obter duas fases. As fases citadas anteriormente, uma fase de cor clara e outra de cor branca, a de cor clara será descartada e a de cor branca foi irradiada. O precipitado foi irradiado por 1 h em forno de micro-ondas, dando um produto branco, e a amostra foi triturada em cadinho (Figura 5) obtendo, assim, as nanopartículas, que foram colocadas em um béquer e armazenadas em dessecador.



Figura 5 - Obtenção das nanopartículas de ZnO
Fonte: A autora (2020).

2.4 Elaboração dos filmes

Primeiramente, um dia antes de iniciar a elaboração dos filmes, as pectinas foram pesadas e deixadas em repouso, as nanopartículas de ZnO também foram pesadas e deixadas em agitação, ambas por 24 h. Em seguida, a pectina e as nanopartículas de ZnO foram dissolvidas em água destilada em agitação constante em agitador magnético (Splabor, SP 10206/A) de 20 a 35 min até 70 °C, para dissolução total da pectina juntamente com as nanopartículas. Posteriormente, foi adicionada por meio de gotejamento uma solução de CaCl₂ a 5%, em modo lento, mantendo agitação constante e temperatura de 70 °C. Em seguida, na solução, foram depositados 100 mL de solução filmogênica em placas de acrílico de 14 cm de diâmetro, que foram levadas para secagem em estufa convencional por 24 h a 60 °C (SILVA, M.; BIERHALZ; KIECKBUSCH, 2009; SILVA, G. *et al.*, 2014) (Figura 6).

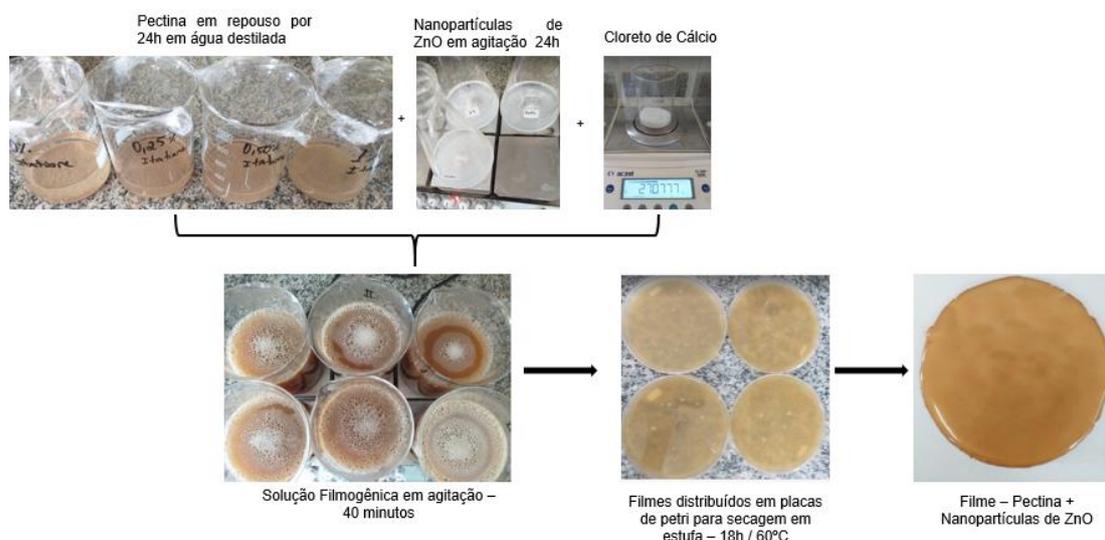


Figura 6 - Fluxograma de preparação dos filmes

Fonte: A autora (2020).

Os filmes foram elaborados pelo método de *casting*, segundo metodologia descrita por Larrauri *et al.* (2016), com modificações, e preparados misturando 1,6 % (m m⁻¹) de pectina do mesocarpo do pequi, 0,7% (m m⁻¹) de glicerol, 20% de cloreto de cálcio (m m⁻¹) e 77,7% (m m⁻¹) de água destilada.

2.5 Caracterização dos filmes

2.5.1 Teor de umidade

A determinação do teor de umidade dos filmes foi feita segundo metodologia AOAC (HORWITZ; LATIMER, 2010). Para isso, as amostras dos filmes foram cortadas em dimensão padronizada de 2 cm² cada e pesadas antes e depois da secagem (Figura 7).



Figura 7 - Determinação de teor de água

Fonte: A autora (2020).

O teor de umidade foi determinado pela porcentagem da perda de massa após a secagem em estufa, a 105 °C, por 24 h [Equação (1)]:

$$Umidade (\%) = \frac{(m_i - m_f)}{m_f} 100 \quad (1)$$

em que: a umidade (%) é a porcentagem de água evaporada do filme; m_i é a massa inicial do filme; e m_f é a massa final do filme após secagem.

2.5.2 Solubilidade

A determinação da solubilidade foi feita para obter informações sobre a integridade dos filmes em sistemas aquosos e sua resistência à água. A solubilidade foi feita em triplicata, as amostras cortadas com dimensão padronizada de 2 cm² e colocadas para secagem em estufa por 24 h a 105°C e, em seguida, pesadas para obtenção do peso inicial. Após a secagem, as amostras foram imersas em 50 mL de água destilada e mantidas sob agitação constante e lenta a 25 °C por 24 h em agitador magnético (Warmnest, Virgínia, USA) a 150 rpm. Ao final do tempo de agitação, as amostras foram filtradas e o material restante foi seco em estufa a 105 °C, por 24 h, para determinar a quantidade de matéria seca não solubilizada (CHIUMARELLI; HUBINGER, 2014) (Figura 8).

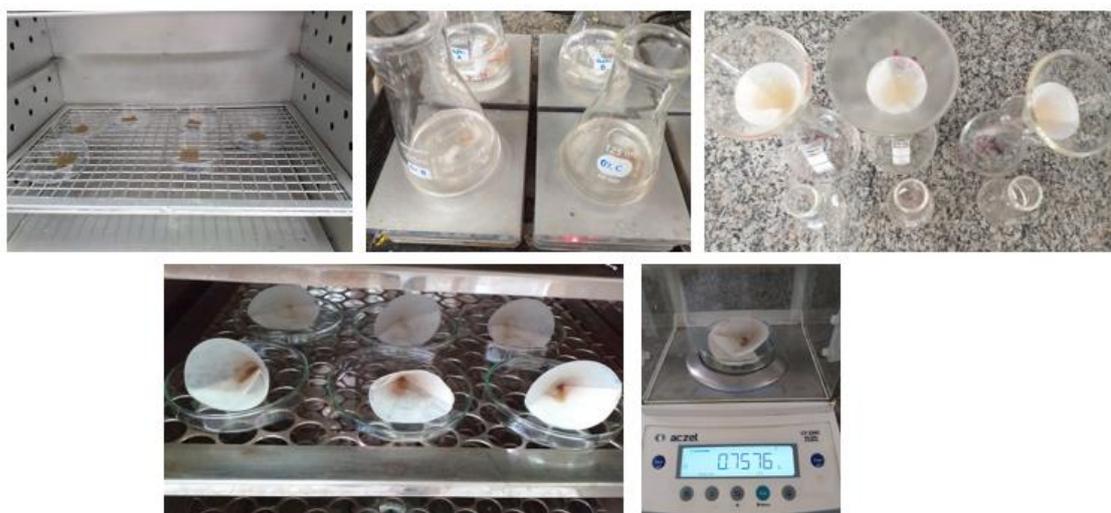


Figura 8- Análise de solubilidade em água

Fonte: A autora (2020)

A determinação de teor de matéria seca solubilizada após 24 h de imersão em água está descrita na Equação (2):

$$MS (\%) = \frac{(m_i - m_f)}{m_i} 100 \quad (2)$$

em que MS (%) é a porcentagem de matéria seca solubilizada; m_i é a massa do filme após primeira secagem; e m_f é a massa do filme seco após a segunda secagem.

2.5.3 Espessura

A espessura foi determinada segundo adaptação da metodologia utilizada por

Avila-Sosa *et al.* (2010), com modificações, por meio da média dos valores de dez pontos aleatórios em diferentes segmentos dos filmes, sendo 1 ponto central, 3 pontos intermediários e 6 pontos extremos. As medidas foram feitas em 3 filmes de cada tratamento, utilizando micrômetro digital (Mitutoyo, MDC-25PX, Japão) com capacidade 0-25 mm e resolução (precisão) de 0,001 mm (Figura 9).



Figura 9: Análise de espessura

Fonte: A autora (2020).

2.5.4 Gramatura

Amostras de filmes de dimensões 2 x 2 cm foram pesadas em balança analítica e então calculadas suas gramaturas [Equação (3)]:

$$\text{Gramatura } (g \text{ cm}^{-2}) = \frac{m}{A} 100 \quad (3)$$

em que m é a massa do filme em gramas e A é área do filme em cm^2 .

3.2.5 Propriedades ópticas

3.2.5.1 Cor e opacidade

Os parâmetros instrumentais de cor Luminosidade L^* (variação de claro para o escuro), cromaticidade a^* (cromaticidade no eixo da cor verde para vermelha), cromaticidade b^* (cromaticidade no eixo da cor azul para amarelo), foram calculados de

acordo com os parâmetros de saturação (Croma-C*) e Hue (h°) [Equações (4) e (5)]:

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

$$h^\circ = \arctg\left(\frac{b^*}{a^*}\right) \quad (5)$$

Os parâmetros foram medidos utilizando um espectrofotômetro (Hunterlab Laboratories, ColorFlex EZ, Virgínia, USA). Os filmes foram colocados no compartimento do equipamento e feitas cinco leituras em cada lado do filme, utilizando fundo branco (Figura 10).

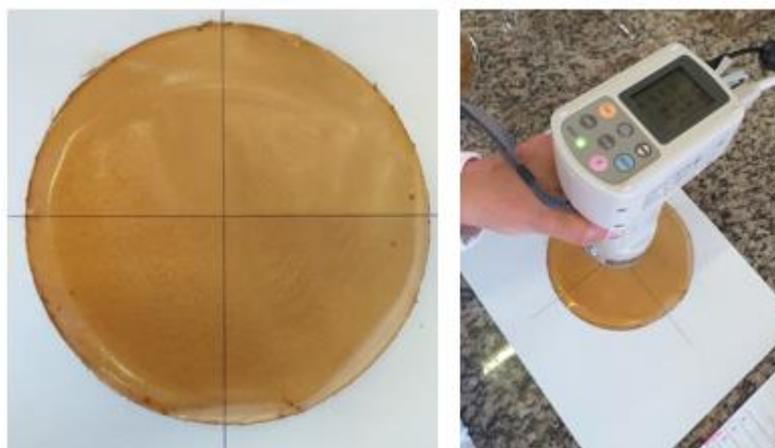


Figura 10 - Análise de cor

Fonte: A autora (2020).

A opacidade aparente dos filmes foi determinada em espectrofotômetro (Metash, UV-Vis 5100, Shanghai, China). Os valores para opacidade aparente foram calculados como a razão entre a leitura feita em comprimento de onda de 600 nm pela espessura dos filmes (SUKHIJA; SINGH; RIAR, 2016) [Equação (6)].

$$Opacidade (-) = \frac{Abs_{600\text{ nm}}}{x} \quad (6)$$

em que: $Abs_{600\text{ nm}}$ é a absorvância do filme a 600 nm e x é a espessura do filme em mm.

Os resultados foram expressos em Opacidade e são adimensionais. Quanto maior o valor de Opacidade, maior a opacidade do filme (menor a transparência). Os filmes foram recortados em 10 mm de largura e acondicionados em cubeta de quartzo

para realização das leituras.

3.2.6 Propriedades mecânicas

As propriedades mecânicas de tensão máxima (TM), tensão de ruptura (TR), alongação (EL) e o módulo de elasticidade (ME) foram determinadas segundo o método ASTM D882-10(2010).

Para avaliação das propriedades mecânicas, foram feitas as seguintes análises dos filmes: Tensão de ruptura, que é a avaliação da máxima tensão suportada pelo filme antes da sua ruptura; Alongação, que é a verificação da máxima variação de comprimento que os filmes terão antes da ruptura; e Módulo de elasticidade, ou módulo de Young para caracterização da rigidez dos filmes.

Para esta determinação, foram utilizados uma máquina universal de ensaios Instron, modelo 3367, Grove City, e Texturômetro (Texture Analyser, TA-XT Plus, Surrey, England (Figura 11) em ambiente climatizado a $25\text{ °C} \pm 1\text{ °C}$ e umidade relativa de $55\% \pm 3\%$. As amostras foram cortadas com largura de 25,0 mm e comprimento de 120 mm, com espessuras médias de $0,07 \pm 0,04\text{ mm}$ e $0,08 \pm 0,02\text{ mm}$, para os filmes PMP e PCC, respectivamente. As amostras foram acondicionadas em dessecadores contendo cloreto de magnésio com umidade de 55% e temperatura entre 25 °C por 48 h. As tiras foram ajustadas ao equipamento com espaço entre os ganchos de 100 mm e tracionadas com velocidade de 12 mm por min e carga de 500 N (CHIUMARELLI; HUBINGER, 2012; SILVA, M.; BIERHALZ; KIECKBUSCH, 2009).

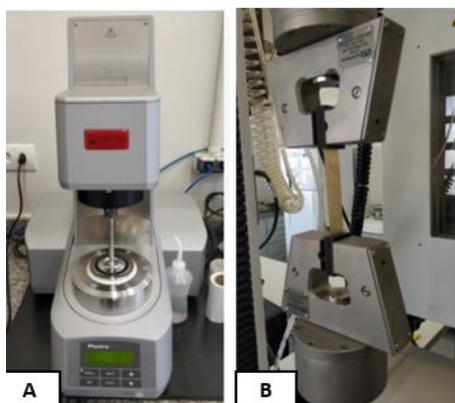


Figura 11 - Análise de propriedades mecânica. a); Análise de tensão em filmes de pectina do mesocarpo do pequi incorporados com nanopartículas de ZnO (Texturômetro (Texture Analyser, TA-XT Plus, Surrey, England) b) Análise de módulo de elasticidade no filme de pectina do mesocarpo do pequi incorporado com nanopartículas de ZnO (Máquina Universal de Ensaaios Instron (Instron, 3367, Grove City, USA)

Fonte: A autora (2020).

3.2.7 Propriedades térmicas

Os termogramas foram obtidos pela técnica de Análise Térmica Diferencial e Termogravimétrica, usando um equipamento modelo *Shimadzu DTG-60H*. As medidas foram feitas no intervalo de temperatura de 25 °C a 900 °C com taxa de aquecimento de 10 °C/min, fluxo de argônio de 100 mL/min, em cadinho de platina (70 µL).

3.2.8 Análise de reologia

As medidas reológicas das soluções filmogênicas foram feitas através das curvas de escoamento a 25 °C e 40 °C. Os ensaios foram feitos em um reômetro Physica MCR301 (Anton Paar, Graz, Áustria). As medidas foram feitas em triplicata, em geometria de placa-cone de 6 cm de diâmetro e ângulo de 2°, com temperatura controlada. As análises foram feitas em três etapas: a primeira etapa (subida 1), com taxa de deformação crescente de 0,1 a 300 s⁻¹; a segunda (descida), com taxa decrescente de 300 a 0,1 s⁻¹; e a terceira (subida 2), com taxa crescente novamente a 0,1 a 300 s⁻¹ para eliminar a tixotropia. Os reogramas obtidos foram ajustados de acordo com modelos matemáticos empíricos para fluidos newtonianos, Lei da potência, Bingham e Herschel-Bulkley (HB).

3.2.9 Permeabilidade ao vapor de água

A permeabilidade ao vapor de água (PVA) foi feita em triplicata por método gravimétrico a 20 °C, de acordo com o método da ASTM E96/E96M-10.(2011), adaptado.

Os filmes foram selados com parafina sobre uma cápsula de permeação de tecnil de 8 cm de diâmetro, contendo cloreto de cálcio anidro (Synth), previamente seco em estufa a 200 °C, com umidade relativa de 0%. A cápsula foi então condicionada em dessecador contendo solução saturada de cloreto de cálcio (NaCl), com umidade relativa de 60%, e mantido em Câmara BOD (Tecnal, TE-371, Piracicaba-SP, Brasil). O peso das células foi acompanhado por medições periódicas em intervalos de 30 min durante as primeiras 2 h; a cada 2 h durante as 8 h seguintes e, na sequência, após 24 h por 11 dias (ADILAH *et al.*, 2018; TAPIA-BLACIDO *et al.*, 2007) (Figura 12).

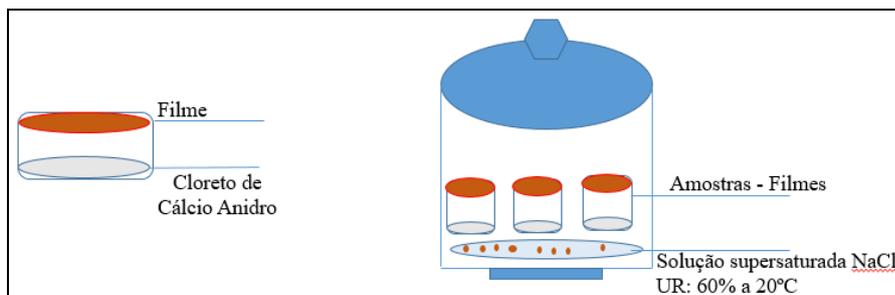


Figura 12 - Esquemática do sistema de permeação ao vapor de água utilizado

Fonte: A autora (2020).

Uma vez que a umidade relativa do interior da célula será sempre menor que a umidade do lado de fora, o transporte de vapor de água foi determinado com base na quantidade de massa de vapor de água absorvida (ganho de massa) pela célula de permeação. Calculou-se a taxa de permeabilidade ao vapor de água, sendo PVA e WVP, calculadas [Equações (7) e (8)], tendo como base os dados de variação de peso ao longo do tempo sob estado estacionário.

$$TVA = \frac{\text{Coeficiente de regressão}}{(\text{Área de permeação m}^2)} \quad (7)$$

$$WVP = \frac{(TVA * E)}{\Delta P} \quad (8)$$

Em que E é a espessura dos filmes em mm e ΔP , a diferença entre as pressões internas (pressão parcial de vapor da água para o ambiente com 0% de UR) e a pressão externa (pressão parcial de vapor de água para o ambiente externo a 60% UR) (em kPa) para a temperatura utilizada durante o ensaio (20 °C).

3.2.10 Espectroscopia de infravermelho por transformada de Fourier (FT-IR)

Os espectros de infravermelho por transformada de Fourier (FT-IR) foram registrados (FTIR-ATR-NIRA, Frontier PerkinElmer, Waltham, EUA) para investigar possíveis interações moleculares dos tratamentos. Os filmes foram colocados no suporte e pressionados pelo sensor de medição. A análise foi feita pelo método ATR. Sessenta varreduras foram feitas para cada amostra, de uma faixa espectral de 600-4000 cm^{-1} e uma resolução de 4 cm^{-1} .

3.2.11 Microscopia de varredura (MEV)

A análise de microscopia eletrônica de varredura (MEV) foi feita para observar a microestrutura das amostras de filme. As análises foram feitas em um microscópio eletrônico de varredura por emissão de campo (MEV-FEG), marca Jeol, modelo JSM-7100F, operando no modo SE (Secondary Electrons). Para a análise microscópica, alíquotas de cada amostra foram fixadas com fita adesiva de dupla face em porta-amostras de latão. As amostras foram examinadas em diferentes regiões e em diferentes magnificações.

3.2.12 Atividade antimicrobiana

A capacidade antimicrobiana dos filmes foi feita pelo ensaio de difusão em ágar de acordo com Pelissari *et al.* (2009) e Shapi'i *et al.* (2020), com algumas modificações, usando os microrganismos *Staphylococcus aureus*, *Pseudomonas aeruginosa* e *Salmonella enteritidis*.

Os filmes foram cortados em discos de aproximadamente 1,5 cm. Cada disco foi esterilizado sob luz ultravioleta de 5 a 10 min de cada lado, antes da realização do teste antimicrobiano. Cada disco de filme foi colocado assepticamente na superfície do meio de cultura de Plate Count Agar (PCA), previamente inoculado com 250 µL de suspensão (escala de MacFarland 1) de cada microrganismo. As placas foram incubadas a 37 °C durante 24 h. O teste foi feito em duplicata para cada amostra, posteriormente foi feita uma replicação biológica (Figura 13).

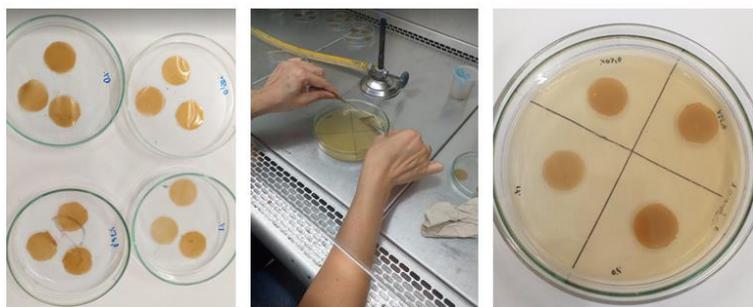


Figura 13 - Análise de atividade antimicrobiana

Fonte: A autora (2020).

3.2.13 Biodegradabilidade

A avaliação de biodegradação dos filmes foi feita para simular condições naturais de degradação em solo e, paralelamente, avaliar a exposição dos filmes à ação de uma microbiota mista presente no solo (STOLL *et al.*, 2017).

Os testes de biodegradabilidade foram feitos segundo a norma ASTM G160 - 03 (2009), controlando a temperatura do sistema e a umidade do solo. As amostras foram enterradas em béqueres, contendo terra previamente preparada, a 5 cm de profundidade, e acondicionadas em incubadora a 30 °C com 99% de umidade relativa ambiente (Figura 14).

A avaliação de degradação foi feita visualmente, inicialmente em triplicata. As amostras foram avaliadas de 12 em 12 h por 2 dias e verificou-se que com 2 dias o filme já se havia biodegradado totalmente, não sendo possível nenhum registro.



Figura 14 - Análise de biodegradabilidade de filmes de pectina incorporados de nanopartículas de ZnO
Fonte: A autora (2020).

3.3 Aplicação de revestimento em mangas *in natura*

3.3.1 Coleta das mangas

Os frutos foram colhidos no mês de dezembro de 2020 em estágio de maturação verde, no local do Instituto Federal Goiano – Câmpus Rio Verde – GO, e

transportados ao Laboratório de Frutas e Hortaliças do Instituto (Figura 1).



Figura 15 - Coleta das amostras

Fonte: A autora (2021).

No laboratório, os frutos foram classificados quanto à ausência de danos mecânicos e ataque de patógenos e então desinfestados em uma solução de hipoclorito de sódio, contendo 100 mg L^{-1} de cloro ativo, durante 10 min (Figura 16).



Figura 16 - Preparo das mangas

Fonte: A autora (2021).

3.3.2 Preparação das soluções filmogênicas e aplicação na superfície da fruta

As soluções de revestimento foram preparadas segundo metodologia descrita por Larrauri *et al.* (2016), com algumas modificações, e constaram da mistura de 1,6% (m m^{-1}) de pectina do mesocarpo do pequi, 0,7% (m m^{-1}) de glicerol, 20% (m m^{-1}) de ácido cítrico e 77,7% (m m^{-1}) de água destilada, como formulação controle.

Primeiramente a pectina foi deixada de molho em água destilada assim como as nanopartículas, que ficaram em agitação em água destilada por 24 h. Posteriormente foi adicionado glicerol, em seguida, foram dissolvidos em água destilada em agitação constante até atingir a temperatura de $70 \text{ }^\circ\text{C}$, após atingir esta temperatura, foi adicionado cloreto de cálcio à solução (solução sem revestimento). Para as soluções que

continham nanopartículas de ZnO (0%; 0,25%; 0,50% e 1%) foram adicionados juntamente com pectina no início. Após finalizadas as soluções, elas foram mantidas em repouso para eliminação das bolhas de ar presentes nas soluções resultantes do processo de homogeneização.

Após o preparo dos revestimentos, os frutos foram imersos nas soluções por 1 minuto, até que toda sua superfície estivesse coberta. Feita a aplicação dos revestimentos, os frutos ficaram dispostos sobre uma bandeja com grade (Figura 17) até sua secagem, transferidos para recipientes devidamente identificados e levados para BOD (Tecnal, TE-371, Piracicaba-SP, Brasil), onde ficaram em armazenamento até o momento da análise.



Figura 17 - Revestimento das mangas

Fonte: A autora (2021).

3.3.3 Caracterização e avaliação da qualidade da manga *in natura*

3.3.3.1 Coloração da epiderme

A incidência de danos durante o armazenamento foi avaliada por meio de observação visual da aparência externa das mangas.

Comparou-se a aparência externa dos frutos com uma escala de notas adaptada de Trindade, Lima e Assis (2015), Xavier *et al.* (2009) e Lima *et al.* (2012), em que 8 = Excelente (fruta isenta de manchas, injúrias ou lesões e podridões; com aparência fresca); 7 = Muito boa (livre de manchas com leve perda de turgidez e redução do brilho); 6 = Boa (presença leve de manchas e leve perda de turgidez em até 5% do fruto); 5 = Regular (presença leve de manchas de até 5% e enrugamento inicial de 5%); 4 = Aceitável (10% de presença de manchas e enrugamento inicial); 3 = Ruim (21 a 40% de presença de manchas e avanço do enrugamento); 2 = Muito ruim (40% a 50%

de manchas e/ou enrugamento severo, lesões extremas e podridão); 1 = Extremamente ruim (75% de manchas, injúrias ou enrugamento e amolecimento aparente); 0 = Péssima (mais de 75% de dano, inaceitável). Baseando-se nessas informações referentes à escala, foram dadas notas aos frutos entre 4 e 0, tendo sido observadas visualmente amolecimento, manchas e podridão no mesocarpo do fruto a cada dia de análise.

3.3.3.2 Perda de massa

A perda de massa foi determinada por método gravimétrico ao longo do armazenamento, obtida por uma balança analítica, com precisão de quatro casas decimais e calibração automática (Marca Aczet CY 224) (Figura 18).



Figura 18 - Disposição das mangas na bancada para pesagem para perda de massa

Fonte: A autora (2021).

Os valores de perda de massa estão expressos em porcentagem, calculada sobre o peso inicial (ROSANOVA, 2013) [Equação (7)]:

$$PMF = \frac{(MFI - MFF)}{MFI} 100 \quad (7)$$

$$PMF = \frac{(MFI - MFF)}{MFI} 100 \quad (8)$$

em que:

PMF = perda de massa fresca (%)

MFI = massa fresca inicial (g)

MFF = massa fresca final (g)

3.3.3.3 Firmeza do fruto

O acompanhamento de firmeza dos frutos foi determinado pelo uso de um aplanador de pedestal (CALBO; NERY, 1995), sobre o qual repousou a cuba de vidro. O peso da cuba (1,107 kg) promoveu uma deformação na região de contato com o fruto. A análise foi feita em triplicata pela medição do comprimento e da largura com avaliação de três regiões de cada fruto, com o auxílio de um paquímetro digital (Digimess) (Figura 19).



Figura 19 - Análise de firmeza da manga

Fonte: A autora (2021).

Os valores obtidos foram utilizados para calcular a firmeza dos frutos [Equação (8)]:

$$FZ (Kgf.cm^2) = \left(\frac{P}{A} \right) \quad (8)$$

em que:

FZ = firmeza de polpa (kgf.cm²)

P = peso da cuba de vidro (kg)

A = 0,784 x comprimento maior x comprimento menor (cm²).

3.3.3.4 Teor de sólidos solúveis

O teor de sólidos solúveis foi obtido do suco dos frutos. Para obtenção do suco, as amostras foram cortadas em tamanhos pequenos, maceradas em cadinho e mensuradas em refratômetro analógico (modelo Kruss Optronic Germany – DR301-95),

previamente calibrado com água destilada, tendo os valores sido expressos em °Brix.

A medição foi feita depositando uma pequena quantidade do suco homogeneizado sobre a superfície do prisma (Figura 20) dando início à leitura dos valores de forma direta, segundo método N° 932.12 – AOAC (2005) (MALLI *et al.*, 2003).



Figura 20 - Análise de °Brix das mangas

Fonte: A autora (2021).

3.3.3.5 Acidez titulável

A acidez titulável foi obtida a partir da homogeneização dos frutos. Foram pesados 2 g do tecido fresco, adicionados 20 mL de água destilada e 3 gotas de fenolftaleína. Por fim, procedeu-se à titulação com hidróxido de sódio (NaOH) (0,1N) (Figura 21).



Figura 21 Análise acidez titulável das mangas

Fonte: A autora (2021).

A acidez foi expressa em percentagem de ácido cítrico [Equação (9)]:

$$AT = ((V) \times (N) \times \left(\frac{0,064}{6}\right)) \times 100 \quad (9)$$

em que:

AT = acidez titulável (% ácido cítrico)

V = volume gasto de NaOH (mL)

N = normalidade do NaOH

3.3.3.6 Taxa respiratória

A determinação das taxas respiratórias foi feita conforme metodologia descrita por Castricini *et al.* (2004) e Rocha (2020), com modificações, conforme detalhado a seguir.

Para taxa respiratória, cada tratamento foi feito em forma duplicata. No interior de cada recipiente, foi acondicionado um fruto com um reservatório de polipropileno contendo 10 mL de NaOH 0,5N, que funcionou como fixador do CO₂ produzido no processo de respiração. Cada tratamento contou com uma repetição denominada prova em branco (controle), preparada sem o fruto. Todos os recipientes tiveram sua vedação reforçada com película de filme PVC para evitar que ocorressem trocas gasosas com o meio externo. Os frutos permaneceram em cada frasco por um período de duas horas (Figura 22).



Figura 22 - Recipientes vedados para determinação das taxas respiratórias

Fonte: A autora (2021).

Para a taxa respiratória, foram necessários de 12 dias. As amostras foram armazenadas na BOD (Tecnal TE-371, Piracicaba-SP, Brasil) e as análises feitas com intervalo de 3 em dias. No dia da análise, as amostras eram retiradas da BOD e em um

recipiente era acondicionado o fruto com um reservatório de polipropileno contendo 10 mL de NaOH 0,5N, sendo as amostras colocadas de volta na BOD por 2 h até o momento da análise. Após o período de duas horas, a solução de NaOH era retirada do reservatório e transferida para um Erlenmeyer. A esta solução foram adicionadas três gotas do indicador fenolftaleína, em seguida procedeu-se à titulação com ácido clorídrico a 0,1N.

A taxa respiratória foi expressa em mg de CO₂ kg⁻¹ h⁻¹, e o cálculo obtido pela Equação (10):

$$\text{mg CO}_2 \cdot \text{g matéria fresca}^{-1} = \frac{(B-L) \times C}{MF} \quad (10)$$

em que:

B = volume em mL gasto para a titulação do “branco” (recipiente sem o fruto, somente com o copinho contendo o NaOH), e todos os intervalos de tempo tendo seu próprio valor para cada tratamento;

L = leitura do volume gasto para neutralizar o NaOH submetido à respiração dos frutos;

C = fator de correção (3,52); e

MF = massa fresca dos frutos no momento das avaliações.

A taxa respiratória horária foi obtida pela Equação (11):

$$\text{mg CO}_2 \cdot \text{Kg}^{-1} \cdot \text{h}^{-1} = \left(\frac{\text{mg}_{\text{matéria fresca}}^{\text{CO}_2}}{\text{IT}} \right) \times 100 \quad (11)$$

em que:

IT = Intervalo de tempo entre as titulações (2 h).

3.3.4 Análise estatística

As análises deste estudo foram feitas em triplicata e os dados avaliados utilizando a análise de variância (ANOVA) e, em caso de diferenças significativas, aplicado o teste de Tukey (p<0,05).

Para coloração da epiderme, foram atribuídas notas conforme a escala de cor para manga (avaliada visualmente), perda de massa, firmeza do fruto, teor de sólidos solúveis, acidez titulável e duplicata para taxa respiratória, tendo sido feito teste

regressão linear ($p < 0,05$) para os resultados.

3.4 Resultados

3.4.1 Teor de umidade, solubilidade e espessura e gramatura

O aumento da concentração de nanopartículas de ZnO reduziu significativamente o teor de umidade dos filmes (Tabela 2), o que pode estar relacionado com a redução na absorção de água pelos filmes. O tratamento T4 apresentou o menor teor de água, e esse resultado provavelmente se deve às ligações de hidrogênio, pois os grupos carboxilas e hidroxilas, quando disponíveis, podem formar pontes de hidrogênio, que se ligam com a água. Outra explicação pode estar também na presença do glicerol, que, por ser um composto hidrofílico, reage com a água, favorecendo sua absorção, e tem a ação de agir facilmente 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. Estudo conduzido por Huntrakul e Harnkarnsujarit (2020), que trabalharam com filmes ativos de bicamada, com base em amido de mandioca incorporado com nanobastões de ZnO, relatou que as ligações de hidrogênio formadas entre plastificantes e nanopartículas reduzem a capacidade das moléculas de água livre de interagir com o filme, uma vez que o glicerol e o sorbitol são moléculas altamente higroscópicas.

Tabela 2 - Teor de água, solubilidade, espessura e gramatura dos filmes biodegradáveis

Formulações	Teor de água (%)	Solubilidade (%)	Espessura (mm)	Gramatura (g cm ⁻²)
T1	29,519 ^a ± 2,02	95,017 ^a ± 2,445	0,13 ^a ± 0,017	2,987 ^a ± 0,93
T2	27,225 ^a ± 1,76	94,544 ^a ± 3,589	0,11 ^a ± 0,008	1,797 ^{ab} ± 0,22
T3	20,077 ^b ± 1,33	90,012 ^a ± 4,709	0,11 ^a ± 0,025	1,358 ^b ± 0,22
T4	19,282 ^b ± 2,28	95,151 ^a ± 2,181	0,10 ^a ± 0,023	2,231 ^{ab} ± 0,27

Médias seguidas das mesmas letras na coluna não diferem entre si a nível de 0,05 pelo teste de Tukey.

A solubilidade em água desempenha papel crítico em filmes biodegradáveis e na permeabilidade ao vapor de água, sendo atributos das caracterizações de filmes para fornecer uma melhor compreensão do comportamento quando o filme entra em contato com a água (LI *et al.*, 2021). Os filmes de todos os tratamentos foram solúveis em água

com aproximadamente 95,01%, sugerindo que a estrutura hidrofílica melhora a solubilidade. Esses valores de solubilidade facilitaram a biodegradabilidade dos filmes em 48 h (Figura 22). De acordo com Mujtaba *et al.* (2019), uma alta solubilidade é desejada para aplicações de filmes e revestimentos comestíveis na indústria de alimentos em razão do aumento da hidrofobicidade, que vai provocar redução na absorção e na transferência de vapor de água e também na capacidade antioxidante.

Todos os filmes apresentaram-se homogêneos com superfícies lisas. Nenhuma diferença estatisticamente significativa foi observada na espessura dos filmes (Tabela 2). Ambos apresentaram o mesmo valor para o tratamento com ou sem adição de nanopartículas. Os diâmetros médios de espessura dos filmes variaram de 0,10 a 0,13 mm. De forma semelhante, Wardana *et al.* (2018) e Jafarian *et al.* (2020) relataram que a espessura total do filme nanocompósito aumentou de forma não significativa pela adição de nanopartículas.

As gramaturas do T2 e T3 foram de 1,797 g cm⁻² e de 1,358 g cm⁻², respectivamente, apresentando os menores valores. A gramatura e a espessura facilitaram a biodegradabilidade dos filmes.

3.4.2 Propriedades ópticas

3.4.2.1 Cor e opacidade

A Tabela 3 mostra os valores de luminosidade (L*), a* e b* e opacidade (média ± desvio padrão) para cada um dos tratamentos de filmes produzidos, com diferentes adições de nanopartículas de ZnO.

Tabela 3 - Parâmetros cor e opacidade dos filmes ativos biodegradáveis incorporados com nanopartículas

Parâmetros de cor	Formulação			
	T1	T2	T3	T4
Luminosidade (L*)	67,043 ^a ±1,74	67,893 ^a ±1,98	69,577 ^a ±1,15	70,517 ^a ±0,23
Cromaticidade a*	8,77 ^a ±0,42	8,409 ^a ±0,76	7,724 ^a ±0,32	9,057 ^a ±3,41
Cromaticidade b*	30,383 ^a ±0,75	30,879 ^a ±1,07	29,177 ^a ±1,19	28,677 ^a ±2,04
Chroma (C*)	31,625 ^a ±0,808	32,006 ^a ±1,206	30,186 ^a ±1,95	30,172 ^a ±2,619
Hue (h°)	73,897 ^a ±0,532	74,826 ^a ±0,914	75,164 ^a ±0,583	72,671 ^a ±0,573
Opacidade	5,533 ^a ±0,09	3,968 ^a ±0,443	3,377 ^a ±1,37	5,350 ^a ±1,47

Médias seguidas das mesmas letras na linha não diferem entre si a nível de 0,05 pelo teste de Tukey.

A Tabela 3 mostra o efeito da adição de nanopartículas de ZnO nos parâmetros de cor dos filmes. O aumento da concentração de nanopartículas de ZnO levou a um aumento significativa no índice de luminosidade (L).

Ângulo Hue (h°) é considerado um atributo qualitativo de cor, o filme T3 apresentou maior valor, ou seja, apresentou a melhor qualidade de cor, como também o menor valor para cromaticidade a^* , mostrando tendência para coloração verde avermelhada em relação aos demais filmes.

O tratamento com adição 1 % de nanopartículas (T4) apresentou o menor valor para qualidade (h°), apresentando uma coloração amarela forte, tendendo ao marrom. Também apresentou o maior valor para cromaticidade a^* . Abdulhameed.; Jawad; Mohammad (2019) verificaram que, ao aumentar as nanopartículas de óxido de zinco, o fator a^* aumentou, resultado semelhante ao deste trabalho.

Os resultados mostraram que o óxido de zinco não afetou a opacidade, pois apresentou valores semelhantes para todos os tratamentos.

3.4.3 Propriedades mecânicas

A Tabela 4 mostra os valores registrados nas propriedades mecânicas para tensão máxima, tensão de ruptura, alongação e módulo de elasticidade.

Tabela 4 - Propriedades mecânicas dos filmes ativos biodegradáveis incorporados com nanopartículas

Propriedades mecânicas	Formulação			
	T1	T2	T3	T4
Tensão Máxima (MPa)	2,32 ^b ± 0,49	2,53 ^b ± 0,94	2,17 ^b ± 0,64	1,54 ^a ± 0,61
Tensão de Ruptura (MPa)	1,35 ^b ± 0,58	1,68 ^a ± 1,19	1,06 ^a ± 1,01	0,82 ^c ± 0,66
Elongação (%)	16,97 ^a ± 3,59	12,97 ^a ± 3,89	16,28 ^a ± 4,50	14,45 ^a ± 5,26
Módulo de Elasticidade	19,67 ^b ± 6,26	37,30 ^c ± 26,81	24,31 ^c ± 16,01	15,87 ^a ± 9,20

As formulações T1, T2 e T3 não diferiram entre si para as propriedades de tensão máxima e tensão de ruptura, indicando que a incorporação das nanopartículas de ZnO não exerceu influência sobre essas propriedades, não havendo diferença estatística para a máxima força suportada pelos filmes antes da ruptura. Para o filme T4 (adição de 1% de nanopartículas ZnO), pode ser observada diminuição significativa da tensão máxima e da tensão de ruptura.

A adição de NPs de ZnO variou significativamente para os resultados de

elongação para o tratamento T1 e T4, indicando que o filme sem nanopartículas apresentou mais alongamento com a presença de nanopartículas de ZnO. Rodrigues *et al.* (2020), que trabalharam com propriedades mecânicas, térmicas e antimicrobianas do nanocompósito à base de quitosana, obtiveram valores bastante inferiores, de $0,92 \pm 0,12$ para porcentagem de Np-ZnO e de $0,31 \pm 0,12$ para porcentagem de Np-Argila, ambos com efeito positivo na capacidade de alongamento dos filmes até a ruptura.

Os filmes apresentaram valores entre 37 e 15 MPa para o módulo de elasticidade e foi observada diferença estatística entre as diferentes formulações dos filmes, sendo que T2 diferiu estatisticamente dos demais, tendo apresentado o maior valor de rigidez, seguido do filme controle T3. No estudo de Alizadeh-Sani *et al.* (2020), foram encontrados valores entre $10,71 \pm 0,02$ e $37,34 \pm 0,05$ MPa para o módulo de elasticidade de filmes nanocompósito ativo consistindo em caseinato de sódio, nanopartículas de ZnO e óleo essencial de alecrim. Estes autores relataram que esses comportamentos podem estar associados a uma estrutura mais comprimida desses nanocompósitos, além disso, tais melhorias nas propriedades mecânicas podem ser atribuídas à compatibilidade adequada entre o biopolímero e os NPs de ZnO em razão das interações únicas (por exemplo, ligações de hidrogênio entre íons de Zn).

3.4.4 Propriedades térmica

A Figura 23 apresenta as propriedades térmicas dos filmes incorporados com nanopartículas de ZnO.

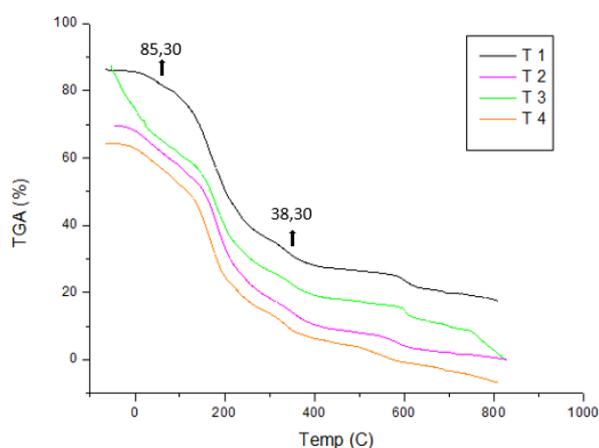


Figura 23 - Propriedades Térmicas

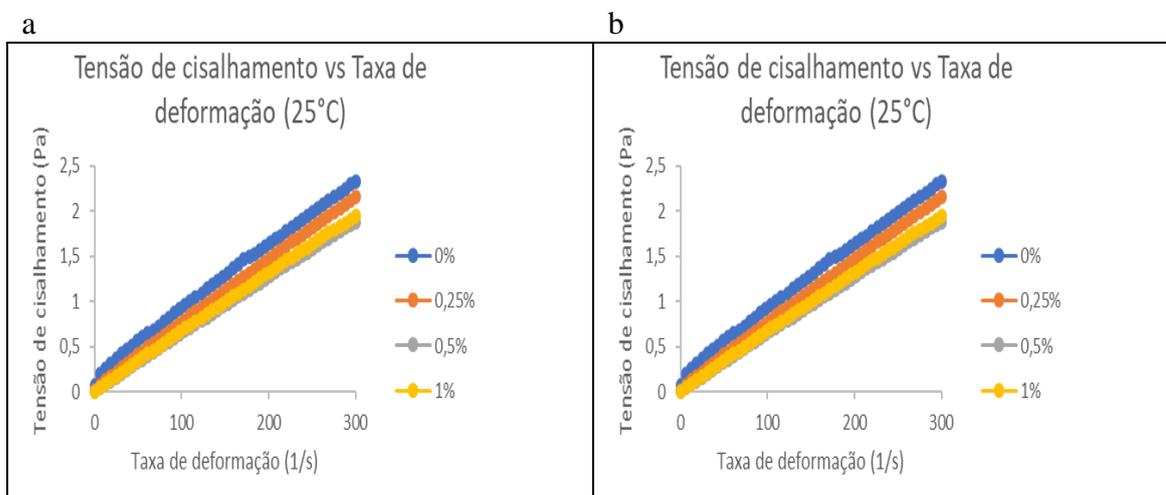
Fonte: A autora (2020).

A Figura 23 mostra as curvas de TGA (análise termogravimétrica) ilustrando os estágios da perda de peso. Existem quatro estágios dos tratamentos com dois picos importantes: o maior pico com 85,30% e o menor com 38,30%. A primeira perda de peso inicial dos filmes foi de $-80\text{ }^{\circ}\text{C}$ a $-85\text{ }^{\circ}\text{C}$, que pode estar relacionada às perdas de umidade (NASREEN; KHAN; MUSTAFA, 2016). Esses picos são considerados endotérmicos, pois ocorrem em temperaturas em torno de $70\text{ }^{\circ}\text{C}$ a $85\text{ }^{\circ}\text{C}$, sendo atribuídos ao processo de desidratação de moléculas como nanocompósitos (RODRIGUES *et al.*, 2020). A segunda foi encontrada em $\approx 360\text{ }^{\circ}\text{C}$ a $-370\text{ }^{\circ}\text{C}$, respectivamente, podendo ser atribuída à decomposição de matrizes da pectina do mesocarpo (SOFLA; MORTAZAVI; SEYFI, 2020).

As curvas dos tratamentos T1 e T3 mostraram comportamento diferente, o que pode estar relacionado com o pico de relaxamento conforme descrito no estudo de Falqi *et al.* (2018), que observaram pico de relaxamento nessa mesma temperatura. Esses estágios desempenham um papel importante no processamento e na aplicação de alimentos, pois eles informam a estabilidade em função da temperatura (JAFARIAN *et al.*, 2020).

3.4.5 Análise de reologia

A Figura 24 mostra os resultados das análises reológicas das soluções filmogênicas quanto à tensão de cisalhamento e à viscosidade. As curvas de escoamento foram feitas para as soluções filmogênicas em duas temperaturas, $25\text{ }^{\circ}\text{C}$ e $40\text{ }^{\circ}\text{C}$.



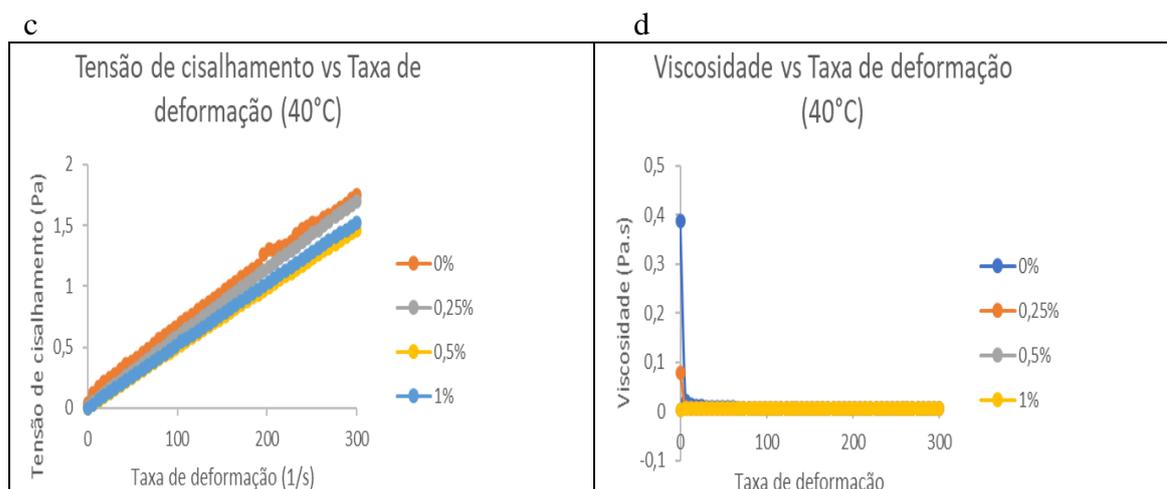


Figura 24 - Resultados das análises reológicas das soluções filmogênicas incorporadas com nanopartículas de ZnO, analisadas a 25 °C (a, b) e a 40 °C (c, d)

Fonte: A autora (2020).

O comportamento reológico de cada de solução filmogênica pode ser observado através das curvas de fluxo, que relacionam a tensão de cisalhamento com a taxa de deformação (Figuras 20a e 20c), nas temperaturas de 25 °C e 40 °C, sendo ambos os tratamentos considerados fluidos newtonianos pela relação linear entre a tensão e a taxa de deformação e por não apresentarem uma tensão inicial de escoamento.

As Figuras 20b e 20d apresentam a relação constante entre a viscosidade e a taxa de deformação para as soluções filmogênicas. Observa-se que os valores de viscosidade se mantêm constantes em relação à variação de taxa de deformação, e não diferenciaram entre si, resultando em linhas sobrepostas.

Os valores de tensão T1 e T2 foram 0,00815 Pas e 0,00512 Pas, respectivamente, indicando que a adição de ZnO-NPs alterou a tensão de cisalhamento significativamente, tendo os dois tratamentos apresentado os maiores valores para as duas temperaturas. Os demais tratamentos (T3 e T4) mostraram comportamento semelhante para tensão de cisalhamento.

As Figuras 20b e 20d ilustram a viscosidade, indicando a não dependência do cisalhamento. As retas de viscosidade dos tratamentos coincidiram entre si. Os resultados também sugeriram que não houve efeito significativo da adição de ZnO-NPs na viscosidade. Mesmo com aumento da temperatura, esta adição não promoveu aumento nem diminuição na viscosidade dos tratamentos.

Parâmetros reológicos dos modelos de Newton e Lei da Potência ajustados aos

dados experimentais da curva de tensão de cisalhamento em função da taxa de deformação, a 25 °C e 40 °C, coeficientes de determinação (R^2) e desvios percentuais médios (P) Tabela 5).

Tabela 5 - Parâmetros reológicos do modelo de Newton e Lei da Potência nas temperaturas de 25 °C e 40 °C. Solução Filmogênica 1,6% Pectina, 0,7% glicerol, 0/0,25/0,50 e 1% Nanopartículas de ZnO

Parâmetros	Temperaturas (°C)		
	25	40	
Newton	μ (Pa.s)	0,0065	0,0051
	R^2	0,9996	0,9998
	Erro (P) (%)	3,0272	1,9432
Ostwald-De-Waele	K (Pa.s ⁿ)	0,0079	0,0058
	n	0,9638	0,9763
	R^2	0,9638	0,9999
	Erro (P) (%)	0,9999	0,8851

Os resultados obtidos foram bem próximos, diferenciando-se apenas para os valores de percentuais médios (P), com o aumento da temperatura observa-se diminuição dos valores dos percentuais.

3.4.6 Permeabilidade ao vapor de água (wvp)

A Tabela 6 apresenta as propriedades de permeabilidade ao vapor de água dos filmes.

Tabela 6 - Permeabilidade ao vapor de água

Formulação	Permeabilidade ao vapor de água[(g.mm)/(m2.dia.kPa)]
T1	10,575 ^{ab} ±1,907
T2	13,219 ^a ±0,861
T3	10,237 ^b ±0,491
T4	8,848 ^b ±0,613

Médias seguidas das mesmas letras na coluna não diferem entre si a nível de 0,05 pelo teste de Tukey.

A permeabilidade ao vapor de água (WVP) é considerada uma das propriedades de barreira dos filmes mais importantes para verificar e avaliar a qualidade dos filmes com o objetivo de estimar a vida útil dos produtos alimentícios (Ma *et al.*, 2017). Os valores de T1 e T3 variaram de 10,237 g mm/m².d kPa a 10,575 g mm/m².d, não tendo kPa apresentado diferença significativa. Enquanto o valor de T2 está na faixa de 13,219 g mm/m² d kPa, apresentando o maior valor de (WVP), resultado mostra uma pequena ruptura causada por uma maior quantidade de água (Figura 16).

O valor PVA do filme T4 foi $8,848 \pm 0,613$ g mm/m² d kPa, apresentando o menor valor como também apresentou o menor teor de água (Tabela 2). A adição das nanopartículas contribuiu para o aumento da resistência do filme à permeação de vapores de água. Esse aumento da resistência está ligado à hidrofobicidade das nanopartículas de ZnO, ou seja, as nanopartículas podem ter a ação de repelir a água (RAHMAN *et al.*, 2018). Além disso, o aumento da porcentagem de ZnO no nanocompósito pode aumentar as conexões interdisciplinares e preencher os espaços vazios entre a matriz do biopolímeros, conforme estudo de Mehdi *et al.* (2013).

Os resultados ilustraram que filmes com 1% de ZnO-NPs (T4) apresentaram menor valor de PVA em comparação com os demais. De acordo com Esteghlal, Niakousari e Hosseini (2018), o conteúdo de água penetrado na embalagem do alimento deve ser minimizado, ou seja, baixos valores de WVP para filmes eram favoráveis, sendo a estrutura do polímero um dos fatores mais importantes na transmitância de vapor de água dos filmes. Os materiais biodegradáveis com alta solubilidade e baixo WVP são considerados de melhor uso em embalagens de alimentos (MUNOZ *et al.*, 2010).

3.4.7 Espectroscopia de infravermelho por transformada de Fourier (FT-IR)

A Figura 25 mostra os espectros de infravermelho (FTIR) (tratamentos T1, T2, T3, T4 e pectina do mesocarpo do pequi) para identificar possíveis interações químicas entre os componentes dos filmes. Os espectros têm intensidade de pico e posicionamento muito semelhantes entre os tratamentos estudados.

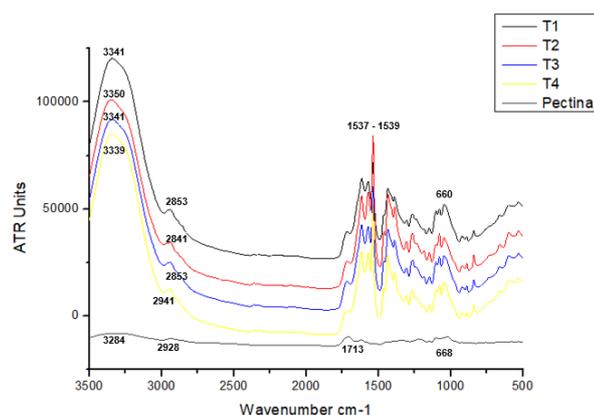


Figura 25 - Espectros de FT-IR para os diferentes filmes de pectinas incorporados com nanopartículas. Composição dos filmes: T1 (0% de nanopartículas), T2 (0,25% de nanopartículas), T3 (0,50% de nanopartículas) e T4 (1% de nanopartículas)

Fonte: A autora (2020).

O padrão característico de FT-IR foi mostrado na Figura 17, que fornece uma visão geral da banda de absorção em 3350 a 3284 cm^{-1} , correspondendo à contribuição do alongamento de vibração -NH e -OH. As bandas citadas acima devem pertencer ao glicerol e à água por meio de ligações de hidrogênio. Além disso, as bandas de absorção em 1537-1539 e 1713 cm^{-1} corresponderam ao alongamento C=O e C=O, respectivamente. Segundo Siqueira, R. (2019), as bandas que se localizam no intervalo de 1500 a 1800 cm^{-1} correspondem aos picos esterificados, e os não esterificados coincidem com as bandas avaliadas para determinação do grau de esterificação da pectina do mesocarpo do pequi. Os picos em 2841 a 2928 cm^{-1} corresponderam ao alongamento C-H, sendo essas vibrações características de materiais de matriz polimérica orgânica.

3.4.8 Microscopia eletrônica de varredura

A Figura 18 mostra a morfologia da superfície dos filmes. Com o aumento das adições das nanopartículas de ZnO, as microestruturas foram aparecendo nas superfícies. Quanto maior o conteúdo de nanopartículas de ZnO, mais partículas brancas foram agregadas, o que pode indicar que a dispersão ou mistura foi incompleta em razão das nanopartículas em diferentes conteúdos na maior parte dos filmes.

Indumathi, Sarojini e Rajarajeswari (2019), que trabalharam com películas compostas de poliuretano/quitosana/nano ZnO à base de óleo Mahua para aplicações de embalagens de alimentos biodegradáveis, também observaram aglomeração das

nanopartículas, similarmente ao nosso trabalho.

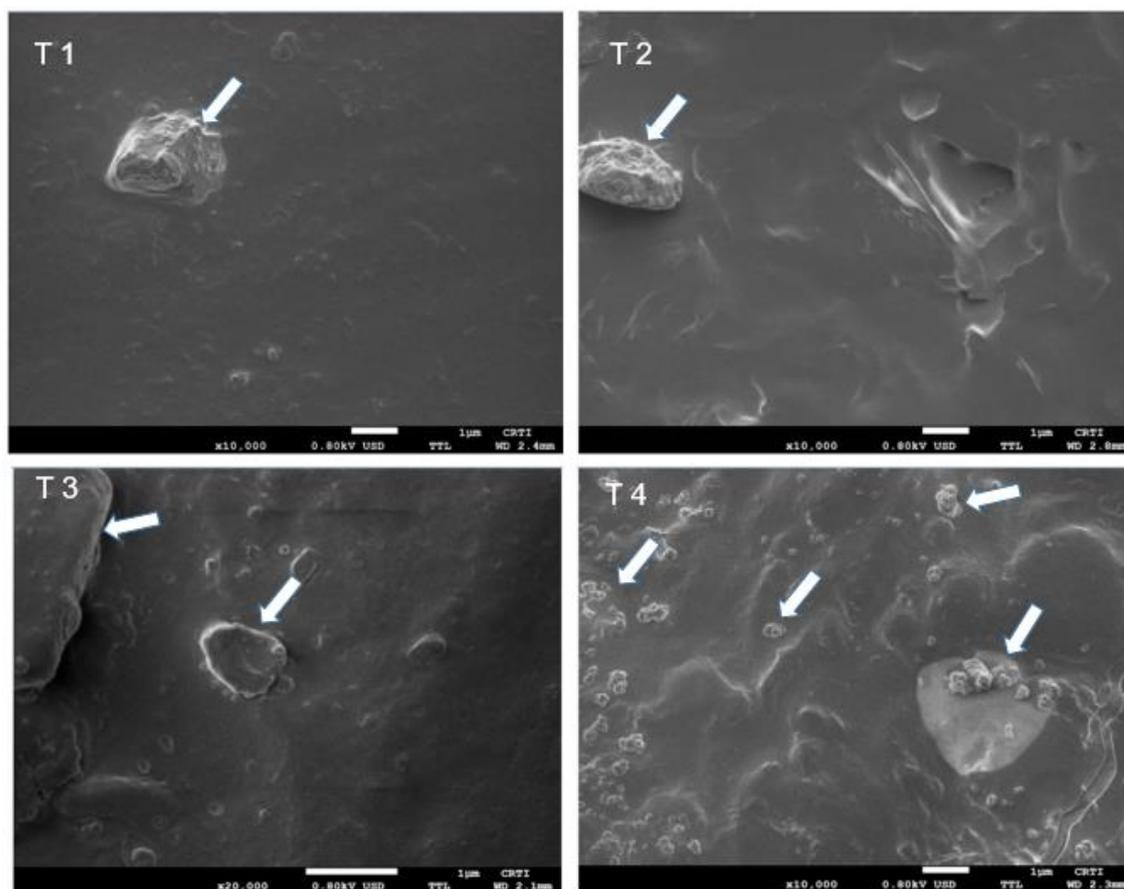


Figura 26 - Imagens de microscopia eletrônica de varredura de superfície de filmes incorporados com nanopartículas de ZnO. (T1) 0% de nanopartículas, (T2) 0,25% de nanopartículas, (T3) 0,50% de nanopartículas e (T4) 1 % de nanopartículas

Fonte: A autora (2020).

A Figura 26 mostra a microscopia eletrônica de varredura do corte transversal dos filmes. Foram verificados pontos claros, brilhantes para o tratamento T3, tendo as nanopartículas influenciado na morfologia do filme. Babaei-Ghazvini, Shahabi-Ghahfarrokhi e Goudarzi (2018) avaliaram a preparação do amido protetor UV/kefiran/zno nanocompósito como um filme de embalagem, tendo esses pontos também sido encontrados em seus filmes na seção transversal. No trabalho de Rodrigues *et al.* (2020), foi observada uma distribuição de nanopartículas de ZnO na forma de linhas (anisotrópicas), indicando presença de Zn.

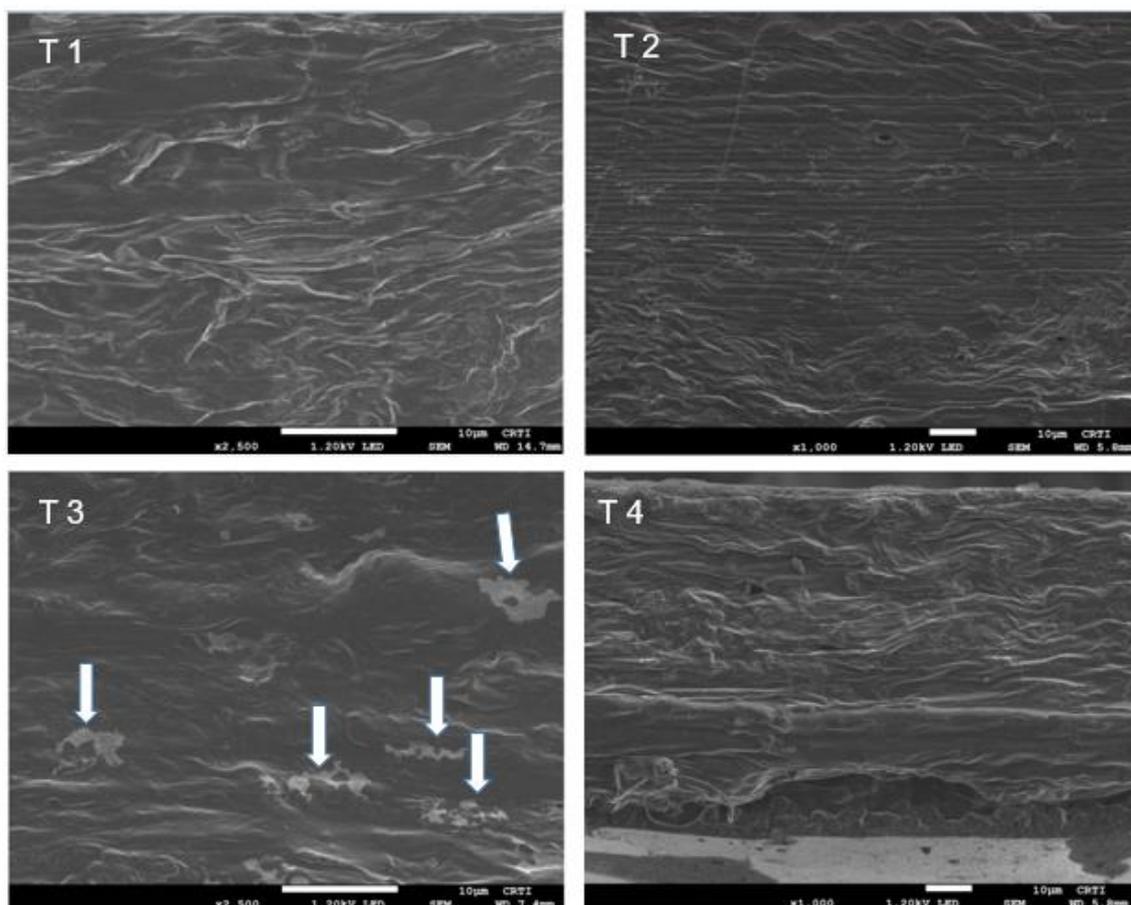


Figura 27 - Imagens de microscopia eletrônica de varredura de transversal de filmes incorporados com nanopartículas de ZnO. (T1) 0% de nanopartículas, (T2) 0,25% de nanopartículas, (T3) 0,50% de nanopartículas e (T4) 1 % de nanopartículas

Fonte: A autora (2020).

3.4.9 Atividade antimicrobiana

A Figura 28 mostra a atividade antimicrobiana para os diferentes filmes de pectinas incorporadas com 0%; 0,25%; 0,50% e 1% de nanopartículas contra *Staphylococcus aureus*, *Pseudomonas aeruginosa* e *Salmonella enteritidis*, conforme indicado pela zona de inibição em torno dos halos de filmes, tendo apresentado excelente propriedade antibacteriana.

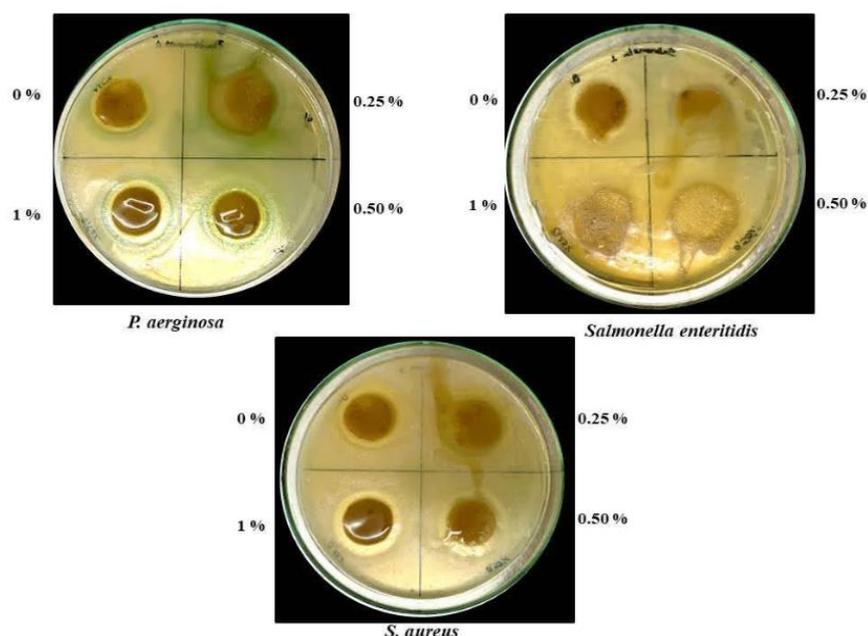


Figura 28 - Atividade antimicrobiana para os diferentes filmes de pectinas incorporados com 0%; 0,25%; 0,50% e 1% de nanopartículas contra *Staphylococcus aureus*, *Pseudomonas aeruginosa* e *Salmonella enteritidis*

Fonte: A autora (2020).

Os resultados das atividades antibacterianas indicaram que os filmes inibiram o desenvolvimento microbiano, apresentaram resultados positivos, essa eficiência antibacteriana se devendo à presença da pectina do mesocarpo do pequi, já que pode ser observado que os halos não apresentaram tamanhos diferentes com relação à adição das concentrações das nanopartículas de ZnO.

No entanto, o aumento na concentração das nanopartículas ZnO não causou diferença significativa na atividade antibacteriana dos filmes, como pode ser visto nos resultados das zonas de inibição na Tabela 7. Além disso, os resultados mostraram que a maior atividade com halo de inibição de todas as amostras de filme foi o de *Staphylococcus aureus*, indicando que a atividade antibacteriana dos filmes incorporados com nanopartículas de ZnO contra bactérias gram-positivas foi maior do que contra bactérias gram-negativas.

Tabela 7 - Resultados da média das zonas de inibição

Formulação	<i>Staphylococcus aureus</i> (cm)	<i>Pseudomonas aeruginosa</i> (cm)	<i>Salmonella enteritidis</i> (cm)
T1	0,5 ^a ± 0,14	0,5 ^a ± 0,07	0,55 ^a ± 0,07
T2	0,5 ^a ± 0,00	0,45 ^a ± 0,00	0,35 ^a ± 0,07
T3	0,45 ^a ± 0,21	0,5 ^a ± 0,00	0,35 ^a ± 0,07
T4	0,6 ^a ± 0,14	0,45 ^a ± 0,07	0,35 ^a ± 0,07

3.4.10 Biodegradabilidade

A análise de biodegradabilidade dos filmes de pectinas incorporados com nanopartículas mostrou que houve degradabilidade total de 2 dias (Figura 29).

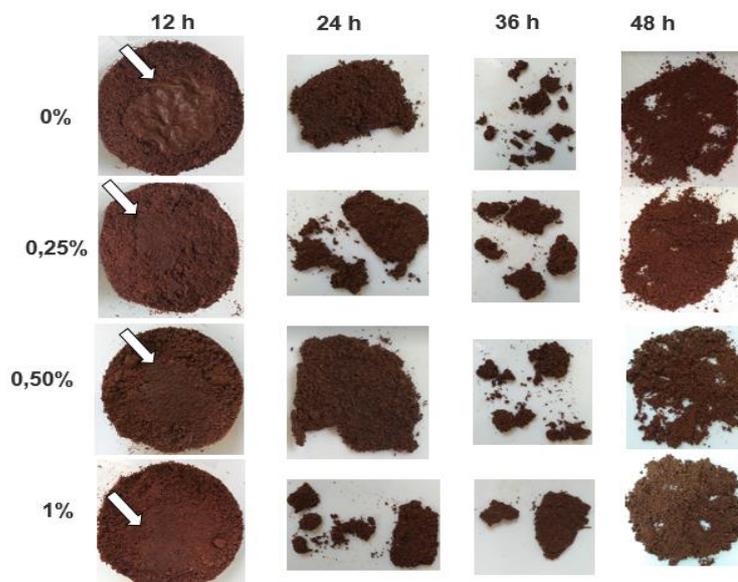


Figura 29 - Imagens dos filmes de pectinas incorporados com nanopartículas no dia inicial até data final de análise de biodegradabilidade: filmes T1, T2, T3 e T4. Composição dos filmes: T1 (0% de nanopartículas), T2 (0,25% de nanopartículas), T3 (0,50% de nanopartículas) e T4 (1% de nanopartículas)

Fonte: A autora (220).

Pode-se observar a ação dos microrganismos e de suas enzimas na biodegradação dos filmes em todos os tratamentos. Um dos motivos são a alta solubilidade dos filmes, que apresentaram mais de 90%, e a baixa taxa da espessura. A espessura quanto à solubilidade com ação dos microrganismos facilitou a biodegradação, tendo os filmes se desintegrado quase que totalmente, perdendo sua forma original.

O ponto positivo está na alta biodegradabilidade dos filmes, porém, olhando o outro lado, há que se observar o ambiente em que esses filmes serão armazenados, e tal observação envolve temperatura, umidade e o alimento a ser aplicado.

3.4.11 Avaliação da qualidade do fruto

3.4.11.1 Coloração da epiderme

A escala de classificação de cores de 0 a 4 foi empregada para investigar o processo de amadurecimento da manga durante o armazenamento. Conforme mostrado na Tabela 10a, com a manga revestida a 0% de nanopartículas de ZnO (T1), a cor da casca mudou da escala 0 para a escala 4 após 9 dias, tornando-se totalmente degradada após 12 dias de armazenamento. Na manga revestida com 1% (T4), a mudança na cor da casca foi significativamente positiva, pois uma escala de cor de apenas 3 foi determinada após 12 dias de armazenamento, apresentando assim o melhor resultado em comparação com os demais tratamentos. Os demais tratamentos (T2 e T3) apresentaram escala de cor semelhante.

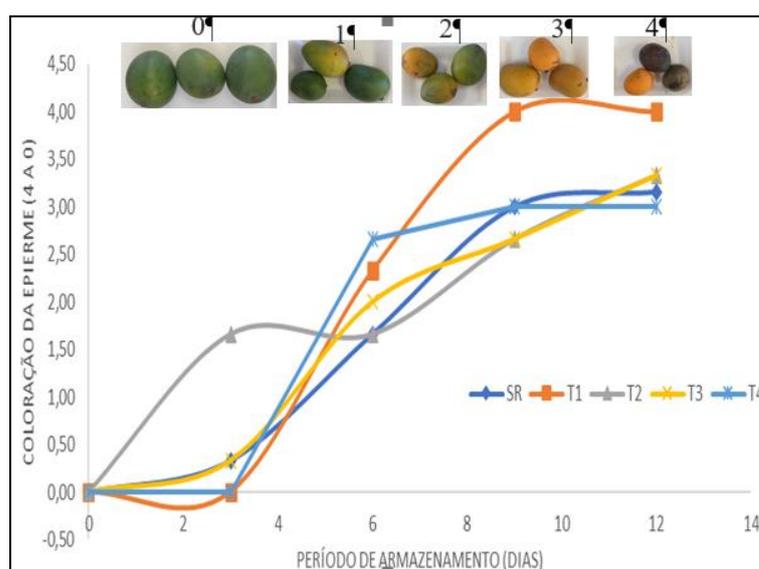


Figura 30 - (a) Classificação da coloração da epiderme de frutos de mangas revestidos com pectina do mesocarpo do pequi incorporados com nanopartículas de ZnO. 0 = Frutos com 100% do epicarpo verde; 1 = Frutos com até 75% do epicarpo verde; 2 = Frutos com 50% do epicarpo verde; 3 = Frutos com até 75% do epicarpo amarelo; e 4 = Frutos com 100% do epicarpo amarelo com enrugamento em intensidade severa e/ou podridão

Fonte: A autora (2021).

A determinação da mudança de coloração da epiderme externa observada visualmente é considerada uma das mais confiáveis para mangas (GILL; JAWANDHA; KAUR, 2017; KOUR et al., 2018). Ao observar os tratamentos em cada época de avaliação (Figura 10b), pode-se constatar que os frutos tratados com 1% de nanopartículas de ZnO e SR apresentaram colorações bem próximas ao longo de todo o período de armazenamento, em comparação com os demais tratamentos.

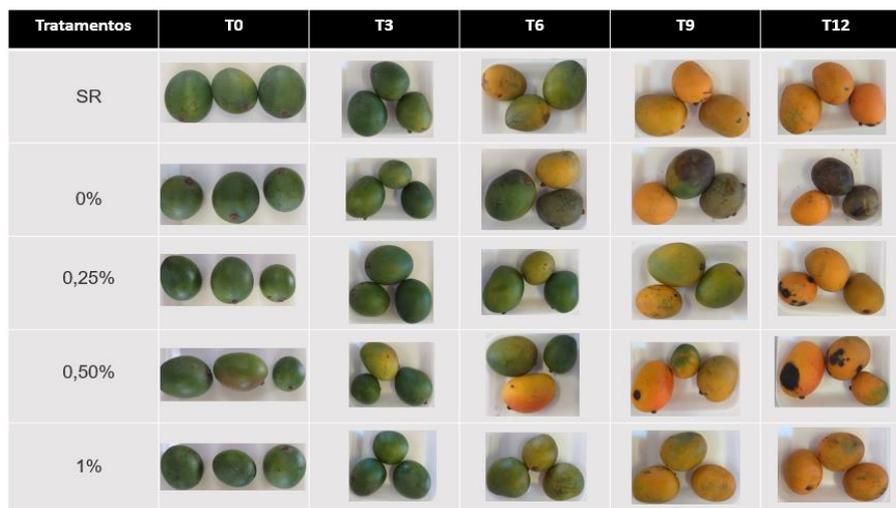


Figura 31 - (b) Tabela de resultados das mangas revestidas com pectina do mesocarpo do pequi incorporadas com nanopartículas de ZnO

Fonte: A autora (2021).

A coloração da epiderme variou, conforme os tratamentos, durante o período de armazenamento. A coloração foi significativamente diferente entre o tratamento SR e o 0%: o primeiro não utilizou nenhum revestimento, enquanto o segundo utilizou 1,6% de pectina + 0% de nanopartículas ao longo de todo o período de armazenamento (Figura 10). A manga SR (sem revestimento) tende a perder a cor mais rapidamente que a manga com tratamento de revestimento. A coloração da epiderme da manga mudou de verde para amarelo no início do armazenamento e depois mudou lentamente de amarelo para amarelo claro e, finalmente, para laranja. Esse processo é constituído principalmente pelo composto de clorofila, que é responsável pela cor verde, sendo esse composto degradado pela enzima clorofilase para formar xantofila e outros pigmentos, levando ao aspecto amarelado da manga. No tempo 6 de armazenamento (Figura 10b) a manga 0% começou a apresentar a pele mais enrugada, enquanto nos demais tempos ainda houve manutenção da rigidez da pele. É claro que a manga com uso de revestimento apresentou melhor resultado em comparação com a de 0%, que, após 12 dias, tornou-se totalmente inadequada para consumo.

Diaz-Sobac, Perez-Flores e Vernon-Carter (2000) explicaram que altos níveis de CO₂ no interior da fruta inibem a síntese de etileno e o amolecimento do tecido da fruta, aumentando, assim, a resistência da manga ao ataque da antracnose.

No tempo 9, as mangas com revestimentos 0,25% e 0,50% apresentaram presença de manchas pretas em sua pele, e no tempo 12, elas já estavam deterioradas (pele enrugada). O enrugamento da casca da fruta é causado principalmente pela

liberação de água, tornando a manga mais vulnerável ao ataque de microrganismos (MOALEMIYAN; RAMASWAMY; MAFTOONAZAD, 2012).

A manga com revestimento de 1% (T4) apresentou o melhor resultado, seu processo de mudança foi significativamente diferente, não somente pela cor, mas também pela rigidez da pele, firmeza e textura. Esse processo ocorreu pela presença das nanopartículas, responsáveis pela redução na taxa de degradação da clorofila ao diminuir a taxa de respiração.

3.4.11.2 Perda de massa

A Figura 32 mostra que a perda de peso da manga aumentou durante o armazenamento e não houve diferença significativa entre as mangas controle (sem revestimento) e as mangas revestidas de nanopartículas dos tratamentos T2, T3 e T4.

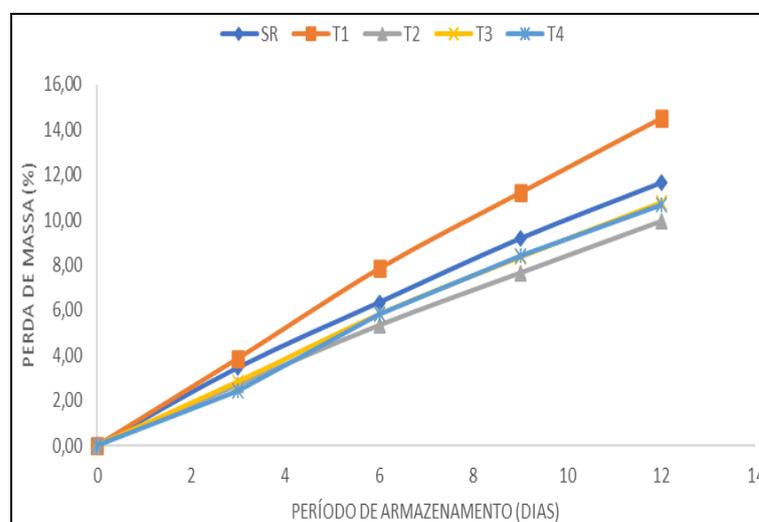


Figura 32 - Perda de massa em frutos de mangas sem revestimentos e com revestimento de pectinas + nanopartículas, armazenados por até 12 dias

Fonte: A autora (2021).

Houve aumento da perda de massa durante o período de armazenamento em todos os tratamentos estudados. A perda de massa obtida na amostra do tratamento T1 foi superior à perda dos demais tratamentos, chegando a 14,5% em apenas 12 dias de armazenamento.

A amostra (T2), submetida ao revestimento com 0,25% de nanopartículas, apresentou a menor perda, 9,95%, enquanto T3 e T4 se situaram na mesma escala. Já para SR (sem revestimento), ficou próxima ao T1, com 11,65% de perda de massa.

O principal fator que ocasiona a perda de massa no armazenamento é a perda de água da fruta para o meio ambiente, resultando no murchamento (a perda de massa da amostra T1 pode ser comprovada na Figura 10 – coloração da epiderme), diminuindo, assim, sua aceitação pelo mercado (PAREEK, 2016).

3.4.11.3 Firmeza do fruto

A Figura 33 mostra as mudanças na firmeza das mangas durante o armazenamento para todos os tratamentos.

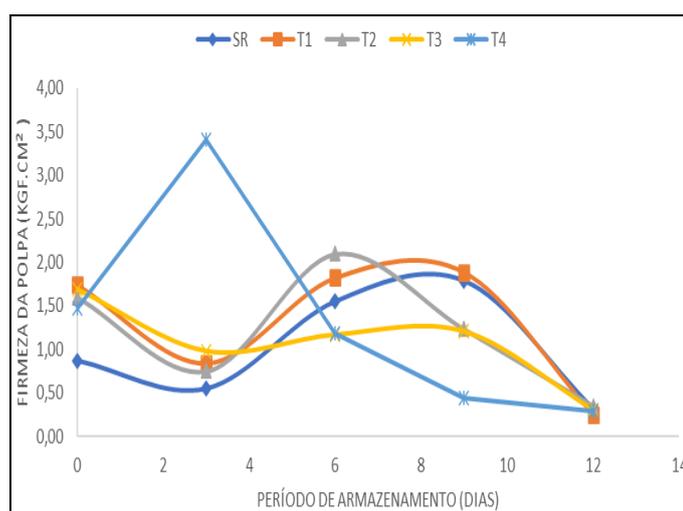


Figura 33 - Firmeza em frutos de mangas sem revestimentos e com revestimentos de pectinas + nanopartículas, armazenados por até 12 dias

Fonte: A autora (2021).

De maneira geral, a firmeza diminuiu para todos os revestimentos ao longo do armazenamento, com diferença significativa para manga T4, em que houve um pico muito alto em comparação com as demais mangas. Esse pico foi de 3,40% no 3º dia, tendo, nos demais dias, apresentado uma variação de 0,55% a 0,98% de firmeza. A presença de nanopartículas de ZnO reduziu significativamente a perda de firmeza da manga T4 durante o armazenamento (Figura 33).

Silva, G. *et al.* (2017) relataram que uma maior firmeza em frutos de manga é causada pelo aumento do revestimento CTS (material comestível de quitosana). Os resultados foram consistentes com nossa pesquisa, em que a maior concentração de nanopartículas (T4) foi estatisticamente menor em relação à sua firmeza quando comparada com as outras concentrações, o que pode ser associado à ação das

nanopartículas apresentado na coloração da epiderme (Tabela 10).

3.4.11.4 Teor de sólidos solúveis

Com base nos dados obtidos, pode-se perceber que as amostras com revestimento apresentaram menor teor de sólidos solúveis (SST) ao longo do tempo, em comparação com a amostra sem revestimento (Figura 34).

Foram observadas diferenças significativas aos 3 dias, sendo que todos os tratamentos exerceram influência positiva, obtendo as menores médias no teor de SST (entre 10 e 14 °Brix), enquanto a maior média (17,1 °Brix) foi quantificada em frutos do tratamento T3.

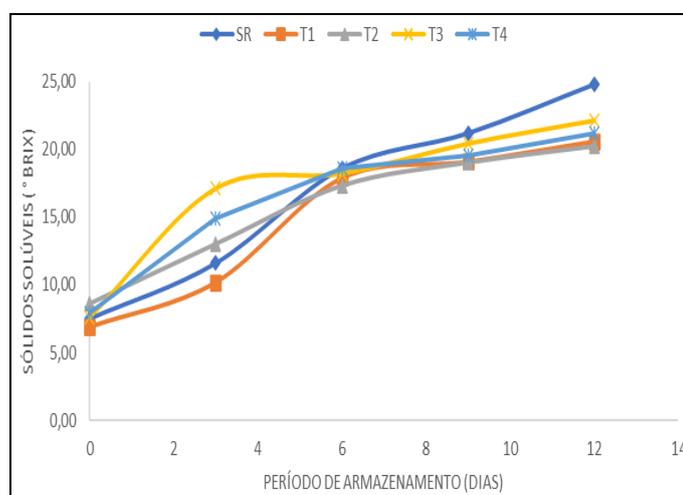


Figura 34 - Teor de sólidos solúveis em frutos de mangas sem revestimentos e com revestimentos de pectina + nanopartículas, armazenados por até 12 dias

Fonte: A autora (2021)

Os tratamentos T1, T2 e T4 apresentaram pouca variação no teor de sólidos solúveis aos 12 dias. Para o tratamento SR, houve aumento de 24,8%, sendo tal resultado esperado por ser natural da fruta sem revestimento. Esse aumento pode estar relacionado ao acúmulo de açúcares (COSTA; BALBINO, 2002), refletindo-se no amadurecimento da fruta em razão da quebra de carboidratos mais complexos em carboidratos mais simples, o que evidencia um aumento na taxa de respiração do fruto (NARSAIAH *et al.*, 2015).

Para os dias 6 e 9, houve estabilização entre todos os tratamentos, podendo este comportamento estar associado ao consumo estável de açúcares em razão do maior

metabolismo respiratório da fruta. Quando se aplica revestimento em frutas, ele modifica a atmosfera interna, podendo elevar o nível de CO₂ e/ou reduzir os níveis de O₂, retardando, assim, a taxa de respiração, suprimindo a produção de etileno. Além disso, taxas de respiração mais lentas, por sua vez, retardam a síntese e a ação de metabólitos, que resultam na redução do teor de sólidos solúveis (NAWAB; ALAM; HASNAIN, 2017).

3.4.11.5 Acidez titulável

A porcentagem de acidez titulável, expressa em porcentagem de ácido cítrico, não diferiu significativamente entre os tratamentos. Mas pode-se observar que, aos 3 dias, os frutos do tratamento SR e T4 se diferenciaram daqueles revestidos com 0%, 0,25% e 0,50% de nanopartículas, tendo seu valor entre 1,02% e 1,01% de acidez, enquanto os demais tiveram menores teores de acidez (0,77% a 0,83%) (Figura 35).

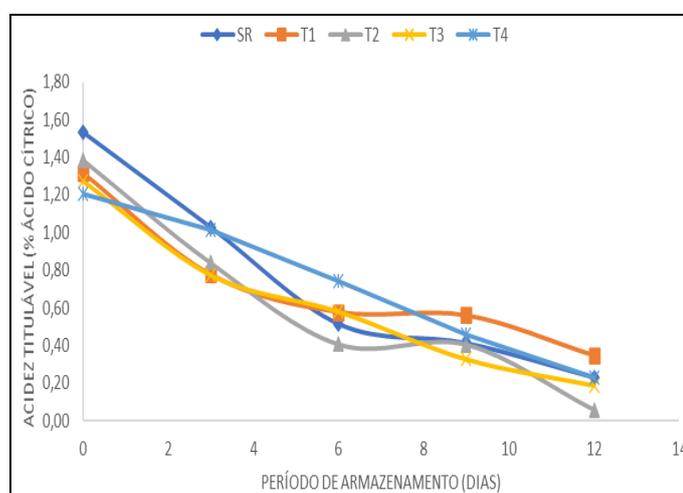


Figura 35 - Acidez titulável em frutos de mangas sem revestimentos e com revestimentos de pectinas + nanopartículas, armazenados por até 12 dias

Fonte: A autora (2021).

Os maiores níveis de teor de acidez foram observados em frutos do tratamento T1 com 0% de nanopartículas após 12 dias de armazenamento, enquanto os níveis mais baixos foram encontrados no tratamento SR, T2, T3 e T4.

Os ácidos orgânicos contribuem para a qualidade do sabor das frutas, atuando como intermediários do metabolismo respiratório, ocorrendo, durante a pós-colheita, redução dos ácidos orgânicos nas frutas, sendo os ácidos cítrico e málico os principais (PAIVA *et al.*, 2011). A redução da acidez da fruta é acompanhada por uma grande

diminuição do ácido cítrico e uma redução do ácido málico (MEDLICOTT; THOMPSON, 1985). Quando esse processo ocorre, ele consumirá ácidos orgânicos como o ácido málico, sendo os valores de acidez responsáveis pelo processo de amadurecimento dos frutos (EL-ANANY *et al.*, 2009). Essas informações são válidas quando se observa no gráfico de acidez a taxa respiratória, que mostra que o T4 está relacionado com a taxa respiratória dos frutos, com indução pela perda de água ao longo do armazenamento.

3.4.11.6 Taxa respiratória

A Figura 36 mostra que a respiração da manga produz CO_2 durante o armazenamento.

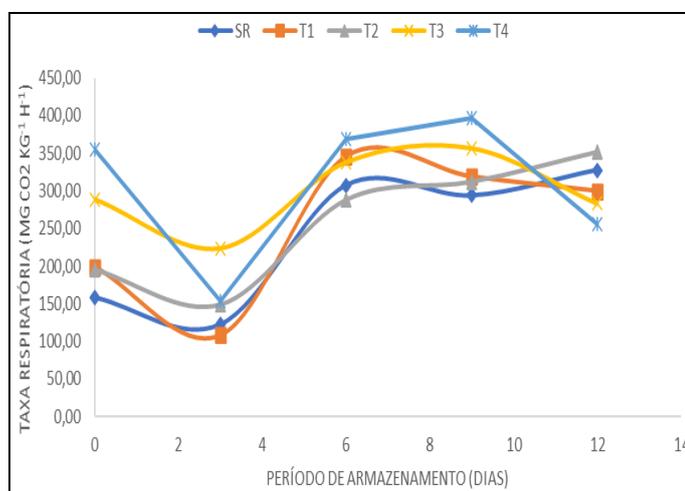


Figura 36 - Taxa respiratória ($\text{mg CO}_2 \text{ kg}^{-1} \text{ h}^{-1}$) titulável em frutos de mangas sem revestimentos e com revestimentos de pectinas + nanopartículas, armazenados por até 12 dias

Fonte: A autora (2021).

A taxa respiratória diferiu significativamente entre os tratamentos em cada época de avaliação. Neste estudo, o pico de produção de CO_2 ocorreu no 6º dia de armazenamento, com pico climatérico bem definido, que corresponde à maturidade fisiológica do fruto, tendo a manga T4 produzido a maior quantidade de CO_2 ($368,20 \text{ mg kg}^{-1} \text{ s}^{-1}$), enquanto nos tratamentos SR, T1, T2 e T3, a produção de CO_2 variou de $287,66$ a $345,44 \text{ mg kg}^{-1} \text{ s}^{-1}$. Mesmo apresentado esse pico, a amostra T4 teve redução acentuada na respiração no seu 12º dia, com $256,07 \text{ mg kg}^{-1} \text{ s}^{-1}$. A partir do 12º dia, a fase de declínio na produção de etileno e o consumo de O_2 tiveram como consequência

a morte dos tecidos ou sua senescência. Essa informação é coerente com a nossa pesquisa, de que os revestimentos agiram como uma barreira de proteção ao redor dos frutos, modificando a atmosfera, reduzindo as taxas metabólicas, contribuindo, assim, para o retardo do amadurecimento – coloração da epiderme (Figura 30). Esse fato também foi relatado por Jongsri *et al.* (2016).

Vários fatores podem influenciar na atividade respiratória de frutas, como, por exemplo, fatores internos como espécie, genótipo, tipo de tecido, tipo de cultivo e também fatores externos como temperatura, concentrações de gases atmosféricos (O₂, CO₂, etileno), umidade relativa e injúrias mecânicas nos tecidos (PINHEIRO, 2009).

3.5 Conclusões

Em conclusão, os filmes apresentaram boa aparência. O tratamento com maior adição de nanopartículas ZnO (T4 – 1% de nanopartículas ZnO) se destacou para a permeabilidade ao vapor de água, infravermelho e atividade antimicrobiana. Os dados obtidos foram muito positivos, pois na tensão de cisalhamento quanto à viscosidade, todos os tratamentos (T1, T2, T3 e T4) apresentaram fenômenos newtonianos. Além disso, a solubilidade, a espessura e a gramatura das amostras dos filmes foram significativas para o resultado da biodegradabilidade dos filmes. Os filmes adicionados de nanopartículas de ZnO podem ser uma solução para o armazenamento de alimentos.

Os resultados mostraram que a aplicação da solução contendo nanopartículas afetou positivamente a capacidade preservação das mangas *in natura*. De acordo com os resultados obtidos, conclui-se que o revestimento de nanopartículas a 1% influenciou positivamente até os 15 dias após aplicação na firmeza, perda de massa, Brix, respiração e coloração dos frutos de manga.

3.6 Referências

ABDULHAMEED, A.S.; JAWAD, A. H.; MOHAMMAD, A.-T. Síntese de nanopartículas de éter diglicídico de quitosana-etilenoglicol/TiO₂ para adsorção de corante laranja 16 reativo usando uma abordagem de metodologia de superfície de resposta. **Bioresource technology**, v.293, p.122071, 2019.

ALIZADEH-SANI, M. *et al.* Preparation and characterization of functional sodium caseinate/guar gum/TiO₂/cumin essential oil composite film. **International journal of**

biological macromolecules, v.145, p.835-844, 2020.

AL-NAAMANI, L.; DOBRETSOV, S.; DUTTA, J. Revestimento composto de nanopartículas de óxido de quitosana e zinco para aplicações em embalagens de alimentos. **Innovative Food Science & Emerging Technologies**, v.38, p.231-237, 2016.

ASTM D882-10(2010). Standard Test Method for Tensile Properties of Thin Plastic Sheeting, **ASTM International**, West Conshohocken, PA, 2010, www.astm.org

ASTM E96/E96M-10(2010). **Standard test methods for water vapor transmission of materials. Standards designations: E96 e E95**. Philadelphia, PA (USA): American Society for Testing and Materials. 2011.

AVILA-SOSA, R. *et al.* Inativação fúngica por orégano mexicano (*Lippia berlandieri* Schauer) óleo essencial adicionado a filmes comestíveis amaranto, quitosana ou amido. **Journal of food science**, v.75, n.3, p.M127-M133, 2010.

BABAEI-GHAZVINI, A.; SHAHABI-GHAHFARROKHI, I.; GOUDARZI, V. Preparação de nanocompósito de amido/kefirana/ZnO com proteção UV como filme de embalagem: Caracterização. **Embalagem de alimentos e prazo de validade**, v.16, p.103-111, 2018.

BRODHAGEN, M. *et al.* Considerações de política para limitar o plástico residual não intencional em solos agrícolas. **Ciência e Política Ambiental**, v.69, p.81-84, 2017.

CALBO, A. G.; NERY, A. A. Medida de firmeza em hortaliças pela técnica de aplanção. **Horticultura Brasileira**, v.13, n.1, p.14-18, 1995.

CASTRICINI, A. *et al.* Uso da radiação gama na conservação pós-colheita do tomate de mesa (*Lycopersicon esculentum* MILL.) em estágio maduro. **Revista Universidade Rural, Série Ciência da Vida**, v.24, n.1, p.85-91, 2004.

CHIUMARELLI, M.; HUBINGER, M. D. Stability, solubility, mechanical and barrier properties of cassava starch–Carnauba wax edible coatings to preserve fresh-cut apples. **Food hydrocolloids**, v.28, n.1, p.59-67, 2012.

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.

COSTA, A. F. S. da; BALBINO, J. M. de S. Características da fruta para exportação e normas de qualidade. Mamão: pós-colheita. Brasília, DF: **Embrapa Informação Tecnológica**, p.12-18, 2002.

COWAN, J. S. *et al.* Biodegradable mulch performed comparably to polyethylene in high tunnel tomato (*Solanum lycopersicum* L.) production. **Journal of the Science of Food and Agriculture**, v.94, n.9, p.1854-1864, 2014.

DIAZ-SOBAC, R.; PEREZ-FLORES, L.; VERNON-CARTER, J. Emulsion coatings control fruit fly and anthracnose in mango (*Mangifera indica* cv.Manila), *The Journal of*

Horticultural Science and Biotechnology, v.75. Issue 1, p. 126-128, 2000. Published online: 7 nov 2015. DOI: 10.1080/14620316.2000.11511211

EL-ANANY, A. M. *et al.* Effects of edible coatings on the shelf-life and quality of Anna apple (*Malus domestica* Borkh) during cold storage. **Journal of Food Technology**, v.7, n.1, p.5-11, 2009.

ESTEGHLAL, S.; NIAKOUSARI, M.; HOSSEINI, S. Mohammad Hashem. Propriedades físicas e mecânicas de filmes compostos de gelatina-CMC sob a influência de interações eletrostáticas. **Jornal internacional de macromoléculas biológicas**, v.114, p.1-9, 2018.

FALQI, F. H. *et al.* Preparation of miscible PVA/PEG blends and effect of graphene concentration on thermal, crystallization, morphological, and mechanical properties of PVA/PEG (10 wt%) blend. **International Journal of Polymer Science**, v.2018, 2018. <https://doi.org/10.1155/2018/8527693>

GHIMIRE, B. *et al.* Primeiro Relatório de *Fusarium poae* Causando Fusarium Head Blight of Wheat na Geórgia, EUA. **Doença vegetal**, p.PDIS-08-20-1779-PDN, 2020.

GILL, P. P. S.; JAWANDHA, S. K.; KAUR, N. Transitions in mesocarp colour of mango fruits kept under variable temperatures. **Journal of Food Science and Technology**, v.54, n.13, p.4251-4256, 2017.

HORNUNG, P. S. *et al.* Green development of biodegradable films based on native yam (*Dioscoreaceae*) starch mixtures. **Starch-Stärke**, v.70, n.5-6, p.1700234, 2018.

HORWITZ, W.; LATIMER JR, G. (ed.). Official methods of analysis of AOAC international - 18th edition, revision 3, BOOK by **AOAC International**, 2010.

HUNTRAKUL, K.; HARNKARNSUJARIT, N. Effects of plasticizers on water sorption and aging stability of whey protein/carboxy methyl cellulose films. **Journal of Food Engineering**, v.272, p.109809, 2020.

INDUMATHI, M. P.; SAROJINI, K. S.; RAJARAJESWARI, G. R. Antimicrobial and biodegradable chitosan/cellulose acetate phthalate/ZnO nano composite films with optimal oxygen permeability and hydrophobicity for extending the shelf life of black grapefruits. **International journal of biological macromolecules**, v.132, p.1112-1120, 2019.

JAFARIAN, S. *et al.* Fabrication and characterization of an active bionanocomposite film based on basil seed mucilage and ZnO nanoparticles. *Journal of Food Measurement and Characterization*, v. 14, n. 6, p. 3542-3550, 2020.

JONGSRI, P. *et al.* Effect of molecular weights of chitosan coating on postharvest quality and physicochemical characteristics of mango fruit. **Lwt**, v.3, p.28-36, 2016.

KOUR, R. *et al.* Ripening quality of Dusehri mango in relation to harvest time. *Journal of Food Science and Technology*, v.55, n.7, p.2406-2411, 2018.

LARRAURI, M. *et al.* Caracterização química e propriedades antioxidantes de frações separadas do extrato da pele de amendoim derivadas de diferentes processos industriais. **Culturas e Produtos Industriais**, v.94, p.964-971, 2016.

LI, X. *et al.* Caracterização e atividade antibacteriana de filmes comestíveis baseados em celulose carboximetil, Dioscorea opondo mucilagem, glicerol e nanopartículas de ZnO. **Química alimentar**, p.129208, 2021.

LIMA, A. B. *et al.* pós-colheita de manga 'Tommy Atkins' orgânica sob recobrimentos bio-orgânicos. **Revista Brasileira de Fruticultura**, v.34, n. 3, p.704-710, 2012.

MALLI, R. *et al.* Sustained Ca²⁺ transfer across mitochondria is essential for mitochondrial Ca²⁺ buffering, store-operated Ca²⁺ entry, and Ca²⁺ store refilling. **Journal of Biological Chemistry**, v.278, n.45, p.44769-44779, 2003.

MEDLICOTT, A. P.; THOMPSON, A. K. Analysis of sugars and organic acids in ripening mango fruits (*Mangifera indica* L. var Keitt) by high performance liquid chromatography. **Journal of the Science of Food and Agriculture**, v.36, n.7, p.561-566, 1985.

MEHDI, Y. *et al.* Selênio no ambiente, metabolismo e envolvimento em funções corporais. **Moléculas**, v.18, n.3, p.3292-3311, 2013.

MILES, C. *et al.* Adequação de coberturas plásticas biodegradáveis para sistemas de produção agrícola orgânica e sustentável. **HortScience**, v.52, n.1, p.15/10/2017.

MOALEMIYAN, M.; RAMASWAMY, H. S.; MAFTOONAZAD, N. Revestimento comestível à base de pectina para prolongamento da vida útil de manga Ataulfo. **Journal of Food Process engineering**, v.35, n.4, p.572-600, 2012.

MUJTABA, M. *et al.* Novos filmes compostos de mucilagem multifuncionais incorporados com nanofibras de celulose. **Food Hydrocolloids**, v.89, p.20-28, 2019.

MUNHOZ, C. L.; SANJINEZ-ARGANDOÑA, E. J.; SOARES JÚNIOR, M. S. Extração de pectina de goiaba desidratada. **Ciência e Tecnologia de Alimentos**, Campinas, v.30, p.119-125, 2010.

NARSAIAH, K. *et al.* Effect of bacteriocin-incorporated alginate coating on shelf-life of minimally processed papaya (*Carica papaya* L.). **Postharvest Biology and Technology**, Ludhiana, India. v.100, p.212-218, 2015.

NASREEN, Z.; KHAN, M. A.; MUSTAFA, A. I Filme polimérico biodegradável curado por radiação, preparado a partir da mistura de quitosana-gelatina. **J. Appl. Chem**, v.2016, p.1-11, 2016.

NAWAB, A.; ALAM, F.; HASNAIN, A. Mango kernel starch as a novel edible coating for enhancing shelf-life of tomato (*Solanum lycopersicum*) fruit. **International Journal of Biological Macromolecules**, v.103, p.581-586, 2017.

PAIVA, A. *et al.* Dossiê técnico: Chilling e Freezing - Injúrias causadas por baixas temperaturas em frutas tropicais. Dossiê técnico, Serviço Brasileiro de Respostas Técnicas – SBRT, Universidade de São Paulo (USP), São Paulo-SP, dez. 2011.

PAREEK, S. (ed.). Postharvest Ripening Physiology of Crops. **CRC Press**, p.664, 2016.

PELISSARI *et al.* Antimicrobial, mechanical, and barrier properties of cassava starch-chitosan films incorporated with oregano essential oil. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**. v.57, n.16, p.7499-7504, 2009.

PINHEIRO, J. M. da S. **Tecnologia pós-colheita para conservação de banana do cultivar tropical**. Dissertação (Mestrado em Produção Vegetal no Semiárido), Universidade Estadual de Montes Claros 2009. Janaúba (MG), Brasil, 2009

PONTES, S. F.O. *et al.* **Desenvolvimento de nanoemulsões de óleos essenciais incorporadas em filme de metilcelulose para uso em alimentos**. Tese (Doutorado em Ciência e Tecnologia de Alimentos), Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, MG, 2013. <http://locus.ufv.br/handle/123456789/4822013>.

RAHMAN, P. M. *et al.* Filmes compostos de quitosana/nano ZnO: propriedades mecânicas, antimicrobianas e dielétricas aprimoradas. **Arabian Journal of Chemistry**, v.11, n.1, p.120-127, 2018.

ROCHA, S.. **Transferências de renda no Brasil: o fim da pobreza?**. Alta Books, 2020.

RODRIGUES, C. *et al.* Propriedades mecânicas, térmicas e antimicrobianas de nanocompósito à base de quitosana com aplicações potenciais para embalagem de alimentos. **Journal of Polymers and the Environment**, p.1-21, 2020.

ROVINA, K. *et al.* Desenvolvimento de filme de polímero híbrido biodegradável para detecção de formaldeído em produtos de frutos do mar. **Pesquisa de Sensoriamento e Bio-Sensoriamento**, v.27, p.100310, 2020.

SATHIYA, S.M. *et al.* Synergistic bactericidal effect of chitosan/zinc oxide based on nanocomposites against *Staphylococcus aureus*. **Advan. Sci. Lett.**, v.24, n.8, p.5537-5542, 2018. DOI: <https://doi.org/10.1166/asl.2018.12144>

SHAPII, R. A. *et al.* Propriedades antimicrobianas de filmes de amido incorporados com nanopartículas quitosanas: avaliação in vitro e in vivo. **Polímeros de carboidratos**, v.230, p.115602, 2020.

SILVA, G. M. C. *et al.* 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.

SILVA, M. A.; BIERHALZ, A. C. K.; KIECKBUSCH, T. G.. Alginate and pectin composite films crosslinked with Ca²⁺ ions: Effect of the plasticizer concentration. **Carbohydrate polymers**, v.77, n.4, p. 36-742, 2009.

SILVA, R. *et al.* Aplicações de fibras lignocelulósicas na química de polímeros e em compósitos. **Química Nova**, v.32, n.3, p.661-671, 2009.

SILVA, G. D. da *et al.* Produção e caracterização de filmes comestíveis à base de alginato e pectina. **XX Congresso Brasileiro de Engenharia Química**, p.1-8, 2014.

SIQUEIRA, B. dos S. *et al.* Pectina extraída de casca de pequi e aplicação em geleia light de manga. **Revista Brasileira de Fruticultura**, v.34, n.2, p.560-567, 2012.

SIQUEIRA, R. A. *et al.* **Características tecnológicas e aplicabilidade de embalagens biodegradáveis de pectina do mesocarpo do pequi na conservação de cenouras minimamente processadas.** 2019.

SOFLA, M. S. K.; MORTAZAVI, S.; SEYFI, J. Preparação e caracterização de blendas álcool polivinílico / quitosana plastificadas e compatibilizadas por glicerol/polietilenoglicol. **Polímeros de carboidratos**, v.232, p.115784, 2020.

STOLL, L. *et al.* Active biodegradable film with encapsulated anthocyanins: Effect on the quality attributes of extra-virgin olive oil during storage. **Journal of Food Processing and Preservation**, v.41, n. 6, p.e13218, 2017.

SUKHIJA, S.; SINGH, S.; RIAR, C. S. Efeito de oxidação, ligação cruzada e dupla modificação no amido físico, cristalino, morfológico, colado e térmico do inhame do pé de elefante (*Amorphophallus paeoniifolius*). **Alimentos Hydrocolloids**, v.55, p.56-64, 2016.

TAPIA-BLÁCIDO, D. *et al.* Contribution of the starch, protein, and lipid fractions to the physical, thermal, and structural properties of amaranth (*Amaranthus caudatus*) flour films. **Journal of Food Science**, v.72, n.5, p.E293-E300, 2007.

TRINDADE, D. C. G.; LIMA, M. A. C.; ASSIS, J. S. Ação do 1-metilciclopropeno na conservação pós-colheita de manga 'Palmer' em diferentes estádios de maturação. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.50, n. 9, p.753-762, 2015.

WALCZAK, A. P. *et al.* Biodisponibilidade e biodistribuição de nanopartículas de poliestireno de poliestireno diferentemente carregadas após exposição oral em ratos. **Journal of Nanoparticle Research**, v.17, n.5, p.1-13, 2015.

WARDANA, A. A. *et al.* Influence of ZnO nanoparticles and stearic acid on physical, mechanical and structural properties of cassava starch-based bionanocomposite edible films. **International Food Research Journal**, v.25, n.5, 2018.

XAVIER, I. F. *et al.* Qualidade pós-colheita da manga 'Tommy Atkins' comercializada em diferentes estabelecimentos comerciais no município de Mossoró-RN. **Revista Caatinga**, v.22, n.4, p.7-13, 2009.