

UFRRJ

**INSTITUTO DE TECNOLOGIA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM CIÊNCIA E TECNOLOGIA DE
ALIMENTOS**

DISSERTAÇÃO

**Desenvolvimento e caracterização de filme compósito e sua aplicação na conservação
de frutas do maracujazeiro – amarelo (*passiflora edulis sims f. Flavicarpa*)**

JAILTON RIBEIRO DOS SANTOS JUNIOR

2023



UFRRJ

**UNIVERSIDADE FEDERAL RURAL DO RIO DE JANEIRO
INSTITUTO DE TECNOLOGIA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM CIÊNCIA E TECNOLOGIA DE
ALIMENTOS**

**DESENVOLVIMENTO E CARACTERIZAÇÃO DE FILME COMPÓSITO E SUA
APLICAÇÃO NA CONSERVAÇÃO DE FRUTAS DO MARACUJAZEIRO –
AMARELO (*Passiflora edulis Sims f. flavicarpa DEG*)**

JAILTON RIBEIRO DOS SANTOS JUNIOR

Sob a orientação da Professora

Dr^a. Lourdes Maria Corrêa Cabral

Co-orientação da Professora

Dr^a. Renata Valeriano Tonon

e Co-orientação do Professor

Dr. Antônio Gomes Soares

Dissertação submetida como requisito parcial para obtenção do grau de **Mestre em Ciência e Tecnologia de Alimentos**, no Programa de Pós-Graduação em Ciência e Tecnologia de Alimentos, Área de Concentração em Ciência/Tecnologia de Alimentos.

Seropédica, RJ
Setembro, 2023

Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro
Biblioteca Central / Seção de Processamento Técnico

Ficha catalográfica elaborada
com os dados fornecidos pelo(a) autor(a)

S237d Santos Junior, Jailton Ribeiro Dos, 1998-
Desenvolvimento E Caracterização De Filme Compósito
E Sua Aplicação Na Conservação De Frutas Do
Maracujazeiro - Amarelo (Passiflora Edulis Sims F.
Flavicarpa) / Jailton Ribeiro Dos Santos Junior. -
Rio de Janeiro, 2023.
78 f.

Orientadora: Lourdes Maria Corrêa Cabral.
Coorientadora: Renata Valeriano Tonon.
Coorientador: Antonio Gomes Soares.
Dissertação(Mestrado). -- Universidade Federal
Rural do Rio de Janeiro, Programa de Pós-Graduação em
Ciência e Tecnologia de Alimentos, 2023.

1. Pós-Colheita. 2. Filmes e Revestimentos. 3.
Nanotecnologia . 4. Polímeros. 5. Sustentabilidade. I.
Cabral, Lourdes Maria Corrêa, 1957-, orient. II.
Tonon, Renata Valeriano, 1980-, coorient. III.
Soares, Antonio Gomes, 1962-, coorient. IV
Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro.
Programa de Pós-Graduação em Ciência e Tecnologia de
Alimentos. V. Título.



MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO
UNIVERSIDADE FEDERAL RURAL DO RIO DE JANEIRO
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM CIÊNCIA E TECNOLOGIA DE
ALIMENTOS



TERMO Nº 1037/2023 - PPGCTA (12.28.01.00.00.00.41)

Nº do Protocolo: 23083.059452/2023-25

Seropédica-RJ, 05 de setembro de 2023.

JAILTON RIBEIRO DOS SANTOS JUNIOR

Dissertação submetida como requisito parcial para obtenção do grau de **Mestre em Ciência e Tecnologia de Alimentos**, no Curso de Pós-Graduação em Ciência e Tecnologia de Alimentos, área de Concentração em Ciência de Alimentos.

DISSERTAÇÃO APROVADA EM 05/09/2023

LOURDES MARIA CORRÊA CABRAL, (Dra) EMBRAPA (orientador)
OTNIEL FREITAS SILVA, (Dr) EMBRAPA
ANDRESA VIANA RAMOS, (Dra) UFRJ

Documento não acessível publicamente

(Assinado digitalmente em 05/09/2023 16:21)

OTNIEL FREITAS SILVA

ASSINANTE EXTERNO

CPF: ###.###.462-##

(Assinado digitalmente em 05/09/2023 15:23)

LOURDES MARIA CORREA CABRAL

ASSINANTE EXTERNO

CPF: ###.###.967-##

(Assinado digitalmente em 06/09/2023 09:19)

ANDRESA VIANA RAMOS

ASSINANTE EXTERNO

CPF: ###.###.097-##

Visualize o documento original em <https://sipac.ufrj.br/public/documentos/index.jsp> informando seu número: **1037**, ano: **2023**, tipo: **TERMO**, data de emissão: **05/09/2023** e o código de verificação: **553983d524**

DEDICATÓRIA

Dedico este trabalho aos meus pais Rita Ribeiro e Jailton Ribeiro, por todo o apoio dispensado a mim, por entenderem a distância que passou a nos separar, e por serem o meu porto seguro.

AGRADECIMENTOS

Nesse momento vai passando um filme na cabeça, e aí a gente vai lembrando do percurso e das felicidades, apesar dos percalços eu fui feliz nessa trajetória. Sair do interior do interior de Sergipe, do meu querido povoado ALTOS VERDES, foi o maior e mais atrevido desafio que fiz, deixar minha família na porta de casa apertou muito meu coração e sinto isso constantemente ainda. Ao deixar a minha “vida” lá, trouxe comigo para o Rio de Janeiro desejos, esperança e um objetivo, viver o mestrado da forma mais intensa possível e consegui cumpri-lo.

Nesse novo desafio da minha vida, tive que encontrar um novo ciclo de amigos e colegas, me reinventar profissionalmente e amadurecer, porque ao longo do tempo a gente vai precisando criar umas “cascas” mais grossas para enfrentar a vida. E como sempre falo nada disso foi possível sozinho, alguns tiveram que lidar com a distância que nos separavam, outros abriram seus braços e me acolheram, cada a sua forma. Por isso quero dedicar as primeiras folhas da minha dissertação de mestrado para expressar toda minha gratidão a vocês, e mostrar que ela não é minha apenas.

Gostaria de registrar aqui a vocês, cariocas, que o Rio de Janeiro é lindo e o sotaque de vocês é maravilhoso “Churrasxxco”. A Deus minha eterna gratidão por sempre estar ao meu lado, me entender e ser o meu melhor amigo, as suas promessas nunca falham e nunca falharão.

Aos meus pais Jailton e Rita, por entenderem os motivos de sair de casa, por terem que lidar com os 1.833,4 km que nos separam, por serem meu porto seguro nos momentos de aflições e dificuldades. Ao meu irmão por todo apoio dispensando a mim, por cuidar dos “velhos”. Eu amo vocês e não vejo a hora de poder revê-los.

A minha orientadora Dr^a. Lourdes Cabral, que me acolheu nesse desafio, e foi uma das maiores incentivadoras, é uma pessoa maravilhosa e com um coração enorme. A minha coorientadora Dr^a. Renata Tonon, pelo acolhimento, por todo o apoio, conselhos e incentivo. Ao meu coorientador Dr. Antônio Gomes que me recebeu na Planta V, agradeço por todas as conversas, conselhos e apoio, e sempre lembrando do lema “positivo e operante”. Aos meus orientadores meus sinceros agradecimentos.

Ao Dr^o. Carlos Piller por também me receber na planta IV, pela atenção em escutar as minhas dúvidas, respondê-las. Aos analistas Henriqueta Talita e Zé Carlos, por me receberem na planta V e terem me acolhido. Foi um prazer trabalhar com vocês ao longo desse projeto.

As técnicas Adriana e Mariana da planta IV, meninas, obrigado por tudo, pelas conversas e risadas.

A Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, Instituto De Tecnologia, e ao Programa De Pós-Graduação Em Ciência E Tecnologia De Alimentos, e com prazer que visto a camisa dessa instituição. À Embrapa Agroindústria de Alimentos que virou minha segunda casa e que propiciou toda a infraestrutura de plantas e laboratórios para que este trabalho pudesse ser concluído.

Adriele minha amiga do coração, a pessoa com quem eu converso todos os dias, em que eu mais confio, você é essencial, apesar dos milhares de Km que nos separam eu consigo te sentir presente em minha vida todos os dias, e isso foi essencial durante essa trajetória. Obrigado pelo apoio, por conhecer as várias facetas do Junior, e por ser esse ser maravilhoso, eu TE AMO, amo a sua vida e nossa amizade, obrigado por tudo.

A minha amiga/prima/irmã Carol, são anos de cumplicidade e nessa nova etapa foi ótimo te ter por perto. Obrigado por me fazer entender a dor da distância, é ótimo ter alguém com quem compartilhar o mesmo sentimento. Amo a sua vida!

Ao meu amigo Wellison, por ter me recebido no Rio de Janeiro, por ter me acolhido e me aturar todos os dias, teremos mais quatro anos juntos nessa nossa vida acadêmica, para mim é uma satisfação conviver contigo, tens um lugar especial no meu coração. Ao meu amigo André, presente que a Rural me trouxe e que não vou largar nunca mais, amigooo o que seria de mim sem as nossas conversas, sem as loucuras, sem um show do Imagine Dragons na nossa agenda. Vou te levar sempre no meu coração.

Aos meus pais adotivos do RJ, Felipe e Juliana, obrigado pelo acolhimento, carinho e atenção. A minha colega de turma Marina por dividir os anseios do mestrado, pelas conversas e risadas. A minha, conterrânea nordestina, que veio junto comigo para o RJ se desafiar na vida acadêmica, Mylena além dos nossos laços nordestinos, eu posso dizer que foi um encontro de almas né, é impossível falar daquilo que a gente construí nesse período sem me emocionar, dividir o mestrado e a vida contigo foi umas das melhores coisas que poderia ter acontecido. Obrigado por tudo!

A Neia, Moacir, Thyago e Rapha, obrigado por deixarem a minha vida no RJ mais leve. A Neia meu muito obrigado por ser essa amiga maravilhosa. Vocês moram no meu coração.

Bom, a EMBRAPA me presenteou com três pessoas maravilhosas, que eu agradeço todos os dias por telas presentes em minha vida. Vitoria e Gabriela ou como costumo brincar “minhas ICs”, vocês literalmente são presentes, foi um prazer dividir laboratório com vocês,

dividir as experiências acadêmicas e foi um prazer acompanhar o crescimento de vocês, tenho orgulho de tudo que fizeram, e para além disso, é um prazer ser amigo de vocês, obrigado por tudo, amo vocês.

Ao melhor pós-doc desse Brasil. Luiz eu jamais conseguirei expressar em palavras toda a minha gratidão a você, esse trabalho também é seu, e eu sou eternamente grato a Deus por ele ter colocado tu no meu caminho. Obrigado por todo o apoio, por ter sido paciente em todos os momentos que surtei ou me desesperei. Pelo acolhimento e carinho comigo. E foi muito bom ter construído um trabalho e uma amizade ao longo desse último ano, e isso foi essencial durante essa trajetória. Eu nem preciso ressaltar toda a sua inteligência ne. Meus agradecimentos ao melhor pós-doc.

Ao amigo Brasiliense, que a Escola de Nanotecnologia me proporcionou, Jonatahan muito obrigado por sua presença mesmo distante, obrigado por me acompanhar mesmo que distante, é muito bom conversar e compartilhar parte da vida contigo. Muito obrigado.

O presente trabalho foi realizado com apoio da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior – Brasil (CAPES) - Código de Financiamento 001.

Muito Obrigado!

RESUMO

Santos Junior, Jailton Ribeiro Dos. **Desenvolvimento e caracterização de filme compósito e sua aplicação na conservação de frutas do maracujazeiro – amarelo (*passiflora edulis sims f. Flavicarpa*)**. 2023. 78p. Dissertação (Mestrado em Ciência e Tecnologia de Alimentos). Instituto de Tecnologia, Departamento de Tecnologia de Alimentos, Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, Seropédica, RJ, 2023.

O maracujá (*Passiflora edulis Sims f. flavicarpa DEG*) é uma fruta de origem tropical, difundida no Brasil, maior produtor e consumidor. É um fruto climatérico que continua seu processo de amadurecimento após destacado da planta. Característico do fruto climatérico, o maracujá apresenta vida útil curta, com problemas pós-colheita, sendo o murchamento e a susceptibilidade ao ataque de microrganismos como os fungos, alguns deles. Mediante a isso, este trabalho teve como objetivo desenvolver compósitos a base de quitosana a serem utilizados como revestimento em frutos de maracujá visando a manutenção da sua qualidade pós-colheita. Para isso, seis soluções filmogênicas foram preparadas usando quitosana (Q) como base polimérica, glicerol como plastificante, cera de carnaúba e resina colofônica como agentes promotores de hidrofobicidade e nanopartículas de óxido de zinco como agente antimicrobiano. Ácido acético e Tween 80 também foram utilizados para facilitar a dissolução e mistura dos componentes. As seis soluções filmogênicas contêm Q a 1,2% p/v, variação da presença de cera (QC) ou resina (QR) a 0,6% m/v e ZnO_{nano} a 0,05% m/v. Os filmes foram produzidos por casting e caracterizados quanto às suas propriedades químicas, mecânicas e ópticas. Soluções contendo cera ou resina, com ou sem a presença de ZnO_{nano} foram aplicadas em frutos do maracujazeiro. Para determinar o efeito no processo de amadurecimento, os frutos foram submetidos a análises de perda de massa, textura, cor, pH, acidez, sólidos solúveis totais, açúcares e índice de perdas pós-colheita. Foram gerados filmes flexíveis, com espessura variando de $85,71 \pm 5,35$ a $152,86 \pm 7,56$ μm . Os filmes controle (Q) apresentaram maior transparência, quando comparados aos adicionados de cera ou resina. A adição de ZnO_{nano} aumentou a resistência à tração. Referentes as propriedades ópticas, todos os tratamentos apresentaram baixa ou nenhuma transmissão a luz UV, na região da luz visível (350-800 nm), os filmes de resina apresentaram os menores valores de transmitância. As adições de cera ou resina diminuíram a solubilidade em água e a permeabilidade ao vapor d'água. Após a caracterização dos filmes, em uma primeira etapa, revestimentos com QC e QR com e sem a presença de ZnO_{nano} foram avaliados e os resultados demonstraram que revestimentos QR foram mais eficazes em proteger os frutos contra a perda de peso e apresentaram melhor aspecto visual, menor perda de frutos por lesões e ataques de microrganismos. Assim, os revestimentos com resina foram selecionados para uma segunda etapa de experimento, onde avaliou-se o efeito do aumento da concentração da resina de 0,6 para 0,8% na formulação dos revestimentos. Esse aumento na concentração propiciou melhor proteção aos frutos contra a perda excessiva de massa e retardaram as alterações físico-químicas relacionadas à maturação (Acidez, pH, sólidos solúveis, firmeza) quando comparados aos frutos sem revestimento. Portanto, revestimentos contendo resina de colofônia proporcionaram os melhores resultados em aplicações pós-colheita para controlar os problemas de armazenamento de frutos do maracujazeiro.

Palavras-chave: Resina, maracujá, pós-colheita.

ABSTRACT

Santos Junior, Jailton Ribeiro Dos. **Development and characterization of composite film and its application in the conservation of passion fruit fruits – yellow (*passiflora edulis* Sims f. *Flavicarpa*)**. 2023. 78p. Dissertation (Master's in Food Science and Technology). Institute of Technology, Department of Food Technology, Federal Rural University of Rio de Janeiro, Seropédica, RJ, 2023.

Passion fruit (*Passiflora edulis* Sims f. *flavicarpa* DEG) is a fruit of tropical origin, widespread in Brazil, its largest producer and consumer. It is a climacteric fruit that continues its ripening process after being detached from the plant. Characteristic of the climacteric fruit, passion fruit has a short shelf life, with post-harvest problems, with wilting and susceptibility to attack by microorganisms such as fungi, some of them. Therefore, this work aimed to develop chitosan-based composites to be used as a coating on passion fruit to maintain its post-harvest quality. For this, six filmogenic solutions were prepared using chitosan (Q) as polymeric base, glycerol as plasticizer, carnauba wax and rosin as hydrophobicity promoting agents and zinc oxide nanoparticles as antimicrobial agent. Acetic acid and Tween 80 were also used to facilitate dissolution and mixing of the components. The six filmogenic solutions contain Q at 1.2% w/v, variation in the presence of wax (QC) or resin (QR) at 0.6% m/v and ZnO_{nano} at 0.05% m/v. The films were produced by casting and characterized according to their chemical, mechanical and optical properties. Solutions containing wax or resin, with or without the presence of ZnO_{nano}, were applied to passion fruit. To determine the effect on the ripening process, the fruits were submitted to analysis of mass loss, texture, color, pH, acidity, total soluble solids, sugars and post-harvest loss index. Flexible films were generated, with thickness ranging from 85.71 ± 5.35 to 152.86 ± 7.56 μm . The control films (Q) showed greater transparency when compared to those added with wax or resin. The addition of ZnO_{nano} increased the tensile strength. Regarding the optical properties, all treatments showed low or no UV light transmission, in the visible light region (350-800 nm), the resin films showed the lowest transmittance values. Wax or resin additions decreased water solubility and water vapor permeability. After the characterization of the films, in a first step, coatings with QC and QR with and without the presence of ZnO_{nano} were evaluated and the results showed that QR coatings were more effective in protecting the fruits against weight loss and presented a better visual appearance, less fruit loss due to injuries and microorganism attacks. Thus, the resin coatings were selected for a second stage of the experiment, where the effect of increasing the resin concentration from 0.6 to 0.8% on the formulation of the coatings was evaluated. This increase in concentration provided better protection to the fruits against excessive weight loss and delayed the physicochemical changes related to maturation (acidity, pH, soluble solids, firmness) when compared to uncoated fruits. Therefore, rosin-containing coatings provided the best results in postharvest applications to control passion fruit storage problems.

Keywords: Resin, passion fruit, post-harvest.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Filmes e Revestimentos	6
Figura 2. Estrutura molecular da Quitina e Quitosana	7
Figura 3. Processo de elaboração das soluções poliméricas.....	13
Figura 4. Transmissão de luz (%) em 200–800 nm de filmes a base de quitosana	27
Figura 5. Padrões de DRX para filmes a base de quitosana adicionados de resina de colofônia, cera de carnaúba e ZnO _{nano}	30
Figura 6. Perda de massa dos frutos ao longo de 10 dias de armazenamento.....	37
Figura 7. Acompanhamento dos aspectos visuais dos frutos ao longo do tempo, após a primeira aplicação dos revestimentos.....	41
Figura 8. Frutos com incidência de patógenos.	42
Figura 9. Perda de massa dos frutos ao longo de 10 dias de armazenamento.....	45
Figura 10. Acompanhamento dos aspectos visuais dos frutos ao longo do tempo, após a primeira aplicação dos revestimentos.....	48
Figura 11. Frutos sobre a bancada no 10º dia de armazenamento. QR1; Quitosana + Resina; QRN1; Quitosana + Resina + ZnOnano; C; Controle.	48
Figura 12. Frutos com incidência de patógenos.	49

LISTA DE TABELAS

Tabela 1. Nanopartículas utilizadas na elaboração de filmes e revestimentos.	11
Tabela 2. Concentração dos compostos utilizados para cada tratamento (m/v).	15
Tabela 3. Tratamentos aplicados no pós-colheita do maracujá.....	19
Tabela 4. Propriedades mecânicas dos filmes a base de quitosana. Resistência à tração (RT) e alongamento na ruptura (%AR), força de perfuração (FP), deformação na perfuração (DP) e modulo de Young (MY). Propriedades mecânicas dos filmes estudados.	23
Tabela 5. Espessura e opacidade (A600/mm) dos filmes a base de quitosana.	26
Tabela 6. Solubilidade em água, grau de inchamento (GI), teor de umidade e Permeabilidade ao Vapor d'água (PVA).	28
Tabela 7. Valores 2θ e d (Å) dos filmes a base de quitosana estudados	31
Tabela 8. Acidez Total Titulável (ATT), pH, sólidos solúveis totais (SST) e ratio (SST/ATT) ao longo de 10 dias de armazenamento.	34
Tabela 9. Concentração de Vitamina C e de açúcares dos frutos ao longo dos 10 dias de armazenamento.....	36
Tabela 10. Firmeza dos frutos em (N), ao longo do armazenamento, após a primeira aplicação dos revestimentos.	38
Tabela 11. Parâmetros de cor L^* , A^* e B^* dos frutos ao longo do armazenamento após a primeira aplicação de revestimentos.....	40
Tabela 12. Percentual de perdas ao longo de 10 dias de armazenamento.	42
Tabela 13. Acidez Total Titulável (ATT), pH, sólidos solúveis totais (SST) e ratio (SST/ATT), ao longo de 10 dias de armazenamento.	44

Tabela 14. Comportamento da firmeza dos frutos em (N), ao longo de 10 dias de armazenamento, após a segunda aplicação dos revestimentos.	46
Tabela 15. Parâmetros de cor L*, A* e B* dos frutos ao longo de 10 dias de armazenamento após a primeira aplicação de revestimentos.	47
Tabela 16. Percentual de perdas ao longo do armazenamento.	49

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	1
2. OBJETIVOS	3
2.1 OBJETIVO GERAL	3
2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS	3
3. REVISÃO DE LITERATURA	4
3.1 MARACUJÁ	4
3.2 FILMES E REVESTIMENTOS	5
3.2 QUITOSANA	7
3.3 CERA DE CARNAÚBA	8
3.4 RESINA DE COLOFÔNIA	9
3.5 NANOPARTÍCULAS	9
4 MATERIAL E MÉTODOS	13
4.1 MATERIAIS	13
4.2 PREPARAÇÃO DAS SOLUÇÕES E PRODUÇÃO DOS FILMES	13
4.3 CARACTERIZAÇÃO DOS FILMES	15
4.3.1 <i>Espessura</i>	15
4.3.2 <i>Propriedades Mecânicas</i>	15
4.3.4 <i>Transmissão a Luz e Opacidade</i>	17
4.3.5 <i>Teor de umidade, Solubilidade em Água e Grau de intumescimento</i>	17
4.3.8 <i>Permeabilidade Ao Vapor D'água (PVA)</i>	18
4.3.9 <i>Espectroscopia de difração de raios X (DRX)</i>	19
4.4 EXPERIMENTO PÓS – COLHEITA DE MARACUJÁ	19
4.4.1 <i>Perda de massa</i>	20
4.4.2 <i>Cor da casca</i>	20
4.4.3 <i>Firmeza</i>	20
4.4.4 <i>Acidez Total Titulável (ATT) e pH</i>	21
4.4.5 <i>Sólidos Solúveis Totais (SST)</i>	21
4.4.7 <i>Relação SST/ATT</i>	21
4.4.8 <i>Vitamina C</i>	21
4.4.9 <i>Açúcares</i>	22
4.4.10 <i>Índice de perdas pós-colheitas</i>	22

4.5 ANÁLISES ESTATÍSTICAS	22
5. RESULTADOS E DISCUSSÃO	23
5.1 CARACTERIZAÇÃO DOS FILMES	23
5.1.1 <i>Propriedades Mecânicas</i>	23
5.1.2 <i>Espessura, Opacidade e Transmissão a Luz</i>	25
5.1.3 <i>Permeabilidade ao vapor de água, Teor de umidade, Solubilidade em Água e Grau de intumescimento</i>	27
5.1.6 <i>Espectroscopia de difração de raios X (DRX)</i>	30
5.2 EXPERIMENTO COM FRUTOS DE MARACUJÁ I	32
5.2.1 <i>Avaliações físico-químicas: acidez total titulável (ATT), pH, sólidos solúveis totais (SST) e ratio (SST/ATT)</i>	32
5.2.2 <i>Vitamina C e Teor de Açúcares</i>	35
5.2.3 <i>Perda de massa</i>	37
5.2.4 <i>Firmeza</i>	37
5.2.5 <i>Cor da casca</i>	38
5.2.6 <i>Aspecto visual</i>	41
5.2.7 <i>Índice de perdas pós-colheitas</i>	41
5.3 EXPERIMENTO COM FRUTOS DE MARACUJÁ II	43
5.3.1 <i>Avaliações físico-químicas: acidez total titulável (ATT), pH, sólidos solúveis totais (SST) e ratio (SST/ATT)</i>	43
5.3.2 <i>PERDA DE MASSA</i>	44
5.3.3 <i>Firmeza</i>	45
5.3.4 <i>Cor</i>	46
5.3.5 <i>Aspecto Visual</i>	47
5.3.6 <i>Índice de perdas pós-colheitas</i>	48
6. CONCLUSÕES	50
7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	51

1. INTRODUÇÃO

O maracujazeiro é uma planta tropical, pertencente à família Passifloraceae e ao gênero *Passiflora*. O Brasil atualmente é o maior produtor e consumidor de maracujá do mundo, produzindo cerca de 683.993 mil toneladas no ano de 2021 (CEASA, 2021; EMBRAPA, 2021; IBGE, 2021). A cultura se destaca como alternativa na geração de emprego e renda (ALMEIDA *et al.*, 2021). Entretanto, Almeida *et al.*, (2021) afirmam que, apesar do Brasil apresentar um clima propício para o desenvolvimento da cultura, a fruta enfrenta alguns problemas pós-colheita. Por ser uma fruta climatérica, o maracujá continua o processo de respiração e transpiração liberando água para o ambiente, mesmo após ser destacado da planta mãe, o que causa o enrugamento da casca e o murchamento da fruta. Problemas fitossanitários têm acometido essa cultura, causando escurecimento da casca e podridão por fungos (RINALDI *et al.*, 2017). Também deve ser ressaltado a importância negativa das perdas que ocorrem na etapa de pós-colheita, devido a falhas no manuseio, embalagem, armazenamento e transporte.

Todos esses problemas trazem perda de valor comercial para a fruta. Sendo assim, novas tecnologias têm sido avaliadas como alternativa para aumentar a vida útil de frutas e hortaliças, assim como preservar suas qualidades físico-químicas durante o processo de armazenamento e comercialização.

Dentre as tecnologias utilizadas, pode-se citar os filmes e revestimentos comestíveis, elaborados a partir de matriz polimérica (KOUHI; PRABHAKARAN; RAMAKRISHNA, 2020). A quitosana é um polissacarídeo obtido a partir da desacetilação da quitina, que vem sendo utilizada na elaboração de filmes e revestimentos, sendo considerada como segura pela Food and Drug Administration (FDA). Os filmes e revestimentos a base de quitosana são promissores por apresentarem boas propriedades mecânicas e atividade antibacteriana, podendo ser aplicados em diversos alimentos (FORTUNATI *et al.*, 2017; KUMARIHAMI *et al.*, 2022).

Revestimentos e filmes a base de quitosana reduzem a respiração do fruto diminuindo a desidratação, e podem retardar o escurecimento enzimático (MOHAMED; EL-SAKHAWY; EL-SAKHAWY, 2020). Além disso, filmes e revestimentos de quitosana são transparentes, flexíveis e resistentes, apresentam resistência à gordura e apresentam baixa permeabilidade a gases, todavia esses filmes há base de quitosana são sensíveis a umidade, não sendo interessante seu uso em frutas com alta taxa de liberação de vapor d'água como o

maracujá(NAYIK; MAJID; KUMAR, 2015). Visando melhorar essas características, tem-se elaborado compósitos a partir da mistura de lipídios e polissacarídeos(HASSAN *et al.*, 2018).

Dentre os lipídios utilizados, a cera de carnaúba (*Copernicacerifera*) e a resina de colofônia têm ganhado espaço nos últimos anos, sendo utilizada em misturas com outros polímeros (DE OLIVEIRA FILHO *et al.*, 2021; DOS SANTOS *et al.*, 2017; XAVIER *et al.*, 2020). Os revestimentos a base de lipídeos são considerados eficazes na redução da perda de massa de frutas, reduzindo a permeação do vapor d'água (SUSMITA DEVI *et al.*, 2022). No entanto, os lipídeos sozinhos têm capacidade limitada de formar filmes com boa integridade mecânica (SYAHIDA *et al.*, 2020). Diante disso, tem-se elaborado filmes e revestimentos a partir de misturas de lipídios com proteínas ou com polissacarídeos, produzindo filmes e revestimentos com maior resistência mecânica e de barreira a gases e ao vapor d'água (HASSAN *et al.*, 2018). Além de todas as características já citadas, os filmes e revestimentos são ótimos carreadores de compostos ativos.

Nos últimos anos, têm surgido diversos trabalhos que investigam a incorporação e a ação de agentes ativos, como os óleos essenciais(DI GIUSEPPE *et al.*, 2022; GUERREIRO *et al.*, 2015; RAEISI *et al.*, 2016). Além dos óleos, as nanopartículas têm sido incorporadas nos filmes e revestimentos (HAJJI *et al.*, 2017; HAN LYN *et al.*, 2021), com destaque à utilização das nanopartículas de óxido de zinco (ZnO_{nano}), que é utilizada como agente antimicrobiano(CHEN *et al.*, 2022; RAHMAN; MUJEEB; MURALEEDHARAN, 2017). Além disso, o tamanho nanométrico das ZnO_{nano} faz com que a nanocarga tenha uma área de superfície maior, fazendo com que a interação entre a carga e o polímero seja forte, resultando em melhorias nas propriedades dos polímeros (LI *et al.*, 2009).

Não foi observado na pesquisa bibliográfica realizada, relatos sobre filmes compostos de quitosana com a adição de cera de carnaúba ou resina de colofônia contendo nanopartículas de óxido de zinco (ZnO_{nano}), nem a sua aplicação em frutas do maracujá. Diante disso, este trabalho teve como objetivo desenvolver e caracterizar filmes de quitosana contendo cera de carnaúba ou resina de colofônia e nanopartículas de óxido de zinco, utilizados como revestimento em maracujá.

2. OBJETIVOS

2.1 Objetivo Geral

Desenvolver compósitos a base de quitosana a serem utilizados como revestimento em frutos de maracujá visando a manutenção da sua qualidade pós-colheita.

2.2 Objetivos Específicos

- ✓ Avaliar o efeito da adição de cera de carnaúba, da resina de colofônia e de nanopartículas de óxido de zinco nas propriedades de permeação, mecânicas, físicas e químicas em filmes de quitosana;
- ✓ Avaliar a aplicação dos revestimentos nas propriedades físico-químicas dos frutos de maracujá revestidos, e armazenados à temperatura ambiente ($\approx 22,5\text{ }^{\circ}\text{C}$).

3. REVISÃO DE LITERATURA

3.1 Maracujá

O maracujazeiro pertence à família Passifloraceae, que possui 19 gêneros, sendo o Passiflora o gênero mais expressivo em relação ao número de espécies e importância econômica. Estima-se que existem mais de 500 espécies do gênero, onde 150 são nativas do Brasil, um dos maiores centros em diversidade de espécies comerciais e silvestres do maracujazeiro(FALEIRO; JUNQUEIRA, 2016). Entre as várias espécies passifloráceas que são comercializadas no Brasil, o maracujazeiro amarelo ou azedo (*Passiflora edulis Sims f. flavicarpa DEG*) é o mais cultivado respondendo por 95% de área cultivada, devido a maior preferência pelos frutos no mercado interno (SILVA *et al.*, 2016).

Segundo dados do IBGE (2023), no ano de 2022 o Brasil produziu 697.859 toneladas do maracujazeiro, tendo rendimento médio de 15.303 Kg por hectare. A região nordeste é a maior produtora no país, sendo o Bahia o estado com maior produção (227.867 toneladas). De acordo com Bragança, (2021), o Brasil é considerado o maior produtor e consumidor de maracujá do mundo. A fruta do maracujazeiro é rica em vitamina C e A, em compostos fenólicos, e contém várias substâncias aromáticas e ácidos orgânicos, sendo consumida in natura e utilizada na elaboração de sucos (YOU *et al.*, 2022; ZERAIK *et al.*, 2011).

O maracujá é uma fruta climatérica, ou seja, os processos fisiológicos continuam após o fruto ser destacado da planta mãe, quando se inicia a etapa de pós-colheita(BRAGANÇA, 2021). O maracujá apresenta duração de três a sete dias em temperatura ambiente, estando sujeito a rápida deterioração causada pelo murchamento e incidência de microrganismos patogênicos (RINALDI *et al.*, 2017). Fungicidas químicos como o tebuconazol, tebuconazol + trifloxistrobina, difenoconazol e tiabendazol têm sido utilizados como forma de evitar a incidência de patógenos no período pós-colheita do maracujá, todavia os fungicidas em sua maioria são tóxicos e podem ser bioacumulados no fruto, o que é prejudicial à saúde humana e ao meio ambiente(ZHOU *et al.*, 2022).

Tratamentos alternativos, como o uso de baixas temperaturas, diferentes sanitizantes e tratamentos hidrotérmicos(RINALDI *et al.*, 2017) têm sido avaliados. Entretanto alguns desses tratamentos exigem grandes instalações ou equipamentos especiais, diante disso a utilização de revestimentos elaborados a partir de polímeros naturais como os polissacarídeos, proteínas e lipídeos, tem como objetivo preservar a qualidade físico-química e aumentar a vida útil de produtos vegetais e podem ser aplicados a frutos do maracujá na pós-colheita

(JOSÉ CAMPOS *et al.*, 2005; ZHOU *et al.*, 2022). Os filmes e revestimentos são ótimos carreadores de agentes ativos, como as nanopartículas de óxido de zinco (ZnO) (ZEHRRA *et al.*, 2022).

Apesar do amplo uso de filmes e revestimentos em frutas, poucos trabalhos são encontrados na literatura fazendo uso dessa alternativa para preservação da qualidade na pós-colheita do maracujá. Dentre os trabalhos recentemente publicados, You *et al.*, (2022) estudaram o efeito de uma embalagem microporosa, combinada com a aplicação de revestimento a base de quitosana e ZHONG *et al.*, (2022) avaliaram o efeito da aplicação de 1-metilcilopropano combinado com revestimento de quitosana; os dois trabalhos aplicaram seus tratamentos em maracujás e concluíram que os tratamentos foram capazes de preservar a qualidade físico-química e aumentar a vida útil das frutas em até 12 dias armazenados a temperatura de 25 °C.

3.2 Filmes e Revestimentos

Os filmes e revestimentos têm sido amplamente utilizados pela indústria alimentícia para o aumento da vida útil de alimentos como frutas e hortaliças (POVERENOV *et al.*, 2014; YUE *et al.*, 2018). Além da eficácia dos filmes/revestimentos na prevenção da deterioração dos alimentos e do crescimento de microrganismos, eles podem proteger os alimentos da deterioração física, química e biológica durante o armazenamento, manuseio e transporte (ZHU, 2021). Além da indústria alimentícia, a indústria de embalagens também tem utilizados filmes como alternativa a fim de substituir os polímeros amplamente utilizados na indústria, que são em sua maioria de origem petroquímica (FAKHOURI *et al.*, 2015). A principal diferença entre filmes e revestimentos está na sua forma de aplicação.

Revestimento é uma fina camada de material polimérico, formado diretamente na superfície do produto, que se pretende proteger. Filme é uma camada fina previamente formada, produzida a partir de biopolímeros, que pode ser usado como embalagem ou camadas de separação. O revestimento é aplicado na forma líquida diretamente no produto, por diferentes técnicas como a imersão, ou a pulverização, passando a fazer parte do produto, mas não devem alterar as características visuais, ou sensoriais dos mesmos. Já os filmes são produzidos separadamente, sendo obtidos como placas sólidas e utilizados como uma embalagem do produto (FALGUERA *et al.*, 2011; MOHAMED; EL-SAKHAWY; EL-SAKHAWY, 2020). Na Figura 1, é apresentado de forma ilustrativa a diferença entre os filmes e revestimentos.

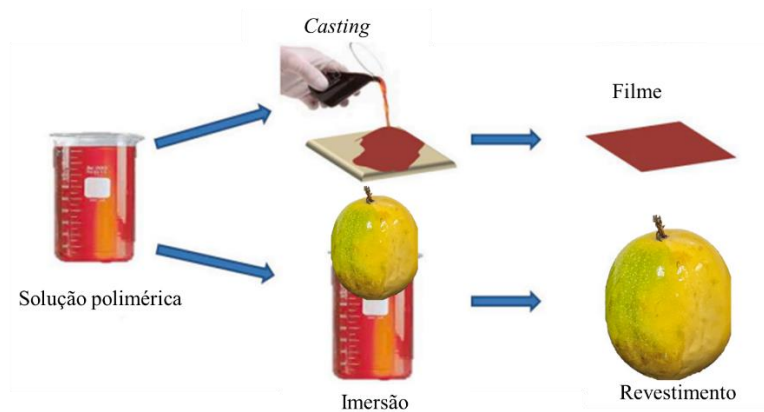


Figura 1.Filmes e Revestimentos

Fonte: Adaptado de(KOUHI; PRABHAKARAN;
RAMAKRISHNA, 2020)

Filmes e revestimentos são desenvolvidos a partir de matrizes poliméricas, como polissacarídeos, proteínas ou lipídios, podendo ser comestíveis e biodegradáveis (KOUHI; PRABHAKARAN; RAMAKRISHNA, 2020; PAIDARI *et al.*, 2021), com objetivo de preservar de forma eficiente a qualidade frutas e vegetais durante o armazenamento (FAKHOURI *et al.*, 2015; MOHAMED; EL-SAKHAWY; EL-SAKHAWY, 2020).

Dentre os polímeros utilizados, os polissacarídeos se destacam na elaboração de filmes e revestimentos. São materiais biodegradáveis e encontrados em abundância na natureza, como os amidos, celulose e seus derivados, gomas, carragenana, pectina, alginato, quitina e quitosana (KOUHI; PRABHAKARAN; RAMAKRISHNA, 2020; ZHU, 2021). Os polímeros podem apresentar diferentes características, o que influencia nas propriedades dos filmes e revestimentos. Polímeros hidrofóbicos apresentam propriedade de barreira ao vapor d'água e a umidade eficientes, já polímeros hidrofílicos apresentam boas propriedades mecânicas e de barreira a gases (DHUMAL; SARKAR, 2018). Nos últimos anos tem crescido o número de trabalhos que buscam combinar diferentes polímeros e aditivos na elaboração dos filmes e revestimentos (DULTA *et al.*, 2022; VITAL *et al.*, 2018; XAVIER *et al.*, 2020).

Visto a grande diversidade nas características dos polímeros, em suas combinações e nos seus aditivos, faz-se necessário que alguns parâmetros como as propriedades mecânicas, de barreira, térmicas, de solubilidade em água e óleo, dentre outras características sejam determinadas para à caracterização dos filmes e revestimentos e sua posterior aplicação (FAKHOURI *et al.*, 2015; KOUHI; PRABHAKARAN; RAMAKRISHNA, 2020).

3.2 Quitosana

A quitosana é obtida comercialmente pelo processo de desacetilação da quitina, que é encontrada geralmente como constituinte principal do exoesqueleto de crustáceos e insetos e como componente da parede celular de alguns fungos. A quitosana tem como característica ser solúvel apenas em meios ácidos, devido a carga positiva do grupo amino no C – 2 do monômero de glucosamina(KUMAR; MUKHERJEE; DUTTA, 2020). Na Figura 2 é apresentado a estrutura molecular da quitina e quitosana.

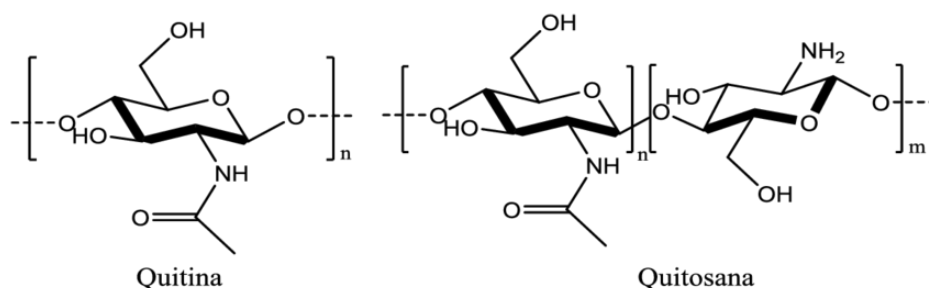


Figura 2. Estrutura molecular da Quitina e Quitosana

Fonte: (REGATTIERI; SENA; SILVA FILHO, 2016)

Nas últimas décadas a quitosana tem sido utilizada em diversas áreas, seja para fins medicinais e na área de alimentos, como revestimentos para frutas e hortaliças. Filmes e revestimentos feitos à base de quitosana, possuem propriedades antimicrobianas contra uma ampla gama de bactérias, fungos, leveduras e bolores(KUMARIHAMI *et al.*, 2022; PAIDARI *et al.*, 2021).

A quitosana é considerada como segura (GRAS) pela Food and Drug Administration (FDA) dos Estados Unidos. Filmes e revestimentos a base de quitosana são comestíveis e biodegradáveis, apresentando boas propriedades mecânicas e de barreira a gases (FORTUNATI *et al.*, 2017; KUMARIHAMI *et al.*, 2022). Diversos trabalhos relatam sua aplicação em diversas frutas como kiwi, mamão, goiaba, e apontam o papel dos revestimentos de quitosana na manutenção da qualidade pós-colheita de frutas(BATISTA SILVA *et al.*, 2018; DOTTO; VIEIRA; PINTO, 2015; FORTUNATI *et al.*, 2017).

Nos últimos anos, com o intuito de melhorar as qualidades antimicrobianas e de barreira ao vapor d'água principalmente, tem-se utilizado diversos aditivos, como os óleos essenciais de alecrim (DI GIUSEPPE *et al.*, 2022), perilla frutescensbritt. (ZHANG *et al.*, 2018), e o uso de nanopartículas, como as de prata(HAJJI *et al.*, 2017), óxido de zinco(CHEN *et al.*, 2022; ZEHRA *et al.*, 2022), óxido de cobre (SAHARAN *et al.*, 2015)e óxido de

grafeno(HAN LYN *et al.*, 2021). Apesar dos crescentes números de trabalhos encontrados com a quitosana, poucos faziam a aplicação em frutos do maracujá(YOU *et al.*, 2022; ZHONG *et al.*, 2022).

3.3 Cera de Carnaúba

A cera de carnaúba é um material a base de lipídeos, produzida nas partes inferiores das folhas de uma palmeira brasileira, a Carnaúba (*Copernicaccerifera*), típica da região nordeste do Brasil. Esta cera tem grande importância para as indústrias química, eletrônica, cosmética e farmacêutica, onde tem sido utilizada como matéria prima para elaboração de diversos produtos (BARMAN; ASREY; PAL, 2011; DE FREITAS *et al.*, 2019).

A cera de carnaúba é constituída por uma mistura complexa, tendo os ésteres como componentes majoritários, com a predominância de ésteres alifáticos e diésteres de ácido cinâmico. Possui alto ponto de fusão (80°C e 85°C) e baixa solubilidade em água (DE FREITAS *et al.*, 2019). Essas características conferem a cera o caráter relativamente inerte e estável (GUTIÉRREZ-PACHECO *et al.*, 2020).

Na indústria alimentícia, a cera de carnaúba tem sido utilizada como material de revestimento natural e comestível, sendo reconhecida como segura pela Food and Drug Administration dos Estados Unidos (FDA, 2022a; PINHEIRO, 2012). Revestimentos a base de cera de carnaúba têm sido aplicados em diversos vegetais, visando aumentar sua vida útil e conservar as suas qualidades físico-químicas (SINGH *et al.*, 2016).

Revestimentos a base de cera de carnaúba são considerados eficazes na redução de perda de massa e vapor d'água de frutas(SUSMITA DEVI *et al.*, 2022). No entanto, as ceras têm uma capacidade limitada de formar filmes com boa integridade mecânica (SYAHIDA *et al.*, 2020). Diante disso, tem-se elaborado filmes e revestimentos a partir de misturas de lipídios com proteínas e polissacarídeos, produzindo filmes e revestimentos com maior resistência mecânica e de barreira a gases e ao vapor d'água (HASSAN *et al.*, 2018).

Chiumarelli; Hubinger, (2012) estudaram as características físicas de filmes compostos de fécula de mandioca e cera de carnaúba, a adição de cera de carnaúba proporcionou melhoria na barreira ao vapor d'água e menor solubilidade dos filmes. Outros estudos têm sido realizados para verificar a influência nos aspectos físicos e químicos de filmes e revestimentos, elaborados a partir da combinação de cera de carnaúba com outros polímeros (DE OLIVEIRA FILHO *et al.*, 2021; DOS SANTOS *et al.*, 2017; XAVIER *et al.*, 2020).

3.4 Resina de Colofônia

A resina de colofônia ou breu é um material renovável, abundante e barato, que ocorre em todo o mundo. É obtida a partir da destilação da goma de *pinusextraída*, principalmente de árvores coníferas da família das pinaceae, sendo as principais fontes o *Pinus roxburghui*, o *Pinus longifolium* e o *Pinus taeda*. No Brasil a principal fonte de resina de colofônia é o *Pinus elliottii*(GAILLARD *et al.*, 2011; YADAV; GIDWANI; VYAS, 2016).

A resina é um material abundante e complexo, composto por aproximadamente 90% de ácidos colofônicos (ácidos abiético e pimárico) e 10% de materiais não ácidos. Esses materiais são substâncias com atividade contra uma gama de bactérias(SODERBERG *et al.*, 1990). A resina e seus vários derivados são amplamente utilizados em tintas, vernizes, tintas de impressão, adesivos e papel devido a suas propriedades de formação de filme. Sendo também usada em bases de goma de mascar, vernizes dentais e cosméticos. Essas são algumas das principais aplicações associadas à resina(GAILLARD *et al.*, 2011; MANDAOGADE *et al.*, 2002).

A resina também é utilizada como material de parede para encapsulação e liberação controlada de fármacos. Podendo ser utilizada também como agente hidrofóbico e de aderência, devido a sua pegajosidade(FULZELE; SATTURWAR; DORLE, 2002; SILVESTRE; GANDINI, 2008). São encontrados poucos trabalhos na literatura falando sobre a utilização de resina na elaboração de filmes e revestimentos aplicados em alimentos. Dentre os poucos trabalhos, Costa; Rocha; Ayumi, (2017) aplicaram revestimentos a base de emulsão de cera de carnaúba e resina de colofônia em goiabas. Os autores concluíram que os revestimentos proporcionaram menor perda de massa quando comparados ao controle, mostrando-se eficientes para controlar o amadurecimento das goiabas e assim permitir estender sua vida útil.

3.5 Nanopartículas

A nanotecnologia tem desempenhado um papel importante dentro da indústria de alimentos, é possível observar a utilização da nanotecnologia desde a produção agrícola, através do uso do nanoencapsulamento de biofertilizantes e biopesticidas, assim como na formulação de produtos alimentares, com o emprego de aditivos e sistemas de liberação controlada de substâncias bioativas e minerais, além de favorecer no desenvolvimento de embalagens com propriedades básicas aprimoradas e ainda adicionais, como as embalagens ativas e inteligentes (HANDFORD *et al.*, 2014).

Embalagens ativas e inteligentes são elaboradas a partir de biopolímeros que tem sido comumente oferecido como uma alternativa às embalagens sintéticas e, até agora, geralmente têm sido aplicados comercialmente como um complemento no sistema de embalagem padrão. As limitações de seu uso geralmente estão associadas a fracas propriedades mecânicas dos biopolímeros e sua sensibilidade à umidade(KRAŚNIEWSKA; GALUS; GNIEWOSZ, 2020). As nanopartículas metálicas têm recebido grande atenção nos últimos anos como alternativa na melhoria dessas características em embalagens. Seu uso traz aprimorações nas características mecânicas e de solubilidade além de conferir propriedades antimicrobianas, tendo um grande potencial quando utilizados juntos a polímeros de prolongar a vida útil dos alimentos (BHARDWAJ; SUMANA; MARQUETTE, 2020; SINGH; SAHAREEN, 2017).

Na Tabela 1 são apresentadas algumas nanopartículas utilizadas na elaboração de filmes e revestimentos.

Tabela 1. Nanopartículas utilizadas na elaboração de filmes e revestimentos.

Nanopartícula	Polímero	Aplicação	Referência
Prata (Ag)	Hidroxipropilmetilcelulose	Mamão Papaya	Vieira et al., (2020) Shankar; Khodaei; Lacroix, (2021)
	Quitosana	Morango	Li et al., (2022)
	Alginato de Sódio/Gelatina	Tangerina	Dulta et al., (2022)
	Alginato de Sódio/Quitosana	Laranja	Rahman; Mujeeb; Muraleedharan, (2017)
Óxido de Zinco (ZnO)	Quitosana	Carne Crua	Zehra et al., (2022)
Dióxido de Titânio (TiO ₂)	Quitosana	Cereja Doce	Liu et al., (2021)
	Ácido polilático (PLA)	Maçãs Manga	Chi et al., (2019)
Óxido de Cobre (CuO)	Quitosana	Goiaba	Kalia et al., (2021)
Nanocristais de Celulose	Amido de Araruta	-	Oliveira Filho et al., (2021)
Dióxido de Silício	Alginato de Sódio	-	Marangoni Júnior et al., (2021)
Cobre (Cu)	Gelatina	-	Nguyen; Dang- Thi; Trinh, (2020)
Amido	Amido de Milho	-	Lin <i>et al.</i> , (2020)
Quitosana	Amido de Batata	-	Chang et al., (2010)
Ferro (Fe)	PVA	-	Soliman; Vshivkov, (2019)
Enxofre	Alginato	-	Priyadarshi; Kim; Rhim, (2021)
Nanocelulose	Glucomanana	Tomate cereja	Xiang et al., (2021)

As nanopartículas surgem como ótimos materiais por apresentarem diferentes propriedades antibacterianas, evitando o crescimento de microflora deteriorante e patogênica, melhorando também as características físicas e químicas dos revestimentos (KRAŚNIEWSKA; GALUS; GNIEWOSZ, 2020).

ZnO é um composto inorgânico utilizado em diversas aplicações, atualmente listado como um material seguro (GRAS) pela Food and Drug Administration (ESPITIA *et al.*, 2013; FDA, 2022b). ZnO como nanopartícula aumenta sua área de superfície, aumentando consequentemente a sua interação com o polímero resultando em melhorias nas propriedades mecânicas dos polímeros (LI *et al.*, 2009). Chen *et al.*, (2022) investigou a adição de ZnO_{nano} em filmes a base de carboximetil celulose e gelatina e concluiu que ZnO_{nano} foi responsável pelo aumento da insolubilidade em água e das propriedades mecânicas do filme compósito. Em outro estudo Dulta *et al.*, (2022) enriqueceu revestimentos a base de alginato e quitosana com ZnO_{nano} e aplicou em laranjas, em conclusão os autores falam que o tratamento de revestimento Quitosana + ZnO_{nano} teve o melhor efeito de preservação das qualidades físico-químicas ao longo do armazenamento, ressaltando a eficiência das nanopartículas.

Wang *et al.*, (2019) investigaram a atividade antimicrobiana de filmes elaborados a partir de Quitosana/Alginato/Carboximetilquitosana e ZnO_{nano} sobre bactérias *Staphylococcus Aureus* e *E. Coli*. Os autores observaram que os filmes que continham ZnO_{nano} apresentaram maior potencial antimicrobiano, potencializado com o aumento da concentração de nanopartículas. Rodrigues, (2022) desenvolveu filmes biopoliméricos a partir de alginato de sódio e quitosana contendo ZnO_{nano} e avaliou a sua atividade antifúngica sobre os fungos *C. Gloeosporioidese Fusarium sp.*, *in vitro* e observou que os filmes contendo ZnO_{nano} apresentaram potencial fungistático contra os microrganismos testados.

4 MATERIAL E MÉTODOS

4.1 Materiais

Foram utilizados neste trabalho, Quitosana (Sigma Aldrich) de média massa molecular e grau de desacetilação maior que 75%, nanopartículas de óxido de zinco (ZnO_{nano}) com tamanho de partícula (50 nm - nº 677450) (Sigma-Aldrich, EUA), ácido acético glacial (Sigma-Aldrich, EUA), cera de carnaúba tipo 1 e resina de colofônia (Fenix Ceras e Produtos derivados, São Paulo, Brasil), glicerol (Vetec Química, Brasil) e polisorbato 80 (Neon reagentes analíticos, Brasil).

Os frutos do maracujazeiro (*Passiflora edulis* Sims) foram adquiridos no Ceasa do município do Rio de Janeiro e transportados para o laboratório de fisiologia pós-colheita da Embrapa Agroindústria de Alimentos (Rio de Janeiro, RJ – Brasil), onde foram separados de acordo com a uniformidade de tamanho e cor, e ausência de danos mecânicos ou fisiológicos.

4.2 Preparação das soluções e produção dos filmes

Na Figura 3 é apresentado o processo de elaboração das soluções poliméricas usadas na confecção dos filmes e na aplicação em frutos do maracujá.

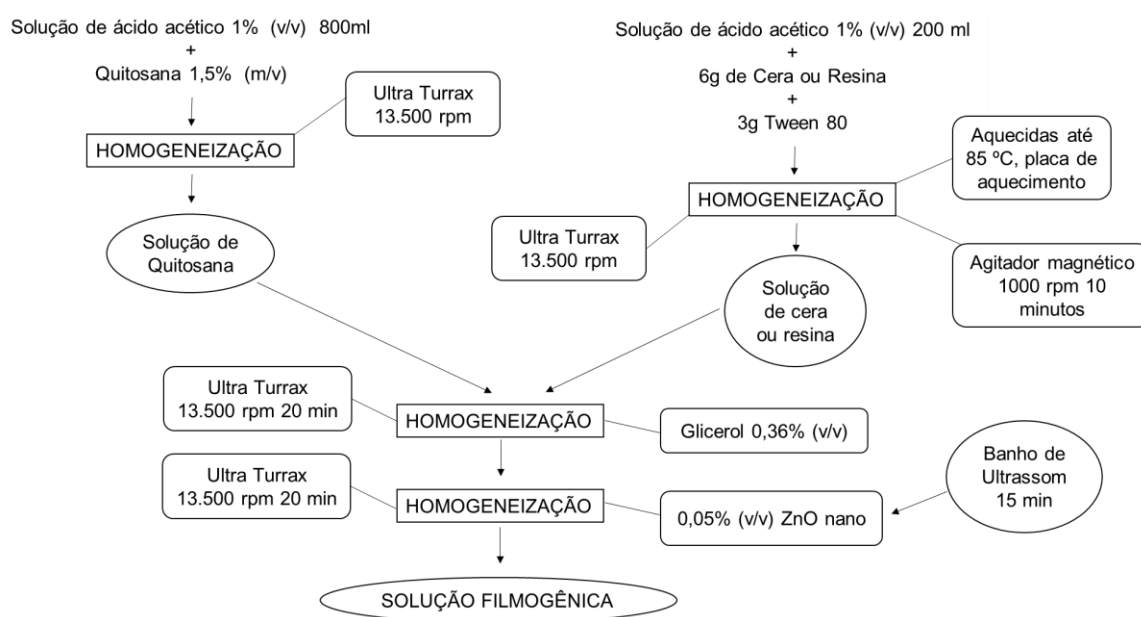


Figura 3. Processo de elaboração das soluções poliméricas.

A elaboração de todos os tratamentos desse experimento foram baseados no estudo desenvolvido por Dos Santos et al., (2017). As soluções de quitosana com concentração de 1,5% (m/v) foram preparadas dissolvendo a quitosana em pó em solução de ácido acético glacial a 1% (v/v) sob agitação utilizando um homogeneizador Ultra Turrax (IKA Turrax Digital, Model T25 basics, Staufen, Alemanha) a 13.500 rpm durante 2h, até dissolução completa. A cera de carnaúba ou a resina de colofônia foram adicionadas a solução na concentração de 50% (m/m) em relação a quitosana. Para elaboração de 1000 ml de solução final, 200 ml de ácido acético a 1% foram aquecidos com o auxílio de uma placa de aquecimento até a temperatura de 85° C, em seguida foram adicionados 6g de cera ou resina de colofônia, tween 80 foi adicionado como tensoativo a 50% (m/m de cera de carnaúba/resina de colofônia), a solução foi homogeneizada por meio da agitação magnética durante um período de 10 minutos mantendo a temperatura de 85° C até o amolecimento da cera/resina. Em seguida, a solução foi homogeneizada em agitação magnética com Ultra Turrax a 13.500 rpm por 10 minutos, em seguida foi adicionada a essa solução 800 ml de solução de quitosana a 1,5% e glicerol a 0,36% (m/v) e homogeneizada durante 20 minutos. Desse modo, foi obtido uma solução final de 1000 ml com a concentração de 1,2% de quitosana (m/v) e 0,6% de cera de carnaúba ou resina de colofônia (m/v). As nanopartículas de óxido de zinco ZnO_{nano} foram suspensas em água destilada e sonicadas em banho de ultrassom (Unique USC – 4800, Indaituba, Brasil) com potência de 220W por 15 minutos (RODRIGUES, 2022). Em seguida, as ZnO_{nano} foram incorporadas as soluções filmogênicas a uma concentração de 0,05% (m/v), com auxílio do Ultra Turrax durante 15 minutos a 13.500 rpm.

As soluções filmogênicas foram vertidas (100ml) em placas de Petri de poliestireno e (15 cm de diâmetro) secas em estufa com circulação de ar (Modelo MA 035/3, Marconi, Brasil) a 30 °C por 48h. Após a secagem, os filmes foram retirados da superfície da placa e mantidos a \approx 50% de umidade relativa em solução supersaturada de Nitrato de Magnésio, e temperatura ambiente (30 °C) por 48 h até sua caracterização. Na Tabela 2 é apresentado a concentração dos compostos em cada tratamento para 1000 ml de solução final.

Tabela 2. Concentração dos compostos utilizados para cada tratamento (m/v).

Tratamento	*Componentes da formulação					
	Quitosana	Cera de carnaúba	Resina de Colofônia	ZnO _{nano}	Tensoativo	Glicerol
Q	1,2%	-		-	0,3%	0,36%
QZ	1,2%	-		0,05%	0,3%	0,36%
QC	1,2%	0,6%			0,3%	0,36%
QCZ	1,2%	0,6%		0,05%	0,3%	0,36%
QR	1,2%		0,6%		0,3%	0,36%
QRZ	1,2%		0,6%	0,05%	0,3%	0,36%

*Todas as concentrações são em relação à volume total da solução. Q; Quitosana; QZ; Quitosana + ZnO_{nano}; QC; Quitosana + Cera; QCZ; Quitosana + Cera + ZnO_{nano}; QR; Quitosana + Resina; QRZ; Quitosana + Resina + ZnO_{nano}.

4.3 Caracterização dos Filmes

Para a realização das análises, os filmes foram armazenados 48 horas antes das análises em dessecador com solução supersaturada de Nitrato de Magnésio.

4.3.1 Espessura

A espessura dos filmes foi medida, medida utilizando um micrometro digital IP 54 (Fowler, Newton, USA) com $\pm 0,02$ mm de precisão em 10 pontos diferentes dos filmes.

4.3.2 Propriedades Mecânicas

O ensaio de tração foi realizado de acordo com as especificações do método padrão ASTM D882-18, (2018) utilizando um analisador de textura (TA XT Plus, StableMicrosystems, Godalming, Reino Unido) com célula de carga de 25 kg. Os corpos de provas foram dimensionados em 100 mm de comprimento e 20 mm de largura. As amostras foram fixadas nas garras do equipamento com uma distância inicial de 50 mm, a velocidade de tração foi de 0,1 mm/s. Os parâmetros medidos na avaliação de propriedades mecânicas foram (Resistência à tração (RT) e alongamento na ruptura (%AR), força de perfuração (FP),

deformação na perfuração (DP) e modulo de Young (MY)) calculados utilizando as seguintes equações:

$$TR = \frac{F_m}{A_{st}}$$

Onde,

RT= é a resistência a tração (MPa);

Fm= força máxima no rompimento (N);

Ast= área da secção transversal do corpo de prova (mm²).

O alongamento na ruptura (AR) foi calculado de acordo com a seguinte equação:

$$AR = \frac{D_{fin} - D_{inc}}{D_{inc}} \times 100$$

Onde,

AR= alongamento na ruptura (%);

Dfin= distância final entre as garras (mm);

Dinc= distância inicial entre as garras (mm).

O Modulo de Young foi obtido a partir da seguinte equação:

$$MY = \frac{F}{(e \cdot L)} \times \frac{D_g}{A_x}$$

Onde,

MY – Módulo de Young (MPa);

F – Força (N);

e – Espessura do corpo de prova (mm);

L – Largura inicial do corpo de prova (mm);

Dg – Distância entre as garras (mm);

Ax – Alongamento registrado no ponto x (mm).

Os testes de perfuração foram analisados medindo a força de perfuração e a deformação da perfuração usando um analisador de textura TA.TX plus Stable Micro Systems (Surrey, Inglaterra). Uma sonda cilíndrica de 5 mm de diâmetro foi movida perpendicularmente à superfície das amostras de filme com 25 mm x 25 mm a uma velocidade constante de 1 mm·s⁻¹ até que a sonda passasse através do filme. O diâmetro da área onde o filme foi colocado foi de 10 mm. O FP e DF foram determinados através das curvas de força-deformação de pelo menos dez corpos de prova de cada amostra de filme. A força de perfuração foi calculada como a força máxima até o ponto de ruptura, e a deformação de perfuração foi relatada como a distância máxima de deformação no ponto de ruptura (CAZÓN; VÁZQUEZ; VELAZQUEZ, 2019).

4.3.4 Transmissão a Luz e Opacidade

Os filmes foram cortados em 40 mm de comprimento e 10 mm de largura e colocados em cubetas, e seus espectros de absorção foram medidos em comprimentos de onda variando de 200 a 800 nm usando um espectrofotômetro UV (BEL UV M-51, Monza, Itália) (CRIZEL et al., 2018). A opacidade do filme foi calculada com base na absorvância do filme a 600 nm,

$$\text{Opacidade} = \frac{A}{x}$$

Onde, A é a absorvância do filme a 600 nm e x é a espessura do filme (mm). Os resultados serão expressos como A·mm⁻¹.

4.3.5 Teor de umidade, Solubilidade em Água e Grau de intumescimento

A determinação do teor de umidade dos filmes seguiu metodologia descrita por Crizel et al. (2018), onde amostras de filmes com 2cm x 2cm foram pesados (M0) e secos em estufa com circulação de ar (Modelo MA 035/3, Marconi, Brasil) durante 24h a uma temperatura de 105 °C. Para o cálculo de teor de umidade os filmes foram retirados da estufa e pesados, o cálculo se deu pela diferença entre a massa seca (Ms) e a massa da amostra antes da secagem (M0) e dividida pela (M0). Em seguida as amostras foram imersas em 50 ml de água destilada e agitadas a 65 rpm por 24h a 30 °C em incubadora shaker de bancada SL-222/E (Solab, Piracicaba, Brasil). Em seguida, a porção insolúvel de cada amostra foi retirada e o excesso de água removido da superfície dos filmes que foram pesados (Mt) para avaliar o grau de intumescimento (sorção). Em seguida os filmes foram secos a 105 °C durante um período de

24h e pesados novamente para a determinação da massa final (Mf). A solubilidade e grau de intumescimento (GI) foram calculadas de acordo com as seguintes equações;

$$\text{Solubilidade (\%)} = \frac{(M_s - M_f)}{M_f} \times 100$$

Onde,

M_s = massa seca (g)

M_f = massa final (g).

$$\text{GI (\%)} = \frac{M_t - M_s}{M_s} \times 100$$

Onde,

M_t = massa intumescida (g) após 24h no shake;

M_s = massa seca (g).

4.3.8 Permeabilidade Ao Vapor D'água (PVA)

A permeabilidade ao vapor da água (PVA) foi determinada gravimetricamente segundo método (ASTM E96/E96M, 2022). As amostras de filmes foram dimensionadas em formato circular com 40 mm de diâmetro e acondicionadas em células de permeação contendo água destilada. Estas células foram colocadas em dessecador contendo sílica gel azul armazenadas a temperatura ambiente (25 °C). As células foram pesadas a cada 24h, de forma a acompanhar a variação de peso durante esse intervalo. O cálculo foi realizado através de regressão linear entre os pontos obtidos, segundo a Equação 3:

$$\text{PVA} = \left(\frac{g}{tA} \right) * \left(\frac{X}{\Delta P} \right)$$

onde A é a área de permeação, g é o ganho de peso e t o tempo total em horas. X é a espessura média dos filmes e ΔP é a diferença de pressão de vapor do ambiente contendo sílica gel (0 kPa, a 25°C) e a água pura (3,167 kPa, a 25°C).

4.3.9 Espectroscopia de difração de raios X (DRX)

Os padrões de difração de raios X dos filmes foram obtidos por meio de um difratômetro de raios X Bruker AXS D2 PHASER (Bruker Inc., Alemanha) conforme descrito por Wu et al., (2019). Os padrões XRD dos filmes foram obtidos na faixa de varredura de 2 θ de 5° a 60°.

4.4 Experimento Pós – Colheita de Maracujá

Frutos do maracujazeiro foram adquiridos no CEASA do município do Rio de Janeiro (CEASA – RJ), e transportados para o laboratório de fisiologia pós-colheita da EMBRAPA – Agroindústria de Alimentos, RJ – Brasil. No laboratório os frutos foram retirados cuidadosamente das embalagens, e selecionados quanto a coloração da casca, ausência de danos mecânicos e sintomas de doenças, para a uniformização dos lotes. Após o processo de seleção, os frutos que receberam os revestimentos foram lavados em água corrente para retirada de sujidades, em seguida foram sanitizados em solução clorada durante um período de 15 minutos, e deixados secar em temperatura ambiente 30 °C.

O experimento foi realizado em duas etapas. Primeiro, as formulações QC, QCZ, QR e QRZ foram aplicadas nos frutos, que foram mantidos a temperatura ambiente ($\approx 22,5$ °C) e avaliados nos dias 0, 2, 4, 8 e 10 de armazenamento. A partir dos resultados obtidos, duas novas formulações foram avaliadas, nas quais a concentração da resina foi aumentada de 0,6 para 0,8%, identificados na Tabela 3 como QR¹ e QRZ¹.

Tabela 3. Tratamentos aplicados no pós-colheita do maracujá.

Tratamento	*Componentes da formulação					
	Quitosana	Cera de carnaúba	Resina de Colofônia	ZnO _{nano}	Tensoativo	Glicerol
QC	1,2%	0,6%	-	-	0,3%	0,36%
QCZ	1,2%	0,6%	-	0,05%	0,3%	0,36%
QR	1,2%	-	0,6%	-	0,3%	0,36%
QRZ	1,2%	-	0,6%	0,05%	0,3%	0,36%
QR ¹	1,2%	-	0,8%	-	0,4%	0,36%
QRZ ¹	1,2%	-	0,8%	0,05%	0,4%	0,36%

*Todas as concentrações são em relação à volume total da solução. QC; Quitosana + Cera; QCZ; Quitosana + Cera + ZnO_{nano}; QR; Quitosana + Resina; QRZ; Quitosana + Resina + ZnO_{nano}.

Para os dois experimentos, foram realizadas as análises descritas a seguir.

4.4.1 Perda de massa

A perda de massa dos frutos foi determinada a partir da diferença entre a massa inicial (MI) e a massa final (MF), com auxílio de uma balança semi-analítica com precisão de $\pm 0,01\text{g}$ (ONIAS *et al.*, 2018). Os resultados foram expressos em % de perda de massa fresca, para o cálculo foi seguindo a equação:

$$\text{PM (\%)} = \frac{\text{MI-MF}}{\text{MI}} \times 100$$

PM (%) = percentagem de perda de massa fresca

MI = Massa inicial da amostra (g)

MF = Massa final da amostra (g)

4.4.2 Cor da casca

A cor dos frutos foi determinada de acordo com metodologia proposta por (YOU *et al.*, 2022). Foi utilizado um colorímetro portátil CR-400 (Konica Minolta, Tóquio, Japão). Os parâmetros CIELab L* (luminosidade, 0 - preto a 100 - branco), a* (Vermelho (+a) a verde (-a)) b* (amarelo (+b) a azul (-b)) foram obtidos a partir de dois pontos aleatórios da casca dos frutos.

4.4.3 Firmeza

A firmeza foi determinada pelo método deBallesteros *et al.*, (2021) com um analisador de textura TA-XT PLUS (Stable Micro Systems, Reino Unido): uma sonda P2/N com diâmetro de 2 mm foi utilizado: velocidade de pré-teste, teste e pós-teste foram de 1 mm/s, 2 mm/s e 10 mm/s, respectivamente, e a profundidade de teste foi de 5 mm.

As análises descritas nos próximos tópicos foram executadas após o processamento de cada unidade experimental, a cada dia de avaliação (0, 2, 4, 8 e 10). A polpa dos frutos foi

triturada com auxílio de processador de alimentos (Osterizer Blender), e utilizada posteriormente para as análises.

4.4.4 Acidez Total Titulável (ATT) e pH

A acidez total titulável (ATT) foi determinada com o auxílio de um titulador automático (794 Basic Titrino - Metrhom) usando o método 750 (1998). Para isso aproximadamente 1g de polpa foram pesadas e homogeneizadas em 60 ml de água destilada com auxílio de agitador magnético, em seguida foi realizada a titulação com NaOH 0,1 mol L⁻¹ em titulador automático, programado para atingir o pH 8,1. Os resultados foram expressos em g de ácido cítrico (g·100g⁻¹).

A determinação do pH foi realizada usando um titulador automático (794 Basic Titrino - Metrhom) de acordo com a ISO 1842, (1991). Após a homogeneização da amostra, o pH foi medido pela introdução do eletrodo na amostra.

4.4.5 Sólidos Solúveis Totais (SST)

A determinação dos sólidos solúveis totais foi realizada pela leitura direta em refratômetro digital Atago PAL – 1, para isso o prisma do refratômetro foi coberto pela polpa dos frutos. Os resultados foram expressos em graus Brix°(ISO 2173, 1978).

4.4.7 Relação SST/ATT

A relação SST/ATT foi obtida por meio da razão entre os valores das análises de sólidos solúveis totais e acidez total titulável. Os resultados foram apresentados em valor absoluto.

4.4.8 Vitamina C

Para determinação de vitamina C em maracujás, foi utilizada metodologia descrita por Rosa et al., (2007), com injeção em HPLC utilizando coluna de troca iônica. A extração foi realizada em ultrassom durante 10 minutos utilizando ácido sulfúrico 0,05M, os resultados foram expressos em mg·100⁻¹ g de amostra.

4.4.9 Açúcares

A determinação de açúcares seguiu metodologia descrita por Macrae (1998), com injeção em HPLC. A extração se deu em ultrassom e com acetonitrila, com resultados expressos em $\text{g} \cdot 100\text{g}^{-1}$ de amostra.

4.4.10 Índice de perdas pós-colheitas

Durante o armazenamento em cada dia de avaliação foi realizada a contagem e a retirada frutos lesionados e impróprios para consumo. Os resultados foram expressos em perdas percentuais de frutos ao longo do armazenamento (ROMANAZZI *et al.*, 2013).

4.5 Análises estatísticas

Os resultados foram submetidos a análise de variância (One-Way ANOVA). As diferenças significativas entre as médias foram analisadas pelo teste de Tukey ($p < 0,05$). A análise estatística foi realizada utilizando o programa STATISTICA® versão 8.0 (Statsoft, Tulsa, USA).

5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

5.1 Caracterização dos filmes

5.1.1 Propriedades Mecânicas

A resistência à tração é a propriedade mecânica que reflete o estresse máximo que o filme sustenta antes de romper (AISYAH *et al.*, 2018). Já o alongamento na ruptura refere-se à capacidade dos filmes de resistir a mudanças na forma sem quebrar. Além disso, o módulo de Young é a inclinação da curva tensão-deformação, medindo a rigidez do material (MOGHIMI; ALIAHMADI; RAFATI, 2017). Esses parâmetros ajudam a determinar a flexibilidade e elasticidade dos filmes. Sendo a elasticidade e flexibilidade necessárias para filmes quando o objetivo é armazenar alimentos embalados (AGARWAL, 2021). Na Tabela 4 são apresentados os dados de propriedade mecânicas de filmes a base de quitosana.

Tabela 4. Propriedades mecânicas dos filmes a base de quitosana. Resistência à tração (RT) e alongamento na ruptura (%AR), força de perfuração (FP), deformação na perfuração (DP) e módulo de Young (MY). Propriedades mecânicas dos filmes estudados.

T	RT (MPa)	AR (%)	FP (N)	DP (%)	MY (MPa)
Q	21,99 ^{cd} ± 1,40	7,25 ^{bc} ± 0,92	31,89 ^a ± 2,67	5,52 ^c ± 0,29	13,48 ^c ± 1,99
QZ	36,74 ^e ± 3,03	3,39 ^a ± 1,00	57,59 ^c ± 4,04	4,73 ^{bc} ± 0,34	21,12 ^d ± 2,05
QC	11,46 ^a ± 1,18	14,25 ^d ± 1,97	42,66 ^b ± 6,79	9,61 ^d ± 1,02	5,45 ^a ± 0,40
QCZ	18,63 ^b ± 1,55	15,55 ^d ± 1,70	70,79 ^d ± 2,94	8,96 ^d ± 0,89	8,32 ^b ± 0,89
QR	19,86 ^{bc} ± 1,63	7,78 ^c ± 1,22	31,04 ^a ± 1,62	3,61 ^{ab} ± 0,44	11,66 ^c ± 1,01
QRZ	25,29 ^d ± 1,92	4,34 ^{ab} ± 0,71	37,69 ^{ab} ± 2,21	2,52 ^a ± 0,31	20,74 ^d ± 1,38

*As médias seguidas da mesma letra, nas colunas, não diferem entre si, segundo o teste de Tukey a 5% de probabilidade. T: Tratamento; Q; Quitosana; QZ; Quitosana + ZnO_{nano}; QC; Quitosana + Cera; QCZ; Quitosana + Cera + ZnO_{nano}; QR; Quitosana + Resina; QRZ; Quitosana + Resina + ZnO_{nano}.

À adição de ZnO_{nano} aumentou de forma significativa a resistência a tração de todos os filmes analisados ($p \leq 0,05$), onde QZ, QCZ e QRZ apresentaram valores de 36,74, 18,63 e 25,29 Mpa, respectivamente. As nanopartículas agem como reforço para a matriz polimérica, através de uma interação interfacial. Desta forma, ZnO_{nano} pode atuar como um antiplastificante causando redução na mobilidade das cadeias poliméricas e aumento da

rigidez do filme (CUSHEN *et al.*, 2012; SANI *et al.*, 2022). Youssef *et al.*, (2016) elaboraram filmes bionanocompósito de quitosana/carboximetilcelulose/óxido de zinco e notaram que a adição de ZnO_{nano} aumentaram os valores de RT, este comportamento foi atribuído à interação entre ZnO_{nano} e a matriz de quitosana/carboximetilcelulose.

Para as adições de cera de carnaúba e resina de colofônia, apenas a cera de carnaúba reduziu o valor de RT ($p \leq 0,05$), onde Q e QC apresentaram valores de 21,99 e 11,46 Mpa, respectivamente. A incorporação de lipídios na matriz de quitosana pode substituir parcialmente a rede de polímero-polímero forte com interações fracas de polímero-lipídio dentro da matriz. Isso pode levar a um enfraquecimento da resistência a tração, embora muitas vezes isso seja acompanhado por um aumento no alongamento do filme, que também é observado neste trabalho (DOS SANTOS *et al.*, 2017; NUR FATIN; NUR HANANI, 2017; SYAHIDA *et al.*, 2020). Chiumarelli; Hubinger, (2012) avaliaram a estabilidade, solubilidade, propriedades mecânicas e de barreira de filmes a base de amido de mandioca adicionado de cera de carnaúba e observaram que a adição da cera diminuiu a resistência a tração dos filmes.

Para o alongamento na ruptura (AR%) é notado o inverso dos acontecimentos na resistência a tração. A adição de ZnO_{nano} diminuiu os valores de AR para os filmes QZ e QRZ, 3,39 e 4,34 respectivamente. Já a adição de cera de carnaúba aumentou o alongamento na ruptura, quase duplicando o valor quando comparado a Q que apresentou valor de 7,25, isso pode ser devido a ação plastificante da cera, o que pode permitir a mobilidade da cadeia polimérica durante o estiramento ao decorrer da análise (SEDAYU; CRAN; BIGGER, 2019).

Em relação ao módulo de Young (MY), a adição de ZnO_{nano} aumentou a rigidez dos filmes ($p \leq 0,05$), onde QZ obteve a maior rigidez quando comparado aos demais tratamentos. A elevação do módulo de Young nos filmes pode ser devido a diminuição de mobilidade entre os segmentos da matriz polimérica devido a adição de ZnO_{nano} , devido a essa forte interação observa-se um aumento na rigidez dos filmes (LI *et al.*, 2009). O contrário acontece com a adição de cera de carnaúba que diminuiu a rigidez dos filmes sendo QC o filme com menor rigidez. Isso é atrelado principalmente as ligações intermoleculares polímero-lipídio.

A força de perfuração (FP) é a força necessária para que haja a perfuração do filme ou o limite máximo que o filme se sustenta antes de ser perfurado. A adição de ZnO_{nano} aumentou a força de perfuração de QZ e QCZ que apresentaram valores de 57,59 e 70,79 N, respectivamente, já em relação as adições de cera de carnaúba e resina de colofônia apenas a adição da cera aumentou de forma significativa ($p \leq 0,05$) a força de perfuração onde QC apresentou valor de 42,66 N. A colofônia é composta principalmente por ácidos carboxílicos que são compostos lipídicos. A colofônia é utilizada na confecção de vernizes, colas e folhas

de papel plastificadas, conferindo a estes produtos uma maior elasticidade. A cera de carnaúba tem um ponto de fusão bem maior que as demais ceras e é extremamente dura, fornecendo filmes mais rígidos e que causa impacto na FP (FULZELE; SATTURWAR; DORLE, 2002).

Na DP a adição de ZnO_{nano} não influenciou de forma significativa a nenhum dos tratamentos ($p \leq 0,05$), já a adição da cera de carnaúba aumentou significativamente a deformação na perfuração ($p \leq 0,05$). Já as adições de cera e resina aumentaram e diminuíram respectivamente a DP. [Voltar aqui e olhar o comentário da Andresa.](#)

5.1.2 Espessura, Opacidade e Transmissão a Luz

Na Tabela 5 são apresentados os dados de espessura e opacidade dos filmes a base de quitosana. A espessura dos filmes variou de 85,71 a 152,8 μm (Tabela 5). A adição de ZnO_{nano} nas formulações não aumentou a espessura dos filmes. A adição de cera de carnaúba e da resina de colofônia aumentou significativamente a espessura dos filmes. DosSantos et al., (2017) também observaram que a adição de cera de carnaúba afeta a espessura dos filmes, consequência do maior contato molecular entre a quitosana e os compostos de cera, que pode enfraquecer as forças de agregação da cadeia polimérica, tornando a matriz mais aberta.

Tabela 5. Espessura e opacidade (A600/mm) dos filmes a base de quitosana.

T	Espessura (μm)	A600/mm
Q	85,71 ^a \pm 5,35	0,46 ^a \pm 0,07
QZ	92,86 ^a \pm 4,88	0,77 ^a \pm 0,02
QC	148,57 ^c \pm 6,90	2,09 ^b \pm 0,12
QCZ	152,86 ^c \pm 7,56	2,31 ^b \pm 0,09
QR	115,71 ^b \pm 5,35	3,09 ^c \pm 0,18
QRZ	122,86 ^b \pm 7,56	3,51 ^d \pm 0,16

*As médias seguidas da mesma letra, nas colunas, não diferem entre si, segundo o teste de Tukey a 5% de probabilidade. T: Tratamento; Q; Quitosana; QZ; Quitosana + ZnO_{nano}; QC; Quitosana + Cera; QCZ; Quitosana + Cera + ZnO_{nano}; QR; Quitosana + Resina; QRZ; Quitosana + Resina + ZnO_{nano}.

A opacidade é um parâmetro crucial para filmes a serem utilizados como protetor para alimentos. Esses materiais devem ser transparentes ou apenas ligeiramente opacos para limitar a perda de compostos sensíveis à luz, como vitaminas ou minerais (GALUS *et al.*, 2020).

Os valores de opacidade variaram de 0,46 a 3,51 mm. A adição de cera e resina aos filmes a base de quitosana resultou no aumento da opacidade. O aumento da opacidade em filmes adicionados de lipídeos também foi observado por Filho *et al.* (2019), e Galus *et al.* (2020). De acordo com Kowalczyk *et al.*, (2016), o estado sólido dos lipídios pode causar heterogeneidade morfológica dos filmes, resultando em dispersão da luz e aumento da opacidade. O rearranjo estrutural durante o processo de secagem do filme pode causar agregação e coalescência, o que por sua vez, influencia a homogeneidade e a dispersão da luz visível através dos filmes (HARUNA; WANG; PANG, 2019).

A proteção de produtos alimentícios contra a luz ultravioleta e a luz visível é uma função importante, pois pode retardar a oxidação lipídica e preservar as propriedades sensoriais do alimento embalado, prolongando assim sua vida útil (GASTI *et al.*, 2022; HAGHIGHI *et al.*, 2019). Na Figura 4 é apresentado a taxa de transmissão de luz para filmes a base de quitosana. Todos os tratamentos mostraram ser barreiras eficientes contra a luz UV (200-350 nm).

Na região da luz visível (380–780 nm), a taxa de transmissão de luz do filme de controle (Q) foi superior aos demais, a adição de ZnO_{nano} diminuiu as taxas de transmissão a luz visível de todos os filmes. Motelica *et al.* (2020) também notaram que a adição de ZnO_{nano}

em filmes de quitosana diminuiu a transmitância no domínio visível. De acordo com Wu et al., (2019), essa diminuição na transmissão de luz visível por ser explicada pelo espalhamento da luz e a obstrução de sua passagem causada pelas nanopartículas.

A adição de cera de carnaúba e resina de colofônia também diminuíram a transmissão de luz visível quando comparados aos filmes de quitosana puros. As gotículas lipídicas localizadas na matriz dos filmes possivelmente inibem a transmissão de luz para ambas as faixas UV e visível dos filmes resultantes (AZADI *et al.*, 2023).

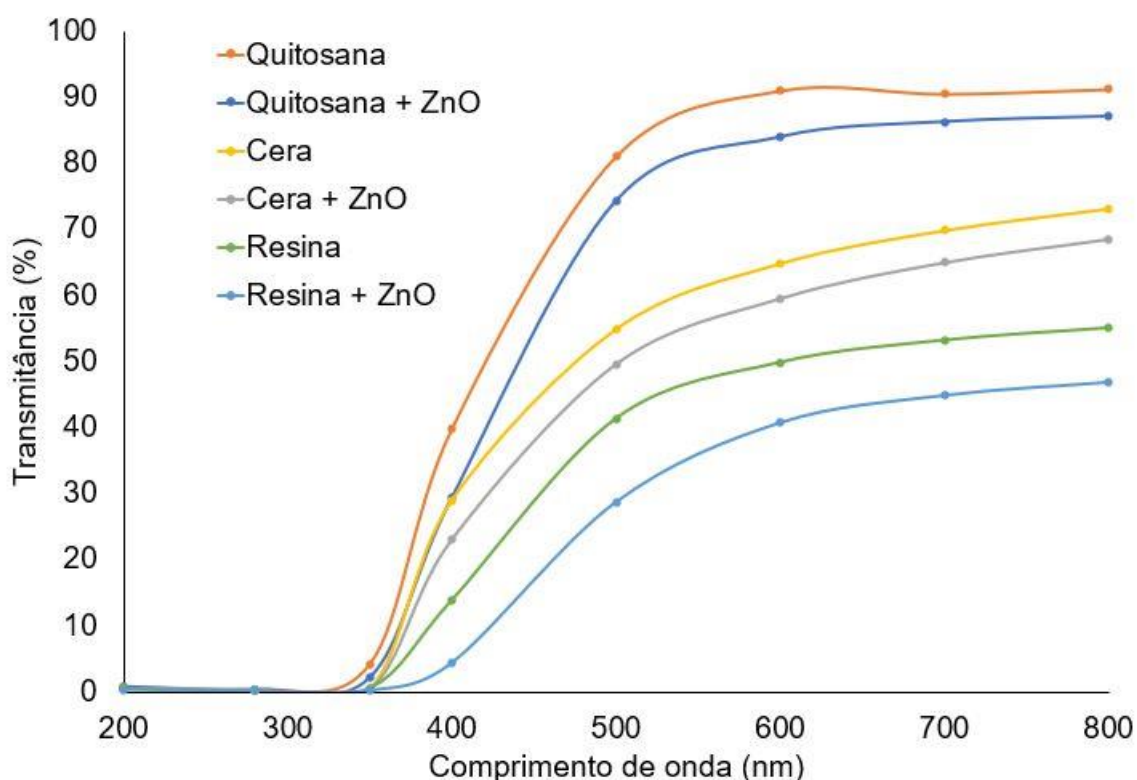


Figura 4. Transmissão de luz (%) em 200–800 nm de filmes a base de quitosana

5.1.3 Permeabilidade ao vapor de água, Teor de umidade, Solubilidade em Água e Grau de intumescimento

Na Tabela 6 são apresentados os valores de solubilidade em água, grau de intumescimento, teor de umidade e permeabilidade ao vapor d'água (PVA).

Tabela 6. Solubilidade em água, grau de inchamento (GI), teor de umidade e Permeabilidade ao Vapor d'água (PVA).

T	Solubilidade em água (%)	GI (%)	Teor de umidade (%)	PVA ($\text{g} \cdot \text{mm} \cdot \text{h}^{-1} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{kPa}^{-1}$)
Q	$24,03^{\text{d}} \pm 0,50$	$76,53^{\text{d}} \pm 2,45$	$32,21^{\text{d}} \pm 0,69$	$0,52^{\text{a}} \pm 0,03$
QZ	$18,45^{\text{c}} \pm 0,58$	$41,24^{\text{a}} \pm 2,27$	$23,60^{\text{c}} \pm 0,55$	$0,46^{\text{b}} \pm 0,03$
QC	$13,61^{\text{a}} \pm 1,20$	$70,21^{\text{c}} \pm 0,15$	$19,29^{\text{a}} \pm 0,03$	$0,45^{\text{b}} \pm 0,02$
QCZ	$12,36^{\text{a}} \pm 0,08$	$48,19^{\text{b}} \pm 1,77$	$19,03^{\text{a}} \pm 0,32$	$0,37^{\text{c}} \pm 0,02$
QR	$18,13^{\text{c}} \pm 0,34$	$73,85^{\text{d}} \pm 3,20$	$21,15^{\text{b}} \pm 0,02$	$0,35^{\text{c}} \pm 0,01$
QRZ	$16,47^{\text{b}} \pm 0,18$	$68,53^{\text{c}} \pm 0,94$	$21,47^{\text{b}} \pm 0,60$	$0,32^{\text{c}} \pm 0,02$

*As médias seguidas da mesma letra, nas colunas, não diferem entre si, segundo o teste de Tukey a 5% de probabilidade. T: Tratamento; Q; Quitosana; QZ; Quitosana + ZnO_{nano} ; QC; Quitosana + Cera; QCZ; Quitosana + Cera + ZnO_{nano} ; QR; Quitosana + Resina; QRZ; Quitosana + Resina + ZnO_{nano} .

A solubilidade em água é uma das propriedades mais importantes na caracterização de filmes principalmente quando aplicados para recobrir frutas e vegetais. Os filmes com devem apresentar baixa solubilidade, de forma a manter a integridade do fruto, e aumentar a sua vida útil (SONG *et al.*, 2020). A solubilidade dos filmes avaliados variou de 24,03 a 12,36%. A adição de ZnO_{nano} , resina e cera diminuiu a solubilidade em água dos filmes de quitosana. QC e QCZ apresentaram os menores valores de solubilidade.

De acordo com Rahman; Mujeeb; Muraleedharan, (2017), na presença de ZnO_{nano} ocorre uma diminuição na disponibilidade de grupos hidrofílicos, uma vez que as partículas de ZnO reticulam as cadeias de quitosana conectando-se através de seus grupos funcionais hidrofílicos, diminuindo assim a sua solubilidade. A adição cera e resina pode ter diminuído a quantidade de matéria solúvel presentes nos filmes controles, além de serem materiais hidrofóbicos, diminuindo assim a solubilidade dos filmes (DOS SANTOS *et al.*, 2017). Chen *et al.*, (2022) também observaram que a adição de ZnO_{nano} reduziu a solubilidade em água dos filmes de carboximetilquitosana/gelatina avaliados.

O grau de inchamento é um outro fator importante na caracterização de filmes compósitos. Especificamente, o grau de inchamento da quitosana está fortemente relacionada aos grupos hidrofílicos (polares) disponíveis na sua estrutura, que podem formar ligações de hidrogênio com as moléculas presentes em meio aquoso, aumentando assim o seu grau inchamento (ABDEEN; EL FARARGY; NEGM, 2018).

A adição de ZnO_{nano} diminuiu o grau de inchamento dos filmes a base de quitosana, QZ apresentou o menor valor de GI 41,24%. Este comportamento pode ser atribuído ao poder das nanopartículas agirem como um reticulador entre as cadeias de quitosana reduzindo a mobilidade desta última e consequentemente diminuindo o grau de inchamento dos filmes (AL-NAAMANI; DOBRETISOV; DUTTA, 2016). Outros estudos já relataram a diminuição no grau de inchamento de filmes a base de quitosana pela adição de ZnO_{nano} (LIU; KIM, 2012; YADAV; MEHROTRA; DUTTA, 2021).

A adição de cera de carnaúba também teve efeitos significativos na diminuição do grau de intumescimento ($p \leq 0,05$). A reticulação causada pelos lipídeos na matriz do filme de quitosana resultou em uma diminuição no grau de inchamento, produzindo filmes de baixa afinidade com a água, o que é benéfico quando se pretende integridade do produto e resistência à água (HAFSA *et al.*, 2016). Esse mesmo comportamento é observado com a adição da resina de colofônia, que também tem poder hidrofóbico o que diminui a mobilidade das moléculas de água ao longo da matriz polimérica, Rosa-Ramírez *et al.*, (2023), observou esse mesmo comportamento ao adicionar resina de colofônia em matérias a base de poli (ácido láctico) (PLA), os autores ligaram esse comportamento a hidrofobicidade da resina.

Em relação a teor de umidade a adição de cera de carnaúba e resina de colofônia tiveram efeitos significativos na diminuição do teor de umidade ($p \leq 0,05$). Já a adição de ZnO_{nano} diminuiu de forma significativa ($p \leq 0,05$) o teor de umidade para os filmes quitosana pura, onde QZ apresentou o valor de 23,60%. A adição de ZnO_{nano} , cera e resina são responsáveis por diminuir o teor de umidade nos filmes, isso se dá devido a diminuição da disponibilidade de grupos hidroxila e amino, o que, por sua vez, limitam as interações quitosana-água por meio de pontes de hidrogênio (WANG *et al.*, 2013).

Os filmes para alimentos devem, idealmente, isolá-los da perda de sabor, água e outras substâncias específicas. O PVA (permeabilidade ao vapor d'água) é importante como controle da transferência de umidade entre os alimentos e o ambiente externo (MOTELICA *et al.*, 2020). O PVA dos filmes estudados variou de 0,52 a $0,32 \text{ g} \cdot \text{mm} \cdot \text{h}^{-1} \cdot \text{m}^2 \cdot \text{kPa}^{-1}$. A adição de ZnO_{nano} foi significativa ($p \leq 0,05$) na diminuição da PVA para os filmes contendo cera de carnaúba e quitosana pura onde QZ e QCZ apresentaram valores de 0,46 e $0,37 \text{ g} \cdot \text{mm} \cdot \text{h}^{-1} \cdot \text{m}^2 \cdot \text{kPa}^{-1}$ respectivamente.

Esse comportamento pode ser atribuído ao fato da quitosana ter propriedades hidrofílicas, sendo mais fácil interagir com o hidrogênio na molécula de água. À adição de ZnO_{nano} e sua dispersão na matriz polimérica forma uma barreira mais eficiente para conter a permeabilidade ao vapor d'água (SANUJA; AGALYA; UMAPATHY, 2015).

A adição de cera de carnaúba e resina de colofônia também apresentaram efeitos significativos na diminuição da PVA quando comparados ao filme controle, apresentando os seguintes valores $0,45$ e $0,35 \text{ g} \cdot \text{mm} \cdot \text{h}^{-1} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{kPa}^{-1}$ respectivamente ($p \leq 0,05$). Dos Santos et al., (2017), também notaram diminuição na PVA após adição de cera de carnaúba, de acordo com o mesmo a adição de cera de carnaúba diminuiu a hidrofobicidade dos filmes, pois o caráter hidrofóbico da cera influencia fortemente o comportamento da barreira ao vapor d'água. A diminuição ocasionada pela adição de resina se dá também pela sua hidrofocidade, sendo a sua adição responsável por apresentar os menores valores de PVA, indicando um potencial no controle de liberação de vapor d'água de alimentos como as frutas.

5.1.6 Espectroscopia de difração de raios X (DRX)

As imagens de difração de raios X fornecem informações estruturais, incluindo a estrutura amorfa e cristalina dos polímeros (XU *et al.*, 2019). Os padrões de DRX dos filmes a base de quitosana adicionados de ZnO_{nano} , cera de carnaúba e resina de colofônia são apresentados na Figura 5.

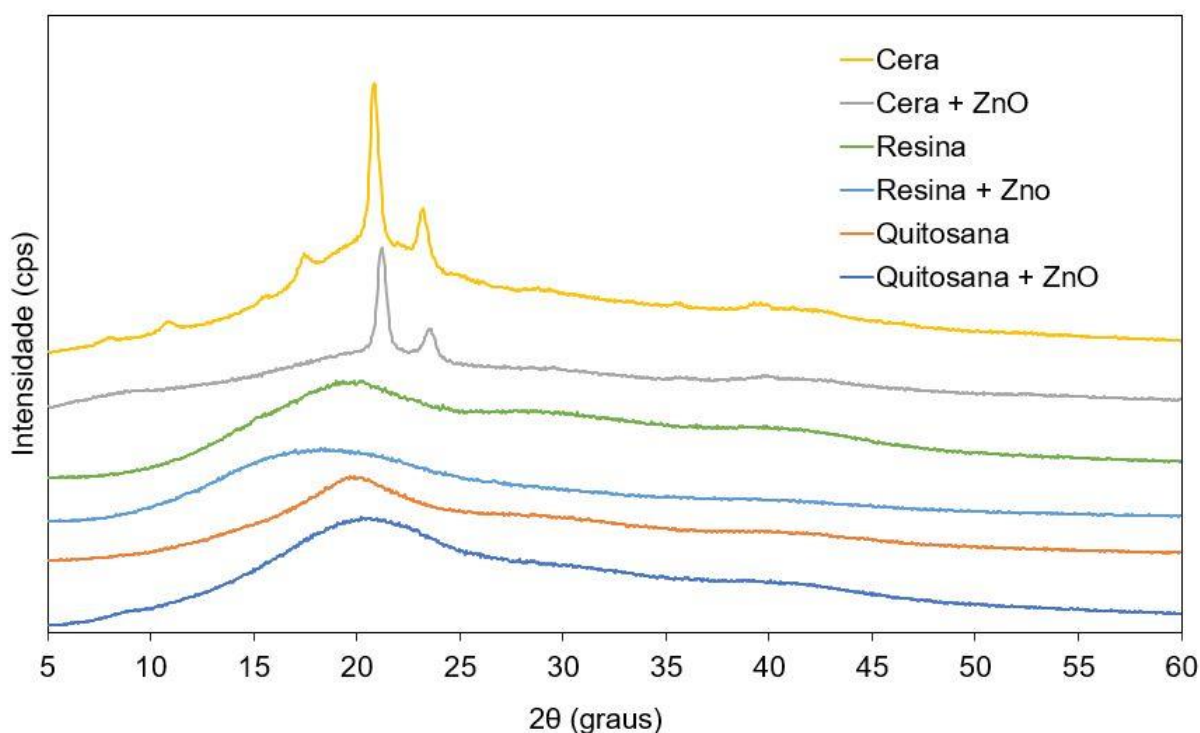


Figura 5. Padrões de DRX para filmes a base de quitosana adicionados de resina de colofônia, cera de carnaúba e ZnO_{nano} .

O filme controle de quitosana apresentou pico característico de DRX em cerca de $2\theta = 19,85^\circ$, o que define sua natureza semicristalina apontando a presença de um arranjo compacto de moléculas de polímero atribuíveis a fortes ligações de hidrogênio intermoleculares (YADAV; MEHROTRA; DUTTA, 2021). Outros autores encontraram picos semelhantes em filmes a base de quitosana (HAJJI *et al.*, 2017; RAHMAN *et al.*, 2017). A adição de ZnO_{nano} nos filmes a base de quitosana resultou no deslocamento do pico para a direita $2\theta = 20,19$, e na diminuição da sua intensidade, isso também é notado nos demais filmes, o que indica à possível formação de um nanocompósito, além disso a diminuição de intensidade e alargamento nos picos está relacionada a presença de ZnO_{nano} ligado aos grupos NH_2 e COOH presentes na estrutura da quitosana (Alamdari *et al.*, (2022); Sani *et al.*, (2019); El Shafei e Abou-Okeil, (2011); Li *et al.*, (2010).

O mesmo efeito foi observado quando a resina de colofônia foi adicionada, QR e QRZ apresentaram picos em $2\theta = 19,31$ e $2\theta = 18,15$, respectivamente. Observa-se que há uma diminuição na intensidade dos picos e um alargamento quando comparados aos filmes puros de quitosana, isso deve-se a característica totalmente amorfa da resina de colofônia (Rosa-Ramírez *et al.*, 2023; Gaillard *et al.*, 2011).

A adição de cera de carnaúba promoveu o deslocamento do pico para $2\theta = 20,82$ assim como aumento da intensidade e afunilamento do pico, tornando o pico mais cristalino, é também possível observar o surgimento de um novo pico com a adição desse composto em $2\theta = 23,21$, indicando um aumento na cristalinidade dos filmes.

Muscat *et al.*, (2013) encontraram resultados semelhantes quando adicionaram ceras naturais de abelha, candelila e cera de carnaúba em filmes de amido de milho, os picos encontrados com a adição de cera de carnaúba são próximos dos encontrados nesse estudo, o que demonstra que a adição de ceras aumenta a cristalinidade dos filmes. Na Tabela 7 são apresentados os valores de 2θ e d (Å) para os filmes a base de quitosana.

Tabela 7. Valores 2θ e d (Å) dos filmes a base de quitosana estudados

T	2θ (°)	d (Å)
Q	19,85	4,47
QZ	20,19	4,40
QC	20,82	4,27
	23,21	3,83
QCZ	21,21	4,19

	23,45	3,79
QR	19,31	4,60
QRZ	18,15	4,89

T: Tratamento; Q; Quitosana; QZ; Quitosana + ZnO_{nano}; QC; Quitosana + Cera; QCZ; Quitosana + Cera + ZnO_{nano}; QR; Quitosana + Resina; QRZ; Quitosana + Resina + ZnO_{nano}.

Os resultados de caracterização dos filmes levaram a escolha das formulações QC, QCZ, QR e QRZ para sua aplicação como revestimento em maracujás. A escolha se deu principalmente pelas melhorias na solubilidade e na permeabilidade ao vapor d'água que as adições de cera e resina trouxeram para os filmes a base de quitosana, além disso essas adições também promoveram uma melhor aderência das soluções na superfície da casca do maracujá.

5.2 Experimento com Frutos de Maracujá I

As formulações contendo cera de carnaúba e resina colifonica, com e sem as nanopartículas de óxido de zinco, QC, QCZ, QR e QRZ, foram selecionadas para aplicação em frutos de maracujá.

5.2.1 Avaliações físico-químicas: acidez total titulável (ATT), pH, sólidos solúveis totais (SST) e ratio (SST/ATT)

Na Tabela 8 são apresentados os valores de acidez total titulável (ATT), pH, sólidos solúveis totais (SST) e ratio (SST/ATT) dos frutos de maracujá ao longo do armazenamento. Os valores de pH variaram de 3,10 a 3,32, típico de frutos de maracujá. Durante o armazenamento apenas os frutos revestidos com resina não apresentaram aumento nos valores de pH ($p \leq 0,05$). Esse aumento pode estar ligado ao amadurecimento do fruto e ao consumo de ácidos orgânicos como o ácido cítrico, que é utilizado como substrato no processo de respiração (TUMWESIGYE *et al.*, 2017). Zhong *et al.*, (2022) avaliaram o efeito de uma embalagem microporosa combinada com revestimento de quitosana na qualidade e no metabolismo fisiológico do maracujá roxo após a colheita, e verificaram valores de pH semelhantes aos do presente estudo.

Em relação a ATT não houve diferença significativa entre as amostras considerando o mesmo dia de armazenamento. Já ao longo do armazenamento nota-se um decréscimo nos valores de acidez para todas as amostras. Frutos revestidos com soluções contendo resina de

colofônia apresentaram os maiores valores de acidez no último dia de armazenamento. A diminuição nos valores de ATT pode ser devido a utilização de ácidos orgânicos como o cítrico como substratos primários para a respiração e outros processos metabólicos durante o armazenamento (MAHFOUDHI; HAMDI, 2015). Dulta et al., (2022) aplicaram revestimento à base de alginato-quitosana com ZnO_{nano} para aumentar a vida útil de laranjas, e observaram diminuição da ATT ao longo do armazenamento das frutas.

Para os sólidos solúveis totais SST, foram observadas diferenças entre as amostras a partir do 4º dia de análise, foi notado também um decréscimo para todas as amostras ao longo do armazenamento ($p \leq 0,05$). A diminuição nos valores de sólidos solúveis durante o armazenamento provavelmente deve-se às características da matéria-prima, à atividade respiratória do produto e à excessiva perda de massa fresca dos frutos que ocorre durante todo o armazenamento (RINALDI et al., 2017).

O Ratio, definido como a relação SSC/AT , representa o equilíbrio entre os teores de açúcares e ácidos e está intimamente associado ao aroma e sabor das frutas. É um indicador importante na avaliação da qualidade de frutos. Quanto maior a relação SST/ATT, melhor a qualidade sensorial do fruto (YOU *et al.*, 2022). Não foram observadas diferenças entre as amostras em nenhum dos dias de análise ($p \leq 0,05$). Os valores de ratio foram aumentando ao longo do armazenamento ($p \leq 0,05$), os resultados variaram de 2,79 a 4,06. Rinaldi et al., (2017) encontraram resultados de ratio semelhantes durante armazenamento de maracujás silvestres, submetidos a diferentes sanitizantes e temperaturas de armazenamento.

Tabela 8. Acidez Total Titulável (ATT), pH, sólidos solúveis totais (SST) e ratio (SST/ATT) ao longo de 10 dias de armazenamento.

Parâmetros	Dias de Armazenamento	QC	QCZ	QR	QRZ
pH	0	3,10 ^{aC} ± 0,012	3,10 ^{aC} ± 0,012	3,10 ^{aA} ± 0,012	3,10 ^{aB} ± 0,012
	2	3,23 ^{aAB} ± 0,085	3,16 ^{aBC} ± 0,037	3,19 ^{aA} ± 0,089	3,15 ^{aB} ± 0,032
	4	3,16 ^{aBC} ± 0,036	3,26 ^{aAB} ± 0,081	3,28 ^{aA} ± 0,112	3,20 ^{aB} ± 0,030
	8	3,24 ^{abAB} ± 0,055	3,30 ^{aAB} ± 0,070	3,26 ^{abA} ± 0,079	3,13 ^{bB} ± 0,065
	10	3,32 ^{aA} ± 0,029	3,32 ^{aA} ± 0,055	3,28 ^{aA} ± 0,020	3,32 ^{aA} ± 0,042
ATT	0	4,96 ^{aA} ± 0,01	4,96 ^{aA} ± 0,01	4,96 ^{aA} ± 0,01	4,96 ^{aA} ± 0,01
	2	3,85 ^{aBC} ± 0,59	4,11 ^{aAB} ± 0,27	4,00 ^{aAB} ± 0,45	4,28 ^{aB} ± 0,11
	4	4,49 ^{aAB} ± 0,27	3,56 ^{aBC} ± 0,33	3,91 ^{aB} ± 0,33	3,85 ^{aBC} ± 0,40
	8	3,42 ^{aC} ± 0,27	3,35 ^{aC} ± 0,05	3,50 ^{aB} ± 0,10	3,65 ^{aBC} ± 0,19
	10	3,20 ^{aC} ± 0,02	3,17 ^{aC} ± 0,41	3,53 ^{aB} ± 0,14	3,23 ^{aC} ± 0,31
SST	0	13,85 ^{aA} ± 0,1	13,85 ^{aA} ± 0,1	13,85 ^{aA} ± 0,1	13,85 ^{aA} ± 0,1
	2	12,70 ^{aAB} ± 1,3	11,68 ^{aB} ± 0,1	12,53 ^{aB} ± 0,3	12,68 ^{aB} ± 0,2
	4	12,54 ^{abAB} ± 0,3	13,43 ^{abA} ± 0,1	10,88 ^{cC} ± 1,1	11,70 ^{bC} ± 0,5
	8	10,20 ^{dC} ± 0,3	10,58 ^{cdC} ± 0,3	12,95 ^{aAB} ± 0,5	10,78 ^{bcD} ± 0,6
	10	12,27 ^{aB} ± 1,2	10,08 ^{bC} ± 0,5	10,83 ^{bC} ± 0,3	12,03 ^{aBC} ± 0,1
Ratio	0	2,79 ^{aB} ± 0,01	2,79 ^{aB} ± 0,01	2,79 ^{aB} ± 0,01	2,79 ^{aB} ± 0,01
	2	3,27 ^{aB} ± 0,27	2,83 ^{aB} ± 0,00	2,82 ^{aB} ± 0,03	2,97 ^{aB} ± 0,04
	4	2,78 ^{aB} ± 0,25	3,58 ^{aA} ± 0,01	2,65 ^{aB} ± 0,25	2,87 ^{aB} ± 0,19
	8	3,06 ^{aB} ± 0,20	3,15 ^{aAB} ± 0,03	3,70 ^{aA} ± 0,03	2,96 ^{aB} ± 0,03
	10	4,06 ^{aA} ± 0,05	3,07 ^{aB} ± 0,32	3,08 ^{aB} ± 0,20	3,54 ^{aA} ± 0,10

*As médias seguidas da mesma letra minúscula nas linhas e maiúsculas nas colunas, não diferem entre si, segundo o teste de Tukey a 5% de probabilidade. QC; Quitosana + Cera; QCZ; Quitosana + Cera + ZnO_{nano}; QR; Quitosana + Resina; QRZ; Quitosana + Resina + ZnO_{nano}

5.2.2 Vitamina C e Teor de Açúcares

Na Tabela 9 são apresentados os teores de vitamina C e açúcares presentes nos frutos ao longo do armazenamento. Todas as amostras apresentaram uma redução significativa de vitamina C ao longo do armazenamento, indicando que as coberturas não foram eficientes na manutenção dessa vitamina, as mudanças podem estar ligadas aos processos respiratórios e de amadurecimento da fruta. Dulta et al., (2022) observaram o mesmo comportamento na avaliação da qualidade pós-colheita de laranjas revestidas com formulações a base de alginato-quitosana contendo ZnO_{nano}.

Não houve alteração nos teores de glicose e frutose. Mas, a concentração de sacarose diminuiu ao longo do armazenamento ($p \leq 0,05$). Os frutos armazenados à temperatura ambiente podem apresentar uma respiração mais elevada, mesmo com revestimento. O que pode ocasionar a oxidação da sacarose (hexose) na geração de ATP para reações anabólicas futuras, como na biossíntese de compostos aromáticos, ácidos graxos e aminoácidos, ocasionando diminuição nas concentrações de sacarose ao longo do armazenamento (YU et al., 2015).

Tabela 9. Concentração de Vitamina C e de açúcares dos frutos ao longo dos 10 dias de armazenamento.

Parâmetros	Dias de análise	QC	QCZ	QR	QRZ
Vitamina C (mg/100g)	0	19,35 ^{aA} ± 0,39	19,35 ^{aA} ± 0,39	19,35 ^{aA} ± 0,39	19,35 ^{aA} ± 0,39
	2	16,49 ^{aB} ± 0,30	12,46 ^{aB} ± 0,71	11,94 ^{aB} ± 0,42	12,67 ^{aBC} ± 1,06
	4	14,11 ^{aC} ± 0,57	10,98 ^{bBC} ± 1,13	12,49 ^{abB} ± 1,50	13,81 ^{aB} ± 0,63
	8	10,10 ^{bD} ± 0,67	9,85 ^{bc} ± 0,90	8,31 ^{cC} ± 0,01	11,97 ^{aC} ± 0,32
	10	10,71 ^{aD} ± 1,02	9,40 ^{aC} ± 0,40	9,21 ^{aBC} ± 1,58	9,29 ^{aD} ± 0,79
FRUTOSE (g/100g)	0	1,32 ^{aA} ± 0,01	1,32 ^{aAB} ± 0,01	1,32 ^{aAB} ± 0,01	1,32 ^{aA} ± 0,01
	2	1,41 ^{aA} ± 0,12	1,01 ^{aB} ± 0,27	1,13 ^{aB} ± 0,28	1,16 ^{aA} ± 0,18
	4	1,33 ^{aA} ± 0,19	1,02 ^{aB} ± 0,56	0,96 ^{aB} ± 0,46	1,06 ^{aA} ± 0,27
	8	1,41 ^{aA} ± 0,08	1,92 ^{aA} ± 0,18	2,10 ^{aA} ± 0,51	1,66 ^{aA} ± 0,05
	10	1,46 ^{aA} ± 0,15	1,02 ^{aAB} ± 0,35	1,23 ^{aAB} ± 0,21	1,51 ^{aA} ± 0,72
GLICOSE (g/100g)	0	1,26 ^{aA} ± 0,02	1,26 ^{aA} ± 0,02	1,26 ^{aA} ± 0,02	1,26 ^{aAB} ± 0,02
	2	1,13 ^{aA} ± 0,26	0,97 ^{aA} ± 0,24	1,13 ^{aA} ± 0,32	1,14 ^{aAB} ± 0,11
	4	1,26 ^{aA} ± 0,16	0,93 ^{aA} ± 0,60	0,74 ^{aA} ± 0,41	0,99 ^{aB} ± 0,28
	8	1,21 ^{aA} ± 0,23	1,73 ^{aA} ± 0,38	1,56 ^{aA} ± 0,37	1,59 ^{aA} ± 0,19
	10	1,33 ^{aA} ± 0,11	1,06 ^{aA} ± 0,36	0,94 ^{aA} ± 0,33	1,43 ^{aA} ± 0,69
SACAROSE (g/100g)	0	4,36 ^{aA} ± 0,04	4,36 ^{aA} ± 0,04	4,36 ^{aA} ± 0,04	4,36 ^{aA} ± 0,04
	2	3,87 ^{aAB} ± 0,59	3,53 ^{aAB} ± 0,47	3,43 ^{aA} ± 0,78	3,95 ^{aAB} ± 0,14
	4	3,29 ^{aAB} ± 0,19	2,89 ^{aB} ± 1,67	3,01 ^{aA} ± 0,49	2,62 ^{aB} ± 1,07
	8	2,32 ^{aC} ± 0,09	2,69 ^{aAB} ± 0,21	3,28 ^{aA} ± 0,85	2,44 ^{aAB} ± 0,26
	10	2,87 ^{aBC} ± 0,32	2,57 ^{aAB} ± 0,15	2,43 ^{aA} ± 0,33	2,19 ^{aAB} ± 0,54

*As médias seguidas da mesma letra minúscula nas linhas e maiúsculas nas colunas, não diferem entre si, segundo o teste de Tukey a 5% de probabilidade. QC; Quitosana + Cera; QCZ; Quitosana + Cera + ZnO_{nano}; QR; Quitosana + Resina; QRZ; Quitosana + Resina + ZnO_{nano}.

5.2.3 Perda de massa

Na Figura 7 estão apresentados os resultados de perda de massa ao longo dos 10 dias de armazenamento à temperatura ambiente. É possível observar que a perda de peso dos frutos ocorreu de forma contínua no período avaliado. Os frutos revestidos com cera de carnaúba apresentaram o maior percentual de perda no último dia de armazenamento, já o grupo de frutos revestidos com resina e ZnO_{nano} apresentaram os menores percentuais. A perda de massa é atribuída principalmente à respiração e à evaporação da umidade através da casca do maracujá, resultando em murchamento e deterioração (ZHANG *et al.*, 2019).

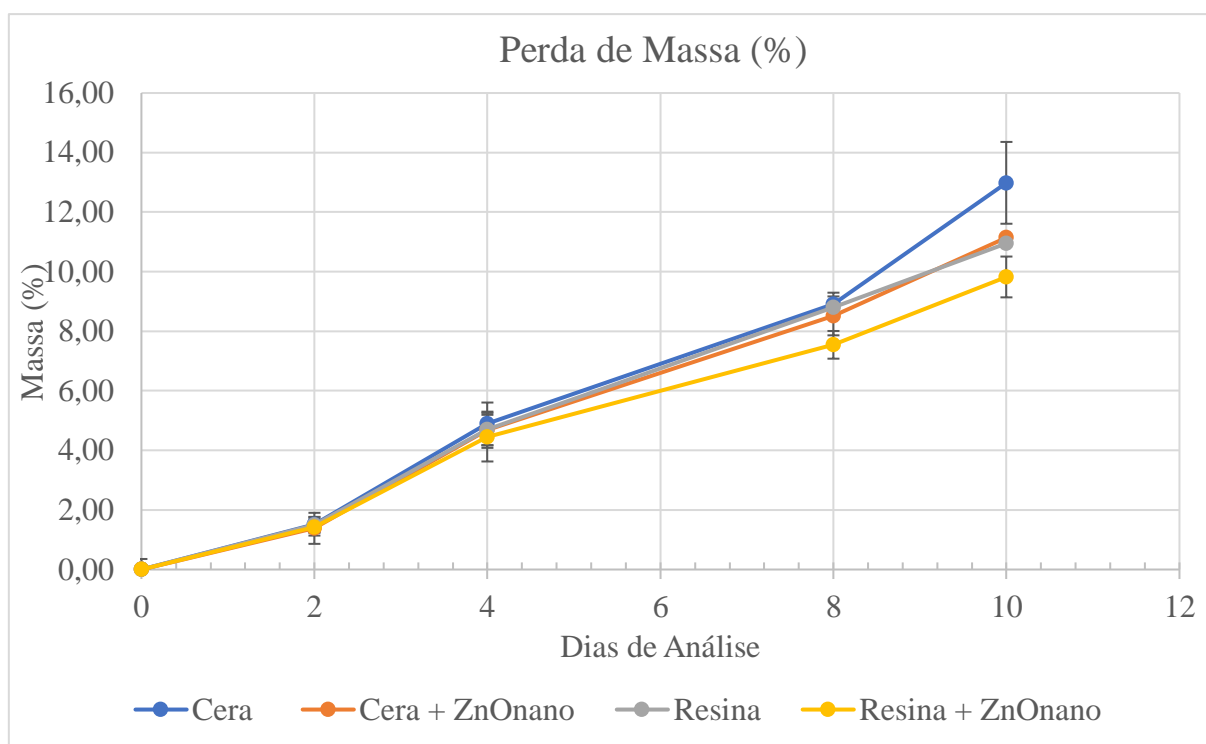


Figura 6. Perda de massa dos frutos ao longo de 10 dias de armazenamento.

5.2.4 Firmeza

A firmeza de uma fruta é uma característica importante para a aceitabilidade do consumidor e vida de prateleira dos produtos (ARAGÜEZ *et al.*, 2020). Na Tabela 10 estão apresentados os resultados da avaliação de firmeza dos frutos ao longo do armazenamento.

Tabela 10. Firmeza dos frutos em (N), ao longo do armazenamento, após a primeira aplicação dos revestimentos.

Tratamentos	Dias de Armazenamento				
	D0	D2	D4	D8	D10
QC	20,3 ^{aA} ± 3,3	18,3 ^{aAB} ± 1,5	16,9 ^{bBC} ± 1,7	15,3 ^{abC} ± 1,8	14,9 ^{aC} ± 2,3
QCZ	20,3 ^{aA} ± 3,3	19,7 ^{aA} ± 2,7	19,5 ^{aA} ± 2,9	16,1 ^{abB} ± 1,9	16,2 ^{aB} ± 2,2
QR	20,3 ^{aA} ± 3,3	19,5 ^{aAB} ± 3,0	16,1 ^{bB} ± 2,9	16,3 ^{abB} ± 2,0	15,6 ^{aB} ± 2,8
QRZ	20,3 ^{aA} ± 3,3	19,7 ^{aA} ± 3,9	19,5 ^{aA} ± 2,2	17,5 ^{aA} ± 1,5	17,2 ^{aA} ± 2,8

* As médias seguidas da mesma letra minúscula nas colunas e maiúsculas nas linhas, não diferem entre si, segundo o teste de Tukey a 5% de probabilidade. QC; Quitosana + Cera; QCZ; Quitosana + Cera + ZnO_{nano}; QR; Quitosana + Resina; QRZ; Quitosana + Resina + ZnO_{nano}.

Não foi notado diferença significativa entre as amostras ao longo do armazenamento. Mas verifica-se que esse parâmetro apresentou uma redução contínua ao longo do armazenamento. O tratamento QRZ não apresentou redução na firmeza ao longo do tempo, mostrando que o revestimento foi capaz de retardar de forma eficaz a perda de firmeza do maracujá. A aplicação de revestimento pode inibir a desidratação, o que leva à resistência na deterioração da parede celular (MOHAMMADI *et al.*, 2021). Zhou *et al.*, (2022) desenvolveram um revestimento derivado de quitosana multifuncional para a preservação de maracujá. Os autores notaram que os revestimentos foram efetivos em diminuir a perda de firmeza do maracujá. Corroborando com os resultados encontrados nesse estudo.

5.2.5 Cor da casca

Durante o armazenamento, as mudanças nos valores de L*, a* e b* dos maracujás foram investigadas e apresentadas na Tabela 11. Com o aumento do tempo de armazenamento, os valores de L* não apresentaram diferença significativa entre os dias de análise e entre os tratamentos ($p \leq 0,05$). Os valores de a* vermelho-verde apresentaram uma tendência crescente significativa para todas as amostras ao longo do armazenamento ($p \leq 0,05$), provavelmente devido à degradação da clorofila. Essas diferenças significativas não foram observadas entre os tratamentos em nenhum dos dias de análise ($p \leq 0,05$).

Para o parâmetro *b (azul – amarelo) os frutos apresentaram um aumento significativo ao longo do armazenamento, no dia 8 foi observado os maiores valores para todas as amostras ($p \leq 0,05$). Esse efeito está de acordo com o valor a*, em que a degradação da clorofila é

responsável pela diminuição do valor a^* ou aumento do valor b^* durante a fase tardia de amadurecimento do fruto (HONG *et al.*, 2012).

You et al., (2022) observaram comportamento similar em seu estudo sobre a influência da aplicação de revestimentos em maracujá roxo, de acordo com os autores a diminuição dos valores de a^* está ligada a degradação das antocianinas responsáveis pela cor roxa da casca do maracujá, indicando amadurecimento do fruto.

Tabela 11. Parâmetros de cor L*, A* e B* dos frutos ao longo do armazenamento após a primeira aplicação de revestimentos.

	Dias de armazenamento				
	0	2	4	8	10
L*					
QC	70,18 ^{aA} ± 3,17	70,37 ^{aA} ± 2,05	69,64 ^{aA} ± 2,99	69,35 ^{aA} ± 2,88	69,83 ^{aA} ± 3,67
QCZ	70,18 ^{aA} ± 3,17	71,57 ^{aA} ± 3,42	69,51 ^{aA} ± 5,63	69,53 ^{aA} ± 3,21	70,13 ^{aA} ± 3,21
QR	70,18 ^{aAB} ± 3,17	71,21 ^{aA} ± 3,27	69,12 ^{aAB} ± 2,45	69,40 ^{aB} ± 1,54	70,28 ^{aAB} ± 2,37
QRZ	70,18 ^{aA} ± 3,17	72,14 ^{aA} ± 2,53	69,05 ^{aA} ± 3,39	69,11 ^{aA} ± 3,50	69,20 ^{aA} ± 4,03
a*					
QC	-5,74 ^{aA} ± 1,09	-5,06 ^{aA} ± 2,49	-5,03 ^{aA} ± 3,16	-1,96 ^{aB} ± 1,58	-2,46 ^{aB} ± 1,88
QCZ	-5,74 ^{aA} ± 1,09	-5,00 ^{aAB} ± 2,35	-3,28 ^{aAB} ± 1,79	-3,18 ^{aBC} ± 1,47	-1,69 ^{aC} ± 1,45
QR	-5,74 ^{aA} ± 1,09	-4,75 ^{aAB} ± 2,54	-5,50 ^{aA} ± 2,70	-1,65 ^{aC} ± 1,84	-1,97 ^{aBC} ± 1,79
QRZ	-5,74 ^{aA} ± 1,09	-5,30 ^{aA} ± 2,88	-4,38 ^{aA} ± 2,83	-0,22 ^{aB} ± 1,72	-1,66 ^{aB} ± 1,85
b*					
QC	38,36 ^{aB} ± 2,61	40,39 ^{aB} ± 3,19	40,23 ^{aB} ± 5,48	46,61 ^{aA} ± 4,14	41,60 ^{aAB} ± 2,40
QCZ	38,36 ^{aB} ± 2,61	40,65 ^{aB} ± 3,05	39,75 ^{aB} ± 2,70	46,77 ^{aA} ± 3,62	37,48 ^{aB} ± 1,90
QR	38,36 ^{aB} ± 2,61	39,46 ^{aB} ± 3,80	41,42 ^{aB} ± 2,71	45,17 ^{aA} ± 4,09	40,64 ^{aB} ± 3,48
QRZ	38,36 ^{aB} ± 2,61	41,06 ^{aAB} ± 4,64	41,41 ^{aAB} ± 3,47	42,97 ^{aA} ± 4,03	39,63 ^{aAB} ± 3,11

*As médias seguidas da mesma letra minúscula nas colunas e maiúsculas nas linhas, não diferem entre si, segundo o teste de Tukey a 5% de probabilidade. QC; Quitosana + Cera; QCZ; Quitosana + Cera + ZnO_{nano}; QR; Quitosana + Resina; QRZ; Quitosana + Resina + ZnO_{nano}.

5.2.6 Aspecto visual

O metabolismo fisiológico do maracujá aumenta após a colheita, o que facilmente leva a problemas como perda de água e murchamento dos frutos (ZHONG *et al.*, 2022). Na Figura 7 estão apresentadas as imagens dos frutos ao longo dos 10 dias de armazenamento à temperatura ambiente. No tempo inicial (D0) é possível observar que os frutos se apresentam brilhosos e com estrutura firme. A partir do 4º dia verificou-se mudanças como o aparecimento de enrugamento em todos os grupos de tratamentos, ao final do armazenamento todos os frutos possuem aspecto menos brilhoso e com enrugamento, sendo as amostras QR e QRZ a apresentarem melhor aspecto visual. Todas essas mudanças foram ocasionadas pelo processo de amadurecimento dos frutos, que continuam os processos de respiração e evaporação de água, o que ocasiona a deterioração e murchamento dos frutos.



QC; Quitosana + Cera; QCZ; Quitosana + Cera + ZnO_{nano}; QR; Quitosana + Resina; QRZ; Quitosana + Resina + ZnO_{nano};

Figura 7. Acompanhamento dos aspectos visuais dos frutos ao longo do tempo, após a primeira aplicação dos revestimentos.

5.2.7 Índice de perdas pós-colheitas

Na Tabela 12 são apresentados os percentuais de perdas de frutas ao longo do armazenamento, foram descartados frutos com lesões e deteriorações microbiológicas e frutos impróprios para consumo. Em termos de percentuais, os tratamentos QC e QCZ foram os que mais perderam frutos ao longo do armazenamento apresentando perda de 15,6 e 17,8%

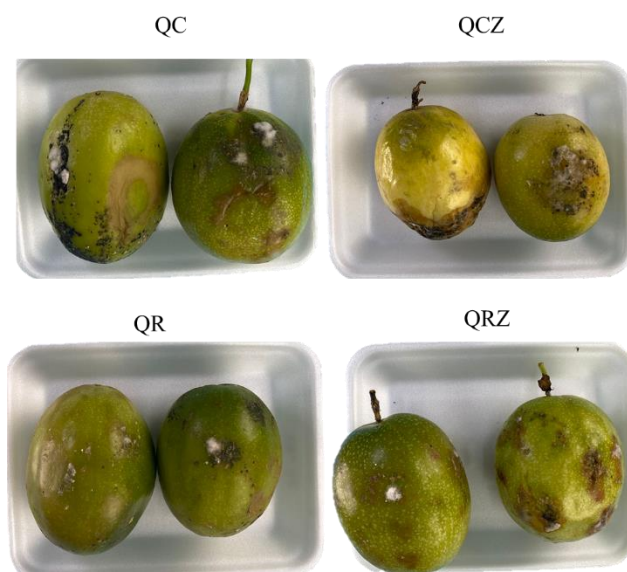
respectivamente. Foram observadas perdas nos tratamentos QR e QRZ com percentuais menores.

O Brasil é um dos países que mais perdem frutos e hortaliças durante o pós-colheita, grande parte dessas perdas são associadas a falta da aplicação de métodos de conservação eficientes, aproximadamente 35% da produção agrícola do Brasil é perdida e desperdiçada (BOTREL, 2017). De acordo com Nor; Ding, (2020), um terço de toda a produção de alimentos é perdida no pós-colheita ou desperdiçadas, onde 45% desse valor corresponde ao desperdício de frutas e legumes. Sendo assim revestimentos poliméricos podem ser uma alternativa na diminuição de perdas pós-colheita. Na Figura 8 são apresentados alguns frutos com incidência de patógenos.

Tabela 12. Percentual de perdas ao longo de 10 dias de armazenamento.

Tratamentos	Número total de frutos	Números de perdas	Percentual de perdas (%)
QC	45	7	15,6
QCZ	45	8	17,8
QR	45	6	13,3
QRZ	45	5	11,1

QC; Quitosana + Cera; QCZ; Quitosana + Cera + ZnO_{nano}; QR; Quitosana + Resina; QRZ; Quitosana + Resina + ZnO_{nano};



QC; Quitosana + Cera; QCZ; Quitosana + Cera + ZnOnano; QR; Quitosana + Resina; QRZ; Quitosana + Resina + ZnOnano.

Figura 8. Frutos com incidência de patógenos.

De modo geral foi observado que os tratamentos QR e QRZ apresentaram melhor aspecto visual e perda de massa ao final do experimento, apresentando potencialidade na conservação da qualidade dos maracujás. Sendo assim foi feito um novo experimento no qual foram aumentadas as concentrações de resina de colofônia de 0,6 para 0,8%, com o intuito de aumentar a eficiência na conservação dos frutos.

5.3 Experimento com Frutos de Maracujá II

Observando os resultados da primeira etapa, foi realizado um aumento na concentração de resina para 0,8 para as soluções QR e QRZ e realizado um novo experimento.

5.3.1 Avaliações físico-químicas: acidez total titulável (ATT), pH, sólidos solúveis totais (SST) e ratio (SST/ATT)

Na Tabela 13 são apresentados os valores de acidez total titulável (ATT), pH, sólidos solúveis totais (SST) e ratio (SST/ATT) dos frutos ao longo do armazenamento. Não foram observadas diferenças significativas entre as amostras para nenhum dos dias do armazenamento. Ao longo do armazenamento, apenas os frutos do grupo controle apresentaram aumento significativo do pH, indicando um processo de amadurecimento. Esse aumento não foi verificado para os grupos QR¹ e QRZ¹.

Para ATT, os frutos do grupo controle (sem revestimento) apresentaram os menores valores no 4º e 10 dia de análise. Apenas os frutos do grupo QR¹ não apresentaram uma redução significativa ao longo do armazenamento ($p \leq 0,05$). Esse grupo apresentou os maiores valores de ATT em todos os dias de análise, indício da influência do revestimento na conservação e manutenção da qualidade dos frutos. Isso pode ser devido ao controle que o revestimento pode exercer durante o processo de respiração do fruto, diminuindo assim o seu processo de amadurecimento.

Como já relatado os sólidos solúveis totais (SST) é um dos fatores mais importantes na determinação da qualidade das frutas. Para o SST são notadas diferenças significativas ($p \leq 0,05$) entre as amostras QR¹ e QRZ¹ no 8º dia de análise. É possível também observar que os valores de SST foram diminuindo ao longo do armazenamento, e apenas o grupo QR¹ não apresentou uma queda significativa ($p \leq 0,05$). Isso mostra a eficiência de revestimentos contendo resina no controle da atividade respiratória e na excessiva perda de massa fresca dos frutos que ocorre durante o armazenamento

O ratio (SSC/ATT) como dito anteriormente trata-se do equilíbrio entre o teor de ácidos solúveis e a acidez total titulável e está intimamente associado ao aroma e sabor da fruta. Além disso, SST/ATT é uma indicação essencial para avaliar a qualidade dos frutos. Todas as amostras apresentaram aumento de ratio ao longo do armazenamento, e não foram observadas diferenças entre as amostras em nenhum dos dias de análise ($p \leq 0,05$).

Tabela 13. Acidez Total Titulável (ATT), pH, sólidos solúveis totais (SST) e ratio (SST/ATT), ao longo de 10 dias de armazenamento.

Parâmetros	Dias de análise	QR ¹	QRZ ¹	C
pH	0	3,26 ^{aA} ± 0,07	3,26 ^{aA} ± 0,07	3,26 ^{aC} ± 0,07
	2	3,27 ^{aA} ± 0,07	3,28 ^{aA} ± 0,06	3,21 ^{aBC} ± 0,05
	4	3,34 ^{aA} ± 0,09	3,33 ^{aA} ± 0,03	3,40 ^{aAB} ± 0,02
	8	3,35 ^{aA} ± 0,04	3,45 ^{aA} ± 0,13	3,37 ^{aAB} ± 0,09
	10	3,40 ^{aA} ± 0,08	3,47 ^{aA} ± 0,07	3,45 ^{aA} ± 0,03
ATT	0	3,45 ^{aA} ± 0,37	3,45 ^{aA} ± 0,37	3,45 ^{aA} ± 0,37
	2	3,12 ^{aA} ± 0,51	2,98 ^{aAB} ± 0,06	3,36 ^{aAB} ± 0,27
	4	3,50 ^{aA} ± 0,15	3,06 ^{abAB} ± 0,24	2,73 ^{bAB} ± 0,14
	8	2,76 ^{aA} ± 0,07	2,42 ^{aB} ± 0,21	2,63 ^{aB} ± 0,38
	10	2,77 ^{aA} ± 0,08	2,69 ^{abAB} ± 0,05	2,58 ^{bAB} ± 0,00
SST	0	9,32 ^{aA} ± 0,1	9,32 ^{aA} ± 0,1	9,32 ^{aA} ± 0,1
	2	9,02 ^{aA} ± 1,1	9,22 ^{aA} ± 0,6	9,58 ^{aA} ± 0,9
	4	9,50 ^{aA} ± 0,2	9,58 ^{aA} ± 1,8	9,12 ^{aAB} ± 0,8
	8	8,83 ^{aA} ± 0,5	7,65 ^{bB} ± 0,5	8,08 ^{abB} ± 0,6
	10	9,05 ^{aA} ± 0,4	8,58 ^{abAB} ± 0,5	8,18 ^{bB} ± 0,1
Ratio	0	2,72 ^{aA} ± 0,29	2,72 ^{aA} ± 0,29	2,72 ^{aB} ± 0,29
	2	2,90 ^{aA} ± 0,08	2,97 ^{aA} ± 0,17	2,90 ^{aAB} ± 0,02
	4	2,63 ^{aA} ± 0,12	3,17 ^{aA} ± 0,53	3,52 ^{aA} ± 0,21
	8	3,11 ^{aA} ± 0,31	3,13 ^{aA} ± 0,03	3,33 ^{aA} ± 0,01
	10	3,15 ^{aA} ± 0,18	3,30 ^{aA} ± 0,07	3,17 ^{aAB} ± 0,04

*As médias seguidas da mesma letra minúscula nas linhas e maiúsculas nas colunas, não diferem entre si, segundo o teste de Tukey a 5% de probabilidade. QR; Quitosana + Resina; QRZ; Quitosana + Resina + ZnO_{nano}; C; Controle.

5.3.2 Perda de massa

Na Figura 9 é apresentado os valores de perda de massa ao longo dos 10 dias de armazenamento à temperatura ambiente para os frutos revestidos com a resina, resina e

nanopartículas e os frutos não revestidos. É possível observar que todas as amostras apresentaram perda de peso contínuos ao longo do tempo, onde no último dia de análises todos os grupos apresentam valores de perda de massa próximos um do outro.

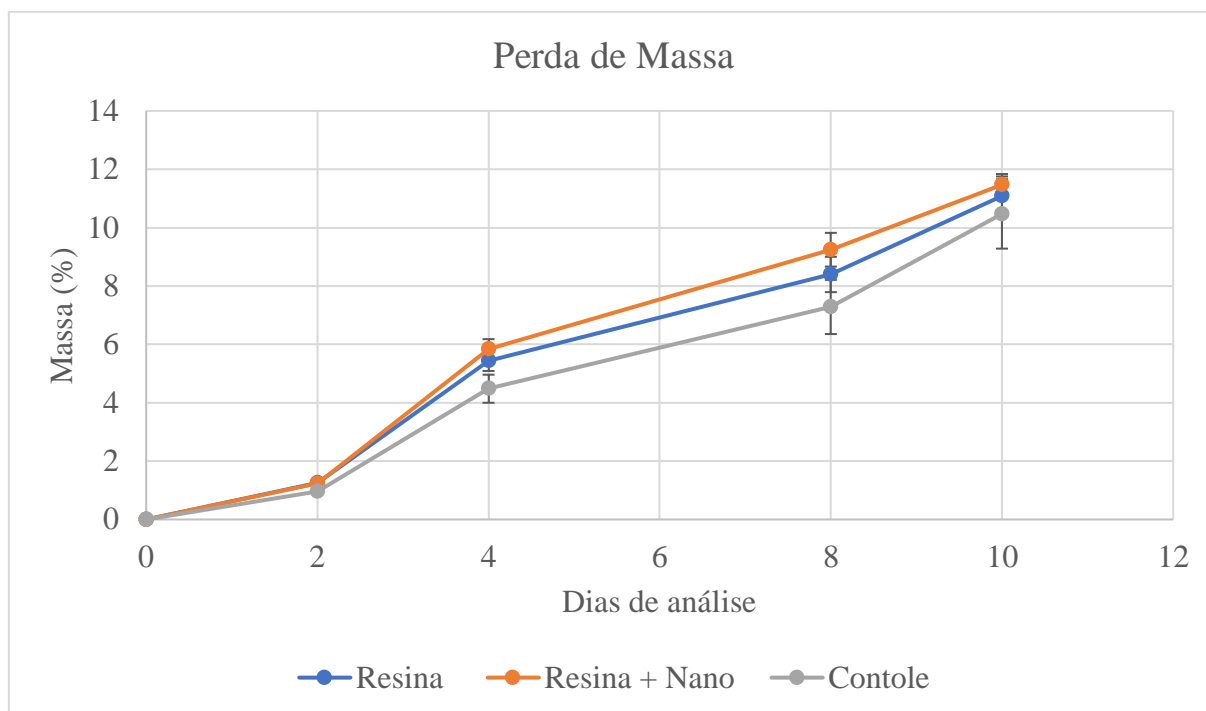


Figura 9. Perda de massa dos frutos ao longo de 10 dias de armazenamento.

5.3.3 Firmeza

A Tabela 14 apresenta os resultados de firmeza dos frutos ao longo do armazenamento após a aplicação dos revestimentos. Diferentemente do primeiro experimento, nesse foi observado uma diferença significativa ($p \leq 0,05$) entre as amostras no 2º e 4º dia de análise sendo o grupo controle a apresentar os menores valores de firmeza, indicando diminuição da resistência da casca dos frutos, nos demais dias de análise essas diferenças não são notadas. Assim como relatado anteriormente nota-se uma queda contínua da firmeza ao longo do tempo. As amostras do grupo controle no 2º dia de análise apresentam uma queda significativa ($p \leq 0,05$). Os grupos QR¹ e QRZ¹ apresentaram quedas significativas a partir do 4º e 8º dia de armazenamento respectivamente, indicando a falta de influência na manutenção da firmeza dos frutos ao longo do tempo.

Tabela 14. Comportamento da firmeza dos frutos em (N), ao longo de 10 dias de armazenamento, após a segunda aplicação dos revestimentos.

Tratamentos	Dias de análise				
	D0	D2	D4	D8	D10
QR ¹	20,9 ^{aA} ± 2,0	18,9 ^{aA} ± 1,7	18,0 ^{aA} ± 1,9	14,1 ^{aB} ± 1,9	12,8 ^{aB} ± 1,7
QRZ ¹	20,9 ^{aA} ± 2,0	17,7 ^{abAB} ± 1,2	16,1 ^{abB} ± 2,2	15,0 ^{aBC} ± 1,7	12,9 ^{aC} ± 1,9
C	20,9 ^{aA} ± 2,0	16,3 ^{bB} ± 1,9	14,8 ^{bBC} ± 2,3	13,4 ^{aCD} ± 1,4	11,8 ^{aD} ± 1,2

*As médias seguidas da mesma letra minúscula nas colunas e maiúsculas nas linhas, não diferem entre si, segundo o teste de Tukey a 5% de probabilidade. QR¹; Quitosana + Resina; QRN¹; Quitosana + Resina + ZnO_{nano}; C; Controle.

5.3.4 Cor

Na Tabela 15 são apresentadas as mudanças nos valores de L*, a* e b* dos maracujás ao longo do armazenamento após a aplicação dos revestimentos. Os valores de L* apresentaram comportamento semelhante ao já relatado anteriormente, dando destaque que o aumento nas concentrações de resina aumentou de forma significativa ($p \leq 0,05$) o brilho dos maracujás após revestidos tendo destaque as amostras QRZ¹. Observa-se que a partir do 2º dia de análise já havia diferença significativa ($p \leq 0,05$) entre as amostras, sendo o grupo controle com os menores valores. Ao longo do armazenamento houve um decréscimo nos valores de L* para todas as amostras.

Os valores de a* vermelho-verde aumentaram ao longo do armazenamento de forma significativa ao longo do armazenamento, ($p \leq 0,05$), isso pode ser devido à degradação da clorofila como relatado anteriormente. Essas diferenças significativas também foram observadas entre as amostras no 10º dia de análise, sendo o grupo controle a apresentar o menor valor ($p \leq 0,05$). Para o parâmetro *b (azul – amarelo) todos os tratamentos apresentaram um aumento significativo ao longo do armazenamento ($p \leq 0,05$).

Tabela 15. Parâmetros de cor L*, A* e B* dos frutos ao longo de 10 dias de armazenamento após a primeira aplicação de revestimentos.

	Dias de armazenamento				
	0	2	4	8	10
L*					
QR ¹	71,96 ^{aA} ± 0,35	74,35 ^{aA} ± 2,00	73,76 ^{aA} ± 2,12	73,35 ^{aA} ± 2,08	72,33 ^{aA} ± 2,46
QRZ ¹	71,96 ^{aB} ± 0,35	75,36 ^{aA} ± 1,38	73,41 ^{aAB} ± 2,56	72,49 ^{aB} ± 2,15	72,28 ^{aB} ± 1,24
C	71,96 ^{aA} ± 0,35	71,50 ^{bA} ± 2,91	69,93 ^{bA} ± 2,03	69,75 ^{bA} ± 1,66	69,85 ^{bA} ± 1,17
a*					
QR ¹	-5,16 ^{aA} ± 1,30	-3,15 ^{aB} ± 0,91	-2,56 ^{aBC} ± 0,96	-2,06 ^{aC} ± 0,68	-1,99 ^{aC} ± 0,88
QRZ ¹	-5,16 ^{aA} ± 1,30	-3,07 ^{aB} ± 0,62	-2,76 ^{aBC} ± 0,92	-1,46 ^{aC} ± 1,98	-2,10 ^{aBC} ± 0,53
C	-5,16 ^{aA} ± 1,30	-3,36 ^{aB} ± 0,72	-2,71 ^{aB} ± 0,69	-1,21 ^{aC} ± 0,93	-0,91 ^{bC} ± 0,94
b*					
QR ¹	38,94 ^{aB} ± 1,84	39,54 ^{bB} ± 2,26	43,92 ^{aA} ± 1,83	44,33 ^{aA} ± 2,53	45,12 ^{aA} ± 1,97
QRZ ¹	38,94 ^{aB} ± 1,84	41,14 ^{bBA} ± 2,94	43,77 ^{aA} ± 2,29	44,27 ^{aA} ± 2,76	43,43 ^{aA} ± 1,39
C	38,94 ^{aB} ± 1,84	44,75 ^{aA} ± 2,82	44,37 ^{aA} ± 2,00	46,17 ^{aA} ± 2,73	42,66 ^{aA} ± 0,94

*As médias seguidas da mesma letra minúscula nas colunas e maiúsculas nas linhas, não diferem entre si, segundo o teste de Tukey a 5% de probabilidade. QR¹; Quitosana + Resina; QRN¹; Quitosana + Resina + ZnO_{nano}; C; Controle.

5.3.5 Aspecto Visual

Os resultados do aspecto visual são apresentados na Figura 10. No primeiro dia de armazenamento (0) é possível observar que os frutos se apresentam brilhosos e com estrutura firme. Diferentemente do que foi relatado no primeiro experimento, os frutos começaram a apresentar enrugamento de forma mais visível a partir do 8º dia de análise. Os frutos chegaram ao 10º dia de armazenamento com aspecto melhor que os frutos da primeira aplicação, ainda assim os tratamentos permaneciam muito parecidos com o controle. Ao final do armazenamento todos os frutos possuíam aspecto menos brilhoso e com enrugamento, os frutos do controle que estavam sobre a bancada aparentavam estar bem piores que os demais tratamentos como apresentado na Figura 11. Todas essas mudanças foram ocasionadas pelo processo de amadurecimento dos frutos como já relatado anteriormente.



QR¹; Quitosana + Resina; QRN¹; Quitosana + Resina + ZnO_{nano}; C; Controle.

Figura 10. Acompanhamento dos aspectos visuais dos frutos ao longo do tempo, após a primeira aplicação dos revestimentos.

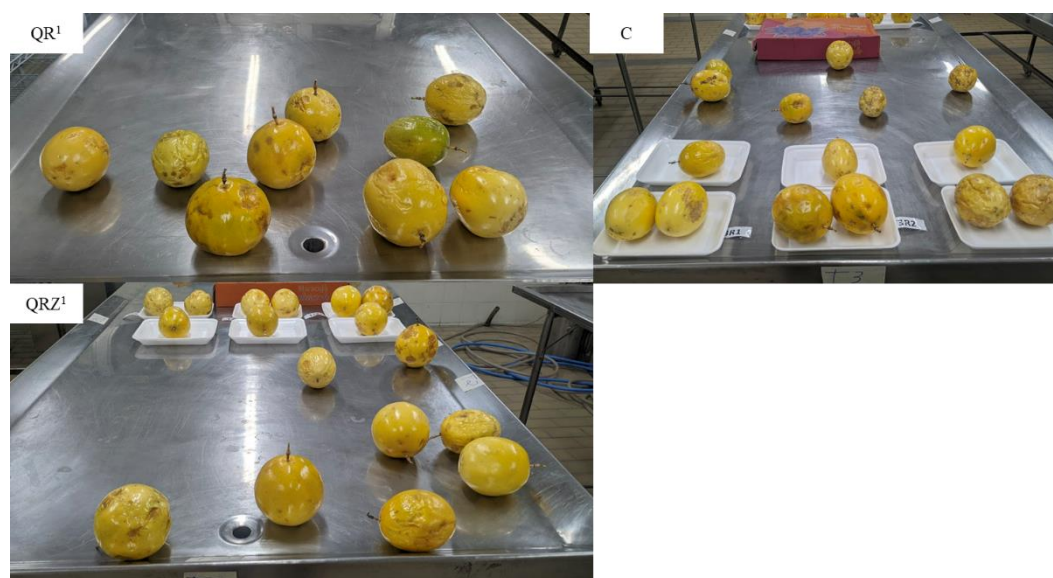


Figura 11. Frutos sobre a bancada no 10º dia de armazenamento. QR¹; Quitosana + Resina; QRN¹; Quitosana + Resina + ZnOnano; C; Controle.

5.3.6 Índice de perdas pós-colheitas

Na Tabela 16 são apresentados os percentuais de perdas ao durante os 10 dias de armazenamento. O aumento na concentração de resina diminuiu as perdas quando comparadas ao primeiro experimento. QR¹ e QRZ¹ apresentaram menores perdas percentuais em relação ao grupo controle que apresentou uma alta taxa de perda 31,1%, isso mostra que

os revestimentos aplicados foram eficazes na diminuição da perda pós-colheita em maracujás. Na Figura 12 é apresentado frutos com incidência de patógenos.

Tabela 16. Percentual de perdas ao longo do armazenamento.

Tratamentos	Número total de frutos	Números de perdas	Percentual de perdas (%)
RQ ¹	45	5	11,1
RQZ ¹	45	5	11,1
C	45	14	31,1

QR¹; Quitosana + Resina; QRN¹; Quitosana + Resina + ZnO_{nano}; C; Controle.

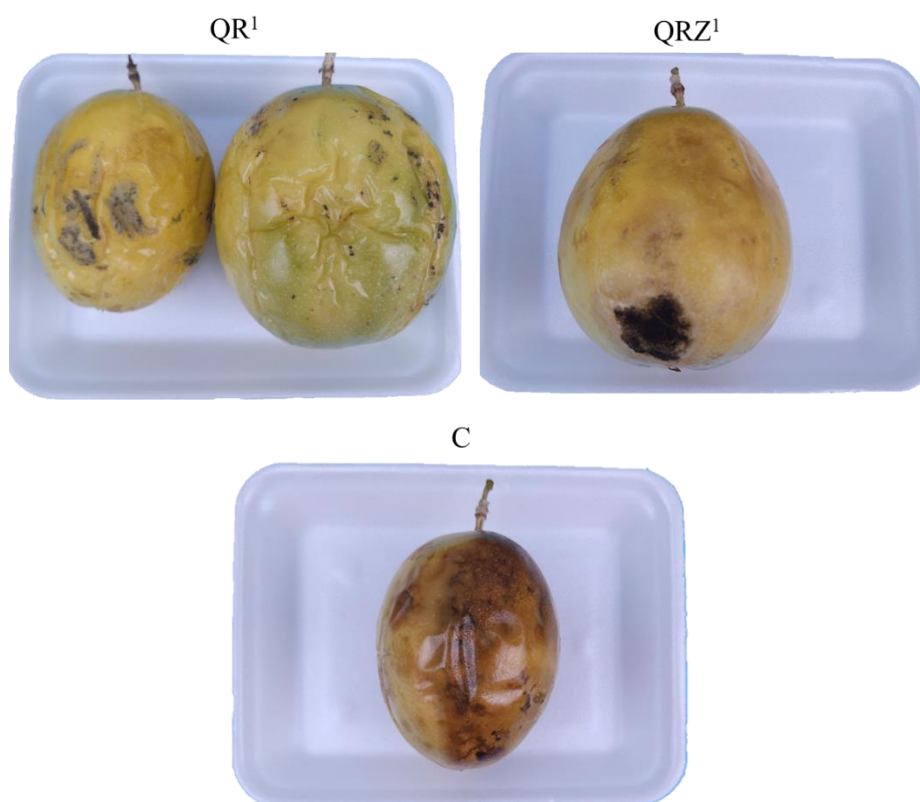


Figura 12. Frutos com incidência de patógenos.

QR¹; Quitosana + Resina; QRN¹; Quitosana + Resina + ZnO_{nano}; C; Controle.

6 CONCLUSÕES

A adição de cera de carnaúba ou resina de colofônia e ZnO_{nano} trouxeram melhorias nas características físico-químicas como as propriedades mecânicas e os aspectos de solubilidade em água e permeabilidade ao vapor d'água. Podendo ser uma alternativa para a produção de filmes biodegradáveis e de revestimentos, com grande potencial de aplicação no setor de alimentos, visando prolongar à vida útil e manter a qualidade dos produtos alimentícios

A aplicação dos revestimentos QC, QCZ, QR e QRZ demonstrou que as soluções QR e QRZ apresentaram eficiência na conservação e manutenção da qualidade dos frutos em relação aos demais tratamentos. A resina de colofônia na concentração de 0,8% foi eficiente conservação da qualidade pós-colheita principalmente na diminuição dos frutos ao longo do armazenamento quando comparado ao controle.

Os resultados obtidos nesse estudo evidenciaram um grande potencial para utilização dos filmes e revestimentos biodegradáveis à base de quitosana adicionados de cera de carnaúba ou resina de colofônia e ZnO_{nano} na área de alimentos. E que revestimentos adicionados de resina foram efetivos na conservação de frutos do maracujazeiro.

7 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABDEEN, Z. I.; EL FARARGY, A. F.; NEGM, N. A. Nanocomposite framework of chitosan/polyvinyl alcohol/ZnO: Preparation, characterization, swelling and antimicrobial evaluation. **Journal of Molecular Liquids**, v. 250, p. 335–343, 2018. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.molliq.2017.12.032>

AGARWAL, S. **Major factors affecting the characteristics of starch based biopolymer films**. [S. l.]: Elsevier Ltd, 2021. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.eurpolymj.2021.110788>

AI SYAH, Y.; IRWANDA, L. P.; HARYANI, S.; SAFRIANI, N. Characterization of corn starch-based edible film incorporated with nutmeg oil nanoemulsion. *In*: 2018, **IOP Conference Series: Materials Science and Engineering**. : Institute of Physics Publishing, 2018. Disponível em: <https://doi.org/10.1088/1757-899X/352/1/012050>

ALAMDARI, S.; MIRZAEI, O.; NASIRI JAHROODI, F.; TAFRESHI, M. J.; GHAMSARI, M. S.; SHIK, S. S.; ARA, M. H. M.; LEE, K. Y.; PARK, H. H. Green synthesis of multifunctional ZnO/chitosan nanocomposite film using wild Mentha pulegium extract for packaging applications. **Surfaces and Interfaces**, v. 34, 2022. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.surfin.2022.102349>

ALMEIDA, I. de S. A.; DADAZIO, T. S.; NOGUEIRA, P. E.; DE ANDRADE, S. C. dos R. B.; SUSSAI, J. F.; HAMAMURA, H.; DOMINGUES, R. de N. D.; SCARAMUSSA, A. S. Monitoramento de doenças na cultura do maracujá (Passiflora spp.) Em duas diferentes cultivares submetidas a adubações distintas / Monitoring diseases in the crop of passion fruit (Passiflora spp.) In two different cultivars submitted to different fertilizations. **Brazilian Journal of Development**, v. 7, n. 9, p. 91224–91233, 2021. Disponível em: <https://doi.org/10.34117/bjdv7n9-332>

AL-NAAMANI, L.; DOBRETISOV, S.; DUTTA, J. Chitosan-zinc oxide nanoparticle composite coating for active food packaging applications. **Innovative Food Science and Emerging Technologies**, v. 38, p. 231–237, 2016. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.ifset.2016.10.010>

ARAGÜEZ, L.; COLOMBO, A.; BORNEO, R.; AGUIRRE, A. Active packaging from triticale flour films for prolonging storage life of cherry tomato. **Food Packaging and Shelf Life**, v. 25, 2020. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.fpsl.2020.100520>

ASTM D882-18. **Método de teste padrão para propriedades de tração de folhas de plástico finas**. [s. l.], 2018. Disponível em: <https://www.astm.org/d0882-18.html>. Acesso em: 23 out. 2022.

ASTM E96/E96M. **Métodos de teste padrão para determinação gravimétrica da taxa de transmissão de vapor de água de materiais**. [s. l.], 2022. Disponível em: https://www.astm.org/e0096_e0096m-22.html. Acesso em: 23 out. 2022.

AZADI, A.; RAFIEIAN, F.; SAMI, M.; REZAEI, A. Fabrication, characterization and antimicrobial activity of chitosan/tragacanth gum/polyvinyl alcohol composite films incorporated with cinnamon essential oil nanoemulsion. **International Journal of Biological**

Macromolecules, v. 245, p. 125225, 2023. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/J.IJBIOMAC.2023.125225>. Acesso em: 20 ago. 2023.

BALLESTEROS, S.; SALAMANCA, M. C.; SIERRA, C. A.; PALOMEQUE, L. A.; CASTELLANOS, D. A. Determination of changes in physicochemical and sensory characteristics of purple passion fruit with the application of different packaging systems, including an ethylene scavenger additive. **Journal of Food Science**, v. 86, n. 4, p. 1372–1383, 2021. Disponível em: <https://doi.org/10.1111/1750-3841.15673>

BARMAN, K.; ASREY, R.; PAL, R. K. Putrescine and carnauba wax pretreatments alleviate chilling injury, enhance shelf life and preserve pomegranate fruit quality during cold storage. **Scientia Horticulturae**, v. 130, n. 4, p. 795–800, 2011. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2011.09.005>

BATISTA SILVA, W.; COSME SILVA, G. M.; SANTANA, D. B.; SALVADOR, A. R.; MEDEIROS, D. B.; BELGHITH, I.; DA SILVA, N. M.; CORDEIRO, M. H. M.; MISOBUTSI, G. P. Chitosan delays ripening and ROS production in guava (*Psidium guajava* L.) fruit. **Food Chemistry**, v. 242, p. 232–238, 2018. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2017.09.052>

BHARDWAJ, H.; SUMANA, G.; MARQUETTE, C. A. A label-free ultrasensitive microfluidic surface Plasmon resonance biosensor for Aflatoxin B1 detection using nanoparticles integrated gold chip. **Food Chemistry**, v. 307, 2020. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2019.125530>

BOTREL, N. Pós-colheita de hortaliças. **Hortaliças em Revista**, p. 1–2, 2017. Disponível em: <http://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/infoteca/handle/doc/1085641>. Acesso em: 20 ago. 2023.

BRAGANÇA, T. G. Efeito da atmosfera modificada na conservação pós-colheita de frutos do maracujazeiro-amarelo (*Passiflora edulis* F. Flavicarpa) / Effect of modified atmosphere on post-harvest conservation of yellow passion fruit (*Passiflora edulis* F. Flavicarpa). **Brazilian Journal of Development**, v. 7, n. 8, p. 82181–82198, 2021. Disponível em: <https://doi.org/10.34117/bjdv7n8-431>

CAZÓN, P.; VÁZQUEZ, M.; VELAZQUEZ, G. Composite Films with UV-Barrier Properties Based on Bacterial Cellulose Combined with Chitosan and Poly(vinyl alcohol): Study of Puncture and Water Interaction Properties. **Biomacromolecules**, v. 20, n. 5, p. 2084–2095, 2019. Disponível em: <https://doi.org/10.1021/acs.biomac.9b00317>

CHANG, P. R.; JIAN, R.; YU, J.; MA, X. Fabrication and characterisation of chitosan nanoparticles/plasticised-starch composites. **Food Chemistry**, v. 120, n. 3, p. 736–740, 2010. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2009.11.002>

CHEN, J.; LUO, L.; CEN, C.; LIU, Y.; LI, H.; WANG, Y. The nano antibacterial composite film carboxymethyl chitosan/gelatin/nano ZnO improves the mechanical strength of food packaging. **International Journal of Biological Macromolecules**, v. 220, p. 462–471, 2022. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2022.08.005>

CHI, H.; SONG, S.; LUO, M.; ZHANG, C.; LI, W.; LI, L.; QIN, Y. Effect of PLA nanocomposite films containing bergamot essential oil, TiO₂ nanoparticles, and Ag nanoparticles on shelf life of mangoes. **Scientia Horticulturae**, v. 249, p. 192–198, 2019. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2019.01.059>

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. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2011.12.006>

COSTA, C. L.; ROCHA, L. S.; AYUMI, M. S. **Aplicação de diferentes revestimentos comestíveis na conservação pós-colheita de goiabas (Psidium guajava L.)** RESUMO **Brazilian Journal of Food Research**. [S. l.: s. n.].

CUSHEN, M.; KERRY, J.; MORRIS, M.; CRUZ-ROMERO, M.; CUMMINS, E. **Nanotechnologies in the food industry - Recent developments, risks and regulation**. [S. l.: s. n.] Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2011.10.006>

DE FREITAS, C. A. S.; DE SOUSA, P. H. M.; SOARES, D. J.; DA SILVA, J. Y. G.; BENJAMIN, S. R.; GUEDES, M. I. F. Carnauba wax uses in food – A review. **Food Chemistry**, v. 291, p. 38–48, 2019. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/J.FOODCHEM.2019.03.133>. Acesso em: 23 out. 2022.

DE MORAES CRIZEL, T.; DE OLIVEIRA RIOS, A.; D. ALVES, V.; BANDARRA, N.; MOLDÃO-MARTINS, M.; HICKMANN FLÔRES, S. Active food packaging prepared with chitosan and olive pomace. **Food Hydrocolloids**, v. 74, p. 139–150, 2018. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2017.08.007>

DE OLIVEIRA FILHO, J. G.; ALBIERO, B. R.; CIPRIANO, L.; DE OLIVEIRA NOBRE BEZERRA, C. C.; OLDONI, F. C. A.; EGEA, M. B.; DE AZEREDO, H. M. C.; FERREIRA, M. D. Arrowroot starch-based films incorporated with a carnauba wax nanoemulsion, cellulose nanocrystals, and essential oils: a new functional material for food packaging applications. **Cellulose**, v. 28, n. 10, p. 6499–6511, 2021. Disponível em: <https://doi.org/10.1007/s10570-021-03945-0>

DHUMAL, C. V.; SARKAR, P. **Composite edible films and coatings from food-grade biopolymers**. [S. l.]: Springer, 2018. Disponível em: <https://doi.org/10.1007/s13197-018-3402-9>

DI GIUSEPPE, F. A.; VOLPE, S.; CAVELLA, S.; MASI, P.; TORRIERI, E. Physical properties of active biopolymer films based on chitosan, sodium caseinate, and rosemary essential oil. **Food Packaging and Shelf Life**, v. 32, 2022. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.fpsl.2022.100817>

DOS SANTOS, F. K. G.; DE OLIVEIRA SILVA, K. N.; XAVIER, T. D. N.; DE LIMA LEITE, R. H.; AROUCHA, E. M. M. Effect of the addition of carnauba wax on physicochemical properties of Chitosan films. In: 2017, **Materials Research**. : Universidade Federal de Sao Carlos, 2017. p. 485–491. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/1980-5373-mr-2016-1010>

DOTTO, G. L.; VIEIRA, M. L. G.; PINTO, L. A. A. Use of chitosan solutions for the microbiological shelf life extension of papaya fruits during storage at room temperature. **LWT**, v. 64, n. 1, p. 126–130, 2015. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2015.05.042>

DULTA, K.; KOŞARSOY AĞÇELI, G.; THAKUR, A.; SINGH, S.; CHAUHAN, P.; CHAUHAN, P. K. Development of Alginate-Chitosan Based Coating Enriched with ZnO Nanoparticles for Increasing the Shelf Life of Orange Fruits (*Citrus sinensis* L.). **Journal of Polymers and the Environment**, v. 30, n. 8, p. 3293–3306, 2022. Disponível em: <https://doi.org/10.1007/s10924-022-02411-7>

ESPITIA, P. J. P.; DE FÁTIMA FERREIRA SOARES, N.; TEÓFILO, R. F.; DOS REIS COIMBRA, J. S.; VITOR, D. M.; BATISTA, R. A.; FERREIRA, S. O.; DE ANDRADE, N. J.; MEDEIROS, E. A. A. Physical–mechanical and antimicrobial properties of nanocomposite films with pediocin and ZnO nanoparticles. **Carbohydrate Polymers**, v. 94, n. 1, p. 199–208, 2013. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/J.CARBPOL.2013.01.003>. Acesso em: 23 out. 2022.

FAKHOURI, F. M.; MARTELLI, S. M.; CAON, T.; VELASCO, J. I.; MEI, L. H. I. Edible films and coatings based on starch/gelatin: Film properties and effect of coatings on quality of refrigerated Red Crimson grapes. **Postharvest Biology and Technology**, v. 109, p. 57–64, 2015. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.postharvbio.2015.05.015>

FALEIRO, F. G.; JUNQUEIRA, N. T. V. **Coleção 500 Perguntas 500 Respostas O produtor pergunta, a Embrapa responde**. [S. l.: s. n.].

FALGUERA, V.; QUINTERO, J. P.; JIMÉNEZ, A.; MUÑOZ, J. A.; IBARZ, A. **Edible films and coatings: Structures, active functions and trends in their use**. [S. l.: s. n.] Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2011.02.004>

FDA. **CFR - Código de Regulamentos Federais Título 21**. [s. l.], 2022a. Disponível em: <https://www.accessdata.fda.gov/scripts/cdrh/cfdocs/cfcfr/CFRSearch.cfm?CFRPart=182>. Acesso em: 23 out. 2022.

FDA. **CFR - Code of Federal Regulations Title 21**. [s. l.], 2022b. Disponível em: <https://www.accessdata.fda.gov/scripts/cdrh/cfdocs/cfcfr/CFRSearch.cfm?fr=184.1978>. Acesso em: 23 out. 2022.

FORTUNATI, E.; GIOVANALE, G.; LUZI, F.; MAZZAGLIA, A.; KENNY, J. M.; TORRE, L.; BALESTRA, G. M. Effective postharvest preservation of kiwifruit and romaine lettuce with a chitosan hydrochloride coating. **Coatings**, v. 7, n. 11, 2017. Disponível em: <https://doi.org/10.3390/coatings7110196>

FULZELE, S. V.; SATTURWAR, P. M.; DORLE, A. K. Polymerized rosin: novel film forming polymer for drug delivery. p. 175–184, 2002. Disponível em: www.elsevier.com/locate/ijpharm

GAILLARD, Y.; MIJA, A.; BURR, A.; DARQUE-CERETTI, E.; FELDER, E.; SBIRRAZZUOLI, N. Green material composites from renewable resources: Polymorphic transitions and phase diagram of beeswax/rosin resin. **Thermochimica Acta**, v. 521, n. 1–2, p. 90–97, 2011. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.tca.2011.04.010>

GALUS, S.; GAUDITZ, M.; KOWALSKA, H.; DEBEAUFORT, F. Effects of candelilla and carnauba wax incorporation on the functional properties of edible sodium caseinate films. **International Journal of Molecular Sciences**, v. 21, n. 24, p. 1–19, 2020. Disponível em: <https://doi.org/10.3390/ijms21249349>

GASTI, T.; DIXIT, S.; HIREMANI, V. D.; CHOUGALE, R. B.; MASTI, S. P.; VOOTLA, S. K.; MUDIGOUDRA, B. S. Chitosan/pullulan based films incorporated with clove essential oil loaded chitosan-ZnO hybrid nanoparticles for active food packaging. **Carbohydrate Polymers**, v. 277, 2022. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.carbpol.2021.118866>

GUERREIRO, A. C.; GAGO, C. M. L.; FALEIRO, M. L.; MIGUEL, M. G. C.; ANTUNES, M. D. C. The effect of alginate-based edible coatings enriched with essential oils constituents on *Arbutus unedo* L. fresh fruit storage. **Postharvest Biology and Technology**, v. 100, p. 226–233, 2015. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.postharvbio.2014.09.002>

GUTIÉRREZ-PACHECO, M. M.; ORTEGA-RAMÍREZ, L. A.; SILVA-ESPINOZA, B. A.; CRUZ-VALENZUELA, M. R.; GONZÁLEZ-AGUILAR, G. A.; LIZARDI-MENDOZA, J.; MIRANDA, R.; AYALA-ZAVALA, J. F. Individual and combined coatings of Chitosan and Carnauba wax with oregano essential oil to avoid water loss and microbial decay of fresh cucumber. **Coatings**, v. 10, n. 7, 2020. Disponível em: <https://doi.org/10.3390/coatings10070614>

HAFSA, J.; SMACH, M. ali; BEN KHEDHER, M. R.; CHARFEDDINE, B.; LIMEM, K.; MAJDOUB, H.; ROUATBI, S. Physical, antioxidant and antimicrobial properties of chitosan films containing *Eucalyptus globulus* essential oil. **LWT**, v. 68, p. 356–364, 2016. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2015.12.050>

HAGHIGHI, H.; BIARD, S.; BIGI, F.; DE LEO, R.; BEDIN, E.; PFEIFER, F.; SIESLER, H. W.; LICCIARDELLO, F.; PULVIRENTI, A. Comprehensive characterization of active chitosan-gelatin blend films enriched with different essential oils. **Food Hydrocolloids**, v. 95, p. 33–42, 2019. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2019.04.019>

HAJJI, S.; SALEM, R. B. S. Ben; HAMDY, M.; JELLOULI, K.; AYADI, W.; NASRI, M.; BOUFI, S. Nanocomposite films based on chitosan–poly(vinyl alcohol) and silver nanoparticles with high antibacterial and antioxidant activities. **Process Safety and Environmental Protection**, v. 111, p. 112–121, 2017. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.psep.2017.06.018>

HAN LYN, F.; CHIN PING, T.; ZAWAWI, R. M.; NUR HANANI, Z. A. Effect of sonication time and heat treatment on the structural and physical properties of chitosan/graphene oxide nanocomposite films. **Food Packaging and Shelf Life**, v. 28, 2021. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.fpsl.2021.100663>

HANDFORD, C. E.; DEAN, M.; HENCHION, M.; SPENCE, M.; ELLIOTT, C. T.; CAMPBELL, K. Implications of nanotechnology for the agri-food industry: Opportunities, benefits and risks. **Trends in Food Science & Technology**, v. 40, n. 2, p. 226–241, 2014. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/J.TIFS.2014.09.007>. Acesso em: 9 ago. 2023.

HARUNA, M. H.; WANG, Y.; PANG, J. Konjac glucomannan-based composite films fabricated in the presence of carnauba wax emulsion: hydrophobicity, mechanical and

microstructural properties evaluation. **Journal of Food Science and Technology**, v. 56, n. 11, p. 5138–5145, 2019. Disponível em: <https://doi.org/10.1007/s13197-019-03932-1>

HASSAN, B.; CHATHA, S. A. S.; HUSSAIN, A. I.; ZIA, K. M.; AKHTAR, N. Recent advances on polysaccharides, lipids and protein based edible films and coatings: A review. **International Journal of Biological Macromolecules**, v. 109, p. 1095–1107, 2018. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2017.11.097>

HONG, K.; XIE, J.; ZHANG, L.; SUN, D.; GONG, D. Effects of chitosan coating on postharvest life and quality of guava (*Psidium guajava* L.) fruit during cold storage. **Scientia Horticulturae**, v. 144, p. 172–178, 2012. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2012.07.002>

ISO 750. **ISO - ISO 750:1998 - Fruit and vegetable products — Determination of titratable acidity**. [s. l.], 1998. Disponível em: <https://www.iso.org/standard/22569.html>. Acesso em: 23 out. 2022.

ISO 1842. **ISO - ISO 1842:1991 - Fruit and vegetable products — Determination of pH**. [s. l.], 1991. Disponível em: <https://www.iso.org/standard/6500.html>. Acesso em: 23 out. 2022.

ISO 2173. **ISO - ISO 2173:1978 - Fruit and vegetable products — Determination of soluble solids content — Refractometric method**. [s. l.], 1978. Disponível em: <https://www.iso.org/standard/6970.html>. Acesso em: 23 out. 2022.

JOSÉ CAMPOS, A. DE; MANOEL, L.; RAFAEL DAMATTO JÚNIOR, E.; LOPES VIEITES, R.; LEONEL, S.; MARTA EVANGELISTA, R. TRATAMENTO HIDROTÉRMICO NA MANUTENÇÃO DA QUALIDADE PÓS-COLHEITA DE MARACUJÁ-AMARELO 1. **Rev. Bras. Frutic., Jaboticabal-SP**, n. 3, p. 383–385, 2005.

KALIA, A.; KAUR, M.; SHAMI, A.; KAUR JAWANDHA, S.; ALGHUTHAYMI, M. A.; THAKUR, A.; ABD-ELSALAM, K. A. Nettle-Leaf Extract Derived ZnO/CuO Nanoparticle-Biopolymer-Based Antioxidant and Antimicrobial Nanocomposite Packaging Films and Their Impact on Extending the Post-Harvest Shelf Life of Guava Fruit. 2021. Disponível em: <https://doi.org/10.3390/biom>

KOUHI, M.; PRABHAKARAN, M. P.; RAMAKRISHNA, S. Edible polymers: An insight into its application in food, biomedicine and cosmetics. **Trends in Food Science and Technology**, v. 103, p. 248–263, 2020. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2020.05.025>

KOWALCZYK, D.; GUSTAW, W.; ZIEBA, E.; LISIECKI, S.; STADNIK, J.; BARANIAK, B. Microstructure and functional properties of sorbitol-plasticized pea protein isolate emulsion films: Effect of lipid type and concentration. **Food Hydrocolloids**, v. 60, p. 353–363, 2016. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2016.04.006>

KRAŚNIEWSKA, K.; GALUS, S.; GNIEWOSZ, M. **Biopolymers-based materials containing silver nanoparticles as active packaging for food applications—A review**. [S. l.]: MDPI AG, 2020. Disponível em: <https://doi.org/10.3390/ijms21030698>

KUMAR, S.; MUKHERJEE, A.; DUTTA, J. **Chitosan based nanocomposite films and coatings: Emerging antimicrobial food packaging alternatives**. [S. l.]: Elsevier Ltd, 2020. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2020.01.002>

KUMARIHAMI, H. M. P. C.; KIM, Y. H.; KWACK, Y. B.; KIM, J.; KIM, J. G. Application of chitosan as edible coating to enhance storability and fruit quality of Kiwifruit: A Review. **Scientia Horticulturae**, v. 292, 2022. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2021.110647>

LI, H.; LI, W.; ZHANG, J.; XIE, G.; XIONG, T.; XU, H. Preparation and characterization of sodium alginate/gelatin/Ag nanocomposite antibacterial film and its application in the preservation of tangerine. **Food Packaging and Shelf Life**, v. 33, 2022. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.fpsl.2022.100928>

LI, J. H.; HONG, R. Y.; LI, M. Y.; LI, H. Z.; ZHENG, Y.; DING, J. Effects of ZnO nanoparticles on the mechanical and antibacterial properties of polyurethane coatings. **Progress in Organic Coatings**, v. 64, n. 4, p. 504–509, 2009. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.porgcoat.2008.08.013>

LIU, Y.; KIM, H. II. Characterization and antibacterial properties of genipin-crosslinked chitosan/poly(ethylene glycol)/ZnO/Ag nanocomposites. **Carbohydrate Polymers**, v. 89, n. 1, p. 111–116, 2012. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.carbpol.2012.02.058>

LIU, Z.; DU, M.; LIU, H.; ZHANG, K.; XU, X.; LIU, K.; TU, J.; LIU, Q. Chitosan films incorporating litchi peel extract and titanium dioxide nanoparticles and their application as coatings on watercored apples. **Progress in Organic Coatings**, v. 151, 2021. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.porgcoat.2020.106103>

MAHFOUDHI, N.; HAMDI, S. Use of Almond Gum and Gum Arabic as Novel Edible Coating to Delay Postharvest Ripening and to Maintain Sweet Cherry (*Prunus avium*) Quality during Storage. **Journal of Food Processing and Preservation**, v. 39, n. 6, p. 1499–1508, 2015. Disponível em: <https://doi.org/10.1111/JFPP.12369>. Acesso em: 24 jul. 2023.

MANDAOGADE, P. M.; SATTURWAR, P. M.; FULZELE, S. V.; GOGTE, B. B.; DORLE, A. K. **Rosin derivatives: novel film forming materials for controlled drug delivery a a Reactive & Functional Polymers**. [S. l.: s. n.]. Disponível em: www.elsevier.com/locate/react.

MARANGONI JÚNIOR, L.; DA SILVA, R. G.; ANJOS, C. A. R.; VIEIRA, R. P.; ALVES, R. M. V. Effect of low concentrations of SiO₂ nanoparticles on the physical and chemical properties of sodium alginate-based films. **Carbohydrate Polymers**, v. 269, 2021. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.carbpol.2021.118286>

MOGHIMI, R.; ALIAHMADI, A.; RAFATI, H. Antibacterial hydroxypropyl methyl cellulose edible films containing nanoemulsions of *Thymus daenensis* essential oil for food packaging. **Carbohydrate Polymers**, v. 175, p. 241–248, 2017. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.carbpol.2017.07.086>

MOHAMED, S. A. A.; EL-SAKHAWY, M.; EL-SAKHAWY, M. A. M. Polysaccharides, Protein and Lipid -Based Natural Edible Films in Food Packaging: A Review. **Carbohydrate Polymers**, v. 238, 2020. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.carbpol.2020.116178>

MOHAMMADI, L.; RAMEZANIAN, A.; TANAKA, F.; TANAKA, F. Impact of Aloe vera gel coating enriched with basil (*Ocimum basilicum* L.) essential oil on postharvest quality of strawberry fruit. **Journal of Food Measurement and Characterization**, v. 15, n. 1, p. 353–362, 2021. Disponível em: <https://doi.org/10.1007/s11694-020-00634-7>

MOTELICA, L.; FICAI, D.; FICAI, A.; TRUȘCĂ, R. D.; ILIE, C. I.; OPREA, O. C.; ANDRONESCU, E. Innovative antimicrobial chitosan/zno/ag nps/citronella essential oil nanocomposite—potential coating for grapes. **Foods**, v. 9, n. 12, p. 1–26, 2020. Disponível em: <https://doi.org/10.3390/foods9121801>

MUSCAT, D.; ADHIKARI, R.; MCKNIGHT, S.; GUO, Q.; ADHIKARI, B. The physicochemical characteristics and hydrophobicity of high amylose starch-glycerol films in the presence of three natural waxes. **Journal of Food Engineering**, v. 119, n. 2, p. 205–219, 2013. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2013.05.033>

NAYIK, G. A.; MAJID, I.; KUMAR, V. Developments in Edible films and Coatings for the extension of Shelf Life of Fresh Fruits. **American Journal of Nutrition and Food Science**, p. 16–20, 2015. Disponível em: <https://doi.org/10.12966/ajnfs>

NGUYEN, V. T.; DANG-THI, M. S.; TRINH, K. S. Antifungal Activity of Gelatin-Tapioca Starch Film and Coating Containing Copper Nanoparticles against *Colletotrichum gloeosporioides* Causing Anthracnose. **Journal of Chemistry**, v. 2020, 2020. Disponível em: <https://doi.org/10.1155/2020/6667450>

NOR, S.; DING, P. Trends and advances in edible biopolymer coating for tropical fruit: A review. **Food Research International**, v. 134, p. 109208, 2020. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/J.FOODRES.2020.109208>. Acesso em: 20 ago. 2023.

NUR FATIN, R. N.; NUR HANANI, Z. A. Physicochemical characterization of kappa-carrageenan (*Euchema cottoni*) based films incorporated with various plant oils. **Carbohydrate Polymers**, v. 157, p. 1479–1487, 2017. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/J.CARBPOL.2016.11.026>. Acesso em: 20 ago. 2023.

ONIAS, E. A.; TEODOSIO, A. E. M. M.; BOMFIM, M. P.; ROCHA, R. H. C.; LIMA, J. F. de; MEDEIROS, M. L. S. de. Revestimento biodegradável à base de *Spirulina platensis* na conservação pós-colheita de goiaba Paluma mantidas sob diferentes temperaturas de armazenamento. **Revista de Ciências Agrárias**, v. 41, n. 3, p. 849–860, 2018. Disponível em: <https://doi.org/10.19084/rca17201>

PAIDARI, S.; ZAMINDAR, N.; TAHERGORABI, R.; KARGAR, M.; EZZATI, S.; SHIRANI, N.; MUSAVI, S. H. **Edible coating and films as promising packaging: a mini review**. [S. l.]: Springer, 2021. Disponível em: <https://doi.org/10.1007/s11694-021-00979-7>

PINHEIRO, N. M. S. **Revestimentos com cera de carnaúba incorporados de antimicrobianos em caju (*anacardium occidentale* L) e goiaba (*psidium guajava*)**. 2012. - UNIVERSIDADE FEDERAL DE VIÇOSA, VIÇOSA - MINAS GERAIS, 2012.

POVERENOV, E.; ZAITSEV, Y.; ARNON, H.; GRANIT, R.; ALKALAI-TUVIA, S.; PERZELAN, Y.; WEINBERG, T.; FALLIK, E. Effects of a composite chitosan-gelatin edible coating on postharvest quality and storability of red bell peppers. **Postharvest Biology and Technology**, v. 96, p. 106–109, 2014. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.postharvbio.2014.05.015>

PRIYADARSHI, R.; KIM, H. J.; RHIM, J. W. Effect of sulfur nanoparticles on properties of alginate-based films for active food packaging applications. **Food Hydrocolloids**, v. 110, 2021. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2020.106155>

RAEISI, M.; TABARAEI, A.; HASHEMI, M.; BEHNAMPOUR, N. Effect of sodium alginate coating incorporated with nisin, Cinnamomum zeylanicum, and rosemary essential oils on microbial quality of chicken meat and fate of *Listeria monocytogenes* during refrigeration. **International Journal of Food Microbiology**, v. 238, p. 139–145, 2016. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.ijfoodmicro.2016.08.042>

RAHMAN, P. M.; MUJEEB, V. M. A.; MURALEEDHARAN, K. Flexible chitosan-nano ZnO antimicrobial pouches as a new material for extending the shelf life of raw meat. **International Journal of Biological Macromolecules**, v. 97, p. 382–391, 2017. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2017.01.052>

REGATTIERI, A. B.; SENA, G. L.; SILVA FILHO, E. A. Preparation and characterization of ternary emulsion chitosan/SDS/hexane. **Revista Virtual de Química**, v. 8, n. 3, p. 622–633, 2016. Disponível em: <https://doi.org/10.5935/1984-6835.20160047>

RINALDI, M. M.; COSTA, A. M.; FALEIRO, F. G.; JUNQUEIRA, N. T. V. Conservação pós-colheita de frutos de *Passiflora setacea* DC. submetidos a diferentes sanitizantes e temperaturas de armazenamento. **Brazilian Journal of Food Technology**, v. 20, n. 0, 2017. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/1981-6723.4616>

RODRIGUES, J. P. **Desenvolvimento e caracterização de Biocompósito para uso no tratamento Pós-Colheita de Mamão (Carica Papaya L.)**. 2022. - UNIVERSIDADE FEDERAL RURAL DO RIO DE JANEIRO, SEROPÊDICA - RJ, 2022.

ROMANAZZI, G.; FELIZIANI, E.; SANTINI, M.; LANDI, L. Effectiveness of postharvest treatment with chitosan and other resistance inducers in the control of storage decay of strawberry. **Postharvest Biology and Technology**, v. 75, p. 24–27, 2013. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.postharvbio.2012.07.007>

ROSA, J. S. da; GODOY, R. L. de O.; OIANO NETO, J.; CAMPOS, R. da S.; MATTA, V. M. da; FREIRE, C. A.; SILVA, A. S. da; SOUZA, R. S. de. Desenvolvimento de um método de análise de vitamina C em alimentos por cromatografia líquida de alta eficiência e exclusão iônica. **Ciência e Tecnologia de Alimentos**, v. 27, n. 4, p. 837–846, 2007. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/S0101-20612007000400025>. Acesso em: 9 ago. 2023.

SAHARAN, V.; SHARMA, G.; YADAV, M.; CHOUDHARY, M. K.; SHARMA, S. S.; PAL, A.; RALIYA, R.; BISWAS, P. Synthesis and in vitro antifungal efficacy of Cu-chitosan nanoparticles against pathogenic fungi of tomato. **International Journal of Biological Macromolecules**, v. 75, p. 346–353, 2015. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2015.01.027>

SANI, M.; MALEKI, M.; EGHBALJOO-GHAREHGHESHLAGHI, H.; KHEZERLOU, A.; MOHAMMADIAN, E.; LIU, Q.; JAFARI, S. M. **Titanium dioxide nanoparticles as multifunctional surface-active materials for smart/active nanocomposite packaging films.** [*S. l.*]: Elsevier B.V., 2022. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.cis.2021.102593>

SANUJA, S.; AGALYA, A.; UMAPATHY, M. J. Synthesis and characterization of zinc oxide-neem oil-chitosan bionanocomposite for food packaging application. **International Journal of Biological Macromolecules**, v. 74, p. 76–84, 2015. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2014.11.036>

SEDAYU, B. B.; CRAN, M. J.; BIGGER, S. W. A Review of Property Enhancement Techniques for Carrageenan-based Films and Coatings. **Carbohydrate Polymers**, v. 216, p. 287–302, 2019. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/J.CARBPOL.2019.04.021>. Acesso em: 20 ago. 2023.

SHANKAR, S.; KHODAEI, D.; LACROIX, M. Effect of chitosan/essential oils/silver nanoparticles composite films packaging and gamma irradiation on shelf life of strawberries. **Food Hydrocolloids**, v. 117, 2021. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2021.106750>

SILVA, M. S.; ATAÍDE, E. M.; SANTOS, A. K. E.; SOUZA, J. M. A. QUALIDADE DE FRUTOS DE MARACUJAZEIRO AMARELO PRODUZIDOS NA SAFRA E ENTRESSAFRA NO VALE DO SÃO FRANCISCO. **Revista Iberoamericana de Tecnología Postcosecha**, v. 17, n. 1, p. 41–49, 2016. Disponível em: <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=81346341006>

SILVESTRE, A. J. D.; GANDINI, A. Rosin: Major Sources, Properties and Applications. *In: Monomers, Polymers and Composites from Renewable Resources.* [*S. l.: s. n.*]. p. 67–88.

SINGH, M.; SAHAREEN, T. Investigation of cellulosic packets impregnated with silver nanoparticles for enhancing shelf-life of vegetables. **LWT**, v. 86, p. 116–122, 2017. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2017.07.056>

SINGH, S.; KHEMARIYA, P.; RAI, A.; RAI, A. C.; KOLEY, T. K.; SINGH, B. Carnauba wax-based edible coating enhances shelf-life and retain quality of eggplant (*Solanum melongena*) fruits. **LWT**, v. 74, p. 420–426, 2016. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2016.08.004>

SODERBERG, T. A.; GREF, R.; HOLM, S.; ELMROS4, T.; HALLMANSS, G. **ANTIBACTERIAL ACTIVITY OF ROSIN AND RESIN ACIDS IN VITRO** Scand J Plast Reconstr Hand Surg. [*S. l.: s. n.*].

SOLIMAN, T. S.; VSHIVKOV, S. A. Effect of Fe nanoparticles on the structure and optical properties of polyvinyl alcohol nanocomposite films. **Journal of Non-Crystalline Solids**, v. 519, 2019. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.jnoncrysol.2019.05.028>

SONG, W.; XU, J.; REN, L.; GUO, L.; TONG, J.; WANG, L.; CHANG, Z. Traditional sensory evaluation and bionic electronic nose as innovative tools for the packaging performance evaluation of chitosan film. **Polymers**, v. 12, n. 10, p. 1–22, 2020. Disponível em: <https://doi.org/10.3390/polym12102310>

SUSMITA DEVI, L.; KALITA, S.; MUKHERJEE, A.; KUMAR, S. Carnauba wax-based composite films and coatings: recent advancement in prolonging postharvest shelf-life of fruits and vegetables. **Trends in Food Science & Technology**, 2022. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2022.09.019>

SYAHIDA, N.; FITRY, I.; ZURIYATI, A.; HANANI, N. Effects of palm wax on the physical, mechanical and water barrier properties of fish gelatin films for food packaging application. **Food Packaging and Shelf Life**, v. 23, 2020. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.fpsl.2019.100437>

TUMWESIGYE, K. S.; SOUSA, A. R.; OLIVEIRA, J. C.; SOUSA-GALLAGHER, M. J. Evaluation of novel bitter cassava film for equilibrium modified atmosphere packaging of cherry tomatoes. **Food Packaging and Shelf Life**, v. 13, p. 1–14, 2017. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.fpsl.2017.04.007>

VIEIRA, A. C. F.; DE MATOS FONSECA, J.; MENEZES, N. M. C.; MONTEIRO, A. R.; VALENCIA, G. A. Active coatings based on hydroxypropyl methylcellulose and silver nanoparticles to extend the papaya (*Carica papaya* L.) shelf life. **International Journal of Biological Macromolecules**, v. 164, p. 489–498, 2020. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2020.07.130>

VITAL, A. C. P.; GUERRERO, A.; ORNAGHI, M. G.; KEMPINSKI, E. M. B. C.; SARY, C.; MONTESCHIO, J. de O.; MATUMOTO-PINTRO, P. T.; RIBEIRO, R. P.; DO PRADO, I. N. Quality and sensory acceptability of fish fillet (*Oreochromis niloticus*) with alginate-based coating containing essential oils. **Journal of Food Science and Technology**, v. 55, n. 12, p. 4945–4955, 2018. Disponível em: <https://doi.org/10.1007/s13197-018-3429-y>

WANG, H.; GONG, X.; MIAO, Y.; GUO, X.; LIU, C.; FAN, Y. Y.; ZHANG, J.; NIU, B.; LI, W. Preparation and characterization of multilayer films composed of chitosan, sodium alginate and carboxymethyl chitosan-ZnO nanoparticles. **Food Chemistry**, v. 283, p. 397–403, 2019. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2019.01.022>

WANG, L.; DONG, Y.; MEN, H.; TONG, J.; ZHOU, J. Preparation and characterization of active films based on chitosan incorporated tea polyphenols. **Food Hydrocolloids**, v. 32, n. 1, p. 35–41, 2013. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2012.11.034>

WU, J.; SUN, Q.; HUANG, H.; DUAN, Y.; XIAO, G.; LE, T. Enhanced physico-mechanical, barrier and antifungal properties of soy protein isolate film by incorporating both plant-sourced cinnamaldehyde and facile synthesized zinc oxide nanosheets. **Colloids and Surfaces B: Biointerfaces**, v. 180, p. 31–38, 2019. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.colsurfb.2019.04.041>

XAVIER, T. D. N.; DE OLIVEIRA, V. R. L.; LEITE, R. H. de L.; AROUCHA, E. M. M.; DOS SANTOS, F. K. G. Characterization of biopolymeric films based on cassava starch, chitosan and carnauba wax. **Revista Materia**, v. 25, n. 4, p. 1–12, 2020. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/S1517-707620200004.1166>

XIANG, F.; XIA, Y.; WANG, Y.; WANG, Y.; WU, K.; NI, X. Preparation of konjac glucomannan based films reinforced with nanoparticles and its effect on cherry tomatoes

preservation. **Food Packaging and Shelf Life**, v. 29, 2021. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.fpsl.2021.100701>

XU, T.; GAO, C. C.; FENG, X.; YANG, Y.; SHEN, X.; TANG, X. Structure, physical and antioxidant properties of chitosan-gum arabic edible films incorporated with cinnamon essential oil. **International Journal of Biological Macromolecules**, v. 134, p. 230–236, 2019. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2019.04.189>

YADAV, B. K.; GIDWANI, B.; VYAS, A. Rosin: Recent advances and potential applications in novel drug delivery system. **Journal of Bioactive and Compatible Polymers**, v. 31, n. 2, p. 111–126, 2016. Disponível em: <https://doi.org/10.1177/0883911515601867>

YADAV, S.; MEHROTRA, G. K.; DUTTA, P. K. Chitosan based ZnO nanoparticles loaded gallic-acid films for active food packaging. **Food Chemistry**, v. 334, 2021. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2020.127605>

YOU, M.; DUAN, X.; LI, X.; LUO, L.; ZHAO, Y.; PAN, H.; GONG, W.; YANG, L.; XIANG, Z.; LI, G. Effect of 1-Methylcyclopropene combined with chitosan-coated film on storage quality of passion fruit. **Sustainable Chemistry and Pharmacy**, v. 27, 2022. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.scp.2022.100679>

YOUSSEF, A. M.; EL-SAYED, S. M.; EL-SAYED, H. S.; SALAMA, H. H.; DUFRESNE, A. Enhancement of Egyptian soft white cheese shelf life using a novel chitosan/carboxymethyl cellulose/zinc oxide bionanocomposite film. **Carbohydrate Polymers**, v. 151, p. 9–19, 2016. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.carbpol.2016.05.023>

YU, F.; NI, Z.; SHAO, X.; YU, L.; LIU, H.; XU, F.; WANG, H. **Differences in Sucrose Metabolism in Peach Fruit Stored at Chilling Stress versus Nonchilling Stress Temperatures** HORTSCIENCE. [S. l.: s. n.].

YUE, T. T.; LI, X.; WANG, X. X.; YAN, X.; YU, M.; MA, J. W.; ZHOU, Y.; RAMAKRISHNA, S.; LONG, Y. Z. Electrospinning of Carboxymethyl Chitosan/Polyoxyethylene Oxide Nanofibers for Fruit Fresh-Keeping. **Nanoscale Research Letters**, v. 13, 2018. Disponível em: <https://doi.org/10.1186/s11671-018-2642-y>

ZEHRRA, A.; WANI, S. M.; BHAT, T. A.; JAN, N.; HUSSAIN, S. Z.; NAIK, H. R. Preparation of a biodegradable chitosan packaging film based on zinc oxide, calcium chloride, nano clay and poly ethylene glycol incorporated with thyme oil for shelf-life prolongation of sweet cherry. **International Journal of Biological Macromolecules**, v. 217, p. 572–582, 2022. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2022.07.013>

ZERAIK, M. L.; SERTEYN, D.; DEBY-DUPONT, G.; WAUTERS, J. N.; TITS, M.; YARIWAKE, J. H.; ANGENOT, L.; FRANCK, T. Evaluation of the antioxidant activity of passion fruit (*Passiflora edulis* and *Passiflora alata*) extracts on stimulated neutrophils and myeloperoxidase activity assays. **Food Chemistry**, v. 128, n. 2, p. 259–265, 2011. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2011.03.001>

ZHANG, R.; LAN, W.; DING, J.; AHMED, S.; QIN, W.; HE, L.; LIU, Y. Effect of PLA/PBAT antibacterial film on storage quality of passion fruit during the shelf-life. **Molecules**, v. 24, n. 18, 2019. Disponível em: <https://doi.org/10.3390/molecules24183378>

ZHANG, Z. J.; LI, N.; LI, H. Z.; LI, X. J.; CAO, J. M.; ZHANG, G. P.; HE, D. L. Preparation and characterization of biocomposite chitosan film containing *Perilla frutescens* (L.) Britt. essential oil. **Industrial Crops and Products**, v. 112, p. 660–667, 2018. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2017.12.073>

ZHONG, Z.; ZHOU, L.; YU, K.; JIANG, F.; XU, J.; ZOU, L.; DU, L.; LIU, W. Effects of Microporous Packaging Combined with Chitosan Coating on the Quality and Physiological Metabolism of Passion Fruit after Harvest. **Food and Bioprocess Technology**, v. 15, n. 8, p. 1836–1850, 2022. Disponível em: <https://doi.org/10.1007/s11947-022-02845-w>

ZHOU, Y.; ZHONG, Y.; LI, L.; JIANG, K.; GAO, J.; ZHONG, K.; PAN, M.; YAN, B. A multifunctional chitosan-derived conformal coating for the preservation of passion fruit. **LWT**, v. 163, 2022. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2022.113584>

ZHU, F. **Polysaccharide based films and coatings for food packaging: Effect of added polyphenols.** [S. l.]: Elsevier Ltd, 2021. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2021.129871>