

# DESENVOLVIMENTO DE FILMES DE QUITOSANA PELA TÉCNICA DE LAYER-BY-LAYER PARA PROTEÇÃO PÓS-COLHEITA DE MANGA PALMER

Data da submissão: 08/04/2024

Data de aceite: 02/05/2024

### **Anna Paula Ferreira Araújo Zanoli**

Universidade do Estado de Minas Gerais  
– UEMG. Ituiutaba – MG  
<http://lattes.cnpq.br/9004077324648071>

### **Rafaella Ferreira Maia**

Universidade do Estado de Minas Gerais  
– UEMG. Ituiutaba – MG  
<http://lattes.cnpq.br/6119210246656841>

### **Eveline Soares Costa**

Universidade do Estado de Minas Gerais  
– UEMG. Ituiutaba – MG  
<https://lattes.cnpq.br/9126084206992314>

### **Hellen Franciane Gonçalves Barbosa**

Universidade do Estado de Minas Gerais  
– UEMG. Ituiutaba – MG  
<http://lattes.cnpq.br/8799063050335983>

### **Rafael de Oliveira Pedro**

Universidade do Estado de Minas Gerais  
– UEMG. Ituiutaba – MG  
<http://lattes.cnpq.br/8138341335413386>

**RESUMO:** A conservação pós-colheita de frutas é desafiadora para produtores, comerciantes e consumidores, especialmente em frutas tropicais como a manga. A aplicação de filmes comestíveis é uma estratégia relevante para prevenir a

deterioração, criando uma barreira contra perda de umidade, trocas gasosas e ação microbiológica. A técnica de deposição camada-por-camada, LbL (*Layer-by-Layer*), pode ser usada para desenvolver esses filmes. A quitosana, obtida do exoesqueleto de crustáceos, e a cera de carnaúba são usadas nessas soluções, oferecendo propriedades antimicrobianas, biocompatibilidade, biodegradabilidade, abundância e baixo custo. O óleo essencial de orégano também pode ser utilizado devido às suas propriedades antioxidantes, antimicrobianas e anti-inflamatórias. Nesse contexto, o projeto propôs a fabricação, caracterização e investigação de filmes comestíveis LbL contendo quitosana, cera de carnaúba e óleo essencial de orégano. Os testes para avaliar a eficácia dos filmes protetores foram conduzidos utilizando amostras de manga Palmer (*Mangifera indica*). Os resultados obtidos indicam que filmes feitos de quitosana, combinados com cera de carnaúba e óleo essencial de orégano, são eficazes na proteção de manga Palmer. Esses filmes apresentam características favoráveis como boa manuseabilidade, textura, aparência e espessura adequadas, além de serem biodegradáveis tanto em água quanto em

solo. Notavelmente, as mangas tratadas com os filmes contendo cera e óleo essencial de orégano mantiveram sua aparência e peso por períodos prolongados, destacando o potencial desses filmes. Assim, os resultados sugerem que os filmes de quitosana e extratos naturais representam uma alternativa viável para proteção de frutas após a colheita.

**PALAVRAS-CHAVE:** filmes comestíveis; quitosana; cera de carnaúba.

## DEVELOPMENT OF CHITOSAN FILMS USING THE *LAYER-BY-LAYER* TECHNIQUE FOR POST-HARVEST PROTECTION OF PALMER MANGOES

**ABSTRACT:** Post-harvest fruit conservation is challenging for producers, traders and consumers, especially in tropical fruits such as mango. The application of edible films is a relevant strategy to prevent spoilage, creating a barrier against moisture loss, gas exchange and microbiological action. The layer-by-layer deposition technique, LbL (Layer-by-Layer), can be used to create these films. Chitosan, obtained from the exoskeleton of crustaceans, and carnauba wax are used in these solutions, offering antimicrobial properties, biocompatibility, biodegradability, abundance and low cost. Oregano essential oil can also be used due to its antioxidant, antimicrobial and anti-inflammatory properties. In this context, the project proposed the manufacture, characterization and investigation of LbL edible films containing chitosan, carnauba wax and oregano essential oil. Tests to evaluate the effectiveness of the protective films were conducted using Palmer sleeve samples. The results obtained indicate that films made from chitosan, combined with carnauba wax and oregano essential oil, are effective in protecting fruits. These films have favorable characteristics such as good handling, texture, appearance and thickness, in addition to being biodegradable in both water and soil. Notably, mangoes treated with films containing wax and oregano essential oil maintained their appearance and weight for longer periods, highlighting the potential of these films. Thus, the results suggest that chitosan films and natural extracts represent a viable alternative for protecting fruits after harvest.

**KEYWORDS:** edible films; chitosan; carnauba wax.

## INTRODUÇÃO

O Brasil desperdiça cerca de 39.000 toneladas de alimentos diariamente (MARTINS e colab., 2022). Conforme a Organização das Nações Unidas para a Alimentação e Agricultura (FAO), o desperdício anual de alimentos global atinge aproximadamente 1,3 bilhão de toneladas (FAO, 2013), quantidade suficiente para alimentar dois bilhões de pessoas por ano. Essa perda expressiva não apenas causa prejuízos econômicos, mas também compromete a segurança alimentar. O desperdício, especialmente relevante no pós-colheita de frutas, resulta de fatores intrínsecos, como oxidação e senescência, bem como de fatores extrínsecos, como pragas e danos físicos.

Diante desse cenário, diversas estratégias têm sido desenvolvidas para mitigar esses problemas, visando melhorar a preservação, prolongar o tempo de prateleira e garantir a qualidade das frutas. A utilização de revestimentos comestíveis na superfície das frutas pode reduzir a degradação natural (JURIĆ e colab., 2023; MD NOR e DING,

2020), atuando como barreiras eficazes contra a perda de água, trocas gasosas e ação microbiológica. Esses revestimentos desempenham um papel crucial ao evitar danos físicos, químicos e microbiológicos (JURIĆ e colab., 2023; PESTANA e colab., 2021; SHEZI e colab., 2020).

É interessante que os revestimentos comestíveis sejam desenvolvidos de modo que suas características organolépticas e protetivas sejam adequadas para o consumo (SAHA e colab., 2017; ZAMBRANO-ZARAGOZA e colab., 2018). Portanto, é crucial utilizar biomoléculas e compostos de origem natural para preservar as propriedades das frutas após a colheita. A quitosana, um polímero natural, surge como uma escolha ideal para formar filmes protetores na superfície das frutas devido à sua atoxicidade, biodegradabilidade, comestibilidade, atividade antimicrobiana e baixo custo (ADHIKARI e colab., 2022; KUMAR e colab.).

Uma alternativa para viabilizar a utilização da quitosana na fabricação de revestimentos comestíveis é empregar a técnica de formação de filmes camada-por-camada, também conhecida como LbL (*Layer-by-Layer*). Nesse método, as superfícies são cobertas por meio da deposição progressiva de camadas de materiais protetivos (ODJO e colab., 2022; WANG e colab., 2022).

Os filmes comestíveis LbL têm a capacidade de incorporar materiais funcionais em suas camadas protetoras, como ceras, extratos de plantas ou óleos essenciais, que podem oferecer uma variedade de atividades biológicas importantes (SALAS-MÉNDEZ e colab., 2019). Alguns desses componentes possuem propriedades antimicrobianas, como é o caso do óleo essencial de orégano, que contém agentes ativos como timol e carvacrol, conhecidos por seus efeitos antimicrobianos (ZAMBRANO-ZARAGOZA e colab., 2018). Outra substância interessante para a fabricação de filmes LbL é a cera de carnaúba, um composto lipídico obtido das folhas de *Copernicia cerifera* (DE FREITAS e colab., 2019). Ceras naturais, como a carnaúba, são capazes de limitar a perda de água, além de aumentar o brilho e a atratividade visual das frutas.

Assim, o objetivo deste projeto foi investigar o efeito protetor de filmes comestíveis à base de quitosana, óleo essencial de orégano e cera de carnaúba na preservação de mangas. A formulação dos filmes LbL possibilitou o revestimento das mangas com um filme comestível, oferecendo proteção adicional contra microrganismos e prolongando o tempo de armazenamento. O estudo teve como objetivo preencher lacunas na literatura sobre a preservação de mangas usando filmes camada-por-camada produzidos com ingredientes naturais e acessíveis.

## MATERIAIS E MÉTODOS

### Caracterização da quitosana

O grau de desacetilação da quitosana foi determinado por meio da técnica de titulação potenciométrica, conforme o método estabelecido por Tolaimate e colegas. (TOLAIMATE e colab., 2000). Neste procedimento, cerca de 40 mg de quitosana, que foi previamente seca em estufa a 50 °C até atingir uma massa constante, foi dissolvida em 10 mL de ácido clorídrico (HCl) padronizado (0,1 mol L<sup>-1</sup>). A solução de quitosana foi então titulada com hidróxido de sódio (NaOH) padronizado (0,1 mol L<sup>-1</sup>). Um pHmetro Digimed DM-2P foi utilizado para monitorar o pH durante o processo de titulação.

### Espectroscopia no Infravermelho com Transformada de Fourier por Refletância Total Atenuada (FTIR-ATR)

Amostras sólidas de quitosana foram caracterizadas por espectroscopia na região do infravermelho (IV). Para assegurar a completa remoção da umidade, aproximadamente 2,5 mg das amostras dos polímeros foram secas em estufa a 50 °C por 24 horas. Após esse período, os espectros de infravermelho foram adquiridos utilizando um espectrofotômetro FTIR-ATR Agilent Cary 630, com pelo menos 4 acumulações na região de 4000 a 400 cm<sup>-1</sup>.

### Preparo e caracterização dos filmes

A solução filmogênica de quitosana (1% m/v, 250 mL) foi elaborada dispersando o polímero em ácido acético glacial (1%, v/v), seguindo a metodologia proposta por Pilon e colaboradores (PILON e colab., 2015). Em seguida a solução foi agitada por 12 horas para completa solubilização da quitosana.

A solução de cera de carnaúba foi preparada pela fusão de 5 g de cera em 45 mL de óleo de coco previamente aquecido a 70 °C sob agitação constante, segundo proposto na literatura (GUTIÉRREZ-PACHECO e colab., 2020; PESTANA e colab., 2021). A incorporação do óleo essencial de orégano foi realizada nesta etapa. Para tanto, volumes correspondentes de óleo essencial foram adicionados à solução de cera de carnaúba para obtenção de concentrações finais de 1% e 5% de óleo.

Os filmes foram produzidos em placas de Petri de poliestireno pela técnica de deposição camada-por-camada (LbL). Inicialmente foi depositada a solução filmogênica de quitosana e o material foi seco em estufa (50 °C). Posteriormente o filme foi removido da placa e submergido na solução de cera de carnaúba para o revestimento final.

Os filmes foram caracterizados por análise subjetiva, espessura e teor de umidade. Na avaliação subjetiva, foram verificadas características como ausência de rupturas e/ou fraturas após a secagem, homogeneidade e manuseabilidade. Para cada uma dessas características, foi atribuída uma classificação: ótimo, regular e insatisfatório. Além disso, espectros de infravermelho dos filmes foram obtidos.

## Estudos de biodegradabilidade em água e solo

A determinação da biodegradabilidade dos filmes em água seguiu o protocolo descrito por Kaya e colegas (KAYA e colab., 2018). Amostras dos filmes, com dimensões de 2 x 1 cm, foram recortadas, pesadas e transferidas para béqueres de 50 mL. Em seguida, adicionou-se 50 mL de água às amostras, que foram mantidas em temperatura ambiente por 48 horas. Após esse período, as amostras resultantes dos filmes foram secas em estufa a 80 °C e novamente pesadas para determinar a massa final do filme remanescente. Três amostras de cada filme foram utilizadas. A perda de massa do filme devido à degradação em água foi calculada utilizando a Equação (1).

$$\text{Biodegradação em água (\%)} = \frac{\text{massa final}}{\text{massa inicial}} \times 100(\%) \quad (1)$$

O estudo da biodegradabilidade dos filmes no solo também seguiu o método descrito por Kaya e colaboradores (KAYA e colab., 2018). Amostras dos filmes secos, com dimensões de 2 x 1 cm, foram previamente pesadas e colocadas em recipientes contendo solo. Cerca de 10 mL de água foram adicionados às amostras, e após 31 dias, as massas finais foram registradas. A microflora do solo não foi artificialmente modificada para manter as condições naturais de biodegradação. Três amostras de cada filme foram utilizadas, e a perda de massa do filme devido à degradação no solo foi calculada utilizando a Equação (2).

$$\text{Biodegradação em solo (\%)} = \frac{\text{massa final}}{\text{massa inicial}} \times 100(\%) \quad (2)$$

## Recobrimento das frutas e determinação da perda de massa das frutas

A investigação da capacidade protetiva dos filmes foi realizada em amostras de manga Palmer (*Mangifera indica*). O procedimento de recobrimento das frutas foi conduzido conforme proposto por Jurić e colaboradores (JURIĆ e colab., 2023), com algumas adaptações. Foram selecionadas mangas de tamanho, forma e cor uniformes, sem sinais de danos mecânicos ou deterioração por fungos, as quais foram desinfetadas com solução de hipoclorito de sódio (2,5%) antes do processo de recobrimento. Após uma lavagem completa com água destilada, as frutas foram imersas nas soluções de recobrimento por 15 minutos. Em seguida, foram secas em temperatura ambiente e mergulhadas na solução de cera de carnaúba por 15 minutos. Após esse período, as mangas foram armazenadas em uma incubadora a  $25 \pm 1$  °C por 31 dias. As amostras de manga foram avaliadas periodicamente quanto à perda de massa, aparência, textura e firmeza.

A perda de massa (PM) das frutas revestidas com os filmes foi avaliada ao monitorar a massa em intervalos variados durante o armazenamento. Esse índice foi calculado como uma porcentagem de massa inicial, conforme indicado pela equação (3). (MENG e colab., 2008; MOHAMMADI e colab., 2016; NIKKHAH e HASHEMI, 2020).

$$PM(\%) = \frac{\text{massa final}}{\text{massa inicial}} \times 100(\%)$$

(3)

## RESULTADOS E DISCUSSÃO

### Caracterização da Quitosana por Titulação Potenciométrica

A quitosana é um biopolímero muito abundante em crustáceos, sendo formado por unidades 2-acetamido-2-deoxi-*D*-glicopiranoose (GlcNAc) e 2-amino-2-deoxi-*D*-glicopiranoose (GlcN) unidas por ligações do tipo  $\beta(1\rightarrow4)$ , conforme ilustra a **Erro! Fonte de referência não encontrada.**

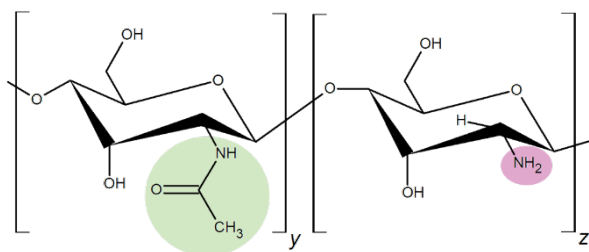


Figura 1: Representação esquemática da estrutura da quitosana.

Os índices y e z representam as unidades GlcNAc acetilada e GlcN desacetilada, respectivamente.

Fonte: Autoria Própria, 2024.

As unidades GlcN recebem a denominação de unidades desacetiladas enquanto as unidades GlcNAc são denominadas unidades acetiladas. A razão proporcional entre unidades GlcN e GlcNAc define várias propriedades finais da quitosana, tais como solubilidade e capacidade antimicrobiana. Por isso, é fundamental determinar a razão entre as unidades GlcN e GlcNAc.

A quantidade de grupos GlcN presentes na cadeia polissacarídica da quitosana é conhecida como grau médio de desacetilação ( $\overline{GD}$ ). Uma das alternativas mais eficientes e rápidas de determinação do  $\overline{GD}$  é pela técnica de titulação potenciométrica. A fim de garantir a protonação de todos os grupos amina ligados ao anel glicopiranosídico da quitosana, a substância foi dissolvida inicialmente em uma solução aquosa de HCl previamente preparada e padronizada. Após essa etapa, a solução foi titulada com NaOH padronizado (0,101 mol L<sup>-1</sup>), resultando em uma curva de titulação (Figura 2).

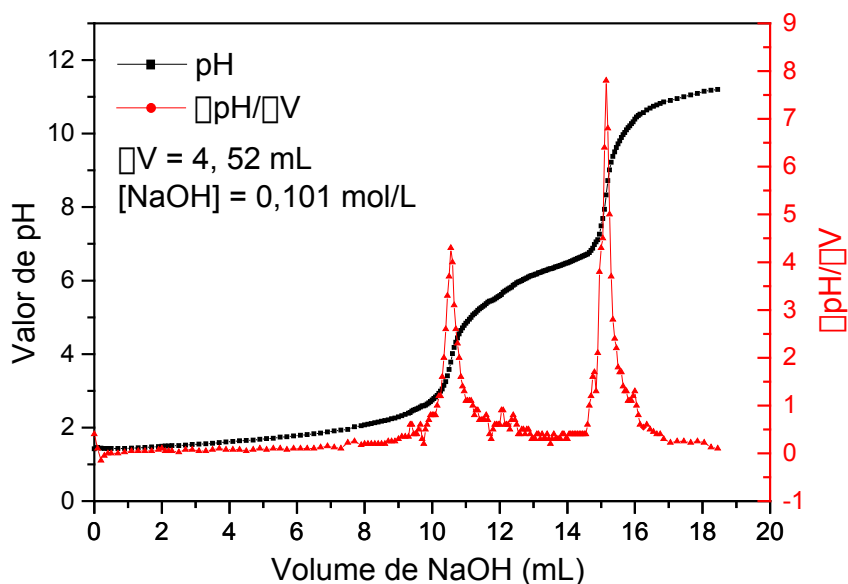


Figura 2: Curva de titulação potenciométrica da quitosana. Em preto: variação de pH em função do volume de NaOH; em vermelho: derivada primeira da curva de titulação.

Fonte: Autoria Própria, 2024.

O primeiro ponto de viragem na curva da derivada primeira marca o fim da neutralização dos hidrogênios ( $H^+$ ) em excesso da solução de ácido clorídrico e o começo da neutralização dos grupos amina protonados na quitosana. Já a segunda viragem indica o término da desprotonação desses grupos amina. A diferença entre esses dois pontos indica o volume de NaOH necessário para desprotonar os grupos amina, permitindo calcular o número de mols de unidades desacetiladas. O valor do grau médio de desacetilação ( $\overline{GD}$ ) foi calculado usando a Equação (4):

$$\overline{GD}(\%) = \left( \frac{M_{NaOH} \times V_{NaOH}}{(M_{NaOH} \times V_{NaOH}) + \left( \frac{m_t - [M_{NaOH} \times V_{NaOH} \times 161,22]}{203,24} \right)} \right) \times 100 \quad (4)$$

sendo  $M_{NaOH}$  a concentração da solução de hidróxido de sódio em  $mol\ L^{-1}$ ;  $V_{NaOH}$  o volume de base necessário na neutralização das unidades protonadas da quitosana;  $m_t$  representa a massa total de quitosana usada na titulação; 161,22  $g\ mol^{-1}$  e 203,24  $g\ mol^{-1}$  correspondem, respectivamente, às massas molares das unidades desacetilada e acetilada de quitosana. Sendo assim, o valor de  $\overline{GD}$ , obtido em duplicata, foi de  $98,3 \pm 1,1\%$ .

## Caracterização da Quitosana por Espectroscopia no Infravermelho com Transformada de Fourier por Refletância Total Atenuada (FTIR-ATR)

A Figura 3 exibe o espectro de infravermelho da quitosana com suas respectivas bandas vibracionais. Os dados observados são característicos da amostra e estão alinhados com a literatura.

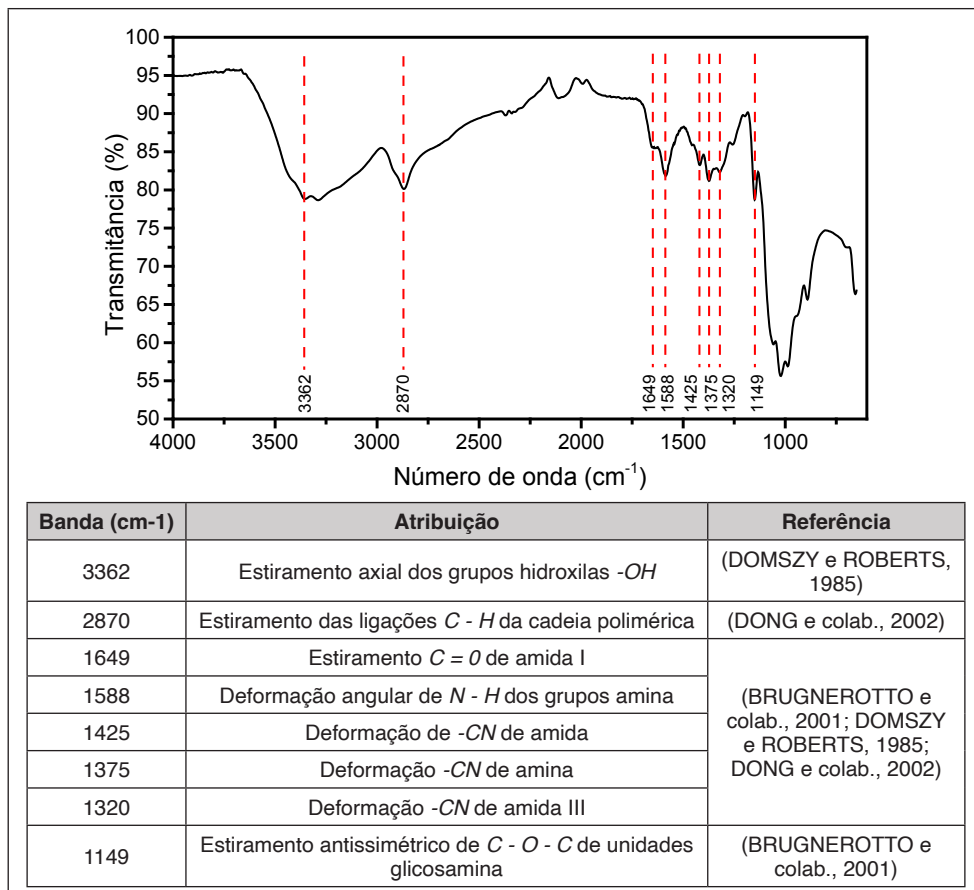


Figura 3: Espectro de absorção na região do infravermelho para amostra de quitosana.

Fonte: Autoria Própria, 2024.

### Caracterização dos filmes

Foram produzidas quatro amostras de filmes de quitosana em placas de Petri para análise das propriedades dos materiais. A primeira amostra, denominada Q, consiste apenas de quitosana. A segunda amostra, Q.CERA.10, é composta por um filme de quitosana revestido com uma solução de 10% de cera de carnaúba solubilizada em óleo de coco. As amostras Q.CERA.10.OE.1 e Q.CERA.10.OE.5 são filmes de quitosana revestidos com soluções de 10% de cera de carnaúba contendo 1% e 5% de óleo essencial de orégano, respectivamente.



A Tabela 1 mostra os dados de análise subjetiva (ausência de rupturas/fraturas, homogeneidade, bolhas e manuseabilidade) para as amostras estudadas. Os parâmetros foram classificados como ótimo (\*\*\*), regular (\*\*) ou insatisfatório (\*). É relevante destacar que a camada de cera é quebradiça, por isso os filmes contendo essa substância foram classificados como regulares. Esta característica também comprometeu a manuseabilidade das amostras. Além disso, essas amostras tem tendência de formarem camadas não homogêneas devido ao acúmulo de cera em alguns pontos do filme durante a etapa de recobrimento. Nenhuma das amostras apresentou bolhas.

Amostra	Análise Subjetiva				Espessura (mm)
	a	b	c	d	
Q	***	***	***	***	82 ± 20
Q.CERA.10	**	**	***	***	120 ± 20
Q.CERA.10.OE.1	**	**	***	*	95 ± 15
Q.CERA.10.OE.5	**	**	***	*	124 ± 4

a: Ausência de rupturas/fraturas; b: Homogeneidade; c: Bolhas; d: Manuseabilidade

Tabela 1: Resultados da avaliação subjetiva e espessura dos filmes obtidos no trabalho.

A espessura do filme desempenha um papel crucial em suas propriedades globais. A medição da espessura em vários pontos da amostra permite avaliar, de forma quantitativa, a uniformidade do filme produzido em placas de Petri.

De acordo com os dados da Tabela 1, as espessuras médias variaram entre 82 e 124 mm. Os dados mostram que incorporação da camada de cera tende a aumentar a espessura dos filmes. Entretanto, esse aumento é discreto e a presença do óleo essencial de orégano parece influenciar na espessura.

Essas medidas de espessura são consistentes com estudos anteriores realizados por Xavier e colaboradores (XAVIER e colab., 2020) em filmes de quitosana com fécula e cera de carnaúba, que obtiveram filmes com espessuras de cerca de 92  $\mu\text{m}$ . Resultados semelhantes foram encontrados em filmes de quitosana estudados por Chiumarelli e Hubinger (CHIUMARELLI e HUBINGER, 2012). Os autores verificaram que a espessura de filmes de fécula de mandioca e cera de carnaúba tiveram espessuras de 130  $\mu\text{m}$ . Além disso, a espessura dos filmes não excedeu os 250  $\mu\text{m}$ , considerado o valor máximo ideal (SKURTYS, 2010). Cabe destacar, no entanto, que o recobrimento dos filmes de quitosana com soluções de cera de carnaúba em maiores concentrações pode proporcionar filmes mais espessos. Devido a esse comportamento a concentração de cera de carnaúba foi mantida em 10%.

O teor de umidade dos filmes é crucial na preservação dos alimentos, especialmente quando a deterioração natural da fruta está ligada à alteração na quantidade de água. Os resultados indicam que o teor de umidade dos filmes ficou abaixo de 10%, sendo ainda menor nas amostras que incluíam cera.

Os filmes também foram caracterizados quanto a sua composição química. Os espectros infravermelhos do filme Q, cera de carnaúba e Q.CERA.10 foram avaliados para verificar possíveis interações entre grupos funcionais (Figura 4). A maioria dos principais picos de quitosana e da cera de carnaúba foram preservados após a formação do filme, indicando poucas interações entre grupos funcionais de ambos os compostos, garantindo perdas não significativas de atividades individuais.

A as longas cadeias alquílicas da cera e o filme Q.CERA.10 apresentam bandas vibracionais referentes aos estiramentos assimétricos e simétricos dos grupos metil ( $\text{CH}_3$ ) e metileno ( $\text{CH}_2$ ) localizados em 2915 e 2845  $\text{cm}^{-1}$ , respectivamente (BUCIO e colab., 2021). As vibrações dos grupos amina e amida da quitosana aparecem na região de 1530 e 1400  $\text{cm}^{-1}$  na amostra Q.CERA.10 (BRUGNEROTTO e colab., 2001), com pequenos deslocamentos em relação ao filme de quitosana (amostra Q). O mesmo acontece com as vibrações associadas ao estiramento -C-O-C- na ligação glicosídica da estrutura da quitosana, observados em 1065 e 1015  $\text{cm}^{-1}$ . A maioria das bandas vibracionais da cera e da quitosana foram preservadas no filme, indicando a manutenção das características individuais de cada substância.

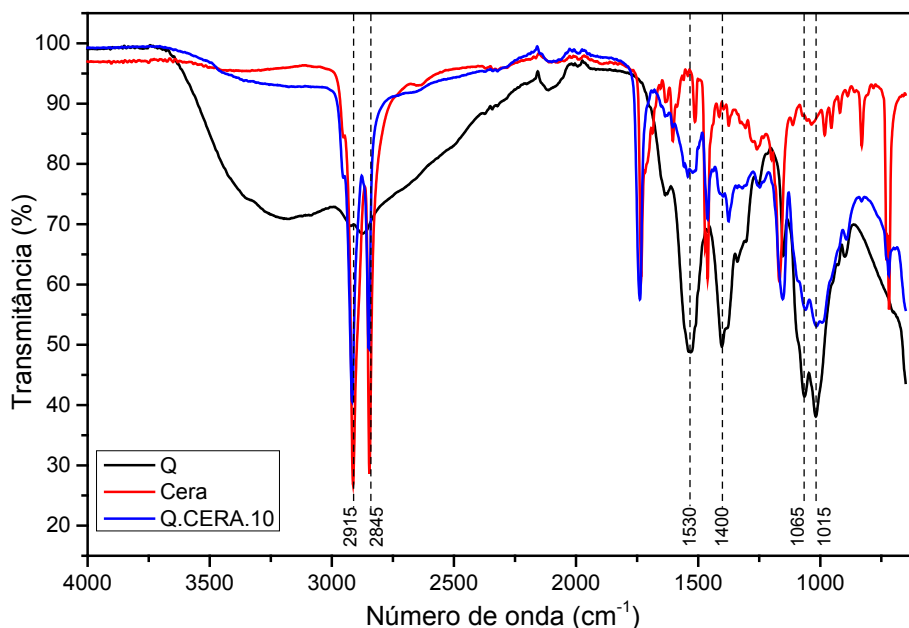


Figura 4: Espectro de absorção na região do infravermelho para amostra de filme de quitosana, cera de carnaúba e filme LbL Q.CERA.10.

Fonte: Autoria Própria, 2024.

## Biodegradabilidade em água e solo

Os dados de biodegradabilidade das amostras de filmes em água e solo estão exibidos na Tabela 2. É interessante observar que a amostra Q apresentou valor de degradação em água de 65,7 %, enquanto esse valor variou entre 42,5 e 20,1 para os filmes contendo cera. Esse resultado pode ser explicado pela hidrofobicidade conferida aos filmes pela presença da cera de carnaúba. Isso faz com a biodegradabilidade em água seja reduzida.

Amostra	Degradação em água (%)	Degradação em solo (%)
Q	65,7 ± 4,0	19,9 ± 6,7
Q.CERA.10	42,5 ± 7,4	27,9 ± 13,3
Q.CERA.10.OE.1	20,1 ± 4,9	59,3 ± 1,8
Q.CERA.10.OE.5	27,8 ± 8,3	43,2 ± 4,6

Tabela 2: Dados de biodegradabilidade dos filmes em água e solo.











Além disso, quando as amostras revestidas com cera são comparadas, observa-se que a presença do óleo essencial de orégano contribui para redução ainda mais drástica da biodegradabilidade. Enquanto que na amostra Q.CERA.10 a degradação em água foi da ordem de 42,5%, esse valor foi reduzido para 20,1 e 27,8% para as amostras Q.CERA.10.OE.1 e Q.CERA.10.OE.5, respectivamente. Essa drástica redução parece também estar diretamente relacionada ao aumento da hidrofobicidade proporcionado pelo óleo essencial de orégano.

Por outro lado, a presença de substâncias hidrofóbicas nos filmes proporcionou um aumento no teor de degradação em solo quanto comparado com o filme de quitosana sem camada de cera.

Os resultados de degradação em água e solo são ambientalmente relevantes. Atualmente, a proteção de frutas depende muito de filmes plásticos que demoram muitos anos para se decompor, podendo levar até 1200 anos (CHAMAS e colab., 2020). Portanto, esses resultados destacam a importância das descobertas deste estudo.

## Determinação da perda de massa das mangas

Amostras de manga Palmer (*Mangifera indica*) foram adquiridas em um mercado da cidade e submetidas a higienização em solução de hipoclorito de sódio. Após a secagem, as mangas foram tratadas com soluções filmogênicas de quitosana e cera de carnaúba para obtenção dos filmes protetores pela técnica LbL. As amostras foram então armazenadas por 31 dias em estufa ( $25 \pm 1^\circ\text{C}$ ). O Quadro 1 exibe uma comparação entre amostras de mangas tratadas no início e final do período de armazenamento pós-colheita.

Amostra	Dia 0	Dia 31
Controle		
Q		
Q.CERA.10		
Q.CERA.10.OE.1		
Q.CERA.10.OE.5		

*\*O brilho das imagens foi ajustado para uma melhor visualização da superfície das frutas.*

Quadro 1: Comparativo do efeito protetivo dos filmes de quitosana em amostras de manga Palmer\*.

Fonte: Autoria Própria, 2024.

As amostras do grupo controle, sem filme, apresentaram deterioração considerável ao longo do período de armazenamento, com desenvolvimento visível de fungos na superfície das frutas. Por outro lado, as amostras tratadas apenas com quitosana (Q) não mostraram sinais evidentes de fungos na superfície, embora sua aparência tenha sido comprometida. Da mesma forma, a amostra Q.CERA.10 também teve sua aparência bastante prejudicada ao final do experimento. Visualmente a amostra Q.CERA.10.OE.5 foi a mais bem avaliada ao final do período de armazenamento, sendo sua aparência a mais preservada pelos filmes protetores.

Além da análise visual, experimentos de determinação da perda de massa foram realizadas para quantificar a eficácia dos filmes protetores. A Figura 5 confirma que o grupo controle foi o que mais perdeu massa ao longo do tempo. Em seguida estão as amostras Q.CERA.10 e Q, respectivamente. Os dados da Figura 5 mostram que essas duas amostras foram capazes de retardar a perda de massa das mangas quando comparadas ao grupo controle.

As amostras Q.CERA.10.OE.1 e Q.CERA.10.OE.5 foram as mais efetivas na proteção das mangas. Esse resultado está associado a presença do óleo essencial de orégano, substância que apresenta propriedades antioxidantes e antimicrobianas. Embora não tenha sido observada diferença significativa nos dados de perda de massa entre as amostras Q.CERA.10.OE.1 e Q.CERA.10.OE.5, as imagens apresentadas no Quadro 1 evidenciam que uma maior concentração de óleo essencial de orégano foi capaz de produzir melhores resultados visuais na proteção das mangas. Desse modo, o aumento da concentração de óleo essencial pode ser uma boa estratégia para maximizar a capacidade protetiva dos filmes.

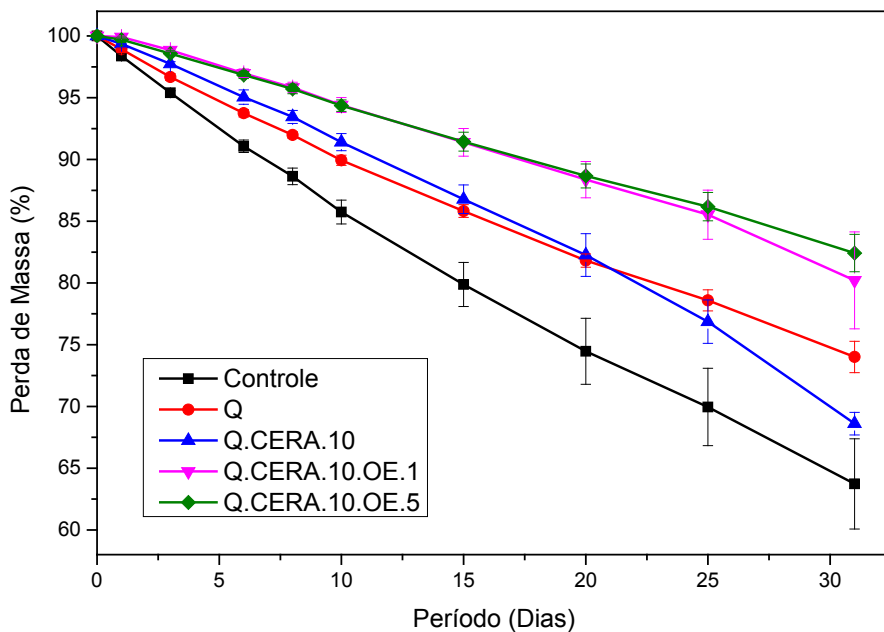


Figura 5: Evolução da perda de massa de morangos tratados com filmes comestíveis.

Fonte: Autoria Própria, 2024.

## CONCLUSÕES

Os resultados deste estudo evidenciam a eficácia na produção de filmes comestíveis à base de quitosana, cera de carnaúba e óleo essencial de orégano, empregando a técnica de camada-por-camada (LbL). Esses filmes exibiram propriedades mecânicas, físicas e químicas adequadas para a preservação pós-colheita de frutas, incluindo aspectos como aparência, homogeneidade, manuseio e espessura ideais para o revestimento das frutas. Além disso, estudos de biodegradabilidade em água e solo indicaram que esses filmes são degradados eficientemente nesses ambientes.

Os testes dos filmes em mangas Palmer revelaram que a combinação dessas substâncias proporcionou proteção às frutas por até 31 dias. Os resultados indicam que o óleo essencial de orégano desempenha um papel fundamental na preservação da aparência das frutas e na redução da perda de massa ao longo do tempo.

Essas descobertas evidenciam o potencial das formulações que incorporam quitosana, cera e óleo essencial como revestimentos comestíveis para frutas pós-colheita. Os filmes desenvolvidos neste estudo surgem como uma alternativa importante, sendo biodegradáveis, naturais, comestíveis e de baixo custo, contribuindo, assim, para melhorar o armazenamento pós-colheita de mangas.

## AGRADECIMENTOS

À FAPEMIG (Chamada nº 09/2022 – Fortalecimento e Consolidação da Pesquisa na UEMG e UNIMONTES – APQ-03402-22) e ao Programa de Bolsas de Produtividade em Pesquisa – PQ/UEMG (Edital 10/2022).

## REFERÊNCIAS

ADHIKARI, Manita e KOIRALA, Sushil e ANAL, Anil Kumar. **Edible multilayer coating using electrostatic layer-by-layer deposition of chitosan and pectin enhances shelf life of fresh strawberries**. International Journal of Food Science & Technology, v. n/a, n. n/a, 21 Mar 2022. Disponível em: <<https://doi.org/10.1111/ijfs.15704>>.

BRUGNEROTTO, J e colab. **Characterization of chitosan by steric exclusion chromatography**. Polymer, v. 42, p. 9921–9927, 2001.

BUCIO, Adolfo e colab. **Characterization of Beeswax, Candelilla Wax and Paraffin Wax for Coating Cheeses**. Coatings, v. 11, n. 3, 2021. Disponível em: <<https://www.mdpi.com/2079-6412/11/3/261>>.

CHAMAS, Ali e colab. **Degradation Rates of Plastics in the Environment**. ACS Sustainable Chemistry & Engineering, v. 8, n. 9, p. 3494–3511, 9 Mar 2020. Disponível em: <<https://doi.org/10.1021/acssuschemeng.9b06635>>.

- CHIUMARELLI, Marcela e HUBINGER, Miriam 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://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0268005X11003195>>.
- DE FREITAS, Claisa Andréa Silva e colab. **Carnauba wax uses in food – A review.** Food Chemistry, v. 291, p. 38–48, 2019. Disponível em: <<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0308814619306181>>.
- DOMSZY, Julian G e ROBERTS, George A F. **Evaluation of infrared spectroscopic techniques for analysing chitosan.** Die Makromolekulare Chemie, v. 186, n. 8, p. 1671–1677, 1985. Disponível em: <<https://onlinelibrary.wiley.com/doi/abs/10.1002/macp.1985.021860815>>.
- DONG, Yanming e colab. **Influence of degree of deacetylation on critical concentration of chitosan/dichloroacetic acid liquid-crystalline solution.** Journal of Applied Polymer Science, v. 83, n. 6, p. 1204–1208, 2002. Disponível em: <<https://onlinelibrary.wiley.com/doi/abs/10.1002/app.2286>>.
- FAO. **Food wastage footprint, impacts on natural resources : summary report.** Rome: Food and Agriculture Organization of the United Nations, 2013.
- GUTIÉRREZ-PACHECO, María M e colab. **Individual and Combined Coatings of Chitosan and Carnauba Wax with Oregano Essential Oil to Avoid Water Loss and Microbial Decay of Fresh Cucumber.** Coatings. [S.l.: s.n.]. , 2020
- JURIĆ, Slaven e colab. **Chitosan-based layer-by-layer edible coatings application for the preservation of mandarin fruit bioactive compounds and organic acids.** Food Chemistry: X, p. 100575, Jan 2023. Disponível em: <<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2590157523000172>>.
- KAYA, Murat e colab. **Antioxidative and antimicrobial edible chitosan films blended with stem(,) leaf and seed extracts of Pistacia terebinthus for active food packaging.** RSC Adv., v. 8, n. 8, p. 3941–3950, 2018. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1039/C7RA12070B>>.
- KUMAR, Ashwini e VIMAL, Archana e KUMAR, Awanish. **Why Chitosan? From properties to perspective of mucosal drug delivery.** International Journal of Biological Macromolecules, v. 91, p. 615–622, 1 Out 2016. Disponível em: <<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0141813016304652?via%3Dihub>>. Acesso em: 26 fev 2018.
- MARTINS, Marcos Rafael Sousa Ferreira e VIANA, Leticia Fleury e CAPPATO, Leandro Pereira. **Food waste profile in Brazilian Food and Nutrition Units and the implemented corrective actions.** Food Science and Technology. [S.l.]: sciELO . , 2022
- MD NOR, Shahidah e DING, Phebe. **Trends and advances in edible biopolymer coating for tropical fruit: A review.** Food Research International, v. 134, p. 109208, 2020. Disponível em: <<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0963996920302337>>.
- MENG, Xianghong e colab. **Physiological responses and quality attributes of table grape fruit to chitosan preharvest spray and postharvest coating during storage.** Food Chemistry, v. 106, n. 2, p. 501–508, 2008. Disponível em: <<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0308814607005833>>.

MOHAMMADI, Ali e HASHEMI, Maryam e HOSSEINI, Seyed Masoud. **Postharvest treatment of nanochitosan-based coating loaded with Zataria multiflora essential oil improves antioxidant activity and extends shelf-life of cucumber.** *Innovative Food Science & Emerging Technologies*, v. 33, p. 580–588, 2016. Disponível em: <<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1466856415002076>>.

NIKKHAH, Mehdi e HASHEMI, Maryam. **Boosting antifungal effect of essential oils using combination approach as an efficient strategy to control postharvest spoilage and preserving the jujube fruit quality.** *Postharvest Biology and Technology*, v. 164, p. 111159, 2020. Disponível em: <<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0925521419307999>>.

ODJO, Kabirou e colab. **Preparation and characterization of chitosan-based antimicrobial films containing encapsulated lemon essential oil by ionic gelation and cranberry juice.** *Food Chemistry*, v. 397, p. 133781, 2022. Disponível em: <<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0308814622017435>>.

PESTANA, G C e colab. **Effects of carnauba wax and chitosan bilayer edible coating on shelf life of fresh-cut apple.** 25 Out 2021, [S.l.]: International Society for Horticultural Science (ISHS), Leuven, Belgium, 25 Out 2021. p. 215–224. Disponível em: <<https://doi.org/10.17660/ActaHortic.2021.1325.31>>.

PILON, Lucimeire e colab. **Chitosan nanoparticle coatings reduce microbial growth on fresh-cut apples while not affecting quality attributes.** *International Journal of Food Science & Technology*, v. 50, n. 2, p. 440–448, 1 Fev 2015. Disponível em: <<https://doi.org/10.1111/ijfs.12616>>.

SAHA, Anuradha e colab. **Natural gums of plant origin as edible coatings for food industry applications.** *Critical Reviews in Biotechnology*, v. 37, n. 8, p. 959–973, 17 Nov 2017. Disponível em: <<https://doi.org/10.1080/07388551.2017.1286449>>.

SALAS-MÉNDEZ, Esperanza de Jesús e colab. **Application of edible nanolaminate coatings with antimicrobial extract of Flourensia cernua to extend the shelf-life of tomato (Solanum lycopersicum L.) fruit.** *Postharvest Biology and Technology*, v. 150, p. 19–27, 2019. Disponível em: <<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0925521418306616>>.

SHEZI, Sabelo e colab. **Changes in biochemistry of fresh produce in response to ozone postharvest treatment.** *Scientia Horticulturae*, v. 269, p. 109397, 2020. Disponível em: <<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0304423820302259>>.

SKURTYS, O. *Food Hydrocolloid Edible Films and Coatings*. 2010, [S.l.: s.n.], 2010.

TOLAIMATE, A e colab. **On the influence of deacetylation process on the physicochemical characteristics of chitosan from squid chitin.** *Polymer*, v. 41, n. 7, p. 2463–2469, 2000. Disponível em: <<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0032386199004000>>.

WANG, Tao e colab. **Chitosan-cinnamon essential oil/sodium alginate-TiO<sub>2</sub> bilayer films with enhanced bioactive retention property: Application for mango preservation.** *International Journal of Biological Macromolecules*, v. 222, p. 2843–2854, 2022. Disponível em: <<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0141813022023042>>.

XAVIER, Tálisson Davi Noberto e colab. **Characterization of biopolymeric films based on cassava starch, chitosan and carnauba wax.** *Revista Materia*, v. 25, n. 4, p. 1–12, 2020.

ZAMBRANO-ZARAGOZA, Mar L e colab. **Nanosystems in Edible Coatings : A Novel Strategy for Food Preservation.** *Int. J. Mol. Sci*, v. 19, n. 705, 2018.