Food Science Today 3:1 (2024)
ISSN 2965-1190

ARTIGO ORIGINAL

FOOD SCIENCE TODAY

Aplicação de coberturas comestíveis contendo óleos essenciais em laranjas 'Pera' (*Citrus sinensis* L. Osbeck)

Application of edible coatings containing essential oils in 'Pera' orange (*Citrus sinensis* L. Osbeck)

Vinicius Nelson Barboza de Souza [a], Nathaly Calister Moretto [a], Igor Gabriel Silva Oliveira [b], Caroline Pereira Moura Aranha [a], Silvia Maria Martelli [a*]

[a] Faculdade de Engenharia, Universidade Federal da Grande Dourados, 79.804-970, Dourados, Mato grosso do Sul, Brasil.
[b] Faculdade de Ciências Exatas e Tecnologia, Universidade Federal da Grande Dourados, 79.804-970, Dourados, Mato grosso do Sul, Brasil.

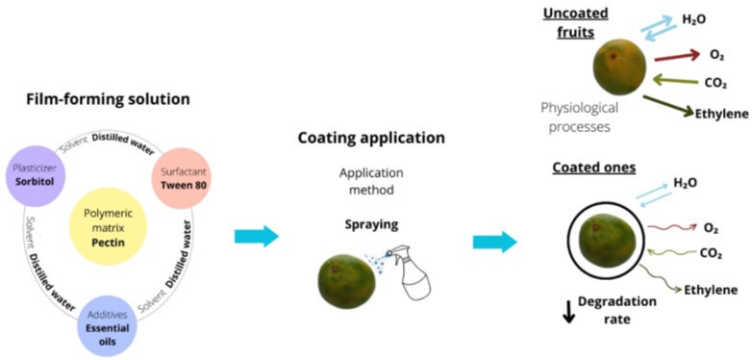
Resumo
A laranja 'Pera' é economicamente importante no Brasil para a produção de suco, mas sua vida útil e qualidade devem ser preservadas para reduzir perdas pós-colheita. Este estudo teve como objetivo avaliar a eficácia de coberturas comestíveis à base de pectina contendo óleos essenciais de *Citrus limon* e *Mentha arvensis* L. na preservação da qualidade de laranjas. Os revestimentos foram compostos por diferentes concentrações de pectina (0,5%, 1% e 2% m/v) e sorbitol (20% m/m do polímero). Emulsão de óleo essencial (0,4% v/v) foi adicionada aos revestimentos sem pectina (E) e nas concentrações de 0,5% e 1% do polímero. As laranjas foram armazenadas por 29 dias a 20°C e analisadas a cada quatro dias. A qualidade das laranjas foi avaliada visualmente por meio de fotografias e análise de cores pelo sistema CIELab. O peso dos frutos também foi medido periodicamente para calcular o percentual de perda em relação à massa inicial. Os resultados mostraram que as amostras com 0,5g de pectina/100g e o grupo controle apresentaram maior variação de cor e alterações visuais mais pronunciadas. Enquanto isso, aqueles tratados com 1g de pectina/100g demonstraram alterações mínimas em ambas as análises. As perdas de peso foram maiores nos tratamentos E (11,99%), sendo as menores observadas no grupo 0,5g de pectina/100g (9,26%). Estas descobertas sugerem que os revestimentos à base de polissacarídeos podem potencialmente preservar a qualidade pós-colheita, embora variações no amadurecimento dos frutos sugiram mais estudos com grupos experimentais maiores.

Palavras-chave: Qualidade pós-colheita, pectina, *Mentha arvensis*, *Citrus limon*, qualidade visual, perda de peso.

Abstract
The 'Pera' orange is economically important in Brazil for juice production, but its shelf life and quality must be preserved to reduce postharvest loss. This study aimed to assess the effectiveness of pectin-based edible coatings containing *Citrus limon* and *Mentha arvensis* L. essential oils in preserving the quality of oranges. The coatings were composed of different concentrations of pectin (0.5%, 1%, and 2% w/v) and sorbitol (20% w/w of the polymer). Essential oil emulsion (0.4% v/v) was added to coatings without pectin (E) and at concentrations of 0.5% and 1% of the polymer. The oranges were stored for 29 days at 20°C and analyzed every four days. The quality of the oranges was assessed visually through photographs and color analysis using the CIELab system. The weight of the fruits was also measured at intervals to calculate the percentage of weight loss related to the initial mass. The results showed that samples with 0.5g pectin/100g and the control group had greater color variation and more pronounced visual changes. Meanwhile, those treated with 1g pectin/100g demonstrated minimal alterations in both analyses. Weight losses were higher in the E treatments (11.99%), with the lowest observed in the 0.5g pectin/100g group (9.26%). These findings suggest that polysaccharide-based coatings can potentially preserve postharvest quality, although variations in fruit ripening suggest further studies with larger experimental groups.

Keywords: Post-harvest quality, pectin, *Mentha arvensis*, *Citrus limon*, visual quality, weight loss.

Graphical Abstract



*Corresponding author: Silvia M. Martelli. E-mail address: silviamartelli@ufgd.edu.br
Received: 14 Mar 2024; Accepted: 12 Apr 2024; Published: 17 Apr 2024.
© The Author(s) 2024. Open Access (CC BY 4.0).

ROYALDATASET

1. Introdução

O Brasil é um dos maiores produtores e exportadores agrícolas do mundo, produzindo 270 milhões de toneladas de alimentos e bebidas por ano (ABIA, 2023). No entanto, também está entre os 10 países com maior desperdício de alimentos mundialmente, perdendo cerca de 35% de sua produção anual (Santos et al., 2020). As perdas pós-colheita de frutas representam um grande desafio para a indústria alimentícia, resultando em prejuízos econômicos significativos. Diversos fatores contribuem para essas perdas, como a falta de infraestrutura adequada para armazenamento, transporte e distribuição, além de práticas inadequadas de manejo. Outros fatores incluem a falta de controle de qualidade, curto tempo de prateleira e padrões de qualidade exigidos pelo mercado (FAO, 2013).

As laranjas pertencem a família Rutaceae e são classificadas como frutas cítricas não climatéricas, com vasta distribuição a nível mundial principalmente em regiões tropicais e subtropicais (Appelhans et al., 2021). Elas possuem grande importância econômica para o país, pois o Brasil é o segundo maior produtor global de frutas cítricas e reconhecido mundialmente como o maior produtor de laranjas e o maior exportador de seu suco (Rehman et al., 2020; Castro & Podesta, 2024). Na safra de 2020/21, o Brasil foi responsável por 32,8% da produção global de laranjas e 62% do volume global de suco de laranja (IBGE, 2021). A variedade 'Pera' (*Citrus sinensis* L. Osbeck) é a cultivar de laranja mais importante do Brasil, conhecida por seu alto desempenho agronômico, qualidade do suco, doçura e acidez suave, tornando-a favorita dos consumidores (Futch & Ferrarezi, 2019; Stuchi et al., 2020).

A casca das frutas cítricas muda de cor de acordo com fatores genéticos e ambientais, refletindo o nível de maturidade interna das frutas (Ritenour, Miller & Wardowski, 2023). Este processo pode ser visualizado na **Fig. 1**.



Fig. 1 Fases da maturação da laranja 'Pêra'. 1) Totalmente verde; 2) verde com pontos amarelos; 3) verde-claro com pontos amarelos; 4) mais amarelo do que verde; 5) amarelo com pontos verdes; 6) totalmente laranja.

Os métodos de armazenamento e tratamento têm um impacto significativo na qualidade das frutas, como as laranjas, que são consumidas frescas ou processadas industrialmente (Chitarra & Chitarra, 2005; Rehman et al., 2020). Para reduzir as perdas de frutas cítricas durante a pós-colheita, uma estratégia adotada é o uso de revestimentos comestíveis. Estes revestimentos proporcionam uma camada de proteção adicional, preservando a qualidade e aparência das frutas. Elas apresentam propriedades de barreira contra umidade e gases, retardando o envelhecimento das plantas e evitando a deterioração causada por fungos e bactérias. Com isso, a vida útil do produto é aumentada (Dehghani et al., 2018;).

As coberturas comestíveis são compostas por materiais poliméricos e biodegradáveis aplicados diretamente na superfície de interesse, e têm como objetivo proteger o alimento de danos físicos e microbiológicos, retardar o processo de amadurecimento e melhorar a qualidade e a vida útil do produto (Krochta, 1997). Suas propriedades são determinadas pela composição da solução filmogênica precursora. A matriz polimérica é um componente essencial da solução filmogênica, responsável principalmente pela estrutura do filme. Ela pode ser classificada em três tipos: polissacarídica, proteica e lipídica (Lacroix & Vu, 2014).

Pesquisas têm utilizado matrizes polissacarídicas, como quitosana em mirtilos (Yang et al., 2014) e goiabas (Arroyo et al., 2020), para prolongar o tempo de prateleira e diminuir as taxas de degradação dos frutos. Alexandre e Zuge (2023) desenvolveram um revestimento comestível baseado em inhame e amido de milho com incorporação de cereja do Rio Grande aplicado em morangos, reduzindo sua perda de água. Xie et al. (2002) utilizaram matrizes proteicas isoladas, como proteína do trigo, para revestir cascas de ovos, aumentando sua resistência e reduzindo a proliferação microbiológica. Saberi et al. (2018) aplicaram coberturas compostas, adicionando goma guar a uma base de amido de ervilha, em laranjas Valencia, mantendo sua qualidade por um maior tempo de prateleira. Cakmak, Kumcuoglu e Tavman (2018, 2019) utilizaram emulsões lipídicas em morangos e maçãs frescas cortadas, diminuindo a perda de peso e umidade das amostras, bem como melhorando a manutenção da cor.

A pectina é um polímero natural, um polissacarídeo complexo, composto principalmente de ácido galacturônico (Harholt, Suttangkakul & Vibe, 2010; Hosseini, Khodaiyan & Yarmand, 2016) e sua estrutura é ilustrada na **Fig. 2**. Trata-se de um ingrediente alimentar considerado comum e seguro (GRAS) pela Food and Drug Administration, apresenta-se como um carboidrato coloidal amorfo de coloração branca, presente em muitas frutas e vegetais (White, Katona & Zodda, 1999; Chan et al., 2016).

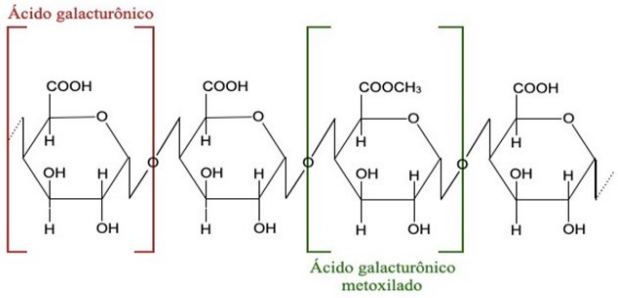


Fig. 2 Estrutura química da pectina, com destaque em um ácido galacturônico e um ácido galacturônico metoxilado.

As propriedades químicas e físicas úteis da pectina, como gelificação e permeabilidade seletiva a gases, além de suas características como biocompatibilidade e biodegradabilidade, permitem que o polissacarídeo se torne uma matriz polimérica compatível para embalagens e revestimentos ativos, prolongando a vida útil de produtos frescos (Mohnen, 2008; Valdéz et al., 2015).

Os óleos essenciais (OE) são compostos bioativos e têm sido cada vez mais investigados na pesquisa científica, devido à crescente demanda por alimentos livres de compostos químicos sintéticos e às suas propriedades funcionais antioxidantes, antifúngicas e antibacterianas (Tavares et al., 2014; Rodriguez-Garcia et al., 2016; Martínez et al., 2018; Cherman et al., 2022). Nesse contexto, esses compostos são considerados excelentes substitutos para as substâncias artificiais, uma vez que são obtidos a partir de fontes naturais (Sánchez-González et al., 2011).

O óleo essencial obtido do limão se dá por extração a frio de sua casca. As cascas das frutas do gênero *Citrus* são uma fonte rica em flavonoides, que apresentam a capacidade de atuar diretamente como antioxidantes, alterando atividades enzimáticas e inibindo a proliferação celular (Burt, 2004). O óleo essencial de hortelã pimenta (*Menta arvensis* L.) atua como uma fonte natural

de propriedades anti-aflatoxigênicas e antioxidantes, protegendo os alimentos armazenados (Kumar et al., 2009). O óleo essencial também proporciona uma variedade de benefícios à saúde, incluindo propriedades antioxidantes, anti-inflamatórias e antibacterianas (Hussain et al., 2010; Biswas, Saha & Ali, 2014).

Neste estudo, foram avaliados revestimentos hidrocoloidais, lipídicos e compostos, incorporadas ou não com emulsão de óleos essenciais de limão Siciliano (*Citrus limon*) e hortelã pimenta (*Menta arvensis* L.), para avaliar sua eficácia na manutenção da qualidade pós-colheita de laranjas 'Pêra' (*Citrus sinensis* L.) durante o período de 29 dias de armazenamento em condições de temperatura controlada de 20 ºC por meio de análises físicas (cor, foto e perda de massa) e estatísticas.

O objetivo do estudo foi caracterizar qualitativamente a vida útil de laranjas 'Pêra' tratadas com coberturas comestíveis à base de pectina contendo emulsão de óleos essenciais de limão siciliano e hortelã. Para isso, foram desenvolvidas múltiplas formulações de coberturas com as diferentes combinações de ingredientes e aplicadas nas laranjas 'Pêra'.

2. Material e Métodos

2.1 Material

As laranjas 'Pêra' (*Citrus sinensis* L. Osbeck) foram adquiridas no comércio local da cidade de Dourados-MS, selecionadas de acordo com a integridade da casca, homogeneidade de forma e grau de maturação, e em seguida sanitizadas com solução de hipoclorito de sódio 0,02% por imersão durante 10 minutos e posteriormente lavadas em água corrente. Por fim, foram secas à temperatura ambiente (25°C), e separadas por tratamento, cada lote de tratamento sendo formado por três laranjas, com exceção do tratamento controle que possuía seis frutas.

Para a elaboração das coberturas, foi utilizada pectina cítrica (CAS: 9000-69-5) com baixo grau de metoxilação e o D-sorbitol P.S. (CAS: 50-70-4) da marca Dinâmica® e óleos essenciais de *Citrus limon* L. (CAS: 84929-31-7) e de *Menta arvensis* L. (CAS: 68917-18- 0) (Ferquimica).

2.2 Elaboração das coberturas

Foram elaboradas coberturas com diferentes concentrações do biopolímero, com e sem adição dos óleos essenciais. Para melhor incorporação dos óleos essenciais nas matrizes poliméricas foi elaborada uma emulsão 0,4% (v/v) com os óleos (1:1 *Citrus limon*/*Menta arvensis*) contendo o Tween 80 (50% m/m do óleo) como agente surfactante, e emulsificada com um dispersor ultra-turrax (T25 IKA) a 10.000 rpm por 10 minutos.

Os revestimentos a base de pectina foram produzidos a partir da solubilização do polímero com concentrações de 0,5% (m/v), 1% (m/v) e 2% (m/v) em água destilada à 40 °C, sendo homogeneizados com agitador mecânico (IKA, HS7) a 500 rpm durante 60 minutos, utilizando como plastificante o sorbitol (20% m/m polímero) e adicionando a emulsão nos tratamentos pré-estabelecidos. As composições de cada tratamento estão descritas na **Tabela 1**, assim como seus códigos.

Estas coberturas podem ser aplicadas por diferentes métodos, como aspersão, imersão e pincelagem (Díaz-Montes & Castro-Muñoz, 2021). No processo de imersão, o produto é mergulhado na solução, seguido de secagem. A aspersão é adequada para soluções de revestimento com baixa viscosidade, que podem ser pulverizadas sobre o produto. A pincelagem envolve a aplicação direta da solução na superfície de interesse com um pincel. No entanto, variáveis como a quantidade de material deixada no utensílio podem ser difíceis de controlar, e influenciam no processo (Sharma et al., 2019).

Tabela 1 Detalhamento dos componentes e respectivos códigos dos tratamentos aplicados em coberturas comestíveis enriquecidas com óleos essenciais.

Tratamentos	Composição			
Código	**Pectina (g/100mL)**	**Emulsão (g/100mL)**	**Sorbitol (g/100g)**	**Tween 80 (g/100g)**
CT	-	-	-	-
E	-	0,4	-	0,2
PEC 1%	1	-	0,2	-
PEC 0,5%	0,5	-	0,1	-
PEC 0,5% + E	0,5	0,4	0,1	0,2
PEC 1% + E	1	0,4	0,2	0,2
PEC 2%	2	-	0,4	-

Devido à baixa viscosidade da solução e visando parâmetros de aplicação industriais, a aplicação foi feita por aspersão e a secagem das laranjas ocorreu em temperatura ambiente. Em sequência, as frutas foram acondicionadas em uma sala com temperatura constante de 20 °C, mimetizando as condições de armazenamento em supermercados. O processo de elaboração e aplicação das diferentes coberturas estão descritos na **Fig. 3**.



Fig. 3 Metodologia do preparo e da aplicação das coberturas comestíveis nas laranjas.

2.3 Análise visual

A análise visual das amostras foi realizada por meio da captura de fotografias utilizando um dispositivo móvel com câmera de 50 megapixels. As imagens foram obtidas duas vezes por semana durante os 29 dias do experimento. Não houve manipulação digital, apenas recorte para remover o fundo. Todas as fotos foram tiradas no mesmo local e sob condições de luz, ângulo e configurações de câmera consistentes. as sessões fotográficas foram realizadas em intervalos de tempo específicos, garantindo a comparabilidade dos resultados ao longo do estudo.

2.4 Parâmetros de cor

A análise colorimétrica foi realizada utilizando colorímetro digital CR 400 (Konica Minolta ®), operando no sistema CIELab (L*, a*, b*), este aparelho é utilizado para avaliar a coloração dos tecidos vegetais encontrados nas frutas sem danificá-las (Amarante et al., 2007). As análises foram realizadas duas vezes em cada semana dos 29 dias de armazenamento, sendo feitas em triplicata para cada laranja de cada tratamento e utilizando pontos aleatórios. Foram obtidos os valores de L* (luminosidade), a* (coordenada verde/vermelho) e b* (coordenada

azul/amarelo). As diferenças totais (ΔL*, Δa*, Δb*) foram obtidas com base no primeiro dia de análise. Os valores de cromaticidade (C*) foram calculados de acordo com a **Eq. 1**, e os valores de diferença total de cor (ΔE*) segundo a **Eq. 2**. Os resultados das análises foram expressos em média.

$$C^* = \sqrt{(a^*)^2 + (b^*)^2} \quad \textbf{(Eq. 1)}$$

Onde:
C* = Cromaticidade;
a* = Coordenada verde ao vermelho;
b* = Coordenada azul ao amarelo;

$$\Delta E = \sqrt{(\Delta L^*)^2 + (\Delta a^*)^2 + (\Delta b^*)^2} \quad \textbf{(Eq. 2)}$$

Onde:
ΔE = Diferença total de cor;
ΔL* = Diferença total de luminosidade;
Δa* = Diferença total de coordenada verde/vermelho;
Δb* = Diferença total de coordenada azul/amarelo.

2.5. Perda de massa

Para a determinação da perda de massa, foram pesadas três laranjas de cada tratamento em balança analítica (Analyser-Mark500) nos dias 0, 4, 8, 11, 15, 18, 22, 25 e 29 do armazenamento e a perda de massa foi calculada de acordo com a **Eq. 3** e expressa em média.

$$PM = \frac{(mi - mf)}{(mi)} \times 100 \quad \textbf{(Eq. 3)}$$

Onde:
PM = Percentual de perda de massa (%);
m_i = massa inicial (g);
m_f = massa final (g).

2.6 Análise estatística

O programa InfoStat/L versão 2020, foi utilizado para calcular as análises de variância (ANOVA) e Tukey. O teste de Tukey foi utilizado para determinar diferenças significativas entre as médias das amostras no intervalo de 95% de confiança ($p<0,05$) com três repetições, sendo os resultados expressos em média ± desvio padrão (DP).

3. Resultados e Discussão

3.1 Análise visual

Após uma análise visual cuidadosa de cada etapa do processo de armazenamento das laranjas, foi possível identificar aspectos que refletem a qualidade e a maturação de cada fruto como demonstrado na **Fig. 4**.

Inicialmente, as frutas apresentaram uma coloração intensa e vibrante, textura lisa e consistência firme, indicativos de frescor e maturidade, sem a presença de manchas. No entanto as laranjas do mesmo lote apresentaram-se heterogêneas, característica evidenciada pelos diferentes graus de maturação apresentada pelas cascas.

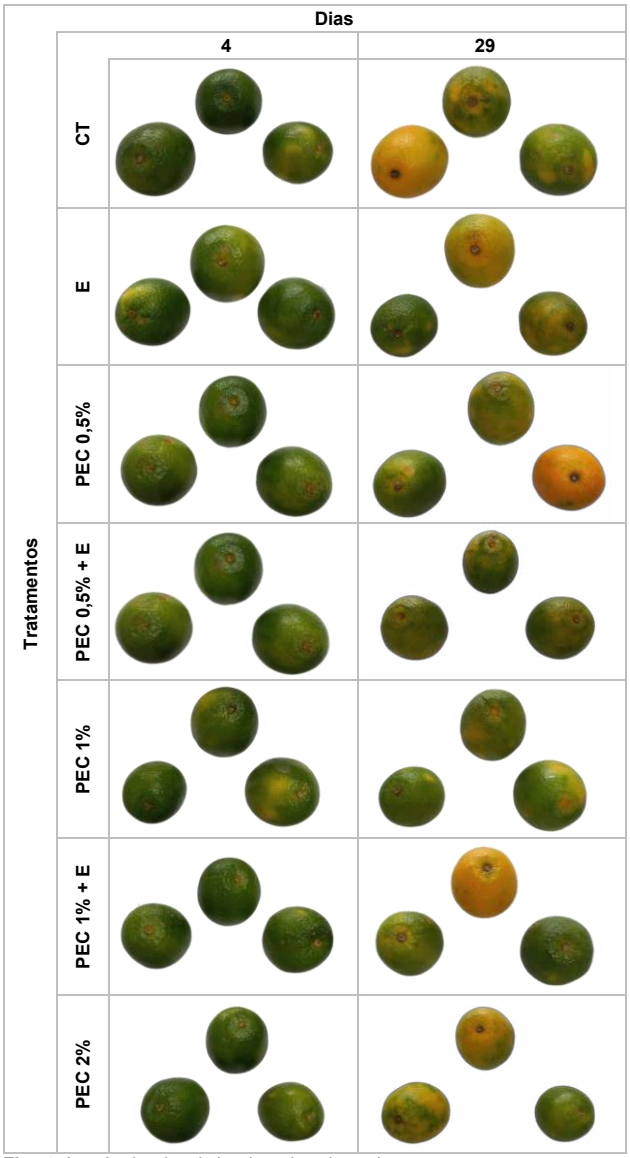


Fig. 4 Aparência visual das laranjas de cada tratamento no quarto e no último dia de armazenamento a 20ºC.

Na laranja, este processo é caracterizado por uma diminuição do crescimento ativo e por alterações metabólicas que culminam na transformação do endocarpo (polpa) em um produto comestível (Goldschmidt, Huberman & Goren, 1993). Em frutas maduras, a produção e a sensibilidade ao etileno são reduzidas, as taxas de respiração diminuem e as alterações na textura e composição ocorrem gradualmente (Yin et al., 2016).

Durante o processo de maturação externa de frutas cítricas ocorre a conversão de cloroplastos em cromoplastos e o aumento subsequente de carotenoides, que são responsáveis pela mudança de cor das cascas de frutas cítricas de verde para laranja durante o processo de maturação externa (Leepica et al., 2022). Essas mudanças estão relacionadas essencialmente com a senescência de tecidos clorofilados vegetativos e são influenciadas por fatores ambientais, disponibilidade de nutrientes e hormônios nas frutas cítricas (Yin et al., 2016).

A qualidade das frutas cítricas depende do momento da colheita, que deve ser baseado em índices de maturidade comercial, como cor da casca, sólidos solúveis, acidez e teor de suco. Frutas colhidas antes da hora certa tendem a apresentar falta de sabor e qualidade desejáveis. Por outro lado, aquelas colhidas após o período de maturação ideal, são mais suscetíveis

a decomposição, perda de sabor e valor nutricional (Hussain et al., 2022)

Ao longo do tempo, foram observadas diferenças na tonalidade, textura e consistência dos citros. Os tratamentos CT mostraram as maiores alterações visuais de tonalidade, seguido da PEC 2% e PEC1% + E. Enquanto, que o tratamento que revelou a menor mudança foi a PEC 1%, o que contribuiu para a ausência de diferenças consideráveis nos valores das coordenadas vermelho/verde e amarelo/azul, resultando em baixa variação na ΔE (diferença total de cor).

A elevada capacidade de impermeabilização gasosa gerada por matrizes polissacarídicas, como a pectina, sugere que em concentrações mais elevadas, sua ação obstrutiva dos poros dos frutos pode ter acelerado o processo de mudança de coloração das laranjas, por meio da retenção do etileno (Panahirad et al., 2021).

A aparência geral das frutas, que inclui a uniformidade, coloração, ausência de danos e a aparência de produto "fresco", associada a sazonalidade e a origem, são os principais fatores na seleção e compra de frutas pelos consumidores, que são fortemente influenciados pelos fatores intrínsecos do produto (Massaglia et al., 2019).

Frutas cítricas não-climatéricas possuem um processo específico de amadurecimento e devem ser colhidas quando atingem sua maturidade interna. Após a colheita, não ocorrem mudanças significativas em sua polpa. A maturação dessas frutas envolve dois tecidos e sistemas distintos: o exocarpo e o endocarpo, com mudanças internas na polpa e externas na casca, e essa complexidade dificulta a determinação de seus parâmetros de maturação. Geralmente, as frutas são consideradas maduras quando sua coloração externa, teor de suco, relação entre sólidos solúveis e acidez, e outros constituintes internos alcançam um nível mínimo de aceitação visual ou palatabilidade (El-Otmani et al., 2014).

3.2 Parâmetros de cor

Os resultados foram determinados pelas coordenadas ∆L* (variação de luminosidade), ∆a* (variação de cor do verde para o vermelho) e ∆b* (variação de cor do azul para o amarelo). Os valores apresentados na **Tabela 2**. referem-se à coloração externa da laranja 'Pera' (*Citrus sinensis* L. Osbeck), obtidos pelo sistema CIELab, com o objetivo de avaliar os efeitos de diferentes tratamentos nos parâmetros de cor da casca das frutas.

Para facilitar a visualização das alterações cromáticas nos tratamentos os resultados obtidos por meio do colorímetro, configurado no sistema CIELab, foram convertidos para seus conseguintes códigos dentro do sistema RGB e apresentados na **Tabela 3**.

Tabela 2 Resultados obtidos a partir das variações dos valores de Cromaticidade, luminosidade, coordenada verde/vermelho, coordenada azul/amarelo e diferença total de cor

Cromaticidade (C*)							
Dias	**CT**	**E**	**PEC 0,5%**	**PEC 0,5% + E**	**PEC 1%**	**PEC 1% + E**	**PEC 2%**
0	36,43^{Aa} ± 4,82	38,75^{Aa} ± 10,22	43,28^{Aa} ± 3,74	36,65^{Aa} ± 6,12	37,45^{Aa} ± 2,99	36,85^{Aa} ± 1,65	36,60^{Aa} ± 3,37
4	39,14^{Ba} ± 1,98	38,90^{Aa} ± 6,20	46,97^{Aa} ± 3,90	41,10^{Aa} ± 6,17	38,06^{Aa} ± 1,43	36,68^{Ba} ± 0,99	39,02^{Ba} ± 2,65
8	39,06^{Aa} ± 5,87	39,10^{Aa} ± 9,67	48,08^{Aa} ± 9,58	39,22^{Aa} ± 7,25	39,10^{Aa} ± 7,43	37,11^{Aa} ± 6,04	39,46^{Aa} ± 1,43
11	41,12^{Aa} ± 7,48	40,43^{Aa} ± 5,44	47,67^{Aa} ± 7,64	41,61^{Aa} ± 5,35	38,05^{Aa} ± 1,79	40,68^{Aa} ± 7,50	39,22^{Aa} ± 2,77
15	42,35^{Aa} ± 7,17	44,10^{Aa} ± 6,86	52,06^{Aa} ± 6,81	42,05^{Aa} ± 3,23	39,81^{Ba} ± 2,55	43,29^{Aa} ± 7,91	40,14^{Ba} ± 4,22
18	43,03^{Aa} ± 8,96	41,63^{Aa} ± 5,80	52,33^{Aa} ± 6,94	42,31^{Aa} ± 3,94	41,50^{Aa} ± 2,68	43,83^{Aa} ± 14,30	42,96^{Aa} ± 3,78
22	44,17^{Aa} ± 9,36	43,05^{Aa} ± 9,24	56,70^{Aa} ± 8,34	42,33^{Aa} ± 0,90	42,83^{Aa} ± 1,21	47,30^{Aa} ± 12,10	45,18^{Aa} ± 6,46
25	45,25^{Aa} ± 8,40	47,23^{Aa} ± 9,32	58,82^{Aa} ± 10,21	47,53^{Aa} ± 3,82	38,98^{Ba} ± 10,58	50,02^{Aa} ± 16,75	49,72^{Aa} ± 8,19
29	46,65^{Aa} ± 7,41	44,93^{Aa} ± 8,16	52,64^{Aa} ± 10,22	41,80^{Aa} ± 3,84	40,66^{Aa} ± 3,76	46,00^{Aa} ± 14,27	44,88^{Aa} ± 7,06
Luminosidade (ΔL*)							
Dias	**CT**	**E**	**PEC 0,5%**	**PEC 0,5% + E**	**PEC 1%**	**PEC 1% + E**	**PEC 2%**
4	-0,29^{Aa} ± 8,04	-0,09^{Aa} ± 6,71	2,96^{Aa} ± 2,47	2,71 ^{Aa} ± 2,04	0,37^{Aa} ± 4,54	-0,20^{Aa} ± 1,63	1,23^{Aa} ± 2,63
8	0,79^{Aa} ± 4,28	-0,79^{Aa} ± 1,45	3,12^{Aa} ± 7,89	2,00^{Aa} ± 1,00	1,06^{Aa} ± 2,91	0,23^{Aa} ± 3,89	1,24^{Aa} ± 2,04
11	3,05^{Aa} ± 5,99	0,51^{Aa} ± 5,58	2,40^{Aa} ± 5,59	4,17^{Aa} ± 1,53	-0,49^{Aa} ± 1,84	2,65^{Aa} ± 5,61	1,61^{Aa} ± 3,94
15	4,01^{Aa} ± 6,44	3,46^{Aa} ± 5,31	5,91^{Aa} ± 5,20	2,77^{Aa} ± 3,50	0,68^{Aa} ± 1,79	4,45^{Aa} ± 5,98	3,45^{Aa} ± 5,30
18	4,18^{Aa} ± 7,66	-0,17^{Aa} ± 5,89	1,71^{Aa} ± 10,63	3,04^{Aa} ± 2,89	2,35^{Aa} ± 2,03	4,41^{Aa} ± 11,20	5,23^{Aa} ± 3,47
22	4,19^{Aa} ± 6,39	2,89^{Aa} ± 3,60	9,44^{Aa} ± 5,81	4,37^{Aa} ± 5,10	3,84^{Aa} ± 2,43	7,36^{Aa} ± 8,62	5,36^{Aa} ± 3,18
25	4,29^{Aa} ± 5,92	5,08^{Aa} ± 4,29	9,10^{Aa} ± 6,01	5,05 ^{Aa} ± 3,35	1,10^{Aa} ± 1,39	6,74^{Aa} ± 2,05	7,21^{Aa} ± 2,17
29	6,91^{Aa} ± 5,80	3,54^{Aa} ± 2,53	5,15^{Aa} ± 8,12	3,10^{Aa} ± 3,68	2,59^{Aa} ± 0,79	6,84^{Aa} ± 1,17	5,72^{Aa} ± 7,62
Coordenada verde/vermelho (Δa*)							
Dias	**CT**	**E**	**PEC 0,5%**	**PEC 0,5% + E**	**PEC 1%**	**PEC 1% + E**	**PEC 2%**
4	0,16^{Aa} ± 0,83	1,48^{Aa} ± 0,88	0,78^{Aa} ± 0,63	-0,72^{Ba} ± 0,55	2,43^{Aa} ± 1,70	0,59^{Aa} ± 0,94	-0,21^{Ba} ± 0,41
8	0,57^{Aa} ± 1,38	0,88^{Aa} ± 1,12	3,84^{Aa} ± 4,19	0,51^{Aa} ± 0,90	1,39^{Aa} ± 0,36	1,54^{Aa} ± 0,85	-0,72^{Aa} ± 0,59
11	1,92^{Aa} ± 2,77	1,15^{Aa} ± 0,26	2,98^{Aa} ± 2,62	0,93^{Aa} ± 0,66	1,04^{Aa} ± 1,12	1,21^{Aa} ± 0,24	0,86^{Aa} ± 0,68
15	2,19^{Aa} ± 3,13	2,04^{Aa} ± 0,60	4,60^{Aa} ± 4,43	1,06^{Aa} ± 0,77	1,47^{Aa} ± 1,27	1,39^{Aa} ± 1,24	0,60^{Aa} ± 1,47
18	2,92^{Aa} ± 5,69	0,12^{Aa} ± 1,16	4,20^{Aa} ± 4,03	1,61^{Aa} ± 1,40	2,33^{Aa} ± 2,26	3,58^{Aa} ± 4,53	4,81^{Aa} ± 5,36
22	1,81^{Aa} ± 2,42	2,49^{Aa} ± 0,48	7,44^{Aa} ± 8,78	2,10^{Aa} ± 2,20	2,77^{Aa} ± 1,60	4,99^{Aa} ± 7,67	1,97^{Aa} ± 1,39
25	3,55^{Aa} ± 3,64	3,53 ^{Aa} ± 1,74	10,74^{Aa} ± 7,48	2,33^{Aa} ± 1,95	0,71^{Aa} ± 1,52	6,25^{Aa} ± 8,42	2,62^{Aa} ± 2,46
29	4,88^{Aa} ± 4,28	3,26^{Aa} ± 2,73	10,01^{Aa} ± 10,42	1,28^{Aa} ± 1,05	2,13^{Aa} ± 1,14	5,88^{Aa} ± 8,64	3,41^{Aa} ± 3,18
Coordenada azul-amarelo (Δb*)							
Dias	**CT**	**E**	**PEC 0,5%**	**PEC 0,5% + E**	**PEC 1%**	**PEC 1% + E**	**PEC 2%**
4	3,11^{Aa} ± 4,96	0,97^{Aa} ± 6,11	4,28^{Aa} ± 3,20	4,64^{Aa} ± 3,71	1,75^{Aa} ± 5,18	0,11^{Aa} ± 1,58	2,61^{Aa} ± 1,74
8	3,13^{Aa} ± 5,91	0,74^{Aa} ± 0,48	6,11^{Aa} ± 11,09	3,08^{Aa} ± 2,27	2,43^{Aa} ± 4,78	1,05^{Aa} ± 5,64	2,85^{Aa} ± 2,58
11	5,78^{Aa} ± 7,82	2,48^{Aa} ± 5,55	5,60^{Aa} ± 8,14	5,85^{Aa} ± 1,86	1,17^{Aa} ± 2,01	4,78^{Aa} ± 8,16	3,29^{Aa} ± 4,76
15	7,18^{Aa} ± 8,71	6,73^{Aa} ± 4,07	10,57^{Aa} ± 7,46	6,45^{Aa} ± 4,35	3,31^{Aa} ± 1,79	7,62^{Aa} ± 8,68	4,20^{Aa} ± 6,32
18	7,84^{Aa} ± 10,48	3,34^{Aa} ± 6,64	10,77^{Aa} ± 8,24	6,89^{Aa} ± 3,35	5,39^{Aa} ± 3,45	8,50^{Aa} ± 16,50	8,46^{Aa} ± 7,29
22	8,95^{Aa} ± 9,26	5,73^{Aa} ± 2,81	15,55^{Aa} ± 9,85	7,07^{Aa} ± 7,09	7,03^{Aa} ± 4,52	12,42^{Aa} ± 13,80	10,09^{Aa} ± 9,45
25	10,63^{Aa} ± 8,10	10,38^{Aa} ± 1,30	18,41^{Aa} ± 10,33	12,60^{Aa} ± 3,91	1,73^{Aa} ± 10,72	15,37^{Aa} ± 18,52	14,97 ^{Aa} ± 2,29
29	12,49^{Aa} ± 8,43	7,82^{Aa} ± 3,18	11,58^{Aa} ± 10,97	6,19^{Aa} ± 4,91	4,50^{Aa} ± 0,75	11,04^{Aa} ± 16,52	10,16 ^{Aa} ± 1,48
Diferença total de cor (ΔE)							
Dias	**CT**	**E**	**PEC 0,5%**	**PEC 0,5% + E**	**PEC 1%**	**PEC 1% + E**	**PEC 2%**
4	7,87^{Aa} ± 5,23	7,02^{Aa} ± 3,75	5,33^{Aa} ± 3,95	5,46^{Aa} ± 4,19	6,34^{Aa} ± 1,94	2,08^{Aa} ± 0,35	3,58^{Aa} ± 1,85
8	6,05^{Aa} ± 4,92	1,99^{Aa} ± 0,73	9,48^{Aa} ± 12,69	3,98^{Aa} ± 1,95	4,28^{Aa} ± 4,18	5,21^{Aa} ± 3,49	3,35^{Aa} ± 3,10
11	8,51^{Aa} ± 8,57	6,23^{Aa} ± 3,94	7,63^{Aa} ± 9,27	7,28^{Aa} ± 2,34	2,64^{Aa} ± 1,51	6,58^{Aa} ± 8,94	5,65^{Aa} ± 3,46
15	9,99^{Aa} ± 9,71	8,42^{Aa} ± 5,57	13,02^{Aa} ± 9,99	7,27^{Aa} ± 5,31	4,10^{Aa} ± 1,75	9,21^{Aa} ± 10,26	7,87^{Aa} ± 4,70
18	10,84^{Aa} ± 12,84	8,02^{Aa} ± 0,60	14,45^{Aa} ± 9,42	8,02^{Aa} ± 3,76	6,42^{Aa} ± 4,38	12,91^{Aa} ± 18,03	12,47^{Aa} ± 8,58
22	12,06^{Aa} ± 8,88	7,23^{Aa} ± 3,71	19,99^{Aa} ± 13,70	9,62^{Aa} ± 7,25	8,89^{Aa} ± 4,87	15,52^{Aa} ± 17,67	12,50^{Aa} ± 9,82
25	12,72^{Aa} ± 9,61	12,56^{Aa} ± 2,34	23,23^{Aa} ± 13,97	13,89^{Aa} ± 5,03	9,29^{Aa} ± 2,51	20,17^{Aa} ± 20,73	17,44^{Aa} ± 4,47
29	15,62^{Aa} ± 10,16	9,75^{Aa} ± 2,77	16,44^{Aa} ± 16,76	7,27^{Aa} ± 5,83	5,75^{Aa} ± 0,39	14,72^{Aa} ± 21,26	12,88^{Aa} ± 3,14

* Médias seguidas pela mesma letra não diferem entre si a 5% de probabilidade (p>0,05) pelo teste de Tukey. ** Letras maiúsculas comparam médias na horizontal (entre tratamentos em um mesmo dia), enquanto letras minúsculas comparam médias na vertical (entre os dias em um mesmo tratamento). Os dados são apresentados como média ± desvio padrão.

Tabela 3 Valores médios das coordenadas *L**, *a** e *b** obtidas através do colorímetro digital no dia 0 e 29 e suas respectivas conversões para o sistema RGB e a representação visual das cores das amostras de cada tratamento no primeiro e último dia de experimento.

Tratamentos	Dia 0			Dia 29		
	CIELab	RGB		CIELab	RGB	
CT	L*: 52,20; a*: -16,34; b*: 32,52	R:116, G:131, B:67		L*: 59,12; a*: -11,46; b*: 45,01	R:147, G:146, B:59	
E	L*: 53,80; a*: -16,26; b*: 34,98	R:121, G:135, B:66		L*: 57,34; a*: -13,00; b*: 42,80	R:139, G:142, B:59	
PEC 0,5%	L*: 55,94; a*: -17,73; b*: 39,47	R:126, G:141, B:62		L*: 61,10; a*: -7,72; b*: 51,05	R:161, G:149, B:51	
PEC 0,5% + E	L*: 50,87; a*: -16,06; b*: 32,83	R:113, G:127, B:63		L*: 53,97; a*: -14,79; b*: 39,02	R:126, G:135, B:59	
PEC 1%	L*: 52,10; a*: -17,22; b*: 33,25	R:114, G:131, B:65		L*: 54,69; a*: -15,09; b*: 37,74	R:126, G:137, B:63	
PEC 1% + E	L*: 50,09; a*: -17,59; b*: 32,38	R:108, G:126, B:62		L*: 56,92; a*: -11,71; b*: 43,42	R:140, G:141, B:57	
PEC 2%	L*: 50,95; a*: -16,82; b*: 32,48	R:111, G:128, B:64		L*: 56,66; a*: -13,41; b*: 42,65	R:136, G:141, B:58	

A maturação das frutas cítricas é caracterizada por um período de diminuição da taxa de crescimento, acompanhado de alterações na cor da casca. Essas alterações são causadas pela degradação enzimática das clorofilas e pela síntese de carotenoides, que interferem na coloração da casca da laranja, alterando a tonalidade inicial de verde intenso para verde-claro, seguida pelo surgimento de pigmentos amarelos, laranjas e vermelhos (Agustí et al., 1995; Chitarra & Chitarra, 2005).

Os resultados das análises mostraram que os parâmetros de cromaticidade aumentaram para todos os tratamentos durante o período de pesquisa, conforme apresentado na Tabela 2. Os tratamentos CT apresentaram valor médio de C de 46,65 no último dia. Os maiores valores de saturação no último dia de análise foram encontrados no PEC 0,5% (52,64), enquanto os menores valores foram observados no PEC 1% (40,66).

Os resultados indicaram que, durante o período de 29 dias, os valores de L* aumentaram para todos os tratamentos. Como o L* é um indicador da luminosidade, seu aumento demonstra uma diminuição da cor verde-escura, coincidentemente com o aparecimento do amarelo-claro. Esses resultados corroboram com os achados de Pereira, Machado e Costa (2014), que testaram coberturas a base de cera de carnaúba em laranjas doces, e os de Maftoonazad e Ramaswamy (2019), que quantificaram os efeitos de coberturas a base de pectina em limas.

Os tratamentos CT apresentaram uma média de ΔL de 6,91 no último dia de teste, sendo a maior variação de luminosidade encontrada. Já o menor resultado evidenciado para este mesmo dia de análise foi na cobertura contendo PEC 1% (2,59). De acordo com Mattiuz e Durigan (2001), a diminuição dos pigmentos clorofila, responsáveis pela coloração verde, e o aumento dos pigmentos carotenoides, responsáveis pela tonalidade amarela na superfície do fruto, levam a um aumento na luminosidade e na cromaticidade.

O aumento dos valores de a* (coordenada verde/vermelho), demonstrado na Tabela 2, indica a diminuição dos teores de clorofila e o aumento dos carotenoides. Essa perda é utilizada como um guia de maturidade, pois está associada ao amadurecimento dos frutos (Chitarra & Chitarra, 2005; Shafiee, Taghavi & Babalar, 2010).

Todos os tratamentos demonstraram aumento do parâmetro verde-vermelho. Os CT apresentaram variação média de 4,88 no último dia, enquanto a PEC 0,5% obteve o maior crescimento (10,01). Em contrapartida, o revestimento que melhor retardou a mudança desse parâmetro de cor foi o PEC 0,5%+E (1,28). Esses resultados indicam que, no decorrer do experimento, as frutas perderam a coloração verde, sendo esta substituída pelo vermelho.

O parâmetro azul-amarelo (b*) é uma coordenada que descreve a tonalidade amarela da superfície da fruta. Valores positivos indicam tonalidade amarela, enquanto valores negativos indicam tonalidade azul (Lancaster et al., 1997). No último dia do experimento, todos os tratamentos apresentaram variação positiva no parâmetro azul-amarelo, como apresentado na Tabela 2. A variação média do CT foi de 12,49, seguida do PEC 0,5% (11,58) e do PEC 1% + E (11,04). O PEC 1% apresentou a menor variação (4,50), mas não houve diferença estatística entre os tratamentos.

A diferença total de cor (ΔE) é uma medida amplamente utilizada para avaliar o amadurecimento de frutas (Maftoonazad & Ramaswamy, 2019). Ela representa a distância ou diferença entre duas cores. Quanto mais próximo de zero a diferença de cor, mais próxima a amostra está do padrão selecionado. Como as variações totais foram calculadas com base no dia zero, valores maiores de ΔE demonstram uma mudança de coloração superior no decorrer do armazenamento, conforme retratado na **Tabela 2**.

No vigésimo nono dia de análise, a amostra PEC 0,5% (16,44) apresentou a maior diferença de cor, seguida pelas laranjas do grupo CT (15,62). As menores médias deste parâmetro foram evidenciadas no PEC 0,5%+E (7,27) e PEC 1% (5,75), sendo este último o valor mais inferior encontrado. Esses resultados demonstram que o PEC 0,5% e o PEC 1% apresentaram pouca variação de cor, mas não houve diferenças significativas entre eles.

Os valores mais baixos de mudança de cor em frutas cobertas podem ser atribuídos ao efeito do revestimento na redução da permeação dos gases para o microambiente da fruta. A redução do gás oxigênio e o aumento do gás carbônico na atmosfera de armazenamento são fatores que impedem a degradação da clorofila, como demonstrado em estudos anteriores (Maftoonazad & Ramaswamy, 2005).

O uso de matrizes hidrocolóides e compostas tem demonstrado resultados satisfatórios na diminuição do metabolismo e no retardamento do desenvolvimento da cor da casca de frutas não-climatéricas armazenadas. Isso foi demonstrado em estudos com morangos (Velickova et al., 2013; Aitboulahsen et al., 2018; Sun et al., 2021; Alexandre & Zuge, 2023), jujubas-indianas (Chen et al., 2019), figos (Saavedra et al., 2020) e abacaxis (Prakash, Baskaran & Vadivel, 2020). Esses resultados evidenciam o crescente potencial dessas aplicações e suas vantagens sobre frutas que apresentam processos de amadurecimento semelhantes.

3.3 Perda de massa

A perda de massa em frutas cítricas após a colheita é um processo natural que ocorre devido à evaporação da umidade, resultando na diminuição do peso das frutas. Além disso, o processo de respiração pós-colheita também contribui para essa perda, pois as frutas continuam a liberar dióxido de carbono e vapor d'água (Ishaque et al., 2019). A porcentagem de perda de massa exibida por cada grupo experimental está apresentada detalhadamente na **Tabela 4** e graficamente através da **Fig. 5**.

A perda de massa é um processo diretamente relacionado às atividades metabólicas das frutas, que diminuem a quantidade de água disponível nos tecidos vegetais. Como resultado, a perda de água não apenas afeta a quantidade de fruta,

mas também suas características qualitativas, como nutricionais, texturais e visuais (Chitarra & Chitarra, 2005). Independentemente do tratamento utilizado, a perda de massa das frutas aumentou linearmente durante o período de armazenamento sob refrigeração.

O uso de coberturas comestíveis à base de proteínas e polissacarídeos tem grande potencial de aplicação em frutas, pois podem reduzir as taxas de respiração, devido à sua seletividade aos gases. A incorporação de materiais lipídicos em filmes de polissacarídeos e proteínas para formar revestimentos compostos pode melhorar a barreira à umidade do filme. Além disso, como as matrizes lipídicas possuem pobres atributos mecânicos, tornando-se frágeis, sua adição a uma matriz hidrocoloidal melhora a coesão e integridade estrutural do composto, além de melhorar a sensibilidade à água (Silva et al., 2020). Era esperado que as coberturas adicionadas da emulsão de óleo, por seu caráter hidrofóbico, aumentassem a barreira de umidade da cobertura, conforme pontuado por Ncama et al. (2018).

Tabela 4 Resultados de porcentagem de perda de massa apresentada por cada tratamento no decorrer dos 29 dias de análise.

	Perda de massa (%)						
Dias	**CT**	**E**	**PEC 0,5%**	**PEC 0,5% + E**	**PEC 1%**	**PEC 1% + E**	**PEC 2%**
4	$2,43^{Be} \pm 0,24$	$3,17^{Ah} \pm 0,13$	$2,01^{Bd} \pm 0,27$	$2,44^{Bf} \pm 0,21$	$2,16^{Bf} \pm 0,22$	$2,38^{Bd} \pm 0,34$	$2,18^{Bh} \pm 0,13$
8	$3,81^{Be} \pm 0,24$	$4,72^{Ag} \pm 0,23$	$3,51^{Bcd} \pm 0,48$	$4,16^{Ae} \pm 0,30$	$3,70^{Be} \pm 0,33$	$3,97^{Acd} \pm 0,60$	$3,75^{Bg} \pm 0,19$
11	$4,89^{Bde} \pm 0,54$	$5,98^{Af} \pm 0,26$	$4,50^{Bcd} \pm 0,66$	$5,28^{Ad} \pm 0,40$	$4,82^{Bd} \pm 0,39$	$5,16^{Ac} \pm 0,76$	$4,89^{Bf} \pm 0,21$
15	$6,65^{Bc} \pm 0,78$	$8,07^{Ae} \pm 0,32$	$6,22^{Bbc} \pm 0,94$	$7,15^{Ac} \pm 0,57$	$6,63^{Bc} \pm 0,51$	$6,99^{Abc} \pm 1,07$	$6,71^{Be} \pm 0,24$
18	$7,36^{Bc} \pm 0,87$	$9,00^{Ad} \pm 0,30$	$6,91^{Bb} \pm 1,07$	$7,93^{Abc} \pm 0,65$	$7,41^{Bc} \pm 0,54$	$7,79^{Ab} \pm 1,23$	$7,50^{Ad} \pm 0,25$
22	$8,24^{Bb} \pm 0,98$	$10,03^{Ac} \pm 0,29$	$7,72^{Bab} \pm 1,24$	$8,85^{Ab} \pm 0,72$	$8,35^{Abc} \pm 0,58$	$8,76^{Aab} \pm 1,46$	$8,44^{Ac} \pm 0,21$
25	$8,97^{Bab} \pm 1,09$	$10,95^{Ab} \pm 0,30$	$8,37^{Bab} \pm 1,38$	$9,53^{Aab} \pm 0,80$	$9,10^{Ab} \pm 0,61$	$9,53^{Aab} \pm 1,64$	$9,20^{Ab} \pm 0,24$
29	$9,93^{Aa} \pm 1,24$	$11,98^{Aa} \pm 0,37$	$9,25^{Ba} \pm 1,50$	$10,66^{Aa} \pm 0,85$	$10,13^{Aa} \pm 0,73$	$10,53^{Aa} \pm 1,88$	$10,20^{Aa} \pm 0,17$

* Médias seguidas pela mesma letra não diferem entre si a 5% de probabilidade (p>0,05) pelo teste de Tukey. ** Letras maiúsculas comparam médias na horizontal (entre tratamentos em um mesmo dia), enquanto letras minúsculas comparam médias na vertical (entre os dias em um mesmo tratamento). Os dados são apresentados como média ± desvio padrão.

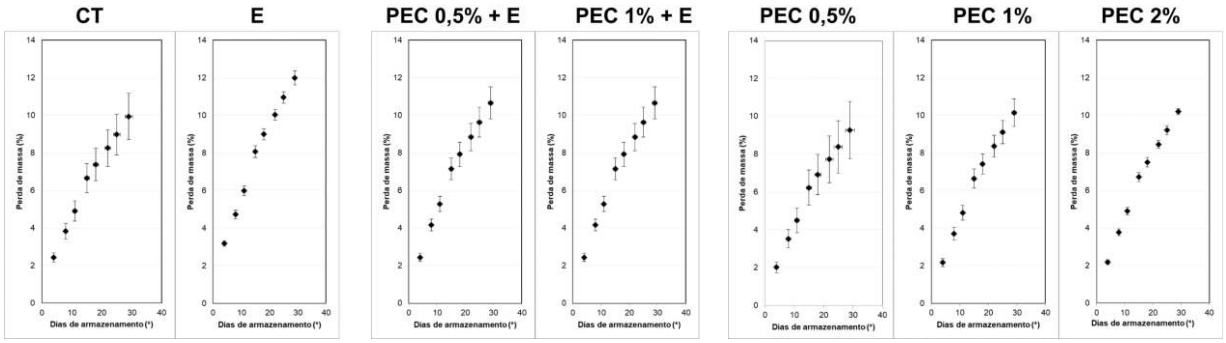


Fig. 5 Porcentagem de perda de massa dos diferentes tratamentos armazenados por 29 dias à 20 ºC.

Montaño-Leyva et al. (2013) enfatizam que é importante que os componentes de uma cobertura sejam compatíveis entre si, para que a cobertura mantenha suas propriedades mecânicas e não haja separação dos constituintes e a formação de fases diferentes.

A maior porcentagem de perda de peso foi observada no tratamento que não utilizou do polissacarídeo em sua composição, onde a amostra recoberta com a emulsão (E) apresentou uma diminuição de 11,99% do seu peso inicial, havendo um efeito de desidratação dos frutos. Frutos cobertos com pectina 0,5% (m/v) apresentaram significativamente a menor perda de massa (9,26%). Os demais tratamentos, com concentrações de pectina de 1,0% e 2,0% ou adicionados da emulsão de óleos essenciais, apresentaram perda de massa mais elevada que a pectina 0,5% (m/v) e o CT após 29 dias de armazenamento.

A alta concentração de polímero pode impedir a respiração da fruta, o que também contribui para a perda de massa (Sapper & Chiralt, 2018). Apesar de a ação de coberturas aderidas ao fruto atuar de forma semelhante à atmosfera modificada, com alteração no processo de trocas gasosas no fruto tratado, a compatibilidade entre o hidrocolóide e a emulsão de óleos essenciais pode ter sido comprometida, pois a natureza hidrofóbica dos óleos essenciais pode ter alterado a estrutura tridimensional da matriz polissacarídica, formando regiões irregulares no revestimento. A adesão interfacial entre a matriz polimérica e a fase hidrofóbica é um fator crítico para o desempenho da cobertura compósita. Isso pode ter facilitado a perda de umidade, indicando uma possível redução na interação entre as duas fases da mistura e afetando negativamente a compatibilidade da interface polimérica (Wang et al., 2019).

4. Considerações Finais

A citricultura é uma área de pesquisa bem estudada, mas os estudos sobre o gênero "Pera" (*Citrus sinensis* L. Osbeck) são limitados, principalmente quando se trata de matrizes poliméricas ou compostas. A maioria dos estudos nessa área está focada em matrizes lipídicas, como as ceras, e na extração da polpa, deixando de lado questões importantes, como a conservação das características qualitativas do fruto, que é um desafio devido à sua maturação não climatérica. Como o estágio de maturação das frutas não-climatéricas depende do momento da colheita, é natural que as frutas analisadas apresentassem heterogeneidade no processo de maturação. Isso resultou em um alto desvio padrão nos experimentos, que pode ser reduzido com um grupo experimental maior. Também não foram avaliados seus parâmetros nutricionais, físico-químicos, químicos ou de compostos bioativos durante os tratamentos aplicados. Essa lacuna pode ser alvo de estudos futuros, proporcionando insights adicionais sobre o impacto dos revestimentos comestíveis na qualidade nutricional e composicional das laranjas "Pera". Os resultados indicam que coberturas compostas e hidrocolóides podem ser eficazes no retardo do amadurecimento de laranjas doces do gênero "Pera". As análises visuais e de cor mostraram que os tratamentos PEC 1% e PEC 0,5% + E apresentaram menor diferença total de cor em relação ao dia zero e ao controle. Essa preservação foi sustentada por menores porcentuais de perda de

massa, sendo o tratamento PEC 0,5% o que apresentou significativamente os menores valores. Os resultados deste estudo sugerem que revestimentos comestíveis à base de polissacarídeos podem ser eficazes na conservação de características qualitativas de laranjas doces do gênero "Pera" armazenadas em condições semelhantes às de supermercados.

Agradecimentos

Os autores gostariam de agradecer ao CNPq pelo apoio financeiro e pelo fomento dos programas de Iniciação Científica e à Universidade Federal da Grande Dourados pelo apoio estrutural, material e técnico.

Contribuições dos Autores

V.N. e N.C.: Curadoria de Dados, Redação – Preparação do Rascunho Original; I.G. e C.M: Supervisão, Redação - Revisão e Edição; S.M.: Redação – Revisão e Edição, Metodologia e Administração de Projetos. Todos os autores leram e aprovaram o manuscrito final.

Disponibilidade de dados e materiais

Dados disponíveis mediante solicitação ao Autor correspondente.

Conflitos de Interesses

Os autores declaram que não têm interesses conflitantes.

Financiamento

Esta pesquisa foi financiada pela Universidade Federal da Grande Dourados e pelo Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq, Brasil).

Referências

ABIA - Associação Brasileira da Indústria de Alimentos. (2023). *Balanço econômico da indústria de alimentos e bebidas 2023*. Acessado em: 16 Mar 2024. Disponível em: https://www.abia.org.br/vsn/temp/OnePage_2024_VF_VF.pdf.

Agustí, M., Zaragoza, S., Bleiholder, H., Buhr, L., Hack, H., Klose, R., & Stauß, R. (1995). Escala BBCH para la descripción de los estadios fenológicos del desarrollo de los agrios (Gén. Citrus). *Levante Agrícola*, *332*, 189–199.

Aitboulahsen, M., Zantar, S., Laglaoui, A., Chairi, H., Arakrak, A., Bakkali, M., & Hassani Zerrouk, M. (2018). Gelatin-based edible coating combined with mentha pulegium essential oil as bioactive packaging for strawberries. *Journal of Food Quality*, *2018*, 1–7. https://doi.org/10.1155/2018/8408915

Alexandre, L. A., & Zuge, L. C. B. (2023). Development and application on strawberries of edible coatings based on yam and corn starch added with Rio Grande cherry. *Food Science Today*, *1*(1). https://doi.org/10.58951/fstoday.v1i1.9

Amarante, C. V. T. do, Steffens, C. A., Mota, C. S., & Santos, H. P. dos. (2007). Radiação, fotossíntese, rendimento e qualidade de frutos em macieiras “Royal Gala” cobertas com telas antigranizo. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, *42*(7), 925–931. https://doi.org/10.1590/S0100-204X2007000700003

Appelhans, M. S., Bayly, M. J., Heslewood, M. M., Groppo, M., Verboom, G. A., Forster, P. I., Kallunki, J. A., & Duretto, M. F. (2021). A new subfamily classification of the Citrus family (Rutaceae) based on six nuclear and plastid markers. *Taxon*, *70*(5), 1035–1061. https://doi.org/10.1002/tax.12543

Arroyo, B. J., Bezerra, A. C., Oliveira, L. L., Arroyo, S. J., Melo, E. A. de, & Santos, A. M. P. (2020). Antimicrobial active edible coating of alginate and chitosan add ZnO nanoparticles applied in guavas (*Psidium guajava* L.). *Food Chemistry*, *309*, 125566. https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2019.125566

Biswas, N. N., Saha, S., & Ali, M. K. (2014). Antioxidant, antimicrobial, cytotoxic and analgesic activities of ethanolic extract of Mentha arvensis L. *Asian Pacific Journal of Tropical Biomedicine*, *4*(10), 792–797. https://doi.org/10.12980/APJTB.4.2014C1298

Burt, S. (2004). Essential oils: their antibacterial properties and potential applications in foods—a review. *International Journal of Food Microbiology*, *94*(3), 223–253. https://doi.org/10.1016/j.ijfoodmicro.2004.03.022

Cakmak, H., Kumcuoglu, S., & Tavman, S. (2018). Production of edible coatings with twin-nozzle electrospraying equipment and the effects on shelf-life stability of fresh-cut apple slices. *Journal of Food Process Engineering*, *41*(1). https://doi.org/10.1111/jfpe.12627

Cakmak, H., Kumcuoglu, S., & Tavman, S. (2019). Electrospray coating of minimally processed strawberries and evaluation of the shelf-life quality properties. *Journal of Food Process Engineering*, *42*(5). https://doi.org/10.1111/jfpe.13082

Castro, C., & Podesta, N. (2024). Citrus Annual (Report No. BR2023-0036). U.S. *Department of Agriculture, Foreign Agricultural Service*. Washington, D.C. Acesso em: 20 Mar 2024.Disponível em: https://citrusindustry.net/wp-content/uploads/2024/01/Citrus-Annual_Brasilia_Brazil_BR2023-0036.pdf.

Chan, S. Y., Choo, W. S., Young, D. J., & Loh, X. J. (2016). Pectin As a Rheology Modifier: Recent Reports on Its Origin, Structure, Commercial Production and Gelling Mechanism. In X. J. Loh (Ed.), *Polymers for Personal Care Products and Cosmetics* (pp. 205–226). The Royal Society of Chemistry. https://doi.org/10.1039/9781782623984-00205

Chen, H., Sun, Z., & Yang, H. (2019). Effect of carnauba wax-based coating containing glycerol monolaurate on the quality maintenance and shelf-life of Indian jujube (*Zizyphus mauritiana* Lamk.) fruit during storage. *Scientia Horticulturae*, *244*, 157–164. https://doi.org/10.1016/j.scienta.2018.09.039

Cherman, K. A., Scapim, M. R. da S., Silva, J. F., & Madrona, G. S. (2022). Caracterização de cobertura comestível a base de alginato e óleos essenciais. *Research, Society and Development*, *11*(2), e52911226145. https://doi.org/10.33448/rsd-v11i2.26145

Chitarra, M. I. F., & Chitarra, A. B. (2005). *Pós-colheita de frutas e hortaliças: fisiologia e manuseio* (Vol. 1). Lavras: Universidade Federal de Lavras. 783 p.

Dehghani, S., Hosseini, S. V., & Regenstein, J. M. (2018). Edible films and coatings in seafood preservation: A review. *Food Chemistry*, *240*, 505–513. https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2017.07.034

Díaz-Montes, E., & Castro-Muñoz, R. (2021). Edible films and coatings as food-quality preservers: An overview. *Foods*, *10*(2), 249. https://doi.org/10.3390/foods10020249

El-Otmani, M., Zacarías, L., Pareek, S., Thompson, A. K., Sivakumar, D., Benkeblia, N., & El-Otmani, M. (2014). Citrus postharvest physiology and technology. In *Postharvest physiology and technology: tropical and subtropical fruits* (p. 81–108). CABI Publishing.

FAO – Organização das Nações Unidas para Alimentação e Agricultura. (2013). *Food wastage footprint: Impacts on natural resources*. Roma. Acessado em: 08 Mar 2023. Disponível em: <http://www.fao.org/docrep/018/i3347e/i3347e.pdf>.

Futch, S. H., & Ferrarezi, R. S. (2019). Inside Brazil's citrus industry. *Citrus Industry*, 100(12), 14-17. Acessado em: 20 Fev 2024. Disponível em: <https://crec.ifas.ufl.edu/media/crecifasufledu/extension/extension-publications/2019/2019_december_brazil.pdf>.

Goldschmidt, E. E., Huberman, M., & Goren, R. (1993). Probing the role of endogenous ethylene in the degreening of citrus fruit with ethylene antagonists. *Plant Growth Regulation*, *12*(3), 325–329. https://doi.org/10.1007/BF00027214

Harholt, J., Suttangkakul, A., & Vibe Scheller, H. (2010). Biosynthesis of Pectin. *Plant Physiology*, *153*(2), 384–395. https://doi.org/10.1104/pp.110.156588

Hosseini, S. S., Khodaiyan, F., & Yarmand, M. S. (2016). Optimization of microwave assisted extraction of pectin from sour orange peel and its physicochemical properties. *Carbohydrate Polymers*, *140*, 59–65. https://doi.org/10.1016/j.carbpol.2015.12.051

Hussain, A. I., Anwar, F., Nigam, P. S., Ashraf, M., & Gilani, A. H. (2010). Seasonal variation in content, chemical composition and antimicrobial and cytotoxic activities of essential oils from four mentha species. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, *90*(11), 1827–1836. https://doi.org/10.1002/jsfa.4021

Hussain, S. B., Naseer, M., Manzoor, M., Akbar, A., Hayyat, S., & Sabir, S. (2022). Maturity Indices and Harvesting Methods for Citrus Fruit. In S. Hussain, M. F. Khalid, M. A. Ali, N. Ahmed, M. Hasanuzzaman, & S. Ahmad (Eds.), *Citrus Production* (1st ed., p. 8). CRC Press. https://doi.org/10.1201/9781003119852

IBGE - Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. (2021). *Levantamento Sistemático da Produção Agrícola*. Rio de Janeiro. Acessado em: 06 Mar 2023. Disponível em: <https://sidra.ibge.gov.br/home/pimpfbr/brasil>.

Ishaque, F., Hossain, M. A., Sarker, M. A. R., Mia, M. Y., Dhrubo, A. S., Uddin, G. T., & Rahman, M. H. (2019). A study on low cost post harvest storage techniques to extend the shelf life of citrus fruits and vegetables. *Journal of Engineering Research and Reports*, 1–17. https://doi.org/10.9734/jerr/2019/v9i117009

Krochta, J. M. (1997). Edible Protein Films and Coatings. In S. Damodaran (Ed.), *Food Proteins and Their Applications* (1st ed., pp. 529–550). CRC Press. https://doi.org/10.1201/9780203755617

Kumar, A., Shukla, R., Singh, P., Singh, A. K., & Dubey, N. K. (2009). Use of essential oil from Mentha arvensis L. to control storage moulds and insects in stored chickpea. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, *89*(15), 2643–2649. https://doi.org/10.1002/jsfa.3768

Lacroix, M., & Vu, K. D. (2014). Edible Coating and Film Materials: Proteins. In J. H. Han (Ed.), *Innovations in Food Packaging: Second Edition* (2nd ed., pp. 277–304). Academic Press. https://doi.org/10.1016/B978-0-12-394601-0.00011-4

Lancaster, J. E., Lister, C. E., Reay, P. F., & Triggs, C. M. (1997). Influence of pigment composition on skin color in a wide range of fruit and vegetables. *Journal of the American Society for Horticultural Science*, *122*(4), 594–598. https://doi.org/10.21273/jashs.122.4.594

Maftoonazad, N., & Ramaswamy, H. S. (2005). Postharvest shelf-life extension of avocados using methyl cellulose-based coating. *LWT - Food Science and Technology*, *38*(6), 617–624. https://doi.org/10.1016/j.lwt.2004.08.007

Maftoonazad, N., & Ramaswamy, H. S. (2019). Application and evaluation of a pectin-based edible coating process for quality change kinetics and shelf-life extension of lime fruit (Citrus aurantifolium). *Coatings*, *9*(5), 285. https://doi.org/10.3390/coatings9050285

Martínez, K., Ortiz, M., Albis, A., Castañeda, C. G. G., Valencia, M. E., & Tovar, C. D. G. (2018). The effect of edible chitosan coatings incorporated with thymus capitatus

essential oil on the shelf-life of strawberry (*Fragaria x ananassa*) during cold storage. *Biomolecules*, *8*(4), 155. https://doi.org/10.3390/biom8040155

Massaglia, S., Borra, D., Peano, C., Sottile, F., & Merlino, V. M. (2019). Consumer preference heterogeneity evaluation in fruit and vegetable purchasing decisions using the best–worst approach. *Foods*, *8*(7), 266. https://doi.org/10.3390/foods8070266

Mattiuz, B.-H., & Durigan, J. F. (2001). Efeito de injúrias mecânicas na firmeza e coloração de goiabas das cultivares Paluma e Pedro Sato. *Revista Brasileira de Fruticultura*, *23*(2), 277–281. https://doi.org/10.1590/s0100-29452001000200015

Mohnen, D. (2008). Pectin structure and biosynthesis. *Current Opinion in Plant Biology*, *11*(3), 266–277. https://doi.org/10.1016/j.pbi.2008.03.006

Montaño-Leyva, B., Ghizzi D. da Silva, G., Gastaldi, E., Torres-Chávez, P., Gontard, N., & Angellier-Coussy, H. (2013). Biocomposites from wheat proteins and fibers: Structure/mechanical properties relationships. *Industrial Crops and Products*, *43*(1), 545–555. https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2012.07.065

Ncama, K., Magwaza, L. S., Mditshwa, A., & Tesfay, S. Z. (2018). Plant-based edible coatings for managing postharvest quality of fresh horticultural produce: A review. *Food Packaging and Shelf Life*, *16*, 157–167. https://doi.org/10.1016/j.fpsl.2018.03.011

Panahirad, S., Dadpour, M., Peighambardoust, S. H., Soltanzadeh, M., Gullón, B., Alirezalu, K., & Lorenzo, J. M. (2021). Applications of carboxymethyl cellulose- and pectin-based active edible coatings in preservation of fruits and vegetables: A review. *Trends in Food Science & Technology*, *110*, 663–673. https://doi.org/10.1016/j.tifs.2021.02.025

Pereira, G. da S., Machado, F. L. de C., & Costa, J. M. C. da. (2014). Aplicação de recobrimento prolonga a qualidade pós-colheita de laranja "Valência Delta" durante armazenamento ambiente. *Revista Ciência Agronômica*, *45*(3), 520–527. https://doi.org/10.1590/s1806-66902014000300012

Prakash, A., Baskaran, R., & Vadivel, V. (2020). Citral nanoemulsion incorporated edible coating to extend the shelf life of fresh cut pineapples. *LWT*, *118*, 108851. https://doi.org/10.1016/j.lwt.2019.108851

Rehman, S. U., Abbasi, K. S., Qayyum, A., Jahangir, M., Sohail, A., Nisa, S., Tareen, M. N., Tareen, M. J., & Sopade, P. (2020). Comparative analysis of citrus fruits for nutraceutical properties. *Food Science and Technology (Brazil)*, *40*(suppl 1), 153–157. https://doi.org/10.1590/fst.07519

Ritenour, M. A., Miller, W. M., & Wardowski, W. W. (2003). Recommendations for Degreening Florida Fresh Citrus Fruits: Cir 1170/HS195, 8/2003. EDIS, 2003(16). https://doi.org/10.32473/edis-hs195-2003

Rodriguez-Garcia, I., Cruz-Valenzuela, M. R., Silva-Espinoza, B. A., Gonzalez-Aguilar, G. A., Moctezuma, E., Gutierrez-Pacheco, M. M., Tapia-Rodriguez, M. R., Ortega-Ramirez, L. A., & Ayala-Zavala, J. F. (2016). Oregano (*Lippia graveolens*) essential oil added within pectin edible coatings prevents fungal decay and increases the antioxidant capacity of treated tomatoes. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, *96*(11), 3772–3778. https://doi.org/10.1002/jsfa.7568

Rombaldi, C. V., Tibola, C. S., Fachinello, J. C., & Silva, J. A. (2007). Percepção de consumidores do Rio Grande do Sul em relação a quesitos de qualidade em frutas. *Revista Brasileira de Fruticultura*, *29*(3), 681–684. https://doi.org/10.1590/S0100-29452007000300049

Rossman, J. M. (2009). Commercial Manufacture of Edible Films. In K. C. Huber & M. E. Embuscado (Eds.), *Edible Films and Coatings for Food Applications* (pp. 367–390). Springer New York. https://doi.org/10.1007/978-0-387-92824-1_14

Saavedra, S. C., Ventura-Aguilar, R. I., Silvia Bautista-Baños, & Barrera-Necha, L. L. (2020). Biodegradable chitosan coating for improving quality and controlling Alternaria alternata growth in figs. *World Journal of Advanced Research and Reviews*, *7*(2), 115–125. https://doi.org/10.30574/wjarr.2020.7.2.0246

Saberi, B., Golding, J. B., Marques, J. R., Pristijono, P., Chockchaisawasdee, S., Scarlett, C. J., & Stathopoulos, C. E. (2018). Application of biocomposite edible coatings based on pea starch and guar gum on quality, storability and shelf life of 'Valencia' oranges. *Postharvest Biology and Technology*, *137*, 9–20. https://doi.org/10.1016/j.postharvbio.2017.11.003

Sánchez-González, L., Vargas, M., González-Martínez, C., Chiralt, A., & Cháfer, M. (2011). Use of essential oils in bioactive edible coatings: A review. *Food Engineering Reviews*, *3*(1), 1–16. https://doi.org/10.1007/s12393-010-9031-3

Santos, K. L. dos, Panizzon, J., Cenci, M. M., Grabowski, G., & Jahno, V. D. (2020). Perdas e desperdícios de alimentos: reflexões sobre o atual cenário brasileiro. *Brazilian Journal of Food Technology*, *23*. https://doi.org/10.1590/1981-6723.13419

Sapper, M., & Chiralt, A. (2018). Starch-based coatings for preservation of fruits and vegetables. *Coatings*, *8*(5), 152. https://doi.org/10.3390/coatings8050152

Shafiee, M., Taghavi, T. S., & Babalar, M. (2010). Addition of salicylic acid to nutrient solution combined with postharvest treatments (hot water, salicylic acid, and calcium dipping) improved postharvest fruit quality of strawberry. *Scientia Horticulturae*, *124*(1), 40–45. https://doi.org/10.1016/j.scienta.2009.12.004

Sharma, P., Shehin, V. P., Kaur, N., & Vyas, P. (2019). Application of edible coatings on fresh and minimally processed vegetables: a review. *International Journal of Vegetable Science*, *25*(3), 295–314. https://doi.org/10.1080/19315260.2018.1510863

Silva, P. de C. e, Oliveira, A. C. S. de, Pereira, L. A. S., Valquíria, M., Carvalho, G. R., Miranda, K. W. E., Marconcini, J. M., & Oliveira, J. E. (2020). Development of bionanocomposites of pectin and nanoemulsions of carnauba wax and neem oil pectin/carnauba wax/neem oil composites. *Polymer Composites*, *41*(3), 858–870. https://doi.org/10.1002/pc.25416

Stuchi, E. S., Girardi, E. A., Silva, S. R., Sempionato, O. R., Parolin, L. G., Müller, G. W., & Donadio, L. C. (2020). Desempenho de clones pré-imunizados de laranjeiras Valência e Natal no Norte do Estado de São Paulo. *Citrus Research & Technology*, *41*. https://doi.org/10.4322/crt.20919

Sun, X., Wu, Q., Picha, D. H., Ferguson, M. H., Ndukwe, I. E., & Azadi, P. (2021). Comparative performance of bio-based coatings formulated with cellulose, chitin, and chitosan nanomaterials suitable for fruit preservation. *Carbohydrate Polymers*, *259*, 117764. https://doi.org/10.1016/j.carbpol.2021.117764

Tavares, F. D. O., Pieretti, G. G., Antigo, J. L., Pozza, M. S. dos S., Scapim, M. R. da S., & Madrona, G. S. (2014). Cobertura comestível adicionada de óleos essenciais de orégano e alecrim para uso em ricota. *Revista Do Instituto de Laticínios Cândido Tostes*, *69*(4), 249. https://doi.org/10.14295/2238-6416.v69i4.309

Valdés, A., Burgos, N., Jiménez, A., & Garrigós, M. C. (2015). Natural pectin polysaccharides as edible coatings. *Coatings*, *5*(4), 865–886. https://doi.org/10.3390/coatings5040865

Velickova, E., Winkelhausen, E., Kuzmanova, S., Alves, V. D., & Moldão-Martins, M. (2013). Impact of chitosan-beeswax edible coatings on the quality of fresh strawberries (*Fragaria ananassa* cv Camarosa) under commercial storage conditions. *LWT - Food Science and Technology*, *52*(2), 80–92. https://doi.org/10.1016/j.lwt.2013.02.004

Wang, F., Lu, M., Zhou, S., Lu, Z., & Ran, S. (2019). Effect of fiber surface modification on the interfacial adhesion and thermo-mechanical performance of unidirectional epoxy-based composites reinforced with bamboo fibers. *Molecules*, *24*(15), 2682. https://doi.org/10.3390/molecules24152682

White, G. W., Katona, T., & Zodda, J. P. (1999). The use of high-performance size exclusion chromatography (HPSEC) as a molecular weight screening technique for polygalacturonic acid for use in pharmaceutical applications. *Journal of Pharmaceutical and Biomedical Analysis*, *20*(6), 905–912. https://doi.org/10.1016/S0731-7085(99)00083-7

Xie, L., Hettiarachchy, N. S., Ju, Z. Y., Meullenet, J., Wang, H., Slavik, M. F., & Janes, M. E. (2002). Edible film coating to minimize eggshell breakage and reduce post-wash bacterial contamination measured by dye penetration in eggs. *Journal of Food Science*, *67*(1), 280–284. https://doi.org/10.1111/j.1365-2621.2002.tb11398.x

Yang, G., Yue, J., Gong, X., Qian, B., Wang, H., Deng, Y., & Zhao, Y. (2014). Blueberry leaf extracts incorporated chitosan coatings for preserving postharvest quality of fresh blueberries. *Postharvest Biology and Technology*, *92*, 46–53. https://doi.org/10.1016/j.postharvbio.2014.01.018

Yin, X. R., Xie, X. L., Xia, X. J., Yu, J. Q., Ferguson, I. B., Giovannoni, J. J., & Chen, K. S. (2016). Involvement of an ethylene response factor in chlorophyll degradation during citrus fruit degreening. *The Plant Journal : For Cell and Molecular Biology*, *86*(5), 403–412. https://doi.org/10.1111/tpj.13178