

Caracterizações de filmes sustentáveis para uso como embalagens primárias a base de polímero natural e óleo essencial de erva-doce

Characterizations of sustainable films for use as primary packaging based on natural polymer and fennel essential oil

Caracterizaciones de films sustentables para uso como empaque primario a base de polímero natural y aceite esencial de hinojo

Recebido: 24/01/2023 | Revisado: 26/02/2023 | Aceitado: 28/02/2023 | Publicado: 06/03/2023

Bruna dos Santos

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-5421-4800>
Universidade do Estado de São Paulo, Brasil
E-mail: brunadosantos@hotmail.com

Fabiola Medeiros da Costa

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-0845-4096>
Universidade do Estado de São Paulo, Brasil
E-mail: medeiros.costa@unesp.br

Fauze Ahmad Aouada

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-6870-6961>
Universidade do Estado de São Paulo, Brasil
E-mail: fauze.aouada@unesp.br

Marcia Regina de Moura

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-2534-5553>
Universidade do Estado de São Paulo, Brasil
E-mail: marcia.aouada@unesp.br

Resumo

Diante da crescente preocupação com os impactos ambientais relacionados ao uso de polímeros sintéticos, estudos visando à obtenção e aplicação de materiais poliméricos de fontes renováveis vêm aumentando, como por exemplo, o desenvolvimento de filmes comestíveis à base de polímeros naturais. Com isso, este trabalho teve como objetivo produzir filmes comestível e biodegradável por meio de uma matriz de polissacarídeos (goma arábica, carboximetilcelulose e alginato de sódio) com adição de óleo essencial (OE) de erva doce para possível utilização em embalagens primária de mistura de bolo de caixinha. Os filmes obtidos foram avaliados quanto a análise de espessura, permeabilidade ao vapor de água (WVP), solubilidade e propriedades mecânicas. As espessuras dos filmes foram diferentes, pois as condições de preparo nem sempre são as mesmas. Os valores de WVP aumentaram significativamente, em média 150 %, em relação aos filmes de controle com a incorporação de emulsão de OE e principalmente a goma arábica (GA). Com a adição de GA nos filmes de AS e CMC, diminuiu a tensão máxima e a alongação, pois uma quantidade menor de energia foi requerida para a ruptura do filme quando este sofreu um estresse mecânico. A solubilização dos filmes, em condições próximas ao preparo de um bolo na batedeira, mostrou-se eficiente. Com o desenvolvimento dessa pesquisa, foi possível atingir o objetivo inicial de obter uma solução filmogênica satisfatória e a formação de uma embalagem comestível contendo polissacarídeos e emulsão de óleo essencial de erva-doce.

Palavras-chave: Filmes comestíveis; Biopolímeros; Permeabilidade ao vapor de água; Propriedades mecânicas.

Abstract

In view of the growing concern about the environmental impacts related to the use of synthetic polymers, studies aimed at obtaining and applying polymeric materials from renewable sources have been increasing, such as the development of edible films based on natural polymers. Therefore, this work aimed to produce edible and biodegradable films using a matrix of polysaccharides (gum arabic, carboxymethylcellulose and sodium alginate) with the addition of anise essential oil (EO) for possible use in primary packaging for mixtures of box cake. The films obtained were evaluated for thickness analysis, water vapor permeability (WVP), solubility and mechanical properties. The film thicknesses were different, as the preparation conditions are not always the same. The WVP values increased significantly, on average 150%, in relation to the control films with the incorporation of EO emulsion and mainly gum arabic (GA). With the addition of GA in the AS and CMC films, the maximum tension and elongation decreased, since a smaller amount of energy was required for the rupture of the film when it suffered a mechanical stress. The solubilization of the films, in

conditions close to the preparation of a cake in the mixer, proved to be efficient. With the development of this research, it was possible to achieve the initial objective of obtaining a satisfactory filmogenic solution and the formation of an edible package containing polysaccharides and fennel essential oil emulsion.

Keywords: Edible films; Biopolymers; Water vapor permeability; Mechanical properties.

Resumen

Ante la creciente preocupación por los impactos ambientales relacionados con el uso de polímeros sintéticos, se han ido incrementando los estudios encaminados a la obtención y aplicación de materiales poliméricos a partir de fuentes renovables, como el desarrollo de películas comestibles a base de polímeros naturales. Por lo tanto, este trabajo tuvo como objetivo producir películas comestibles y biodegradables utilizando una matriz de polisacáridos (goma arábiga, carboximetilcelulosa y alginato de sodio) con la adición de aceite esencial de anís (AE) para su posible uso en el empaque primario para mezclas de torta de caja. Las películas obtenidas fueron evaluadas para análisis de espesor, permeabilidad al vapor de agua (WVP), solubilidad y propiedades mecánicas. Los espesores de película fueron diferentes, ya que las condiciones de preparación no son siempre las mismas. Los valores de WVP aumentaron significativamente, en promedio un 150%, en relación a las películas control con la incorporación de emulsión de EO y principalmente de goma arábiga (GA). Con la adición de GA en las películas de AS y CMC, la tensión y elongación máximas disminuyeron, ya que se requirió menor cantidad de energía para la ruptura de la película cuando esta sufrió un esfuerzo mecánico. La solubilización de las películas, en condiciones cercanas a la preparación de una torta en la batidora, demostró ser eficiente. Con el desarrollo de esta investigación se logró alcanzar el objetivo inicial de obtener una solución filmógena satisfactoria y la formación de un paquete comestible que contiene polisacáridos y emulsión de aceite esencial de hinojo.

Palabras clave: Películas comestibles; Biopolímeros; Permeabilidad al vapor de agua; Propiedades mecánicas.

1. Introdução

A embalagem é a arte, ciência e tecnologia para entregar produtos aos consumidores finais a preços econômicos de forma segura (Priyadarsh & Rhim, 2020).

O processo de embalagem de alimentos é de imensa importância quando se trata de preservação de alimentos frescos ou processados. Ele desempenha um papel importante em fazer com que o alimento, que é preparado em um local, esteja disponível para os consumidores em algum outro local após dias, semanas ou mesmo meses após a colheita ou fabricação inicial (Priyadarsh & Rhim, 2020). No entanto, o aumento da produção de alimentos e consumo de produtos industrializados resulta em uma preocupação causada pelo aumento do descarte dessas embalagens, pois a maioria dos materiais de embalagens de alimentos são fabricados com polímeros não-biodegradáveis, a base de petróleo, devido às suas excelentes propriedades ópticas e mecânicas, enquanto são uma barreira excepcional para oxigênio e água (Dash, et al., 2019; Ashori, 2008; Haq et al., 2014).

Segundo Shan et al. (2023), os impactos ambientais têm motivado pesquisas para produzir embalagens que atendam algumas características: sejam biodegradáveis e produzidas a partir de matéria-prima renovável; apresentem propriedades físicas iguais ou superiores às embalagens atualmente utilizadas, e; conservação que permita controlar a proliferação de microrganismos.

Neste contexto, as indústrias de embalagens e alimentos vêm unindo esforços para produzir embalagens a partir de materiais que possuam características biodegradáveis, que sejam renováveis, que tenham baixo custo e que apresentem propriedades físico-químicas comparáveis às daquelas derivadas de materiais petroquímicos (Wihodo & Moraru, 2013).

Para o desenvolvimento de embalagens biodegradáveis envolve a produção de filmes compostos pela combinação de diferentes polissacarídeos, proteínas e lipídios (Li et al., 2023). A fim de melhorar amplamente sua funcionalidade (Dash, et al., 2019), para isso, é necessário o uso de matrizes poliméricas de compostos orgânicos associados a agentes ativos funcionais que podem ser incluídos com os biopolímeros formadores de filmes para conferir funcionalidades extras (Dash, Ali, Das & Mohanta, 2019; Cao & Wang, 2011; Mohanty, et al., 2002). Além disso, a escolha do material a ser utilizado na formulação dos filmes deve levar em consideração as interações entre os componentes do material (Botre et al., 2010; Botre et al., 2007).

Assim, propriedades funcionais mais efetivas, tais como, aumento da atividade microbiana, melhoria mecânica, térmica, propriedade de barreira e adição de valor nutricional podem ser atingidas através da mistura de polissacarídeos, de polissacarídeos e proteínas, ou de polissacarídeos, proteínas e lipídios (Zhao et al., 2023; Mostafavi & Zaeim, 2020; Dash, et al., 2019; Mamani, 2009). Tais propriedades dependem da interação entre as moléculas, através de ligações de hidrogênio, para desenvolver uma rede contínua (Mostafavi & Zaeim, 2020).

No estudo de novas embalagens comestíveis aplicando biopolímeros, pode-se citar alguns polissacarídeos como, a goma arábica, carboximetilcelulose e alginato de sódio.

A goma arábica (GA) é um heteropolissacarídeo não tóxico, comestível e altamente ramificado com unidades de galactose, ramnose, arabinose e ácido glucurônico, com carga negativa, uma vez que contém cerca de 2 % da fração de proteína ligada covalentemente aos polissacarídeos (Xu et al., 2019; Dror, et al., 2006; Dickinson, 2003). É comumente usada na indústria alimentícia como um emulsificante, pois quando o GA é absorvido nas gotas da emulsão, uma membrana interfacial é produzida para ajudar a estabilizar a emulsão (Xu et al., 2019). A cadeia proteica mais hidrofóbica da goma arábica adsorve preferencialmente óleos, ancorando o complexo polissacarídeo na interface, enquanto que os blocos de polissacarídeos hidrofílicos conferem uma barreira que inibe a floculação e a coalescência, através de repulsões eletrostáticas (Rocha, 2009; Galdeano, 2007). A goma é negativamente carregada acima de pH 2,2, e baixos pH (< 2,2) a dissociação dos grupos carboxil é suprimida (Tonon, et al., 2011; Rocha, 2009; Williams & Phillips, 2000).

A carboximetilcelulose (CMC), também conhecida como goma de celulose, é um polímero aniônico derivado da celulose, possui cadeia linear, é solúvel em água sobre diferentes temperaturas formando soluções ou géis (Merle, et al., 1999; Baldwin, et al., 2011; Fernández-Santos et al., 2022). Sua estrutura tem como base a glucopirranose, que é derivada de um éter carboximético de celulose (Merle, et al., 1999). É utilizada para preparação de matrizes poliméricas, pois produz filmes translúcidos e capazes de transportar uma vasta gama de componentes ativos (Baldwin, et al., 2011; Fernández-Santos et al., 2022).

O alginato é um polissacarídeo extraído da parede de algas marrons (Belitz & Grosch, 1997; Wong, 1995). Pertence a uma família de copolímeros unidos linearmente por unidades de ácidos D-manurônico e L-gulurônico, sendo uma goma formada por sal do ácido alginico (Bobbio & Bobbio, 2001; Moe, et al., 1995; Shan et al., 2023). É solúvel em água, pois os grupamentos carboxil, presente em cada unidade de açúcar da cadeia são completamente ionizados (Wong, 1995).

Substâncias naturais que atualmente ganham destaque como agentes antimicrobianos associados às embalagens para alimentos, são os óleos essenciais (Zhao et al., 2023). São compostos naturais, voláteis e aromáticos de origem vegetal obtidos por processo físico, a destilação (Botre et al., 2010; Stieven, et al., 2009). Estas substâncias bactericidas, uma vez incorporadas às embalagens e em contato com o alimento, podem migrar de forma lenta e constante por difusão ou separação para a superfície do produto, de modo que a atividade antimicrobiana ocorra com maior intensidade onde se faz necessário (Coma, 2008).

O óleo essencial de erva doce (*Foeniculum vulgare*) é utilizado por exercer efeito antimicrobiano, provocando alterações na estrutura e funções dos microrganismos, devido a presença de compostos aromático e fenólica (Gulfranz et al., 2008; Holley & Patel, 2005).

Contudo, o objetivo deste trabalho foi desenvolver soluções filmogênicas para a preparação de filmes comestíveis elaboradas por biopolímeros e emulsão de óleo essencial de erva-doce e como possível aplicação em embalagens plásticas primárias convencionais contidas em alimentos farináceos.

2. Metodologia

Materiais

Goma Arábica – Dinâmica (Indaiatuba/SP); carboximetilcelulose - LabySynth (Diadema/SP); alginato de sódio – Cromoline (Diadema/SP), e; óleo essencial de erva doce – Ferquima (Vargem Grande Paulista/SP).

Preparo das soluções filmogênicas

Para iniciar o preparo das soluções filmogênicas, as emulsões foram obtidas a partir da mistura da fase dispersa de óleo essencial e goma arábica, agitadas com agitador mecânico UltraTurrax®T18 (IKA, Alemanha) a 14.000 rpm por 3 min. para garantir homogeneização e solubilização completa. Em sequência, os polímeros foram diluídos na solução já preparada por 24 horas em agitador magnético até dissolução completa.

Inicialmente foram produzidos filmes variando-se a concentração dos polímeros naturais. Os filmes foram preparados conforme Tabela 1. Onde CMC (Carboximetilcelulose), AS (Alginato de Sódio), GA (Goma Arábica) e OE (Óleo Essencial de erva doce).

Tabela 1 - Proporções das formulações dos seis tipos de filme.

Solução Filmogênica de CMC e Emulsão GA+OE		
CMC	GA	OE
1,5	0	0
1,5	1	0
1,5	1	1
Solução Filmogênica de AS e Emulsão GA+OE		
AS	GA	OE
1,5	0	0
1,5	1	0
1,5	1	1,5

Fonte: Elaborada pelos autores.

As soluções filmogênicas foram depositadas em substrato de poliéster retangular (15 cm x 20 cm) para secagem por método *casting* à temperatura ambiente por 48 horas.

Padronizou-se para cada filme a deposição de 150 mL de solução filmogênica. Antes de realizar as caracterizações dos filmes, as amostras foram acondicionadas em um dessecador contendo sílica, durante 24 horas a (25 ± 2) °C, em umidade relativa constante de (50 ± 2) %.

Determinação de espessura

As medidas de espessura dos filmes foram realizadas utilizando um micrômetro digital (No. 7326, Mitutoyo Corp., Kanagawa, Japão) com precisão de 0,001mm. Foram coletadas cinco medidas de cada amostra em diferente área das amostras dos filmes. Os valores obtidos foram utilizados para calcular as propriedades mecânicas, permeabilidade de vapor de água e solubilidade dos filmes.

Microscopia eletrônica de varredura (MEV)

Análises de superfície dos filmes foram obtidas pela utilização do microscópio eletrônico de varredura computadorizado, marca Carl Zeiss (Alemanha) modelo EVO LS15, da UNESP, Campus de Ilha Solteira. Sobre as amostras foram depositadas uma fina camada de ouro utilizando um Sputter Coater (metalizador) da marca Quorum e modelo Q150TE. Em seguida, as amostras foram fixadas no stub e o equipamento foi operado com voltagem de 5,0 kV e 10,0 kV.

Permeabilidade ao Vapor de Água (WVP)

Os valores de WVP foram determinados de acordo com o método gravimétrico modificado, baseado na norma ASTM E96-80 (ASTM, 1980), utilizada para determinar a umidade relativa (RH) na parte inferior dos filmes (Moura et al., 2009).

Para cada tipo de filme foram utilizadas 3 amostras moldadas em círculos com 60 ± 1 mm de diâmetro e fixadas nas celas de permeabilidade padronizadas de polo(metil-metacrilato). Foram depositadas em cada cela 6 mL de água destilada em seu interior com a finalidade de aumentar a Umidade Relativa (RH), proporcionando assim, uma diferença de umidade entre o interior da cela e o meio externo. Após preparadas, foram dispostas na estufa em ambiente controlado, faixa de temperatura 25 ± 5 °C e umidade relativa 50 ± 5 %, sendo mantidas nessas condições por 48 horas.

Para determinação da quantidade de água transferida por meio do filme foi utilizada balança de precisão analítica para pesagens periódica das celas. O ensaio foi realizado em quintuplicata, para cada amostra, para assim calcular os valores de WVP ($\text{g}\cdot\text{mm}\cdot\text{kPa}\cdot\text{h}^{-1}\cdot\text{m}^{-2}$).

Utilizando os valores de WVTR (Velocidade de Transmissão de Vapor de Água), foi determinado o valor de WVP para os filmes, por meio das equações de 1, 2 e 3.

$$\text{Velocidade de transmissão do vapor de água (WVTR)} = \frac{\text{perda de massa por tempo}}{\text{área do filme}} \quad (1)$$

$$WVRT = \frac{mw \cdot P \cdot D \cdot \ln\left[\frac{(P-P_2)}{(P-P_1)}\right]}{R \cdot T \cdot z} \quad (2)$$

$$RH = \frac{P_2}{P_1} \cdot 100 \quad (3)$$

A permeabilidade ao vapor de água (WVP) foi calculada através da seguinte equação (4):

$$WVP = \frac{WVTR}{(P_2 - P_1)} \cdot y \quad (4)$$

Onde:

mw: massa molar da água ($18 \text{ g}\cdot\text{mol}^{-1}$);

D: difusividade do vapor de água pelo ar a 298 K ($0,102 \text{ m}^2\cdot\text{s}^{-1}$);

P: pressão total (1 atm);

R: constante dos gases ($82,1 \cdot 10^{-6} \text{ m}^3 \text{ atm/g mol K}$);

Z: altura média atingida pelo gás inerte;

P₁: pressão saturada de vapor a 298 K ($0,0313 \text{ m}^2\cdot\text{s}^{-1}$);

P₂: pressão parcial de vapor da parte inferior do filme;

P_3 : pressão parcial de vapor da parte superior do filme;

y: espessura média dos filmes.

Propriedade Mecânica

Para a caracterização de propriedades mecânicas dos materiais fez-se uso do equipamento *Instron Universal Testing Machine* (Modelo 3369, Instron Corp., Canton, Mass., U.S.A.), operando com carga de 100 N e com velocidade de tracionamento de 10 mm.min⁻¹.

Os corpos de provas foram cortados em formato retangular, 100 mm de comprimento e 13 mm de largura, com pelo menos 6 corpos de provas de cada tipo de filme de acordo com a norma ASTM D882-12 (ASTM, 2012).

Assim, com o ensaio mecânico de tensão *versus* deformação sob tração foi possível determinar a tensão máxima (σ) (resistência à tração), percentual máximo de deformação até a ruptura (ϵ) e módulo de elasticidade. A tensão (σ) foi determinada medindo-se a força necessária para romper o filme pela Equação 5:

$$\sigma = \frac{F}{S} \quad (5)$$

A deformação na ruptura (ϵ) dos filmes foi determinada pela Equação 6:

$$\epsilon = \ln \left(\frac{L}{L_0} \right) \cdot 100 \quad (6)$$

Onde:

F: Força de ruptura exercida (N);

S: Área seccional do filme (mm²);

L: comprimentos de alongação do filme durante o experimento (mm), e;

L₀: comprimento inicial do filme no início do experimento (mm).

Solubilidade dos filmes em água

A designação da solubilidade dos filmes em água foi realizada de acordo com o método modificado por Gontard, et al., (1994).

A solubilidade em água dos filmes é definida como a quantidade de matéria seca solubilizada após 24 h de imersão em água, e medida de acordo com Peña et al. (2010).

Primeiramente, os filmes foram cortados em formato de discos, 2 cm de diâmetro, secos em estufa, a 100 °C por 24 horas, e pesados em balança analítica para a determinação da porcentagem inicial de matéria seca (m_i).

Em seguida, as amostras foram imersas em 50 mL de água destilada a temperatura ambiente por 24 horas sob agitação, em *shaker orbital* (MA-410, Marconi, Brasil), a 70 rpm.

Após a imersão, filtrou-se as misturas e o material não solubilizado foi disposto em estufa a 100 °C por 24 horas e pesado para determinação da quantidade de matéria seca não solubilizada (m_f).

Calculou-se a massa de filme que solubilizou em água, ou seja, o teor de matéria solúvel, utilizando a Equação 7:

$$MS = [(m_i - m_f) / m_i] \times 100 \quad (7)$$

onde:

MS: porcentagem de material solubilizado (%);

m_i : massa inicial do material seco (g), e;

m_f : massa final do material seco não solubilizado (g).

Solubilização dos filmes

Foram otimizados dois testes de solubilização dos filmes pelos autores, uma vez que não há estudos referentes à esta aplicação para os filmes desenvolvidos. Ambos consistiram em agitar os filmes em água e leite com a finalidade de avaliar o tempo necessário para que os filmes solubilizassem e se assimilarem ao processo de preparo do bolo.

Para ambos os testes, os filmes foram cortados nas dimensões de 5 x 5 cm e colocados individualmente em 100 mL de água destilada e leite em agitação de 300 rpm.

Utilizando um cronômetro digital foi registrado o tempo necessário para que o filme, logo após total imersão no meio, se solubilizasse e visualmente não fosse observado nenhuma porção não solubilizada.

3. Resultados e Discussão

Espessura

A espessura é definida como a distância entre as duas superfícies principais do material e é um dos parâmetros que influencia as propriedades dos filmes, pois, conhecendo-se a espessura, é possível obter informações sobre a resistência mecânica, as propriedades de barreira a gases e ao vapor d'água (CETEA, 1996).

A espessura do filme é importante para avaliar a homogeneidade, para definir a uniformidade das amostras, repetibilidade das medidas das propriedades e validade das comparações entre as propriedades dos filmes (Cuq et al., 1996). A Tabela 2 apresenta os resultados da espessura média (mm) dos diferentes tipos de filmes obtidos.

Tabela 2 - Espessura dos diferentes tipos de filmes desenvolvidos.

Filmes	Espessura (mm)
AS	0,027 ± 0,001
AS+GA	0,034 ± 0,019
AS+GA+OE	0,038 ± 0,014
CMC	0,040 ± 0,001
CMC+GA	0,058 ± 0,001
CMC+GA+OE	0,061 ± 0,000

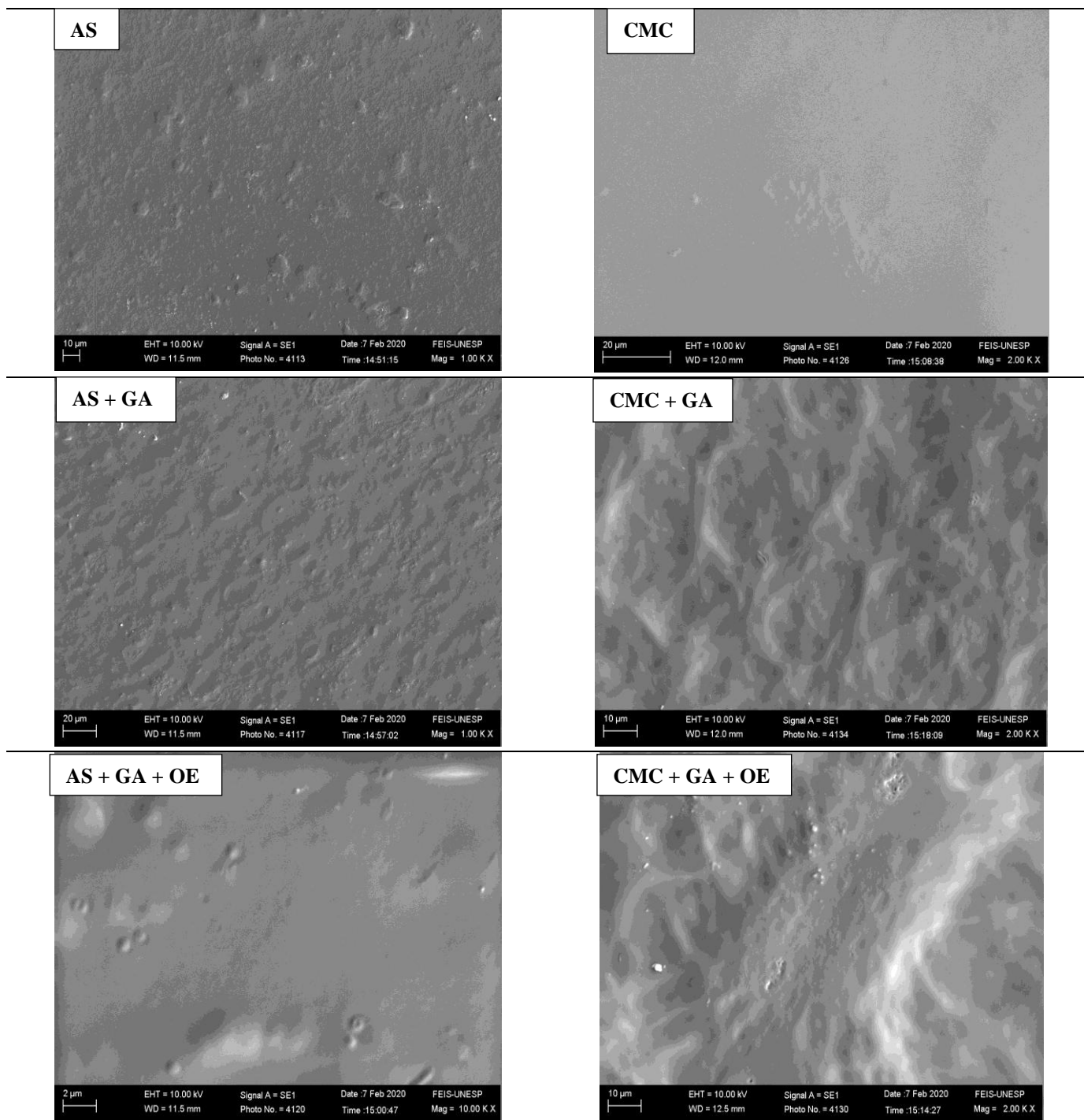
Fonte: Elaborado pelos autores.

As diferenças de espessuras dos filmes se justificam pelo fato de que as condições de preparo dos filmes nem sempre são as mesmas, resultados semelhantes aos encontrados na literatura (Fraguas et al., 2015).

Micrografia eletrônica de varredura – MEV

Em função da grande profundidade de foco e da alta resolução, as visualizações da estrutura da superfície dos filmes permite avaliar os efeitos dos componentes dos filmes (Carvalho, 2002). Na Figura 1 tem-se as micrografias dos filmes AS, CMC, AS + GA, CMC + GA, AS + GA + OE e CMC + GA + OE.

Figura 1 - Micrografias de superfície das amostras de Alginato de Sódio e Carboximetilcelulose sem e com Goma Arábica e Óleo essencial de erva doce.



Fonte: Elaborado pelos autores.

A amostra controle de AS apresenta superfície lisa e homogênea, diferenciando-se das micrografias dos filmes com as emulsões, e a superfície apresentou estrutura firme, densa e coesa, porém com algumas rugosidades. A micrografia de CMC (controle) também mostra que a superfície é lisa e homogênea, sem separação de fases ou formação de aglomerados.

A micrografia AS + GA apresenta morfologia levemente mais rugosa e granulada com irregularidades na superfície. Essa mudança na textura da superfície do filme, quando adicionada a GA, está relacionada possivelmente a formação de

aglomerados causados pela difícil interação entre os componentes dos filmes, como consequência da ramificação das cadeias poliméricas da GA.

A superfície do filme CMC + GA é mais coesa e compacta quando comparada com a superfície do filme AS + GA, indicando melhor compatibilidade entre os polissacarídeos. Em relação a imagem do filme de CMC puro, percebe-se que esse material de CMC + GA apresenta mais irregularidades.

Já na micrografia de AS + GA + OE foi possível identificar que houve alteração quanto à rugosidade superficial, ao comparar com AS + GA, percebe-se uma segregação de fases em alguns pontos.

Os filmes de CMC + GA + OE e AS + GA + OE apresentaram algumas fraturas na superfície e que podem ser provenientes do enrugamento da superfície durante o processo de secagem, “casting”, pela adição do OE, refletindo que o OE levou a separação de fases e diminuição da miscibilidade do sistema de fase, que pode ocorrer pela presença de uma fase mais hidrofóbica e outra mais hidrofílica (Charles et al., 2005).

Nas micrografias das amostras de filme contendo óleo essencial de erva doce depreende-se estruturas parecidas com cristais sobre a matriz polimérica de CMC e AS. Essas estruturas que se assemelham a cristais, visualmente foram formados pelo óleo essencial. Isso pode ser justificado pela estrutura molecular do óleo essencial, constituída com fenol. Fenóis são caracterizados por uma ou mais hidroxilas ligadas a um anel aromático, normalmente são sólidos, cristalinos e pouco solúveis em água.

Permeabilidade ao Vapor de Água (WVP)

A permeabilidade ao vapor de água (WVP) é considerada uma das propriedades de barreira de materiais. As propriedades de barreira são definidas como a capacidade do material em resistir à absorção ou à evaporação de gases e vapores, à permeação de lipídios e à passagem de luz (Sarantópoulos & Gomes, 2002). A WVP ocorre devido a diferença de umidade relativa dentro das celas utilizadas. Esta análise mede a capacidade do vapor de água em se difundir em uma região com menor ambiente de pressão de vapor de água a partir de uma região com maior pressão de vapor de água.

A embalagem deve ter como principal função evitar ou pelo menos diminuir a transferência de umidade entre o alimento e o meio externo, ou entre dois componentes de um alimento heterogêneo (Mali & Grossmann, 2003). Com base nesse fator, é importante o conhecimento dos valores de permeabilidade do vapor de água.

A espessura média dos filmes foi utilizada para os cálculos de WVP. Os resultados obtidos da permeabilidade ao vapor de água para os filmes são apresentados na Tabela 3.

Tabela 3 - Valores de permeabilidade ao vapor de água dos filmes.

Tipos de filmes	WVP (g-mm/kPa-h-m ²)
AS	0,139 ^a ± 0,009
AS+GA	0,266 ^b ± 0,012
AS+GA+OE	0,366 ^c ± 0,016
CMC	0,259 ^a ± 0,002
CMC+GA	0,584 ^b ± 0,013
CMC+GA+OE	0,629 ^b ± 0,015

Fonte: Elaborado pelos autores.

Como mostrado na Tabela 3, ocorreu um aumento significativo no valor de WVP para os filmes de AS incorporado com emulsão de OE de erva doce em relação aos filmes controle de AS, 0,227 g-mm/kPa-h-m², representando um aumento de 163 % na permeabilidade ao vapor de água, ou seja, o vapor passa mais facilmente pela barreira (filmes).

O mesmo aconteceu para os filmes de CMC incorporado com emulsão de OE de erva doce em relação aos filmes de controle de CMC, 0,370 g-mm/kPa-h-m², representando um aumento de 142 % na permeabilidade ao vapor de água.

É possível concluir, a partir dos resultados obtidos, que o aumento no valor do WVP ao incorporar GA ao filme controle indica que não formou uma boa integração entre os polissacarídeos. Sendo os filmes de polissacarídeos puro tanto AS quanto CMC mais eficientes como barreira ao vapor de água quando comparados aos filmes incorporados polissacarídeo (GA) e OE pois, quando menor o valor de WVP mais eficiente o filme é como barreira ao vapor de água. Além disso, a tendência com a incorporação de OE em matrizes poliméricas é a diminuição da permeabilidade ao vapor de água (Sahraee, et al., 2017).

Quando comparado os filmes de AS e CMC, Tabela 3, os filmes de CMC+GA+OE apresentaram maior valor de WVP, 58 % maior que os filmes de AS+GA+OE.

Os filmes de AS apresentarem menor valor de WVP comparados aos filmes de CMC, 0,120 g-mm/kPa-h-m², representando 53 % de diferença na permeabilidade ao vapor de água, ou seja, o filme de AS é mais eficiente como barreira ao vapor de água em 53 % do que o CMC.

O valor de WVP é dependente das características microestruturais do filme, relacionando a formação de uma superfície heterogênea e aumento da porosidade quando o óleo essencial foi adicionado na matriz de polissacarídeo (Atarés et al., 2010).

Alguns fatores influenciam a permeabilidade dos filmes, como a concentração dos plastificantes, sua morfologia, característica das moléculas permeantes, além das interações entre as cadeias poliméricas. Outro fator que deve ser levado em consideração é a espessura dos filmes, devido a mudanças estruturais causadas pelo intumescimento do filme, que afeta a estrutura interna, podendo influenciar a permeação (Horn, 2012). Neste caso, a emulsão de OE com GA pode estar agindo como um plastificante através da interação com os domínios hidrofóbicos do AS e CMC, afastando e dificultando as interações entre cadeias, o que aumenta o volume do sistema, favorecendo a mobilidade das cadeias da matriz e a passagem de moléculas de vapor de água.

Segundo Gontard e Guilbert (1996), filmes com satisfatórias propriedades de barreira à umidade são requeridos para um grande número de aplicações por evitar o ganho ou perda de umidade, ou seja, embalagens com boa barreira de vapor de água para produtos sensíveis a umidade permite que a qualidade intrínseca seja mantida por mais tempo. Sendo assim, os filmes de AS podem-se considerá-los mais satisfatórios para aplicação do que o de CMC quando avaliado WVP.

A migração de vapor de água é um dos principais fatores de alteração da qualidade sensorial, características microbiológicas, físico-químicas e organolépticas bem como da estabilidade de estocagem (Gontard & Guilbert, 1996; Gontard Duchez, et al., 1994). O seu conhecimento é imprescindível para eventuais aplicações dos filmes em embalagens, porém não é uma propriedade restritiva.

Propriedade Mecânica

As propriedades mecânicas de tração são úteis para a identificação e caracterização de filmes, pois expressam a resistência do material ao alongamento e ao rompimento quando submetidos à tração.

A tensão máxima (TM), é a tensão de tração máxima que o filme pode suportar, e a elongação na ruptura (E), representa a variação máxima de uma amostra antes da fratura, são parâmetros utilizados para associar algumas propriedades mecânicas às estruturas químicas dos materiais (Otoni et al., 2014).

As propriedades mecânicas podem ser afetadas por diversos fatores, como as condições de secagem, interações entre os componentes, principalmente, e parâmetros utilizados para associar certas propriedades mecânicas às estruturas químicas dos materiais (Otoni et al., 2014).

Através dos ensaios mecânicos foi possível obter os valores referentes à tensão máxima (σ) e o percentual máximo de alongação dos filmes. Na Tabela 4 observa-se a variação nos valores de tensão em função da composição dos filmes.

Tabela 4 - Valores de tensão máxima (σ) dos filmes.

Filmes	Tensão (MPa)
AS	128,81 ^a ± 4,68
AS+GA	85,76 ^b ± 6,36
AS+GA+OE	78,22 ^c ± 5,42
CMC	86,84 ^a ± 3,72
CMC+GA	64,41 ^b ± 3,75
CMC+GA+OE	58,41 ^c ± 4,22

Fonte: Elaborado pelos autores.

Quando os filmes são submetidos à um estresse mecânico, as cadeias absorvem a energia de diferentes formas. Parte da energia é absorvida pelo alongamento das ligações, permitindo assim um alinhamento das cadeias do polissacarídeo sem que ocorra a ruptura.

Dos resultados obtidos de tensão máxima, ao comparar as matrizes com os filmes incorporados com goma arábica e óleo essencial, observa-se uma considerada redução na resistência às forças de tensão, sendo 39 % do filme de alginato de sódio e 33 % de carboximetilcelulose.

O valor da tensão diminuiu significativamente quando incorporado GA na matriz polimérica, os resultados indicam atrações eletrostáticas inadequadas e, assim, reduziu a resistência mecânica dos filmes (Xu et al., 2019).

Esse resultado pode estar associado com a presença da goma arábica, que tem um comportamento de uma estrutura altamente ramificada que pode dificultar interações entre as matrizes que podem contribuir para reduzir a resistência. Segundo estudos realizados por Lucas et al. (2001), baixa propriedades mecânicas e térmicas são ocasionadas por interações intermoleculares fracas (ligações de hidrogênio e interações de *Van der Waals*) entre as cadeias do biopolímero.

As moléculas de AS e CMC podem ser conectadas a moléculas de GA com interações eletrostáticas e tendem a formar uma estrutura globular. Tal estrutura resultou na diminuição da resistência à tração dos filmes compostos (Xu et al., 2019).

Comparando os resultados obtidos entre os polissacarídeos base, os filmes de AS apresentaram melhor resistência à força de tensão do que os filmes de CMC.

A alongação está relacionada a capacidade de deformação do filme até a sua ruptura. Com a adição de GA nos filmes de AS e CMC, diminuiu a tensão máxima de ruptura e a alongação, conforme mostrado nas Tabelas 4 e 5, uma quantidade menor de energia foi requerida para a ruptura do filme quando este sofreu um estresse mecânico, devido ao enfraquecimento das ligações de hidrogênio (Xu et al., 2019).

Tabela 5 – Valores de deformação máxima (ϵ) até a ruptura dos filmes.

Tipos de filmes	Deformação (%)
AS	6,10 ^a ± 1,03
AS+GA	1,92 ^b ± 0,40
AS+GA+OE	1,84 ^b ± 0,40
CMC	6,75 ^a ± 1,21
CMC+GA	1,73 ^b ± 0,14
CMC+GA+OE	1,57 ^b ± 0,40

Fonte: Elaborado pelos autores.

Outra razão pode ser a diminuição dos efeitos de plastificação, devido à diminuição do teor de umidade do filme. Esses resultados foram semelhantes aos relatados por (Xu et al., 2019; Sakloetsakun, et al., 2016; Tsai et al., 2014), cujos filmes compostos tendiam a ser frágeis com o aumento do GA, e os autores sugeriram que as microestruturas tipo globo podem ser a razão para a capacidade de extensão reduzida dos filmes.

No entanto, a interação entre o AS e GA e entre CMC e GA apresentou efeito negativo, ou seja, o módulo diminui, e isso pode ser traduzido em filmes menos flexíveis.

Pode ter ocorrido a aglomeração de partes do material AS ou CMC em algumas regiões e aglomeração de AG em outras partes, nos diferentes filmes, o que poderia causar pontos de rigidez e quebra no material. Essa aglomeração pode aparecer por compatibilidade química das estruturas.

As propriedades mecânicas dos filmes dependem das interações entre os componentes, ou seja, da formação de ligações moleculares fortes ou numerosas entre as cadeias (Henrique, 2002).

Para manter a integridade e a propriedade de barreira, os filmes devem ser hábeis em resistir ao estresse normal encontrado durante sua aplicação subsequente. Normalmente, uma alta resistência é requerida, mas os valores de deformação devem ser ajustados de acordo com a aplicação (Henrique, 2002).

Solubilidade dos filmes em água

A solubilidade em água de filmes comestíveis é uma caracterização importante, uma vez que algumas aplicações necessitam que os filmes sejam insolúveis e resistentes na presença de água, enquanto para outras é melhor uma maior porcentagem de solubilidade (Gontard, et al., 1994).

A solubilidade em filmes comestíveis indica a sua integridade num ambiente aquoso, sendo que uma alta solubilidade pode indicar que os filmes apresentam baixa resistência à água. Além disso, é um fator importante que determina a biodegradabilidade quando usados como embalagem (Maizura et al., 2007).

A solubilidade foi calculada como a relação entre a matéria seca final e a matéria seca inicial, apresentado na Tabela 6.

Tabela 6 - Valores de Solubilidade.

Tipos de filmes	Solubilidade (%)
CMC+GA	63,67 ± 3,40
CMC+GA+OE	73,99 ± 4,80

Fonte: Elaborado pelos autores.

Os filmes AS, AS+GA, AS+GA+OE e CMC foram 100 % solubilizados. Embora uma menor solubilidade dos filmes comestíveis seja necessária considerando o destino para embalagem, a alta solubilidade dos filmes comestíveis é vantajosa quando se deseja cozinhar um alimento e o mesmo se encontra revestido com filmes comestíveis (Maizura et al., 2007).

Os filmes de CMC+GA apresentaram menor porcentagem de solubilidade (63,67 %), porém com a incorporação do óleo essencial ocorreu um aumento de 10 % na solubilidade dos filmes (73,99 %). Esse resultado corrobora com o que foi observado no teste de permeabilidade ao vapor de água, em que a adição desses componentes aumentou a passagem do vapor de água.

Os filmes, CMC+GA+OE, apresentaram alto valores permeáveis a água e de solubilidade. Isso acontece pelo fato de que a solubilização do vapor na superfície do filme depende da afinidade química da água pela matriz do filme. Matrizes com mais grupos hidrofílicos apresentam maior afinidade pelos vapores de água o que facilita a permeação e também matrizes com caminhos permeantes. Esses caminhos podem ser formados pela formação de poros, ou por ilhas de grupos hidrofílicos que se formam naturalmente na matriz, entre outras maneiras.

Solubilização dos filmes em água e leite

Todos os filmes foram solubilizados em menos de 1 minuto em temperatura ambiente, tanto em água destilada quanto em leite, de acordo com as metodologias empregadas.

Tais resultados são consonantes com os valores de solubilidade e permeabilidade ao vapor de água obtidos anteriormente. A partir dessas considerações, a solubilização dos filmes, em condições próximas ao preparo de um bolo na batedeira, mostrou-se eficiente, pois o tempo requerido foi em torno de um minuto, além disso a solução obtida foi homogênea, não houve separação de fases e sedimentação de partículas no recipiente.

4. Conclusão

Com o desenvolvimento dessa pesquisa, foi possível atingir o objetivo inicial de obter uma solução filmogênica satisfatória e a formação de uma embalagem comestível contendo polissacarídeos e emulsão de óleo essencial de erva-doce. O teste de permeabilidade ao vapor de água permitiu identificar que os filmes apresentam propriedades de barreira compatíveis com materiais aplicados em embalagem. Os testes mecânicos mostraram que os materiais apresentaram resistência mecânica de tração semelhante as obtidas em embalagens tradicionais, apesar da percepção de um decréscimo na resistência e alongação dos filmes contendo os componentes na totalidade. Os filmes apresentaram elevado valores de solubilidade e solubilização em água e leite, característica de suma importância para possível aplicação desejada.

Agradecimentos

Os autores agradecem ao CNPq (Processos: N° 315513/2021-7), FAPESP (Processos: 2019/06170-1 e 2013/07296-2); CAPES (código: 001.2019) e CAPES-PRINT/UNESP (Process: 88887.194785/2018-00).

Referências

- American Society for Testing and Materials (ASTM). (1980). Standard test method for water vapor transmission of materials. *ASTM E96-80*, Philadelphia, PA.
- Ashori, A. (2008). Wood-plastic composites as promising green-composites for automotive industries. *Elsevier: Bioresource Technology*. 99, 4661-7.
- Atarés, L., De Jesús, C., Talens, P., & Chiralt, A. (2010). Characterization of SPI-based edible films incorporated with cinnamon or ginger essential oils. *Journal of Food Engineering*, Essex. 99 (3), 384-91.
- Baldwin, E. A., Hagenmaier, R., & Bai, J. (2011). *Edible coatings and films to improve food quality* (2a ed.) CRC Press ed. Boca Raton, FL: Taylor & Francis Group.

- Belitz, H. D., & Grosch, W. (1997). *Química de los alimentos*. (2a ed., pp. 1087). Zaragoza: Acrfibia S.A.
- Bobbio, A. P., & Bobbio, F. O. (2001). *Material de Embalagem: Química de Processamento de Alimentos* (3a ed., Cap. 10, pp. 135-42). São Paulo: Varela.
- Botre, D. A., Soares, N. F. F., Epítia, P. J. P., Sousa, S., & Renhe, I. R.T. (2010). Avaliação de filme incorporado com óleo essencial de orégano para conservação de pizza pronta. *Revista Ceres*, 57 (3), 283-91.
- Botre, D. A., Soares, N. F. F., Geraldine, R. M., Pereira, R. M., & Fontes, E. A. F. (2007). Quality of minimally processed garlic (*Allium sativum*) coated with antimicrobial edible coating. *Revista Ciência e Tecnologia de Alimentos*. 27(1), 32-8.
- Cao, G., & Wang, Y. (2011). *Nanostructures and Nanomaterials: Synthesis, Properties, and Applications* (2a ed., Cap.9, pp. 509 -59). Louisiana State University, USA: World Scientific.
- Carvalho, R. A. (2002). *Elaboração e caracterização de filmes à base de gelatina modificada enzimaticamente e quimicamente* (Tese de doutorado). Universidade Estadual de Campinas, Campinas, SP, Brasil.
- Centro de tecnologia de embalagens – CETEA. (1996). *Ensaio para avaliação de embalagens plásticas flexíveis*. Campinas: ITAL.
- Charles, A., Chang, Y. H., Ko, W. C., Sririth, K., & Huang, T. C. (2005). Influence of amylopectin structure and amylose content on the gelling properties of five cultivars of cassava starches. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*. 53, 2717-25.
- Coma, V. (2008). Bioactive packaging Technologies for extended shelf life of meat-based products. *Meat Science*. 78 (1-2), 90-103.
- Cuq, B., Gontard, N., Cuq, J. L., & Guilbert, S. (1996). Functional properties of myofibrillar protein-based biopackaging as effected by film thickness. *Journal of Food Science*. 61(3), 580-4.
- Dash, K. K., Ali, N. A., Das, D., & Mohanta, D. (2019). Thorough evaluation of sweet potato starch and lemon-waste pectin based-edible films with nanotitania inclusions for food packaging applications. *International Journal of Biological Macromolecules*. 139, 449–58.
- Dickinson, E. (2003). Hydrocolloids at interface and the influence on the properties of dispersed systems. *Food Hydrocolloids*. 17, 25-39.
- Dror, Y., Cohen, Y., & Yerushalmi-Rozen, R. (2006). Structure of Gum Arabic in Aqueous Solution. *Journal of Polymer Science: Part B: Polymer Physics*. 44, 3265-71.
- Fernández-Santos, J., Valls, C., Cusola, O., & Roncero, M. B. (2022). Composites of cellulose nanocrystals in combination with either cellulose nanofibril or carboxymethylcellulose as functional packaging films. *International Journal of Biological Macromolecules*. 211, 218-29.
- Fraguas, R. M, Simão, A. A., Faria, P. V., Queiroz, E. R., Oliveira Júnior, Ê. N., & Abreu, C. M. P. (2015). Preparo e caracterização de filmes comestíveis de quitosana. *Polímeros*. 25, 48-53.
- Galdeano, M. C. (2007). *Filmes e laminados biodegradáveis de amido de aveia com diferentes plastificantes, produzidos por casting e extrusão* (Tese de Doutorado). Universidade Estadual de Londrina, Londrina, PR, Brasil.
- Gontard, N., & Guilbert, S. (1996). Bio-packaging: Technology and properties of edible and/or biodegradable material of agricultural origin. *Boletim da Sociedade Brasileira de Ciência e Tecnologia de Alimentos*. 30 (1), 3-15.
- Gontard, N., Duchez, C., Cuq, J. L., & Guilbert, S. (1994). Edible composite films of wheat gluten and lipids: water vapour permeability and other physical properties. *International Journal of Food Science and Technology*. 29, 39-50.
- Gulfraz, M., Mehmood, S., Minhas, N, Jabeen, N., & Arshad, G. (2008). Composition and antimicrobial properties of essential oil of *Foeniculum vulgare*. *African Journal of Biotechnology*. 7 (24), 4364-8.
- Haq, M. A., Hasnain, A., & Azam, M. (2014). Characterization of edible gum cordia film: effects of plasticizers. *LWT – Food Science and Technology*. 55(1), 163-9.
- Henrique, C. M. (2002). *Caracterização de filmes de féculas modificadas de mandioca como subsídios para aplicação em pós-colheita de hortícolas* (Tese de doutorado). Universidade do Estado de São Paulo, Botucatu, SP, Brasil.
- Holley, R. A., & Patel, D. (2005). Improvement in shelf-life and safety of perishable foods by plant essential oil and smoke antimicrobials. *Food Microbiology*. 22 (4), 273-92.
- Horn, M. M. (2012). *Blendas e filmes de quitosana/amido: estudo da influência da adição de polióis, oxidação do amido e razão amilose/amilopectina nas suas propriedades* (Tese de doutorado). Universidade de São Paulo, São Carlos, SP, Brasil.
- Li, Y., Shan, P., Yu, F., Li, H., & Peng, L. (2023). Fabrication and characterization of waste fish scale-derived gelatin/sodium alginate/carvacrol loaded ZIF-8 nanoparticles composite films with sustained antibacterial activity for active food packaging. *International Journal of Biological Macromolecules*. 230, 123192.
- Lucas, E. F., Soares, B. G., & Monteiro, E. (2001). *Caracterização de Polímeros: Determinação de Peso Molecular e Análise Térmica* (1ª ed.). Rio de Janeiro: E-papers.
- Maizura, M., Fazilah, A., Norziah, M. H., & Karim, A. A. (2007). Antibacterial activity and mechanical properties of partially hydrolyzed sago starch-alginate edible film containing lemongrass oil. *Journal of Food Science – Food Chemistry and Toxicology*. 72 (6), 324-30.
- Mali, S., & Grossmann, M. V. E. (2003). Effects of yam starch films on storability and quality of fresh strawberries (*Fragaria ananassa*). *Journal of Agricultural and Food Chemistry*. 51 (24), 7005-11.

- Mamani, H. N. C. (2009). Produção e caracterização de filmes compostos de metilcelulose, glucomanana, pectina, gelatina e lipídios (Tese de doutorado). Universidade Estadual de Campinas, Campinas, SP, Brasil.
- Merle, L., Charpentier, D., Mocanu, G., & Chapelle, S. (1999). Comparison of the distribution pattern of associative carboxymethylcellulose derivatives. *European Polymer Journal*. 35 (1), 1-7.
- Moe, S. T., Draget, K. I., Skjåk-bræk, G., & Smidsrød, O. (1995). Alginates - Food polysaccharides and their applications (2a ed., pp. 245-86). New York, Marcel Dekker: In: Stephen, A. M.
- Mohanty, A. K., Misra, M., & Drzal, L. T. (2002). Sustainable bio-composites from renewable resources: Opportunities and challenges in the Green Materials World. *Journal of Polymers and the Environment*. 10, 19-26.
- Mostafavi, F. S., & Zaeim, D. (2020). Agar-based edible films for food packaging applications - A review. *International Journal of Biological Macromolecules*. 159, 1165-76.
- Moura, M. R., Aouada, F. A., Avena-Bustillos, R. J., McHugh, T. H., Krochta, J. M., & Mattoso, L. H. C. (2009). Improved barrier and mechanical properties of novel hydroxypropyl methylcellulose edible films with chitosan/tripolyphosphate nanoparticles. *Journal of Food Engineering*. 92 (4), 448-53.
- Otoni, C. G., De Moura, M. R., Aouada, F. A., Camilloto, G. P., Cruz, R. S., Lorevice, M. V., Soares, N. F. F., & Mattoso, L. H. C. (2014). Antimicrobial and physical-mechanical properties of pectin/papaya puree/cinnamaldehyde nanoemulsion edible composite films. *Food Hydrocolloids*. 41, 188-94.
- Peña, C., Caba, K. de la, Eceiza, A., Ruseckaite, R., & Mondragon, I. (2010). Enhancing water repellence and mechanical properties of gelatin films by tannin addition. *Bioresource Technology*. 101, 6836-42.
- Priyadarshi, R., & Rhim, J-W. (2020). Chitosan-based biodegradable functional films for food packaging applications. *Innovative Food Science and Emerging Technologies*. 62, 102346.
- Rocha, G. A. (2009). Produção, caracterização, estabilidade e aplicação de microesferas de Licopeno (Dissertação de Mestrado). Universidade Estadual de Campinas, Campinas, SP, Brasil.
- Sahraee, S., Milani, J. M., Ghanbarzadeh, B., & Hamishehkar, H. (2017). Physicochemical and antifungal properties of bio-nanocomposite film based on gelatin-chitin nanoparticles. *International Journal of Biological Macromolecules*. 97, 373-81.
- Sakloetsakun, D., Preechagoon, D., Schnurch, A. B., & Pongjanyakul, T. (2016). Filmes complexos de polieletrólitos de goma arábica de quitosana: propriedades físico-químicas, mecânicas e mucoadesivas. *Pharmaceutical Development and Technology*. 20, 590 - 9.
- Sarantópoulos, C. I. G. L., & Gomes, F. (2002). Embalagens plásticas flexíveis: principais polímeros e avaliação de propriedades (2ª ed.). Campinas: CETEA/ITAL.
- Shan, P., Wang, K., Yu, F., Yi, L., Sun, L., & Li, H. (2023). Gelatin/sodium alginate multilayer composite film crosslinked with green tea extract for active food packaging application. *Colloids and Surfaces A: Physicochemical and Engineering Aspects*. 662, 131013.
- Stieven, A. C., Moreira, J. J., & Silva, C. F. (2009). Óleos essenciais de uvaia (*Eugenia piryformis* cambess): Avaliação das atividades antimicrobiana e antioxidante. *Eclética Química*. 34 (3), 7-13.
- Tonon, R. V., Grosso, C. R. F., & Hubinger, M. D. (2011). Influence of emulsion composition and inlet air temperature on the microencapsulation of flaxseed oil by spray drying. *Food Research International*. 44 (1), 282-9.
- Tsai, R. Y., Chen, P. W., Kuo, T. Y., Lin, C. M., Wang, D. M., Hsien, T. Y., & Hsieh, H. J. (2014). Complexo polieletrólito de quitosana/ pectina/ goma arábica: aparência dependente do processo, análise da microestrutura e sua aplicação. *Carbohydrate Polymer*. 101, 752 -9.
- Wihodo, M., & Moraru, C. I. (2013). Physical and chemical methods used to enhance the structure and mechanical properties of proteins films: An Review. *Journal of Food Engineering*. 114 (3), 292-302.
- Williams, P. A., & Phillips, G. O. (2000). Gum Arabic. *Handbook of hydrocolloids* (156-68). Florida: Woodhead publishing.
- Wong, D. W. S. (1995). Química de Los Alimentos – Mecanismos y Teoría. Zaragoza: Acríbia, S.A.
- Xu, T., Gao, C., Feng, X., Yang, Y., Shen, X., & Tang, X. (2019). Structure, physical and antioxidant properties of chitosan-gum Arabic edible films incorporated with cinnamon essential oil. *International Journal of Biological Macromolecules*. 134, 230-6.
- Zhao, R., Chen, J., Yu, S., Niu, R., Yang, Z., Wang, H., Cheng, H., Ye, X., Liu, D., & Wang, W. (2023). Active chitosan/gum Arabic-based emulsion films reinforced with thyme oil encapsulating blood orange anthocyanins: Improving multi-functionality. *Food Hydrocolloids*. 134, 108094.