

RESSALVA

Atendendo solicitação da autora, o texto completo desta dissertação será disponibilizado somente a partir de 30/08/2021.



UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA
"JÚLIO DE MESQUITA FILHO"
Campus de São José do Rio Preto

Maria Mariana Garcia de Oliveira

**Filmes de proteína de soja e carboximetilcelulose e aplicação como
cobertura comestível em secagem intermitente de mamão**

São José do Rio Preto
2019

Maria Mariana Garcia de Oliveira

**Filmes de proteína de soja e carboximetilcelulose e aplicação como
cobertura comestível em secagem intermitente de mamão**

Dissertação apresentada como parte dos requisitos para obtenção do título de Mestre em Engenharia e Ciência de Alimentos, junto ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia e Ciência de Alimentos, do Instituto de Biociências, Letras e Ciências Exatas da Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho”, Campus de São José do Rio Preto.

Financiadora: FAPESP – Processo 2017/08544-0

Orientadora: Prof^a. Dr^a. Maria Aparecida Mauro
Coorientadora: Prof^a. Dr^a. Keila de Souza Silva

São José do Rio Preto
2019

O48f

Oliveira, Maria Mariana Garcia de

Filmes de proteína de soja e carboximetilcelulose e aplicação como cobertura comestível em secagem intermitente de mamão / Maria Mariana Garcia de Oliveira. -- São José do Rio Preto, 2019

139 p. : il., tabs., fotos

Dissertação (mestrado) - Universidade Estadual Paulista (Unesp), Instituto de Biociências Letras e Ciências Exatas, São José do Rio Preto

Orientadora: Maria Aparecida Mauro

Coorientadora: Keila de Souza Silva

1. Filmes biodegradáveis. 2. Cobertura comestível. 3. Secagem convectiva. 4. Intermitência térmica. 5. Consumo energético. I. Título.

Sistema de geração automática de fichas catalográficas da Unesp. Biblioteca do Instituto de Biociências Letras e Ciências Exatas, São José do Rio Preto. Dados fornecidos pelo autor(a).

Essa ficha não pode ser modificada.

Maria Mariana Garcia de Oliveira

**Filmes de proteína de soja e carboximetilcelulose e aplicação como
cobertura comestível em secagem intermitente de mamão**

Dissertação apresentada como parte dos requisitos para obtenção do título de Mestre em Engenharia e Ciência de Alimentos, junto ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia e Ciência de Alimentos, do Instituto de Biociências, Letras e Ciências Exatas da Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho”, Campus de São José do Rio Preto.

Financiadora: FAPESP – Processo 2017/08544-0

Comissão Examinadora

Prof^ª. Dr^ª. Maria Aparecida Mauro
UNESP – Campus de São José do Rio Preto
Orientador

Prof^ª. Dr^ª. Vânia Regina Nicoletti
UNESP – Campus de São José do Rio Preto

Profa. Dra. Carolina Castilho Garcia
UEL – Londrina

São José do Rio Preto
30 de agosto de 2019

Aos meus pais, meu alicerce.

AGRADECIMENTOS

A Deus, por me dar forças, por ser meu lar e minha calma.

Aos meus pais, pelo colo quando precisei, pelo apoio incondicional a cada escolha, por se orgulharem de quem me tornei e, principalmente, por estarem sempre presentes.

À minha orientadora Prof^a. Dr^a. Maria Aparecida Mauro, pela orientação, por confiar e acreditar em mim apesar de todas as minhas inseguranças e por compartilhar seu conhecimento comigo.

À minha coorientadora Prof^a. Dr^a. Keila de Souza Silva, por três anos atrás ter me encorajado a seguir um caminho que eu nem imaginava e por toda a dedicação ao nosso trabalho.

Às minhas amigas de laboratório, por toda ajuda, companheirismo e risadas. Agradeço em especial a Laís e a Ana Filippin, pedi muito a Deus que me rodeasse de pessoas boas, Ele me ouviu e me presenteou vocês.

Às minhas amigas quase irmãs, Bruna, Ana, Taís, Isabela, Fernanda, Dani e Ingrid, que apesar dos caminhos terem se desencontrado permaneceram em minha vida, compartilhando das minhas alegrias e frustrações.

Agradeço à Prof^a. Dr^a. Vânia Regina Nicoletti e a Dr^a. Aline Margarete Furuyama Lima pelas correções e sugestões no exame de qualificação.

À Prof^a. Dr^a. Vânia Regina Nicoletti e ao Prof. Dr. Fabio Yamashita por terem aceitado fazer parte da minha banca.

À Prof^a Dr^a. Márcia Perez dos Santos Cabrera, por ter disponibilizado o equipamento Zetasizer Nano ZS (Processo FAPESP 2012/24259-0) para realização da análise do potencial zeta.

À Professora Dr^a. Célia Maria Landi Franco, por ter disponibilizado o Difratômetro de Raios X e à Flávia Villas Boas pela ajuda na operação do equipamento.

À professora Dr^a. Ana Carolina Conti e Silva, por disponibilizar o texturômetro e à técnica Alana pelo auxílio durante as análises.

À Prof^a. Dr^a. Vânia Regina Nicoletti e à técnica Michele Eliza Cortazzo Menis pela disponibilidade, paciência e ajuda no DSC.

A todos os professores, técnicos e funcionários do Departamento de Engenharia e Tecnologia de Alimentos.

À Denver Especialidades pela doação da carboximetilcelulose.

Agradeço à Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de São Paulo (FAPESP) pela concessão da bolsa de pesquisa (2017/08544-0) e pelo auxílio financeiro (2017/02808-6).

RESUMO

O objetivo do presente trabalho foi investigar a elaboração de coberturas comestíveis à base de proteína e polissacarídeo e suas aplicações em secagem intermitente de mamão em pedaços, a fim de minimizar perdas nutricionais e consumo de energia durante o processo. Filmes à base de proteína isolada de soja (SPI) com adição de diferentes concentrações (0,125; 0,25; 0,375 e 0,5%) de carboximetilcelulose (CMC) foram elaborados em pH 11 e no pH de coacervação (pHc) dos biopolímeros. A intensidade das interações proteína-polissacarídeo, os efeitos do pH, força iônica e razão de SPI/CMC na carga líquida desses biopolímeros foi investigada a partir da medida do potencial zeta das soluções filmogênicas. Os filmes obtidos foram caracterizados quanto a sua morfologia, propriedades mecânicas, estruturais, óticas e permeabilidade ao vapor de água (PVA) e ao oxigênio (PO₂). A resistência dos filmes melhorou com o acréscimo crescente do polissacarídeo, porém, filmes em pHc perderam elasticidade, tornando-se mais quebradiços e morfologicamente mais heterogêneos que em pH 11, além de apresentarem grande aumento da opacidade. A PVA dos filmes não apresentou mudanças expressivas com a adição da CMC e/ou mudança no pH, porém, a solubilidade aumentou nos filmes em pH 11. Por outro lado, a permeabilidade ao oxigênio dos filmes em pH 11 diminuiu com a incorporação da CMC na matriz do filme, sendo a formulação composta por 0,375% de CMC a menos permeável ao gás e, portanto, selecionada para aplicação como pré-tratamento na secagem de mamão (*Carica papaya* L.), na forma de cobertura comestível, com o objetivo de retardar reações oxidativas durante o processo de secagem com ar aquecido. Para isso, mamão em pedaços, com ou sem adição de cobertura à sua superfície, foram secos até uma umidade média de $6,67 \pm 0,45\%$ (b.u.) por meio de secagem convectiva contínua ou intermitente. Os ensaios de secagem com aplicação de intermitência térmica foram conduzidos em dois estágios, o primeiro com temperaturas elevadas de 80 e 95 °C com duração de 40 e 15 minutos, respectivamente, e, o segundo estágio, à temperatura mais amena de 60 °C. As secagens contínuas foram conduzidas à mesma temperatura do segundo estágio das secagens intermitentes (60 °C). Os efeitos da cobertura e dos diferentes tipos de operação de secagem (com ou sem intermitência) foram avaliados por meio das mudanças nas características físicas e nutricionais do produto final e do consumo energético calculado através de um balanço de energia. Verificou-se que a cobertura melhorou a retenção do licopeno nas secagens contínuas e intermitentes. A aplicação de intermitência térmica, por sua vez, causou maior degradação de licopeno do que as secagens contínuas, independentemente da presença da cobertura. A cor característica do

mamão fresco foi conservada ao longo do processo de desidratação e intensificada com a intermitência e a cobertura. Além disso, a aplicação da intermitência térmica reduziu o tempo total do processo, além de proporcionar uma redução de até 17% no consumo energético.

Palavras-chave: Filmes biodegradáveis. Cobertura comestível. Secagem convectiva. Intermitência térmica. Consumo energético. Carotenoides.

ABSTRACT

This study aimed to investigate the development of protein and polysaccharide-based edible coatings and its application in intermittent drying of papaya pieces, in order to minimize nutritional losses and energy consuming. Soy protein (SPI) based films with different concentrations (0.125; 0.25; 0.375 and 0.5%) of carboxymethylcellulose (CMC) were prepared at pH 11 and at biopolymers coacervation pH (pHc). The intensity of protein-polysaccharide interaction, the pH effects, ionic strength and SPI/CMC ratio on the net charge of these biopolymers were investigated by measuring the zeta potential of filmogenic solutions. The films were characterized regarding their morphology, mechanical, structural and optical properties and water vapor (WVP) and oxygen (OP₂) permeabilities. The films strength has improved with increasing polysaccharide addition, however, films at pHc lost their elasticity, becoming more brittle and morphologically more heterogeneous than at pH 11, besides presenting a great increase of opacity. The WVP of films didn't show expressive changes with CMC addition and/or pH change, but they presented increased solubility at pH 11. On the other hand, the oxygen permeability of films at pH 11 decreased with the CMC incorporation in film matrix, being the formulation composed by 0.375% CMC the less permeable to the gas and, therefore, selected to be applied as a pretreatment in papaya (*Carica papaya* L.) drying, as edible coating, with the goal to delay oxidative reaction during hot air drying. For this, papaya pieces, with or without coating, were dried until to achieve a water content of $6.67 \pm 0.45\%$ (w.b.) by continuous or intermittent convective drying. The drying trials with application of thermal intermittence were conducted in two stages. The first one at elevated temperatures of 80 and 95 °C lasting 40 and 15 minutes, respectively, and, the second stage, at lower temperature of 60 °C. The continuous drying was conducted at the same temperature as the second stage of intermittent drying (60 °C). The effects of coating and different drying operations (with and without intermittence) were evaluated by changes in physical and nutritional characteristics of the final product and by the energy consumption calculated through an energy balance. Coating improved the lycopene retention in continuous and intermittent drying. On the other hand, the thermal intermittence caused higher lycopene degradation than continuous drying, regardless the presence of the coating. The fresh papaya characteristic color was preserved throughout the dehydration process and intensified with the intermittence and the coating. Besides that, the thermal intermittence reduced the total drying time and provided an energy saving of approximately 17%.

Keywords: Biodegradable films. Edible coating. Convective drying. Thermal intermittence. Energy consumption. Carotenoids.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 – Curva de secagem típica em condições constantes de operação.....	25
Figura 2 – Parte da estrutura da celulose (a) e representação esquemática da reação de obtenção da CMC (b)	35
Figura 3 – Estruturas das oito possíveis unidades repetitivas presentes nas cadeias de carboximetilcelulose.....	36
Figura 4 – Cápsulas de rosca com vedação de borracha (a) e amostras de filme fixas nas cápsulas e dispostas nos dessecadores (b)	43
Figura 5 – Secador de leito fixo com convecção forçada.....	49
Figura 6 - Inserção dos termopares na fruta para realização do ensaio de temperatura de superfície	50
Figura 7 – Amostras sem (a) e com adição de cobertura (b) dispostas nas bandejas antes do processo de secagem.....	52
Figura 8 – Amostras após o processo de secagem submetidas a diferentes tratamentos	52
Figura 9 – Diagrama esquemático do secador. (a) inversor de frequência; (b) disjuntor geral e acionadores das resistências; (c) controlador de temperatura; (p) PT 100; (H) higrômetro; (L) sensor de temperatura acoplado ao controlador	56
Figura 10 – Potencial zeta de soluções aquosas de CMC (0,5%) obtidas a partir de celulose de madeira (a) e linter de algodão (b) em função do pH	64
Figura 11 - Potencial zeta das soluções aquosas puras de SPI (5%) (a) e CMC (0,5%) (b) em função do pH e diferentes forças iônicas.....	68
Figura 12 – Potencial zeta das misturas de SPI (5%) e CMC (0,125 (a); 0,25 (b); 0,375 (c) e 0,5% (d)) em função do pH e diferentes concentrações de sal.....	70
Figura 13 – Potencial zeta de soluções aquosas de CMC (0,5%) e SPI (5%) em função do pH	71
Figura 14 – Potencial zeta das misturas de SPI (5%) e CMC (0,125; 0,25; 0,375 e 0,5%) em função do pH, 20 mM.....	72
Figura 15 – Determinação do pH _c das misturas de SPI e CMC (0,125% (a), 0,25% (b), 0,375% (c), 0,5% (d)) a partir do ajuste de uma equação da reta aos dados de potencial zeta	73
Figura 16 – Transmitância dos filmes de SPI e dos filmes compostos (SPI/CMC) coacervados (pH _c) e no pH 11 com diferentes concentrações de CMC	79
Figura 17 – MEV dos filmes biodegradáveis à base de SPI e (a) 0% CMC pH 11; (b ₁) 0,125% CMC pH 11; (b ₂) 0,125% CMC pH _c ; (c ₁) 0,25% CMC pH 11; (c ₂) 0,25% CMC pH _c ; (d ₁) 0,375% CMC pH 11; (d ₂) 0,375% CMC pH _c ; (e ₁) 0,5% CMC pH 11; (e ₂) 0,5% CMC pH _c . Vista superior com aumento de 250 ×	81
Figura 18 – MEV dos filmes biodegradáveis à base de SPI e (a) 0% CMC pH 11; (b ₁) 0,125% CMC pH 11; (b ₂) 0,125% CMC pH _c ; (c ₁) 0,25% CMC pH 11; (c ₂) 0,25% CMC pH _c ; (d ₁) 0,375% CMC pH 11; (d ₂) 0,375% CMC pH _c ; (e ₁) 0,5% CMC pH 11; (e ₂) 0,5% CMC pH _c . Vista superior com aumento de 10000 ×	82
Figura 19 – MEV dos filmes biodegradáveis à base de SPI e (a) 0% CMC pH 11; (b ₁) 0,125% CMC pH 11; (b ₂) 0,125% CMC pH _c ; (c ₁) 0,25% CMC pH 11; (c ₂) 0,25% CMC pH _c ; (d ₁) 0,375% CMC pH 11; (d ₂) 0,375% CMC pH _c ; (e ₁) 0,5% CMC pH 11; (e ₂) 0,5% CMC pH _c . Vista transversal com aumento de 250 ×	83
Figura 20 – MEV dos filmes biodegradáveis à base de SPI e (a) 0% CMC pH 11; (b ₁) 0,125% CMC pH 11; (b ₂) 0,125% CMC pH _c ; (c ₁) 0,25% CMC pH 11; (c ₂) 0,25% CMC pH _c ;	

(d ₁) 0,375% CMC pH 11; (d ₂) 0,375% CMC pHc; (e ₁) 0,5% CMC pH 11; (e ₂) 0,5% CMC pHc. Vista transversal com aumento de 10000 ×	84
Figura 21 – Isotermas de sorção dos filmes à base de SPI (5%) e CMC (0,125; 0,25; 0,375; 0,5%) no pH 11 (a) e pHc (b)	88
Figura 22 – DRX das matérias-primas SPI (a) e CMC (b) em pó.....	90
Figura 23 – DRX dos filmes biodegradáveis à base de SPI (5%) e diferentes concentrações de CMC no pH 11	92
Figura 24 – Termograma das matérias-primas em pó SPI (a) e CMC (b) e dos filmes obtidos em pH 11 contendo 0,125% CMC com adição de 2% de glicerol (c) e sem adição de glicerol (d)	95
Figura 25 – Temperatura de superfície de pedaços de mamão sem adição de cobertura em função do tempo de secagem para as temperaturas de 60, 80 e 95 °C	101
Figura 26 – Temperatura de superfície de pedaços de mamão com adição de cobertura em função do tempo de secagem para as temperaturas de 60, 80 e 95 °C	101
Figura 27 – Conteúdo de água, em base seca, experimental e calculado, de secagens contínuas (a) e intermitentes (b, c) de pedaços de mamão com e sem cobertura em função do tempo de secagem.....	105
Figura 28 – Taxa de secagens contínuas e intermitentes de pedaços de mamão cobertos e não-cobertos em função da umidade	109

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Composição centesimal do mamão Formosa por 100 g de parte comestível	23
Tabela 2 – Permeabilidade ao vapor de água e ao oxigênio de diversos filmes à base de proteínas, sem e com adição de polissacarídeos, lipídeos e plastificantes	30
Tabela 3 – Permeabilidade ao vapor de água e ao oxigênio de diversos filmes à base de polissacarídeos, com eventual adição de proteína e plastificante.....	31
Tabela 4 – Fonte, viscosidade e grau de substituição (GS) fornecidos pela empresa DENVER para os diferentes tipos de CMC	37
Tabela 5 – Tratamento, condições de temperatura e tempo de secagem intermitente e contínua	51
Tabela 6 – Potencial zeta (ζ) em mV das soluções de CMC em diferentes diluições (pH 3,0)	62
Tabela 7 – Permeabilidade ao vapor de água (PVA) dos filmes elaborados a partir dos diferentes tipos de CMC e respectivas espessuras.....	65
Tabela 8 – Tensão (MPa), deformação (%) e módulo de Young (MPa) dos filmes elaborados a partir das dos diferentes tipos de CMC.....	65
Tabela 9 – Valores de permeabilidade ao vapor de água (PVA) dos filmes de SPI e SPI/CMC no pH 11 e pHc condicionados sob diferentes gradientes de umidade relativa ΔUR (%)	75
Tabela 10 – Tensão (MPa) e deformação (%) dos filmes de SPI e dos filmes compostos (SPI/CMC) coacervados (pHc) e no pH 11 com diferentes concentrações de CMC	76
Tabela 11 – Parâmetros L^* , a^* e b^* e opacidade (%) dos filmes de SPI e dos filmes compostos (SPI/CMC) coacervados (pHc) e no pH 11 com diferentes concentrações de CMC	78
Tabela 12 – Solubilidade em água e umidade dos filmes de SPI e dos filmes compostos (SPI/CMC) coacervados (pHc) e no pH 11 com diferentes concentrações de CMC	85
Tabela 13 – Parâmetros do modelo de GAB ajustado aos dados experimentais dos filmes à base de SPI em diferentes concentrações de CMC e pHs	89
Tabela 14 – Comportamento térmico das matérias-primas e dos filmes compostos (0,125% CMC) no pH 11	94
Tabela 15 – Valores de permeabilidade ao oxigênio dos filmes de SPI e SPI/CMC (pH 11) a $50 \pm 4\%$ UR, $23\text{ }^\circ\text{C}$ e gradiente de pressão parcial de oxigênio de 101325 Pa.....	99
Tabela 16 – Temperatura de superfície de pedaços de mamão sem e com adição de cobertura em função do tempo de secagem para as temperaturas de 60, 80 e $95\text{ }^\circ\text{C}$	102
Tabela 17 – Porcentagem de cobertura, umidade (base úmida) e atividade de água das fatias de mamão antes e após o processo de secagem contínua ou intermitente.....	103
Tabela 18 – Coeficiente de difusão ($\text{m}^2 \times \text{s}^{-1}$), R^2 e P (%) das secagens contínuas e intermitentes	107
Tabela 19 – Potência (P) média e consumo (C) das secagens contínuas e intermitentes de pedaços de mamão cobertos e não cobertos	112
Tabela 20 – Conteúdo de licopeno ($\mu\text{g/g}$ amostra seca) antes e após as secagens contínuas e intermitentes, com e sem cobertura, e retenção durante o processo.....	113
Tabela 21 – Parâmetros L^* , a^* , b^* , C^* e h^* das amostras frescas e secas, para secagens contínuas ($60\text{ }^\circ\text{C}$) e intermitentes $80\text{ }^\circ\text{C}/40\text{ min}/60\text{ }^\circ\text{C}$ e $95\text{ }^\circ\text{C}/15\text{ min}/60\text{ }^\circ\text{C}$ sem e com aplicação prévia de cobertura	118

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

Abs	Absorbância
Aw	Atividade de água
BaCl₂	Cloreto de bário
C	Consumo
C/C	Com adição de cobertura
Cf	Concentração final em base seca
Ci	Concentração inicial em base seca
CMC	Carboximetilcelulose
DRX	Difração de raios x
e	Espessura
GS	Grau de substituição
L	Líter de algodão
M	Madeira
MgCl₂	Cloreto de magnésio
NaNO₂	Nitrito de sódio
P	Potência
pHzeta/pHc	pH de coacervação
pI	Ponto isoelétrico
PO₂	Coefficiente de permeabilidade ao oxigênio
Ps	Pressão de saturação do vapor de água a 25 °C
PVA	Permeabilidade ao vapor de água
Ret	Retenção
S/C	Sem adição de cobertura
SPI	Proteína isolada de soja
Td	Temperatura de desnaturação
Tdeg	Temperatura de degradação
Tg	Temperatura de transição vítrea
TPO₂	Taxa de permeabilidade ao oxigênio
TPVA	Taxa de permeabilidade ao vapor de água
UR	Umidade relativa
URE	Umidade relativa de equilíbrio

LISTA DE SÍMBOLOS

cP	Centipoise
V	Volts
m	Metro
s	Segundo
h	Hora
g	Gramma
kg	Quilograma
°C	Grau Celsius
J	Joule
W	Watt
Pa	Pascal
ζ	Potencial zeta
μ	Mobilidade eletroforética
η	Viscosidade
ϵ	Permissividade
δ	Espessura média dos filmes
Δ	Delta / Variação
X_m	Umidade da monocamada em base seca
y^{calc}	Umidade em base seca calculada
y^{exp}	Umidade em base seca experimental
D	Coefficiente de difusão
D_{ef}	Coefficiente de difusão efetivo
ρ_w	Concentração mássica de água
t	Tempo
X_w^{eq}	Fração mássica de água no equilíbrio em base seca
X_w⁰	Fração mássica inicial de água em base seca
X_w	Fração mássica de água em base seca
a	Coefficiente angular da reta
b	Coefficiente linear
v	Volume úmido
Y	Umidade absoluta do ar

T	Temperatura
\dot{m}_i	Taxa de ar seco na posição i do secador
\dot{Q}_i	Vazão de ar da mistura na posição i do secador
\dot{E}	Taxa de água evaporada
H_i	Entalpia do ar na posição i do secador

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	19
2 OBJETIVOS	22
2.1 Objetivo geral	22
2.2 Objetivos específicos	22
3 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	23
3.1 Mamão	23
3.2 Secagem convectiva e intermitente.....	24
3.3 Filmes e coberturas comestíveis	26
Gontard et al. (1996).....	31
3.4 Carboximetilcelulose (CMC).....	34
4 MATERIAL E MÉTODOS	36
4.1 Materiais	36
4.2 Seleção e elaboração de filmes comestíveis	37
4.2.1 Seleção das matérias-primas para a elaboração dos filmes comestíveis.....	37
4.2.2 Elaboração das soluções filmogênicas e dos filmes biodegradáveis de CMC.....	38
4.2.3 Elaboração das soluções filmogênicas e dos filmes biodegradáveis de SPI.....	39
4.2.4 Elaboração das soluções filmogênicas e dos filmes biodegradáveis a partir da mistura de SPI e CMC.....	40
4.3 Caracterização das soluções filmogênicas e dos filmes biodegradáveis	41
4.3.1 Potencial zeta (ζ)	41
4.3.2 Espessura dos filmes	42
4.3.3 Sólidos totais	42
4.3.4 Permeabilidade ao vapor de água (PVA)	42
4.3.5 Propriedades mecânicas	44
4.3.6 Propriedades óticas.....	45
4.3.7 Microscopia eletrônica de varredura	45
4.3.8 Solubilidade em água	46
4.3.9 Isotermas	46
4.3.10 Difração de Raios X	47
4.3.11 Calorimetria diferencial de varredura (DSC).....	47
4.3.12 Permeabilidade ao oxigênio (PO ₂)	48
4.4 Secagem	48
4.4.1 Secadores.....	48

4.4.2 Preparo da amostra	49
4.4.3 Temperatura de superfície	50
4.4.4 Ensaios de secagem	51
4.4.5 Modelagem matemática das secagens	53
4.4.6 Balanço de energia	55
4.5 Metodologia analítica	58
4.5.1 Sólidos solúveis	58
4.5.2 Umidade	58
4.5.3 Atividade de água	59
4.5.4 Cor	59
4.5.5 Conteúdo de carotenoides e cálculo de retenção durante o processo	59
4.6 Análise estatística	60
5 RESULTADOS E DISCUSSÃO	61
5.1 Caracterização das soluções filmogênicas e dos filmes biodegradáveis à base de CMC	61
5.1.1 Potencial zeta (ζ)	61
5.1.2 Permeabilidade ao vapor de água dos filmes biodegradáveis à base de CMC	64
5.1.3 Propriedades mecânicas dos filmes biodegradáveis à base de CMC	65
5.1.4 Seleção da carboximetilcelulose	67
5.2 Caracterização das soluções filmogênicas e dos filmes biodegradáveis à base de SPI e CMC	67
5.2.1 Potencial zeta (ζ)	67
5.2.2 Permeabilidade ao vapor de água	74
5.2.3 Propriedades mecânicas	75
5.2.4 Propriedades óticas	77
5.2.5 Microscopia eletrônica de varredura (MEV)	80
5.2.6 Solubilidade em água	85
5.2.7 Isotermas	87
5.2.8 Difração de Raios X (DRX)	90
5.2.9 Calorimetria diferencial de varredura (DSC)	93
5.2.10 Permeabilidade ao oxigênio (PO_2)	98
5.2.11 Seleção da cobertura comestível	99
5.3 Secagem	100
5.3.1 Temperatura de superfície	100
5.3.2 Umidade, atividade de água e % de cobertura	102
5.3.3 Cinética de secagem e coeficiente de difusão	104

5.3.4 Taxa de secagem	109
5.3.5 Balanço de energia	111
5.3.6 Conteúdo e retenção de carotenoides	113
5.3.7 Cor.....	116
6 CONCLUSÕES.....	119
REFERÊNCIAS	122
APÊNDICE A: Imagens dos filmes biodegradáveis elaborados durante a pesquisa	138
APÊNDICE B: Rachaduras observadas nos filmes biodegradáveis elaborados em pHc	139

1 INTRODUÇÃO

Os principais materiais utilizados como embalagem pelas indústrias alimentícias são os plásticos, como poliestireno (PS), polietileno (PE), polipropileno (PP) e polietileno tereftalato (PET) (COLES; McDOWELL; KIRWAN, 2003; ROBERTSON, 2012). Provenientes de fonte não renovável, os polímeros sintéticos, em sua maioria, não são biodegradáveis e o acúmulo gerado pelo descarte excessivo dessas embalagens passa a ser um problema ambiental. Diante disso, na tentativa de substituir embalagens plásticas tradicionais, cada vez mais a atenção de pesquisadores tem se voltado para o uso de macromoléculas naturais para a obtenção de materiais de embalagem à base de biopolímeros com apelo de sustentabilidade e biodegradabilidade (AZEREDO et al., 2014). Os filmes de natureza biocompatível e biodegradável são uma alternativa a embalagens à base de derivados de petróleo, uma vez que podem ser elaborados a partir de proteínas, polissacarídeos e/ou lipídeos e serem aplicados em sistemas alimentícios (KOKOSZKA et al., 2010; MALI et al., 2006; GUERRERO et al., 2011). Por atuarem como barreira à transferência de massa, filmes e coberturas comestíveis são elaborados com o propósito de controlar a transferência de substâncias tais como água, oxigênio, gás carbônico e aromas, de forma a proteger o alimento, estender sua vida de prateleira e melhorar sua qualidade (McHUGH, 2000; CAO; FU; HE, 2007).

Dentre os tipos de proteínas e polissacarídeos com potencial para formar filmes estão a proteína isolada de soja (SPI) e a carboximetilcelulose (CMC). O Brasil é um dos maiores produtores de soja do mundo (CONAB, 2018) e a SPI, por ser um coproduto das indústrias esmagadoras de soja, se torna naturalmente uma matéria-prima abundante e barata (CAO; FU; HE, 2007). Filmes elaborados à base dessa proteína geralmente são mais flexíveis e transparentes do que os obtidos por outras fontes de proteínas vegetais e apresentam boas propriedades de barreira ao oxigênio (MILLER; KROCHTA, 1997). Além da baixa permeabilidade a gases, os filmes possuem caráter elástico, coloração amarelada, baixa opacidade e permeabilidade ao vapor de água (DENAVI et al., 2009). A CMC é um polissacarídeo derivado de celulose, uma matéria-prima abundante, renovável, de baixo custo e biodegradável (WHANG, LU; ZHANG, 2016). De maneira geral, os revestimentos obtidos a partir desse polímero são transparentes, sem cheiro ou sabor (KROCHTA; MULDER-JOHNSTON, 1997) e sua habilidade formadora de filme vem sendo demonstrada através da

obtenção de filmes flexíveis, resistentes e com boas propriedades mecânicas e de barreira (OUN; RHIM, 2015; BALLESTEROS et al., 2018; AKHTAR et al., 2018).

Como forma de se obter um efeito sinérgico ou uma combinação de efeitos desejáveis, os filmes podem ser elaborados a partir da combinação entre biopolímeros, como proteínas e polissacarídeos. A interação entre proteínas e polissacarídeos pode ocorrer de forma associativa ou segregativa, podendo ocorrer os fenômenos de co-solubilidade, incompatibilidade termodinâmica e coacervação complexa (De KRUIF; TUINIER, 2001). As forças eletrostáticas atrativas e repulsivas das cadeias poliméricas são diretamente influenciadas pelo pH, sendo que pesquisadores têm utilizado a medida de mobilidade eletroforética (potencial zeta) para determinar a intensidade de carga elétrica das soluções poliméricas em função do pH (SILVA et al., 2018; KHALESI et al., 2016). Interações sinérgicas entre os componentes do filme ou mesmo combinações de suas propriedades individuais podem proporcionar películas com melhores propriedades mecânicas e de barreira em relação àquelas formadas pelos biopolímeros puros (WANG et al., 2014; SILVA et al., 2016;2018; SUI et al., 2016; EGHBAL et al., 2016).

Uma aplicação desses biopolímeros pode se dar na forma de cobertura comestível previamente a processos que necessitem o emprego de medidas para retardar reações oxidativas, como a secagem convectiva de frutas e vegetais. A secagem é um dos métodos mais comuns utilizados como alternativa para preservar a qualidade e aumentar a vida de prateleira de alimentos. No entanto, produtos de origem agrícola são muito sensíveis ao calor (KOWALSKI; SZADZINSKA; LECHTANSKA, 2013) e, por essa razão, ficam sujeitos a danos físicos e nutricionais associados à técnica de secagem com ar quente (MASKAN, 2001; ALIBAS, 2010; OLIVEIRA; BRANDÃO; SILVA, 2015). A aplicação de coberturas comestíveis previamente a esse processo, possibilita reduzir os efeitos indesejados do processo sobre a qualidade nutricional e sensorial do alimento desidratado (LAGO-VANZELA et al., 2013; GARCIA et al., 2014; SILVA et al., 2015), bem como do armazenamento (CANIZARES; MAURO, 2015).

Longos tempos de secagem, além de serem potencialmente prejudiciais à qualidade do produto, também acarretam um elevado consumo energético. Nesse sentido, uma outra abordagem visando manter a qualidade do produto e reduzir o tempo de operação, é conduzir o processo de secagem sob condições de intermitência. A intermitência é caracterizada pela modificação das condições de secagem ao longo do processo, como temperatura, umidade e velocidade do ar, interrupção do processo (têmpera), pressão e modo de fornecimento de calor (KOWALSKI; SZADZINSKA; LECHTANSKA, 2013; KOWALSKI; SZADZINSKA, 2014;

KUMAR; KARIM; JOARDDER, 2014; VEGA; STURM; HOFACKER, 2016). O emprego da intermitência térmica consiste em utilizar temperaturas maiores enquanto a superfície do produto a ser seco encontra-se predominantemente saturada e, conforme a sua superfície vai se tornando insaturada, diminuir a temperatura do ar de secagem. Dessa forma se obtém uma elevada eficiência energética sem submeter o produto a temperaturas e estresse além dos limites que comprometam sua qualidade, porém, ao mesmo tempo, mantém-se elevada taxa de remoção de umidade (MUJUMDAR; LAW, 2010; FILIPPIN et al., 2018).

A fim de avaliar os benefícios da aplicação de cobertura comestível e intermitência térmica sobre a qualidade do produto final e o consumo energético durante o processo de secagem, selecionou-se, como objeto de estudo, o mamão (*Carica papaya* L.), uma fruta tropical e largamente cultivada no Brasil (FAOSTAT, 2014). O mamão é considerado uma fruta nutritiva, destacando-se sua capacidade antioxidante devido à presença de vitaminas e carotenoides (UDOMKUN et al., 2016). Entretanto, por ser um fruto climatérico, está sujeito a perdas pós-colheita devido ao seu rápido amadurecimento (LI et al., 2013). Portanto, a existência de diferentes tecnologias de processamento torna-se relevante a fim de reduzir perdas e estender sua vida de prateleira.

Com base no que foi exposto, o objetivo deste estudo é identificar um filme à base de SPI e CMC com propriedades apropriadas para sua aplicação na forma de cobertura comestível em pedaços de mamão e avaliar seus efeitos, juntamente com a aplicação da intermitência térmica, sobre a eficiência do processo de secagem e o consumo de energia, assim como sua influência sobre a qualidade do produto desidratado ao final do processo.

6 CONCLUSÕES

Análises de permeabilidade ao vapor de água e propriedades mecânicas dos filmes puros à base de CMC de diferentes origens demonstraram uma leve tendência dos filmes de CMC provenientes de línter de algodão serem mais permeáveis ao vapor de água, porém, mais resistentes do que os obtidos da celulose de madeira, para um mesmo grau de substituição. CMC com menor grau de substituição produziu filmes mais resistentes, porém, mais rígidos, como demonstrado pelos módulos de Young.

Análises de potencial zeta demonstraram que diluição, pH, força iônica e razão proteína/polissacarídeo afetaram as cargas dos biopolímeros nas dispersões de SPI, de CMC e de suas misturas.

A reversão de cargas da SPI se estabeleceu entre os pHs 4 e 5, com cargas positivas abaixo desse valor, e cargas negativas, acima. As cargas da CMC permaneceram negativas em praticamente toda a faixa de pH estudada (2 a 11), apresentando pKa próximo a 2. De uma forma geral, a adição de íons de sal (20 mM) às soluções filmogênicas (puras e misturas) diminuiu a carga líquida negativa presente nas soluções, enquanto o aumento da concentração de polissacarídeo teve o efeito contrário.

O acréscimo de CMC em filmes de SPI aumentou a resistência dos mesmos, de maneira crescente com sua concentração, tanto em pH 11 quanto em pH_c, de coacervação, o que foi atribuído à formação de pontes de hidrogênio intermoleculares entre a proteína e o polissacarídeo. Maior porcentagem de deformação obtida em pH 11 provavelmente se deve à rede contínua formada pela polimerização intermolecular dessa proteína, que é favorecida em meio alcalino.

A opacidade dos filmes compostos por SPI e CMC variou em função do teor de polissacarídeo e, principalmente, em função do pH, com filmes mais opacos na condição de coacervação. Isso sugere mudanças na estrutura morfológica dos filmes, as quais foram confirmadas em micrografias superficiais dos filmes, que revelaram certa heterogeneidade pela aglomeração de partículas nos filmes em pH_c.

A concentração crescente de CMC nos filmes de SPI formados em pH 11 aumentou de forma significativa a solubilidade dos mesmos, enquanto os filmes coacervados apresentaram solubilidade muito próxima à do controle (0% CMC), o que seria esperado devido à menor disponibilidade de grupos hidrofílicos devido à coacervação e à baixa solubilidade da proteína de soja nesse pH.

As isotermas de adsorção foram bem descritas pelo modelo de GAB, cujo comportamento se assemelhou ao de isotermas do Tipo III. Efeitos do pH e da concentração de CMC nos filmes de SPI influenciaram muito pouco a capacidade de sorção dos mesmos.

Os difratogramas de raios-X dos filmes à base de SPI e CMC evidenciam a estrutura amorfa das películas, que apresentaram variações nos perfis em função do pH e da concentração de polissacarídeo. Em pH 11, as concentrações mais baixas de CMC conferiram alguma cristalinidade aos filmes, o que não ocorreu em pH de coacervação.

Em condições de coacervação (pHc) a formação de filmes em dimensões em torno de 20 cm × 20 cm mostrou-se inviável por não formar uma estrutura contínua e flexível, que apresentou rachaduras durante a secagem do solvente.

A presença de CMC na composição dos filmes de SPI formados em pH 11 diminuiu de maneira significativa a PO_2 dos mesmos, o que foi atribuído ao preenchimento, pelo polissacarídeo, dos espaços nos interstícios da rede contínua formada pela polimerização da proteína em pH alcalino, conferindo densidade e estruturação ao filme.

Os filmes em pH 11, com presença de CMC, apresentaram maior afinidade com a água e menor afinidade com o oxigênio do que o filme só de proteína, confirmando os efeitos do comportamento característico de polissacarídeos nesses filmes. A formulação contendo 0,375% de CMC, por apresentar máxima redução na PO_2 , de aproximadamente 54%, foi selecionada para aplicação como cobertura comestível, previamente à secagem de mamão em pedaços, com o intuito de minimizar reações oxidativas durante o processo.

A aplicação da cobertura como pré-tratamento à secagem, não comprometeu eficiência do processo de desidratação da fruta, devido a sua natureza altamente hidrofílica;

Maiores coeficientes de difusão efetivos e elevadas taxas de evaporação no início da secagem com aplicação de intermitência contribuíram para diminuir o tempo de operação e o consumo de energia. A secagem intermitente com primeiro estágio realizado a 80 °C reduziu o tempo total em 70 minutos e o consumo energético em 17%, em relação às secagens contínuas.

Em termos nutricionais e físicos, devido à concentração de pigmentos durante o processo, a cor do mamão foi levemente alterada e intensificada pela aplicação da intermitência e da cobertura. Por outro lado, a degradação do licopeno tendeu a ser maior para as secagens de amostras sem revestimento e com aplicação de intermitência térmica, podendo estar relacionados ao fato de, no início do processo de secagem, a combinação entre temperaturas e umidades elevadas contribuir para um aumento na degradação do composto.

De maneira geral, o emprego de coberturas comestíveis, mesmo que de forma pouco significativa, contribuiu para a manutenção da qualidade do produto. Apesar de mostrar resultados promissores em termos energéticos, as duas configurações de intermitência térmica causaram maior degradação de licopeno do que as secagens contínuas. Diante da complexidade de fatores envolvidos na degradação de substâncias, que possivelmente se deve à combinação da temperatura, tempo, teor de água do alimento e desestruturação do tecido celular, é recomendável estudar de forma mais detalhada a aplicação da intermitência térmica em alimentos, principalmente através da coleta desses dados ao longo das diferentes etapas da secagem.

REFERÊNCIAS

- ABUGOCH, L. E.; TAPIA, C.; VILLAMÁN, M. C.; PEDRAM-YASDANI, M.; DÍAS-DOSQUE, M. Characterization of quinoa protein-chitosan blend edible films. **Food Hydrocolloids**, v. 25, p. 879-886, 2011.
- AFTHAN, E.; RUVO, A; BROWN, W. Glass transition temperatures of oligosaccharides. **Polymer**, v. 4, p. 329-330, 1973.
- AKHTAR, H. M. S.; HAMED, Y. S.; ABDIN, M.; CHEN, G.; WAN, P.; ZENG, X. Production and characterization of CMC-based antioxidant and antimicrobial films enriched with chickpea hull polysaccharides. **International Journal of Biological Macromolecules**, 2018. doi:10.1016/j.ijbiomac.2018.06.090
- ALCANTRA, C. R.; RUMSEY, T. R. KROCHTA, J. M. Drying rate on the properties of whey protein films. **Journal of Food Process**, v. 21, p. 387-405, 1998.
- ALFTHAN, E.; RUVO, A.; BROWN, W. Glass transition temperature of oligosaccharides. **Polymer**, v. 14, p 329-330, 1973.
- AL-HASSAN, A. A.; NORZIAH, M. H. Starch-gelatin edible films: Water vapor permeability and mechanical properties as affected by plasticizers. **Food Hydrocolloids**, v. 26, p. 108-117, 2012.
- ALI, H. E. ATTA, A. SENNA, M. M. Physico-chemical properties of carboxymethyl cellulose (CMC)/nanosized titanium oxide (TiO₂) gamma irradiated composite. **Arab Journal of Nuclear Science and Applications**, v. 48, n. 4, p. 44-52, 2015.
- ALIBAS, I. Determination of drying parameters, ascorbic acid contents and color characteristics of nettle leaves during microwave, air and combined microwave-airdrying. **Journal of Food Process Engineering**, v. 33, p. 213–233, 2010.
- ALLEONI, L. R. F.; CAMARGO, O. A. Modelos de dupla camada difusa de Gouy-Chapman e Stern aplicados a latossolos ácidos paulistas. **Scientia Agricola**, v. 51, n. 2, 315-320, 1994.
- AMADO, L. R. **Estudo do efeito de cobertura comestível e secagem intermitente sobre a qualidade de manga desidratada**. 172 p. 2017. Dissertação (Mestrado em Engenharia e Ciência de Alimentos) – UNESP, São José do Rio Preto, 2017.
- ANTONOVA, I.; MALLIKARJUNAN, P.; CHINNAN, M. S. Protein-based edible coatings for fried food. *In*: GENNADIOS, A (Ed.). **Protein-based films and coatings**. Boca Raton: CRC Press, 2002. p. 517-525.
- AOAC. Official methods of analysis of the Association of Official Analytical Chemists. *In*: W. Horwitz (Ed.), Method 926.12 (Chapter 33, pp. 5). Arlington: A.O.A.C, 1995.
- ASTM INTERNATIONAL. ASTM D882-12, **Standard Test Method for Tensile Properties of Thin Plastic Sheeting**, West Conshohocken, PA, 2012.
- ASTM INTERNATIONAL. ASTM E96-95: **Standard test methods of water vapor transmission of materials**. *In*: Annual Book of ASTM Standards, American Society for Testing and Materials, Philadelphia, 1995.
- ASTM INTERNATIONAL. ASTM F 1927-14: **Standard test method for determination of oxygen gas transmission rate, permeability and permeance at controlled relative humidity through barrier materials using a coulometric detector**. Philadelphia, 2014.

AYDE, T. P.; WELLER, C.; TESTIN, R. F. Mechanical and barrier properties of edible corn and wheat protein films. **Biological Systems Engineering**, v. 34, n. 1, p. 207-211, 1991.

AYRANCI, E.; TUNC, S. A method for the measurement of the oxygen permeability and the development of edible films to reduce the rate of oxidative reactions in fresh foods. **Food Chemistry**, v. 80, p. 423-431, 2003.

AZEREDO, H. M. C.; ROSA, M. F.; FILHO, M. S. M.; WALDRON, K. W. The use of biomass for packaging films and coatings. In: WALDRON, K. (ed). **Advances in Biorefineries**. Cambridge: Woodhead Publishing, 2014. p. 819-874.

AZEREDO, H. M. C.; WALDRON, K. W. Crosslinking in polysaccharide and protein films and coatings for food contact - A review. **Trends in Food Science & Technology**, v. 52, p. 109-122, 2016.

BAKER, R. A.; BALDWIN, E. A.; NISPEROS-CARRIEDO, M. O. Edible coatings and films for processed foods. In **Edible Coatings and Films to Improve Food Quality**, Edited by Krochta, J.M.; Baldwin, E.A., Nisperos-Carriedo, M. Chapter 4, pp 89-120. Lancaster: Technomic Publishing Co, 1994.

BALLESTEROS, L. F.; CERQUEIRA, M. A.; TEIXEIRA, J. A.; MUSSATTO, S. I. Production and physicochemical properties of carboxymethyl cellulose films enriched with spent coffee grounds polysaccharides. **International Journal of Biological Macromolecules**, v. 106, p. 647-655, 2018.

BANKER, G. S. Film Coating Theory and Practice. **Journal of Pharmaceutical Sciences**, v. 55, n. 1, 1965.

BARAYA, N. S.; GOL, N. B.; RAO, T. V. G. Influence of polysaccharide-based edible coatings on the shelf life and nutritional quality of tomato fruit. **Food – Global Science Book**, v. 6, p. 22-27, 2012.

BARBOSA-CANOVAS, G. V.; VEGA-MERCADO, H. **Dehydration of Foods**. Washington: Chapman & Hall, 1996.

BARRAGÁN-IGLESIAS, J.; MÉNDEZ-LAGUNAS, L. L.; RODRÍGUEZ-RAMÍREZ, J. Ripeness indexes and physicochemical changes of papaya (*Carica papaya* L. cv. Maradol) during ripening on-tree. **Scientia Horticulturae**, v. 136, p. 272-278, 2018.

BASIAK, E.; LENART, A.; DEBEAUFORT, F. Effect of starch type on the physicochemical properties of edible films. **International Journal of Biological Macromolecules**, v. 98, p. 348-353, 2017.

BISWAL, D. R.; SINGH, R. P. Characterisation of carboxymethyl cellulose and polyacrylamide graft copolymer. **Carbohydrate Polymers**, v. 57, p. 379-381, 2004.

BHATTACHARJEE, S. DLS and zeta potential – What they are and what they are not?. **Journal of Controlled Release**, v. 235, p. 337-351, 2016.

BHATTACHARYA, D.; KANDEEPAN, G. Selection of biopolymers to develop a biodegradable and edible film for packaging of luncheon chicken meat slices. **Agricultural Research Communication Centre**, v. 36, n. 1, p. 67-71, 2017.

BRAGA, A. H. F. **Elaboração e caracterização de filmes coacervados à base de gelatina/quitosana, gelatina/pectina e gelatina/goma arábica**. 244 p. 2013. Tese (Doutorado em Engenharia de Alimentos) – UNICAMP, Campinas, 2013.

BRANDELERO, R. P. H.; YAMASHITA, F.; GROSSMANN, M. V. E. The effect of surfactant Tween 80 on the hydrophilicity, water vapor permeation, and the mechanical

properties of cassava starch and poly (butylene adipate-co-terephthalate) (PBAT) blend films. **Carbohydrate Polymers**, v. 82, p. 1102–1109, 2010.

BRANDENBURG, A. H.; WELLER, C. L.; TESTIN, R. F. Edible Films and Coatings from Soy Protein. **Journal of Food Science**, v. 58, n. 5, p. 1085-1089, 1993.

BRAVIN, B.; PERESSINI, D.; SENSIDONI, A. Development and application of polysaccharide–lipid edible coating to extend shelf-life of dry bakery products. **Journal of Food Engineering**, v. 76, p.280-290, 2006.

BRUNAUER, S., DEMING, L.S., DEMING, W.E., TELLER, E. On theory of the van der Waals adsorption of glass. **Journal of the American Chemistry Society**, v. 62, p. 1723–1732, 1940.

CALVACHE, J. N.; CUETO, M.; FARRONI, A.; PLA, M. DE E.; GERSCHENSON, L. N. Antioxidant characterization of new dietary fiber concentrates from papaya pulp and peel (*Carica papaya* L.). **Journal of Functional Foods**, v. 27, p. 319–328, 2016.

CANIZARES, D.; MAURO, M. A. Enhancement of Quality and Stability of Dried Papaya by Pectin-Based Coatings as Air-Drying Pretreatment. **Food Bioprocess Technology**, p. 1187–1197, 2015.

CAO, N.; FU, Y.; HE, J. Preparation and physical properties of soy protein isolate and gelatin composite films. **Food Hydrocolloids**, v. 21, p.1153-62, 2007.

CARASCHI, J. C.; CAMPANA FILHO, S. P. Influência do grau de substituição e da distribuição de substituintes sobre as propriedades de equilíbrio de carboximetilcelulose em solução aquosa. **Polímeros: Ciência e Tecnologia**, p. 70-77, p. 1999.

CARPINETI, L.; MARTINEZ, M. J.; PILOSOF, A. M.; PÉREZ, O. E. β -lactoglobulin-carboxymethylcellulose core-shell microparticles: construction, characterization and isolation. **Journal of Food Engineering**, v. 131, p. 65-74, 2014.

CERRUTTI, B. M.; FROLLINI, E. Carboximetilcelulose como agente de estabilização de suspensões cerâmicas. *In*: Congresso Brasileiro de Polímeros, 10, 2009, Foz do Iguaçu. **Anais do Congresso Brasileiro de Polímeros**, Foz do Iguaçu: Abpol, 2009.

CERRUTTI, B.M.; ZAMBON, M.; MEGIATTO Jr, J.D.; FROLLINI, E. Synthesis of carboxymethylcelluloses with different degrees of substitution and their performance as renewable stabilizing agents for aqueous ceramic suspensions. **Industrial Crops & Products**, v. 107, p. 54-62, 2017.

CHEN, J.; CHEN, X.; ZHU, Q.; CHEN, F.; ZHAO, X.; AO, Q. Determination of the domain structure of the 7S and 11S globulins from soy proteins by XRD and FTIR. **Journal of the Science of Food and Agriculture**, v. 93, p. 1687-1691, 2012.

CHEN, P.; ZHANG, L. New evidences of glass transitions and microstructures of soy protein plasticized with glycerol. **Macromolecular Bioscience**, v. 5, p. 237-245, 2005.

CHEN, W.; YU, H.; LIU, Y.; HAI, Y.; ZHANG, M.; CHEN, P. Isolation and characterization of cellulose nanofibers from four plant cellulose fibers using a chemical-ultrasonic process. **Celulose**, v. 18, p. 433-442, 2011.

CHIELLE, D. P.; BERTUOL, D. A.; MEILLI, L.; TANABE, E. H.; DOTTO, G. L. Convective drying of papaya seeds (*Carica papaya* L.) and optimization of oil extration. **Industrial Crops and Products**, v. 85, p. 221-228, 2016.

- CHO, S. Y.; LEE, S. Y.; RHEE, C. Edible oxygen barrier bilayer film pouches from corn zein and soy protein isolate for olive oil packaging. **LWT – Food Science and Technology**, v. 43, p. 1234-1239, 2010.
- CIANNAMEA, E. M.; STEFANI, P. M.; ROXANA, P. M.; RUSECKAITE, R. A. Physical and mechanical properties of compression molded and solution casting soybean protein concentrate based films. **Food Hydrocolloids**, v. 38, p. 193-204, 2014.
- COFFEY, D. G.; BELL, A.; HENDERSON, A. Cellulose and cellulose derivatives. *In*: STEPHEN, A. M (Ed). **Food polysaccharides and their applications**. Nova York: Mercel Dekker, 1995. p. 123-153.
- COLES, R.; McDOWELL, D.; KIRWAN, M. J. **Food packaging technology**. Oxford: CRC Press, 2003, p. 349.
- COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO (CONAB). **Acompanhamento da safra brasileira de grãos (Agosto 2018)**. Brasília: CONAB, n. 11, v. 5., 2018.
- CUQ, B.; GONTARD, N.; CUQ, J. L.; GUILBERT, S. Rheological Model for the Mechanical Properties of Myofibrillar Protein-Based Films. **Journal Agriculture Food Chemical**, v. 44, p. 1116-1122, 1996.
- DAMODARAN, S.; PARKIN, K. L. **Química de alimentos de Fennema**. 5 ed. Porto Alegre: Artmed Editora LTDA, 2019.
- DAVIES, R. O.; JONES, G. O. Thermodynamic and kinetic properties of glasses. **Advances in Physics**, v. 2, n. 7, p. 370–410, 1953.
- De KRUIF, C.G.; TUINIER, R. Polysaccharide protein interactions. **Food Hydrocolloids**, 15, 555-563, 2001.
- DELGADO, A. V.; GONZÁLEZ-CABALLERO, F.; HUNTER, R. J.; KOOPAL, L. K.; LYKLEMA, J. Measurement and interpretation of electrokinetic phenomena. **Journal of Colloid and Interface Science**, v. 309, p. 194-224, 2007.
- DENAVI, G.; TAPIA-BLÁCIDO, D. R.; AÑON, M. C.; SOBRAL, P. J. A.; MAURI, A. N.; MENEGALLI, F. C. Effects of drying conditions on some physical properties of soy protein films. **Journal of Food Engineering**, v. 90, p. 341-349, 2009.
- DHALL, R. K. Advances in edible coatings for fresh fruits and vegetables: a review. **Critical Reviews in Food Science and Nutrition**, v. 53, p. 435-450, 2013.
- DUAN, J.; WU, R.; STRIK, B. C.; ZHAO, Y. Effect of edible coatings on the quality of fresh blueberries (Duke and Elliott) under commercial storage conditions. **Postharvest Biology and Technology**, v. 59, p. 71–79, 2011.
- DUHORANIMANA, E.; KARANGWA, E.; LAI, L.; XU, X.; YU, J.; XIA, S.; ZHANG, X.; MUHOZA, B.; HABINSHUTI, I. Effect of sodium carboxymethyl cellulose on complex coacervates formation with gelatin: Coacervates characterization, stabilization and formation mechanism. **Food Hydrocolloids**, v. 69, 2017, p. 111-120.
- EBRAHIMI, B.; MOHAMMADI, R.; ROUHI, M.; MORTAZAVIAN, A. M.; SHOJAEI-ALIABADI, S.; KOUSHKI, R. M. Survival of probiotic bacteria in carboxymethyl cellulose-based edible film and assessment of quality parameters. **LWT – Food Science and Technology**, v. 87, p. 54-60, 2018.
- EGHBAL, N.; YARMAND, M. S.; MOUSAVI, M.; DEGRAEVE, P.; OULAHAL, N.; GHARSALLAOUI, A. Complex coacervation for the development of composite edible films

based on LM pectin and sodium caseinate. **Carbohydrate Polymers**, v. 151, p. 947-956, 2016.

Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (EMBRAPA). **A cultura do mamão**. 3ª ed. Brasília: Embrapa Informação Tecnológica, v. 65, p. 11-119, 2009.

ESPITIA, P. J. P.; DU, Wen-Xian.; AVENA-BUSTILLOS, R. J.; SOARES, N. F. F. S.; McHUG, T. H. Edible films from pectin: Physical-mechanical and antimicrobial properties - A review. **Food Hydrocolloids**, v. 35, p. 287-296.

FAINBERG, E. Z.; MIKHAILOV, N. V. Temperature dependence of the specific heat of cellulose fibres. **Polymer Science U.S.S.R.**, v. 9, p. 1030-1038, 1967.

FAKHOURI, F. M.; MARTELLI, S. M.; CAON, T.; VELASCO, J. I.; MEL, L. H. I. Edible films and coatings based on starch/gelatin: Film properties and effect of coatings on quality of refrigerated Red Crimson grapes. **Postharvest Biology and Technology**, v.109, p. 57-64, 2015.

FALGUERA, V.; PABLO, J. Q.; JIMENEZ, A.; MIÑOS, J. A.; ILBARZ, A. Edible films and coating: Structures, active functions and trends in their use. **Trends in Food Science & Technology**, v. 22, p. 292-303, 2011.

FAOSTAT. Production quantities of Cotton lint by country. Disponível em: <<http://faostat.fao.org/>>. Acesso em: 01 agosto. 2018.

FERRARI, C. C.; SARANTÓPOULOS, C. I. G.; CARMELLO-GUERREIRO, S. M.; HUBINGER, M. D. Effect of Osmotic Dehydration and Pectin Edible Coatings on Quality and Shelf Life of Fresh-Cut Melon. **Food Bioprocess Technology**, p. 80-91, 2013.

FAKHOURI, F. M.; MARTELLI, S. M.; CAON, T.; VELASCO, J. I.; MEL, L. H. I. Edible films and coatings based on starch/gelatin: Film properties and effect of coatings on quality of refrigerated Red Crimson grapes. **Postharvest Biology and Technology**, v. 109, p. 57-64, 2015.

FIJAN, R.; BASILE, M.; SOSTAR-TURK, S.; ZAGAR, E.; ZIGON, M.; LAPASIN, R. A study of rheological and molecular weight properties of recycled polysaccharides used as thickeners in textile printing. **Carbohydrate Polymers**, v. 76, p. 8-16, 2008.

FILIPPIN, A. P.; FILHO, L. M.; FADEL, V.; MAURO, M. A. Thermal intermittent drying of apples and its effects on energy consumption. **Drying Technology**, 2018. doi: 10.1080/07373937.2017.1421549

FLORES, S.; FAMÁ, L.; ROJAS, A. M.; GOYANES, S.; GERSCHENSON, L. Physical properties of tapioca-starch edible films: Influence of filmmaking and potassium sorbate. **Food Research International**, v. 40, p. 257-265, 2007.

FOUST, A. S. et al. **Princípios das Operações Unitárias**. 2. Ed. Rio de Janeiro: LTC, 2008.

GALINDEZ, A.; DAZA, L. D.; HOMEZ-JARA, A.; EIM, V. S.; VÁQUIO, H. A. Characterization of ulluco starch and its potential for use in edible films prepared at low drying temperature. **Carbohydrate Polymers**, v. 215, p. 143-150, 2019.

GALUS, S.; LENART, A. Development and characterization of composite edible films based on sodium alginate and pectin. **Journal of Food Engineering**, v. 115, p. 459-465, 2013.

GALUS, S.; MATHIEU, H.; LENART, A.; DEBEAUFORT, F. Effect of modified starch or maltodextrin incorporation on the barrier and mechanical properties, moisture sensitivity and

appearance of soy protein isolate-based edible films. **Innovative Food Science and Emerging Technologies**, v. 16, p. 148-154, 2012.

GARCIA, C. C.; CAETANO, L. C.; SILVA, K. S.; MAURO, M. A. Influence of edible coating on the drying and quality of papaya (*Carica papaya*). **Food and Bioprocess Technology**, v.7, p. 2828–2839, 2014.

GEANKOPLIS, C. J. **Procesos de transporte y operaciones unitarias**. 3^a ed. México: Compañía Editorial Continental, S. A. de C. V. México, 1998.

GENNADIOS, A.; BRANDENBURG, A. H.; WELLER, C. L.; TESTIN, R. Effect of pH on properties of wheat gluten and soy protein isolate films. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, v. 41, p. 1835-1839, 1993.

GERMER, S. P. M.; FERRARI, C. C.; LANCHI, J. P.; BERBARI, S. A. G.; CARMELLO-GUERREIRO, S. M.; RUFFO, C. R. G. Influence of processing additives on the quality and stability of dried papaya obtained by osmotic dehydration and conventional air drying. **Drying Technology**, v. 32, p. 1956-1969, 2014.

GOL, N. B.; PATEL, P. R.; RAO, T. V. R. Improvement of quality and shelf-life of strawberries with edible coatings enriched with chitosan. **Postharvest Biology and Technology**, v. 85, p. 185-195, 2013.

GONG, J.; LI, J.; XU, J.; XIANG, Z.; MO, L. Research on cellulose nanocrystals produced from cellulose sources with various polymorphs. **The Royal Society of Chemistry**, v. 7, p. 33486-33493, 2017.

GONTARD, N.; THIBAUT, R.; CUQ, B.; GUILBERT, S. Influence of relative humidity and film composition on oxygen. **Journal of Agricultural Food Chemistry**, v. 44, 1064-1069, 1996.

GOULA, A. M.; ADAMOPOULOS, K. G. Kinetic models of β -carotene degradation during air drying of carrots. **Drying Technology**, v. 28, p. 752-761, 2010.

GOULA, A. M.; ADAMOPOULOS, K. G.; CHATZITAKIS, P. C.; NIKAS, V. A. Prediction of lycopene degradation during a drying process of tomato pulp. **Journal of Food Engineering**, v. 74, p. 37-46, 2006.

GOUNGA, M. E.; XU, Shi-Ying.; WANG, Z. Whey protein isolate-based edible films as affected by protein concentration, glycerol ratio and pullulan addition in film formation. **Journal of Food Engineering**, v. 83, p. 521-530, 2007.

GUERRERO, P.; GARRIDO, T.; LECETA, I.; De La CABA, K. Films based on proteins and polysaccharides: Preparation and physical–chemical characterization. **European Polymer Journal**, 2013. doi: 10.1016/j.eurpolymj.2013.08.014

GUILBERT, S. Technology and application of edible protective films. *In*: MATHOLOUTHI, M. (Ed.). **Food packaging and preservation, Theory and Practice**. London: Elsevier Applied Science Publishing, 1986. p. 371-394.

GUILBERT, S.; GONTARD, N.; CUQ, B. Technology and applications of edible protective films. **Packaging Technology and Science**, v. 8, p. 339-346, 1995.

HAN, J.; SHIN, So-Hyang.; PARK, Ki-Moon.; KIM, K. M. Characterization of physical, mechanical, and antioxidant properties of soy protein-based bioplastic films containing carboxymethylcellulose and catechin. **Food Science and Biotechnology**, v. 24, n. 3, p. 939-945, 2015.

- HAN, J.H.; GENNADIOS, A. Edible films and coatings: A review. *In: HAN, J.H (Ed). Innovations in Food Packaging*. Elsevier: San Diego, 2005. p. 239–262.
- HARNKARNSUJARIT, N. Glass-transition and non-equilibrium states of edible films and barriers. *In: BHANDARI, B.; ROOS, Y. (Ed.). Non-Equilibrium States and Glass Transitions in Foods: Processing Effects and Product-Specific Implications*. Amsterdam: Woodhead Publishing/Elsevier, 2017. p. 349-377.
- HEINZE, T. Carboxymethyl ethers of cellulose and starch – A review. **Химия растительного сырья (Chemistry of plant raw materials)**, n. 3, p. 13-29, 2005.
- HERNANDEZ-IZQUIERDO, V.M.; KROCHTA, J.M. Thermoplastic Processing of Proteins for Film Formation—A Review. **Journal of Food Science**, v. 73, n. 2, R30-R39, 2008.
- HERNÁNDEZ, Y.; LOBO, M. G.; GONZÁLEZ, M. Determination of vitamin C in tropical fruits: A comparative evaluation of methods. **Food Chemistry**, v. 96, p. 654-664, 2006.
- HEWAJULIGE, I. G. N.; DHEKNEY, S. A. Papayas. *In: CABALLERO, B.; FINGLAS, P. M.; TOLDRÁ, F. (Eds). Encyclopedia of Food and Health*. Oxford: Academic Press, 2016. p. 209-212.
- HO, F. F. L.; KLOSIEWL CZ, D. W. Proton nuclear magnetic resonance spectrometry for determination of substituents and their distribution in carboxymethylcellulose. **Analytical Chemistry**, v. 52, n. 6, 1980.
- HUNTER, R. J. **Zeta potential in colloid science: principles and applications**. Londres: Academic Press Limited, 1981.
- HUO, P.; NI, S.; HOU, P.; XUN, Z.; LIU, Y.; GU, J. A crosslinked soybean protein isolate gel polymer electrolyte based on neutral aqueous electrolyte for a high-energy-density supercapacitor. **Polymers**, v. 11, p. 1-13, 2019.
- IKRAM, E. H. K.; STANLEY, R.; NETZEL, M.; FANNING, K. Phytochemicals of papaya and its traditional health and culinary uses – A review. **Journal of Food Composition and Analysis**, v. 14, p. 201-211, 2015.
- IOELOVICH, M. **Cellulose nanostructured natural polymer**. 2014. 74 p. Monography – Lambert Academic Publishing, Saarbrücken, Germany, 2014.
- IOELOVICH, M. Y. Models of supramolecular structure and properties of cellulose. **Journal of Polymer Science Part A**, v. 58, p. 925-943, 2016.
- IOELOVICH, M.; KAIMIN, I. Study of transition temperatures of cellulose in liquid systems. **Journal High-Molecular Compounds**, v. 21, n. 8, p. 621-625, 1979.
- JANGAM, S. V.; MUJUMDAR, A. S.; ADHIKARI, B. Drying: Physical and structural changes. *In: CABALLERO, B.; FINGLAS, P. M.; TOLDRÁ, F. (Eds). Encyclopedia of Food and Health*. Oxford: Academic Press, p. 446-455, 2016.
- JARAMILLO, D. P.; ROBERTS, R. F.; COUPLAND, J. N. Effect of pH on the properties of soy protein-pectin complexes. **Food Research International**, v. 44, p. 911-916, 2011.
- JENSEN, A.; LIM, L. T.; BARBUT, S.; MARCONE, M. Development and characterization of soy protein films incorporated with cellulose fibers using a hot surface casting technique. **LWT – Food Science and Technology**, v. 60, p. 162-170, 2015.
- JERÔNIMO, C. E. M. Desidratação de rodela s de cenouras: avaliação dos pré-tratamentos na cinética de secagem e na qualidade do material produzido. **Revista Verde de Agroecologia e Desenvolvimento Sustentável**, v. 8, n. 5, p. 9–17, 2013.

- JIMENEZ, A. FABRA, M. J. TALENS, P. CHIRALT, A. Edible and Biodegradable Starch Films: A Review. **Food Bioprocess Technology**, v. 5, p. 2058-2076, 2012.
- JINDAL, N.; KHATTAR, J. S. Microbial Polysaccharides in Food Industry. *In*: GRUMEZESCU, A. M.; HOLBAN, A. M. (Eds.). **Biopolymers for Food Design**. Londres: Academic Press, 2018. p. 95-123.
- JOHN, A.; YANG, J.; LIU, J.; JIANG, Y.; YANG, B.; The structure changes of water-soluble polysaccharides in papaya during ripening. **International Journal of Biological Macromolecules**, v. 115, p. 152-156, 2018.
- JUNCU, G.; STOICA-GUZUN, A.; STROESCU, M.; ISOPENCU, G.; JUNGA, S. I. Drug release kinetics from carboxymethylcellulose-bacterial cellulose composite films. **International Journal of Pharmaceutics**, v. 510, p. 485-492, 2016.
- KAIMIN, L. K.; IOELOVICH, M. Ya. Effect of moisture content on transition temperature of cellulose. **High-Molecular Compounds**, v. 15, p. 764-766, 1973.
- KHALESI, H.; EMADZADEH, B.; KADKHODAEI, R.; FANG, Y. Whey protein isolate-Persian gum interaction at neutral pH. **Food Hydrocolloids**, v. 59, p. 45-49, 2016.
- KANMANI, P. K.; LIM, S. T. Development and characterization of novel probiotic-residing pullulan/starch edible films. **Food Chemistry**, v. 141, p. 1041-1049, 2013.
- KARUNASENA, H. C. P.; HESAMI, P.; SENADEERA, W.; GU, Y. T.; BROWN, R. J.; OLOYEDE, A. Electron microscopic study of microstructure of gala apples during hot air drying. **Drying Technology: An International Journal**, v. 32, n.4, p. 455-468, 2014.
- KÄSTNER, U.; HOFFMANN, H.; DÖNGES, R.; HILBIG, J. Structure and solution properties of sodium carboxymethyl cellulose. **Colloids and Surfaces A: Physicochemical and Engineering Aspects**, v. 123, p. 307-328, 1997.
- KEERATI-U-RAI, M.; CARREDIG, M.; Effect of dynamic high-pressure homogenization on the aggregation state of soy protein. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, 2009.
- KHANZADI, M.; JAFARI, S. M.; MIRZAEI, H.; CHEGINI, F. K.; MAGHSOUDLOU, Y.; DEHNAD, D. Physical and mechanical properties in biodegradable films of whey protein concentrate-pullulan by application of beeswax. **Carbohydrate Polymers**, v. 119, 24-49, 2015.
- KITABATAKE, N.; TAHARA, M.; DOI, E. Denaturation temperature of soy protein under low moisture conditions. **Agricultural and Biological Chemistry**, v. 53, p. 1201-1202, 1989.
- KOKOSZKA, S.; DEBEAUFORT, F.; HAMBLETON, A.; LENART, A.; VOILLEY, A. Protein and glycerol contents affect physico-chemical properties of soy protein isolate-based edible films. **Innovative Food Science and Emerging Technologies**, v. 11, p. 503-510, 2010.
- KOKOSZKA, S.; DEBEAUFORT, F.; LENART, A.; VOILLEY, A. Water vapour permeability, thermal and wetting properties of whey protein isolate based edible films. **International Dairy Journal**, v. 20, p. 53-60, 2010.
- KOUPANTISIS, T.; PAVILIDOU, E.; PARASKEVOPOULOU, A. Flavour encapsulation in milk proteins – CMC coacervate-type complexes. **Food Hydrocolloids**, v. 37, p. 134-142, 2014.

KOWALSKI, S. J.; SZADZINSKA, J. Convective-intermittent drying of cherries preceded by ultrasonic assisted osmotic dehydration. **Chemical Engineering and Processing: Process Intensification**, v. 82, p. 65-70, 2014.

KOWALSKI, S. J.; SZADZINSKA, J.; LECHTANSKA. Non-stationary drying of carrot: Effect on product quality. **Journal of Food Engineering**, v. 118, p. 393-399, 2013.

KROCHTA, J.M. Protein as raw materials for films and coatings: Definitions, current status, and opportunities. *In*: GENNADIOS, A. (Ed). **Protein based Films and Coatings**. Boca Raton: CRC Press, 2002. p. 1-32.

KROCHTA, J. M. & JOHNSTON, C. M. Edible and biodegradable polymer films: challenges and opportunities. **Food Technology**, v. 51, n. 2, 1997.

KUMAR, C.; KARIM, M. A.; JOARDDER, M. U. H. Intermittent drying of food products: A critical review. **Journal of Food Engineering**, v. 121, p. 48–57, 2014.

KUROZAWA, L. E.; TERNG, I.; HUBINGER, M. D.; PARK, K. J. Ascorbic acid degradation of papaya during drying: Effect of process conditions and glass transition phenomenon. **Journal of Food Engineering**, v. 123, p. 157-164, 2004.

LABUZA, T. P.; ALTUNAKAR, L. Water activity prediction and moisture sorption isotherms. *In*: BARBOSA-CÁNOVAS, G. V.; FONTANA, A. J.; SCHMIDT, S. J.; LABUZA, T. P. **Water Activity in Foods**. Danvers: Blackwell Publishing, 2008. p. 109-154.

LABUZA, T.P. Oxidative changes in foods at low and intermediate moisture levels. *In*: DUCKWORTH, R.B. (Ed.). **Water Relations of Foods**. New York: Academic Press, 1975. p. 455–474.

LAGO-VANZELA, E. S.; NASCIMENTO, P.; FONTES, E. A. F.; MAURO, M. A.; KIMURA, M. Edible coatings from native and modified starches retain carotenoids in pumpkin during drying. **LWT - Food Science and Technology**, v. 50, p. 420–425, 2013.

LAM, M.; PAULSEN, P.; CORREDIG, M. Interactions of soy protein fractions with high-methoxyl pectin. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, v. 56, p. 4726-4735, 2008.

LAKSHMI, D. S.; TRIVEDI, N.; REDDY, C. R. K. Synthesis and characterization of seaweed cellulose derived carboxymethyl cellulose. **Carbohydrate Polymers**, v. 157, p. 1604-1610, 2017.

LENGOWSKI, E. C.; MUNIZ, G. I. B.; NISGOSKI, S.; MAGALHÃES, W. L. E. Avaliação de métodos de obtenção de celulose com diferentes graus de cristalinidade. **Scientia Forestalis**, v. 41, n. 98, p. 185-194, 2013.

LI, W.; SUN, B.; WU, P. Study on hydrogen bonds of carboxymethyl cellulose sodium film with two-dimensional correlation infrared spectroscopy. **Carbohydrate Polymers**, v. 78, n. 3, p. 454–461, 2009.

LI, X.; ZHU, X.; MAO, J. Isolation and characterization of ethylene response factor family genes during development, ethylene regulation and stress treatments in papaya fruit. **Plant Physiology and Biochemistry**, v. 70, p. 81–92, 2013.

LI, Y.; YOKOYAMA, W.; WU, J.; MA, J.; ZHONG, F. Properties of edible films based on pullulan–chitosan blended film-forming solutions at different pH. **Royal Society of Chemistry**, v. 5, p. 105844-105850, 2015.

- LI, Z.; WANG, Y.; PEI, Y.; XIONG, W.; XU, W.; LI, B.; LI, J. Effect of substitution degree on carboxymethylcellulose interaction with lysozyme. **Food Hydrocolloids**, v. 62, p. 222-229, 2017.
- ŁOJEWSKA, J.; MIŚKOWIEC, P.; ŁOJEWSKI, T.; PRONIEWICZ, L. M. Cellulose oxidative and hydrolytic degradation: In situ FTIR approach. **Polymer Degradation and Stability**, v. 88, n. 3, p. 512–520, 2005.
- LOMAURO, C. J., BAKSHI, A. S., LABUZA, T. P. Evaluation of food moisture sorption isotherm equations. Part I: fruit, vegetables and meat products. **Lebensmittel- Wissenschaft und Technologie**, v. 18, n. 2, p. 111-117, 1985.
- LU, Y.; WENG, L.; CAO, X. Biocomposites of plasticized starch reinforced with cellulose crystallites from cottonseed linter. **Macromolecular Bioscience**, v. 5, p. 1101-1107, 2005.
- MALI, S.; GROSSMANN, M. V. E.; GARCÍA, M. A.; MARTINO, M. N.; ZARITZKY, N. E. Effects of controlled storage on thermal, mechanical and barrier properties of plasticized films from different starch sources. **Journal of Food Engineering**, v. 75, p. 453-460, 2006.
- MALI, S. GROSSMANN, M. V. E.; YAMASHITA, F. Filmes de amido: produção, propriedades e potencial de utilização. **Semina: Ciências Agrárias**, v. 31, n. 1, p. 137-156, 2010.
- MALMIRI, J. H.; OSMAN, A.; TAN, C. P.; RAHMAN, A. R. Evaluation of effectiveness of three cellulose derivative-based edible coatings on changes of physico-chemical characteristics of 'Berangan' banana (*Musa sapientum* cv. Berangan) during storage at ambient conditions. **International Food Research Journal**, v. 18, n. 4, p. 1381-1386, 2011.
- MALVERN INSTRUMENTS WORLDWIDE. **Concentration limits for zeta potential measurements in the Zetasizer Nano**. Worcestershire: Malvern Instruments Limited, 2017.
- MANABE, Sei-ichi.; IWATA, M.; KAMIDE, K. Dynamic mechanical absorptions observed for regenerated cellulose solids in the temperature range from 280 to 600 K. **Polymer Journal**, v. 18, p. 1-14, 1986.
- MARTELLI, S. M.; MOTTA, C.; CAON, T.; ALBERTON, J.; BELLETTINI, I. C.; PRADO, A. C. P.; BARRETO, P. L. M.; SOLDI, V. Edible carboxymethyl cellulose films containing natural antioxidant and surfactants: a-tocopherol stability, in vitro release and film properties. **LWT – Food Science and Technology**, v. 77, p. 21-29, 2017.
- MASKAN, M. Drying, shrinkage and rehydration characteristics of kiwifruits during hot air and microwave drying. **Journal of Food Engineering**, v. 48, p. 177–182, 2001.
- MATALANIS, A.; JONES, O. G.; McCLEMENTS, D. J. Structured biopolymer-based delivery systems for encapsulation, protection, and release of lipophilic compounds. **Food Hydrocolloids**, v. 25, p. 1865-1880, 2011.
- MAURI, A. N.; AÑÓN, M. C. Effect of solution pH on solubility and some structural properties of soybean protein isolate films. **Journal of the Science of Food and Agriculture**, v. 86, p. 1064-1072, 2006.
- MCHUGH, T. H. Protein-lipid interactions in edible films and coatings. **Nahrung**, v. 44, p. 148-151, 2000.
- MILLER, K. S.; KROCHTA, J. M. Oxygen and aroma barrier properties of edible films: a review. **Trends in Food Science and Technology**, v. 8, 1997.
- MO, X.; SUN, X. Plasticization of soy protein polymer by polyol-based plasticizers. **Journal of the American Oil Chemists' Society**, v. 79, p. 197-202, 2002.

- MOHAMMADI, H.; KAMKAR, A.; MISAGHI, A. Nanocomposite films based on CMC, okra mucilage and ZnO nanoparticles: Physico mechanical and antibacterial properties. **Carbohydrate Polymers**, v. 181, p. 351-357, 2018.
- MOLINA FILHO, L. **Influência de variáveis de processo sobre a cinética de secagem de abóbora (*Cucurbita moschata*)**. 2011. 137 f. Tese (Doutorado) - Instituto de Biociências, Letras e Ciências Exatas, Universidade Estadual Paulista, São José do Rio Preto, 2011.
- MORAIS, J. P. S.; ROSA, M. F.; FILHO, M. M. S.; NASCIMENTO, L. D.; NASCIMENTO, D. M.; CASSALES, A. R. Extraction and characterization of nanocellulose structures from raw cotton linter. **Carbohydrate Polymers**, v. 91, p. 229-235, 2013.
- MORALES, A.; KOKINI, J. L. Glass transition of soy globulins using differential scanning calorimetry and mechanical spectrometry. **Biotechnology Progress**, v. 13, p. 624-629, 1997.
- MUJUMDAR, A. S. Research and Development in Drying: Recent Trends and Future Prospects. **Drying Technology**, v.22, p. 1-26, 2004.
- MUJUMDAR, A. S.; LAW, C. L. Drying technology: Trends and applications in postharvest processing. **Food and Bioprocess Technology**, v.3, p. 843-852, 2010.
- NIETO, M. B. Structure and function of polysaccharide gum-based edible films and coatings. *In*: EMBUSCADO, M. E.; HUBER, C. K. (Eds). **Edible films and coatings for food applications**. Nova York: Springer, 2009. p. 77.
- NISHINARI, K.; FANG, Y.; GUO, S.; PHILLIPS, G. O. Soy proteins: A review on composition, aggregation and emulsification. **Food Hydrocolloids**, v. 39, p. 301-318, 2014.
- OLIVAS, G. I.; BARBOSA-CÁNOVAS, G. V. Edible coatings for fresh-cut fruits critical reviews. **Food Science and Nutrition**, v. 45, p. 657, 2005.
- OLIVEIRA, J. G.; VITÓRIA, A. P. Papaya: Nutritional and pharmacological characterization, and quality loss due to physiological disorders. An overview. **Food Research International**, v. 44, p. 1306-1313, 2011.
- OLIVEIRA, M. M. G.; SILVA, K. S. Effect of protein and polysaccharide-based edible coatings on quality of kiwifruit (*Actinidia deliciosa*) during drying. **International Journal of Food Engineering**, v. 13, 2017.
- OLIVEIRA, S.; BRANDÃO, T. R. S.; SILVA, C. L. M. Influence of drying processes and pretreatments on nutritional and bioactive characteristics of dried vegetables: A Review. **Food Engineering Reviews**, 2015.
- ORIKASA, T.; KOIDE, S.; OKAMOTO, S.; IMAIZUMI, T.; MURAMATSU, Y.; TAKEDA, J.; SHIINA, T.; TAGAWA, A. Impacts of hot air and vacuum drying on the quality attributes of kiwifruit slices. **Journal of Food Engineering**, v. 125, p. 51-58, 2014.
- OUN, A. A.; RHIM, Jong-Whan. Preparation and characterization of sodium carboxymethyl cellulose/cotton linter cellulose nanofibril composite films. **Carbohydrate Polymers**, v. 127, p. 107-109, 2015.
- OTONI, C. G.; AVENA-BUSTILLOS, J. R.; OLSEN, C. W.; BILBAO-SÁINZ, T. H. M. Mechanical and water barrier properties of isolated soy protein composite edible films as affected by carvacrol and cinnamaldehyde micro and nanoemulsions **Food Hydrocolloids**, v. 57, p. 72-79, 2016.
- PAN, H.; JIANG, B.; CHEN, J.; JIN, Z. Blend-modification of soy protein/lauric acid edible films using polysaccharides. **Food Chemistry**, v. 151, p. 1-6, 2014.

- PARK, H. J.; CHINNAN, M. S. Gas and water vapor barrier properties of edible films from protein and cellulosic materials. **Journal of Food Engineering**, v. 25, p. 497-507, 1995.
- PARK, S. K.; HETTIARACHCHY, N.S.; JU, Z.Y.; GENNADIOS, A. Formation and Properties of Soy Protein Films and Coatings. *In*: GENNADIOS, A. (Ed). **Protein based Films and Coatings**. Boca Raton: CRC Press, 2002.
- PARK, S. K.; RHEE, C. O.; BAE, D. H.; HETTLARACHCHY, N. S. Mechanical properties and water-vapor permeability of soy-protein films affected by calcium salts and glucono- δ -lactone. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, V. 49, P. 2308-2312, 2001.
- PASCAL, M. A.; HARTE, B. R.; GIACIN, J. R.; GRAY, J. J. Decreasing lipid oxidation in soybean oil by UV absorber in the packaging material. **Journal of Food Science**, v. 60, n. 5, 1995.
- PEREZ-GAGO, M. B.; KROCHTA, J. M. Denaturation time and temperature effects on solubility, tensile properties, and oxygen permeability of whey protein edible films. **Food Engineering and Physical Properties**, v. 66, n. 5, p. 705-709, 2001.
- PEREZ-GAGO, M. B.; SERRA, M.; ALONSO, M.; MATEOS, M.; del RIO, M. A. Effect of whey protein and hydroxypropyl methylcellulose-based edible composite coatings on color change of fresh-cut apples. **Postharvest Biology and Technology**, V. 36, p. 77-85, 2005.
- PEREZ-GAGO, M. B.; SERRA, M.; del RIO, M. A. Color change of fresh-cut apples coated with whey protein concentrate-based edible coatings. **Postharvest Biology and Technology**, v. 39, p. 84-92, 2006.
- PIERRO, P. D.; SORRENTINO, A.; MARINIELLO, L.; GIOSAFATTO, C. V. L. PORTA, R. Chitosan/whey protein film as active coating to extend Ricotta cheese shelf-life. **LWT – Food Science and Technology**, v. 44, p. 2324-2327, 2011.
- RAFI, A. A.; MAHKAM, M. Preparation of magnetic pH-sensitive microcapsules with alginate base as colon specific drug delivery systems through an entirely green route. **Royal Society of Chemistry**, 2014. doi: 10.1039/C4RA15170D
- RAMÍREZ, C.; GALLEGOS, I.; IHL, M.; BIFANI, V. Study of contact angle, wettability and water vapor permeability in carboxymethylcellulose (CMC) based film with murta leaves (*Ugni molinae* Turcz) extract. **Journal of Food Engineering**, v. 109, p. 424-429, 2012.
- REIS, R. C.; VIANA, E. S.; SILVA, S. C. S.; MAMEDE, M. E. O.; ARAÚJO, I. M. S. Stability and sensory quality of dried papaya. **Scientific Research Publishing**, v. 9, p. 489-501, 2018.
- RIZVI, S. S. H. Thermodynamic properties of foods in dehydration. *In*: RAO, M. A.; RIZVI, S. S. H. (Eds.). 2th ed. **Engineering properties of foods**. New York: Marcel Dekker, 1995. p. 223-309.
- ROBERTSON, G. L. **Food packaging: Principles and practice**. Boca Raton, CRC Press, 2012, p. 687.
- ROCCA-SMITH, J. R.; MARCUZZO, E.; KARBOWIAK, T.; CENTA, J.; GIACOMETTI, M.; SCAPIN, F.; VENIR, E.; SENSIDONI, A.; DEBEAUFORT, F. Effect of lipid incorporation on functional properties of wheat gluten based edible films. **Journal of Cereal Science**, v. 69, p. 275-282, 2016.
- RODRIGUEZ-AMAYA, D. B.; KIMURA, M. Screening method for sweetpotato and cassava. *In*: RODRIGUEZ-AMAYA, D. B.; KIMURA, M. **HarvestPlus Handbook for**

Carotenoid Analysis. Washington: International Food Policy Research Institute (IFPRI), 2004. p. 58.

RODRIGUEZ-AMAYA, D. B.; KIMURA, M.; AMAYA-FARFAN, J. **Fontes brasileiras de carotenoides:** Tabela brasileira de composição de carotenoides em alimentos. Brasília: Ministério do Meio Ambiente/Secretaria de Biodiversidade e Florestas, 100 p., 2008.

ROOS, Y. H. Glass Transition Temperature and Its Relevance in Food Processing. **Annual Review of Food Science and Technology**, v. 1, p. 469-496.

RODSAMRAN, P.; SOTHORNVIT, R. Rice stubble as a new biopolymer source to produce carboxymethyl cellulose-blended films. **Carbohydrate Polymers**, v. 171, p. 94-101, 2017.

ROIG, F.; DANTAS, E. Influence of hydrogen bonds on glass transition and dielectric relaxations of cellulose. **Journal of Physics D: Applied Physics**, v. 44, p. 1-9, 2011.

ROJAS-GRAÜ, M.A.; TAPIA, M.S.; MARTÍN-BELLOSO, O. Using polysaccharide-based edible coatings to maintain quality of fresh cut Fuji apples. **LWT- Food Science Technology**, v. 41, p. 139-147, 2008.

ROKHADE, A. P.; AGNIHOTRI, S. A.; PATIL, S. A.; MALLIKARJUNA, N. N.; KULKARNI, P. V.; AMIABHAVI, T. M. Semi-interpenetrating polymer network microspheres of gelatin and sodium carboxymethyl cellulose for controlled release of ketorolac tromethamine. **Carbohydrate Polymers**, v. 65, p. 243-252, 2006.

SAHIN S., SUMNU S.G. Water Activity and Sorption Properties of Foods. *In:* SAHIN S., SUMNU S.G. **Physical Properties of Foods**. New York: Springer, 2006. p. 193-228.

SALGIN, S.; SALGIN, U.; BAHADIR, S. Zeta Potentials and Isoelectric Points of Biomolecules: The Effects of Ion Types and Ionic Strengths. **International Journal of Electrochemical Science**, v. 7, p. 12404-12414, 2012.

SANANDIYA, N. D.; SIDDHANTA, A. K. Cellulose-based spreadable new thixo gels: synthesis and their characterization. **Royal Society of Chemistry**, v. 6, 2016.

SCHULTZ, E.L.; MAZZUCO, M.M.; MACHADO, R.A.F.; BOLZAN, A.; QUADRI, M.B.; QUADRI, M.G.N. Effect of pre-treatments on drying, density and shrinkage of apple slices. **Journal of Food Engineering**, v. 78, p. 1103-1110, 2007.

SHAHBAZI, M.; AHMADI, S.; SEIF, A.; RAJABZADEH, G. Carboxymethyl cellulose film modification through surface photocrosslinking and chemical crosslinking for food packaging applications. **Food Hydrocolloids**, v. 61, p. 378-389, 2016.

SHANKAR, S.; WANG, Long-Feng.; RHIM, Jong-Whan. Preparations and characterization of alginate/silver composite films: Effect of types of silver particles. **Carbohydrate Polymers**, v. 146, p. 208-216, 2016.

SHON, J.; CHOI, Yong-Hwa. Effect of edible coatings containing soy protein isolate (SPI) on the browning and moisture content of cut fruit and vegetables. **Journal of Applied Biological Chemistry**, v. 53, n. 3, p. 190-196, 2011.

SHON, J.; HAQUE, Z. U. Efficacy of sour whey as a shelf-life enhancer: Use in antioxidative edible coatings of cut vegetables and fruit. **Journal of Food Quality**, v. 30, p. 581-593, 2007.

SILVA, K. S.; FONSECA, T. M. R.; AMADO, L. R.; MAURO, M. A. Physicochemical and microstructural properties of whey protein isolate-based films with addition of pectin. **Food Packaging and Shelf Life**, v. 16, p. 122-128, 2018.

- SILVA, K. S.; GARCIA, C. C.; AMADO, L. R.; MAURO, M. A. Effects of edible coatings on convective drying and characteristics of the dried pineapple. **Food Bioprocess Technology**, p. 1465–1475, 2015.
- SILVA, K. S.; MAURO, M. A.; GONÇALVES, M. P.; ROCHA, C. M. R. Synergistic interactions of locust bean gum with whey proteins: Effect on physicochemical and microstructural properties of whey protein-based films. **Food Hydrocolloids**, v. 54, p. 179–188, 2016.
- SINGH, P.; KUMAR, R.; SABAPATHY, S. N.; BAWA, A. S. Functional and Edible Uses of Soy Protein Products. **Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety**, v. 7, 2008.
- SOLIMAN, E. A.; TAWFIK, M. S.; EL-SAYED, H.; MOHARRAM, Y. G. Preparation and characterization of soy protein based edible/biodegradable films. **American Journal of Food Technology**, v. 2, n. 6, p. 462-476, 2007.
- SONG, F.; TANG, D. L.; WANG, X. L.; WANG, Y. Z. Biodegradable soy protein isolate based materials: a review. **Biomacromolecules**, v. 12, n. 10, p. 3369-3380, 2011.
- SOTHORNVIT, R.; KROCHTA, M. Plasticizers in edible films and coatings. **Innovations in Food Packaging**, p. 0–12, 2005.
- SOUZA, A. C.; BENZE, R.; FERRÃO, E. S.; DITCHFIELD, C.; COELHO, A. C. V.; TADINI, C. C. Cassava starch biodegradable films: Influence of glycerol and clay nanoparticles content on tensile and barrier properties and glass transition temperature. **LWT - Food Science and Technology**, v. 46, p. 110-117, 2012.
- STUCHELL, Y. M.; KROCHTA, J. M. Enzymatic treatments and thermal effects on edible soy protein films. **Journal of Food Science**, v. 59, n. 6, 1994.
- SU, Jun-Feng.; HUANG, Z.; YUAN, Xiao-Yan.; WANG, Xin-Yu.; LI, M. Structure and properties of carboxymethyl cellulose/soy protein isolate blend edible films crosslinked by Maillard reactions. **Carbohydrate Polymers**, v. 79, p. 145-153, 2010.
- SU, Jun-Feng.; YUAN, Xiao-Yan.; HUANG, Z.; EANG, Xiu-Yu.; LU, Xu-Zhen.; ZHANG, Li-Dan.; WANG, Shen-Bao. Physicochemical properties of soy protein isolate/carboxymethyl cellulose blend films crosslinked by Maillard reactions: Color, transparency and heat-sealing ability. **Materials Science and Engineering C**, v. 32, p. 40-46, 2012.
- SUGUMARAN, K. R.; JOTHI, P.; PONNUSAMI, V. Bioconversion of industrial solid waste-cassava bagasse for pullulan production in solid-state fermentation. **Carbohydrate Polymers**, v. 99, p. 22–30, 2014.
- SUI, C.; ZHANG, W.; YE, F.; LIU, X.; YU, G. Preparation, physical, and mechanical properties of soy protein isolate/guar gum composite films prepared by solution casting. **Journal of Applied Polymer Science**, 2016. doi: 10.1002/APP.43382
- SURH, J.; DECKER, E. A.; MCCLEMENTS, D. J. Properties and stability of oil-in water emulsions stabilized by fish gelatin. **Food Hydrocolloids**, v. 20, n. 5, p. 596-606, 2006.
- SZCZESNIAK, L.; RACHOCKI, A.; TRITT-GOC, J. Glass transition temperature and thermal decomposition of cellulose powder. **Cellulose**, v. 15, p. 445-451, 2008.
- TABARI, M. Investigation of carboxymethyl cellulose (CMC) on mechanical properties of cold water fish gelatin biodegradable edible films. **Foods**, v. 6, n. 41, p. 1-7, 2017.
- Tabela Brasileira de Composição de Alimentos (TACO) / NEPA – UNICAMP. 4. ed. rev. e ampl. Campinas: NEPA – UNICAMP, 2011.

- TAKOUGNADI, E.; BOROZE, T. E. T.; AZOUMA, O. Y. Development of an intermittent drying process of onion. **Food & Science Technology**, v. 4, p. 1-15, 2018.
- TANG, Chuan He; CHOI, Siu-Mei; MA, Chung-Yung. Study of thermal properties and heat-induced denaturation and aggregation of soy proteins by modulated differential scanning calorimetry. **Biological Macromolecules**, v. 40, p. 96-104, 2007.
- TESFAY, S. Z.; MAGWAZA, L. S.; MBILI, N.; MDITSHWA, A. Carboxyl methylcellulose (CMC) containing moringa plant extracts as new postharvest organic edible coating for Avocado (*Persea americana* Mill.) fruit. **Scientia Horticulturae**, v. 226, p. 201-207, 2017.
- THEBUD, R.; SANTARIUS, K. A. Effects of high-temperature stress on various biomembranes of leaf cells in situ and in vitro. **Plant Physiology**, v. 70, p. 200-202, 1982.
- THUWAPANICHAYANAN, R.; PRACHAYAWARAKORN, S.; KUNWISAWA, J.; SOPONRONNARIT, S. Determination of effective moisture diffusivity and assessment of quality attributes of banana slices during drying. **LWT - Food Science and Technology**, v. 44, 1502–1510, 2011.
- TOLSTOGUZOV, V. B. Some physic-chemical aspects of protein processing in foods. Multicomponent gels. **Food Hydrocolloids**, v. 9, n. 4, p. 317-332, 1995.
- TREYBAL, R.E. **Mass Transfer Operations**. 3th edition. Singapore: McGraw-Hill Book Co., 1980.
- UDOMKUN, P.; NAGLE, M.; ARGYROPOULOS, D.; et al. Compositional and functional dynamics of dried papaya as affected by storage time and packaging material. **Food Chemistry**, v. 196, p. 712–719, 2016.
- UDOMKUN, P.; NAGLE, M.; MAHAYOTHEE, B.; NOHR, D.; KOZA, A.; MÜLLER, J. Influence of air drying properties on non-enzymatic browning, major bio-active compounds and antioxidant capacity of osmotically pretreated papaya. **LWT – Food Science and Technology**, v. 60, p. 914-922, 2015.
- VARGAS, M.; PASTOR, C.; CHIRALT, A.; MCCLEMENTS, D. J.; GONZÁLEZ-MARTÍNEZ, C. Recent advances in edible coatings for fresh and minimally processed fruits. **Critical Reviews in Food Science and Nutrition**, v. 48, p. 496–511, 2008.
- VEGA, A. M. N.; STURM, B.; HOFACKER, W. Simulation of the convective drying process with automatic control of surface temperature. **Journal of Food Engineering**, v. 170, p. 16-23, 2016.
- WAN, V. Cheuk-Hang.; KIM, M. S.; LEE, Soo-Yeun. Water vapor permeability and mechanical properties of soy protein isolate edible films composed of different plasticizer combinations. **Food Engineering and Physical Properties**, v. 70, n. 6, 2005.
- WANG, H.; HU, D.; MA, Q.; WANG, L. Physical and antioxidant properties of flexible soy protein isolate films by incorporating chestnut (*Castanea mollissima*) bur extracts. **LWT – Food science and Technology**, v. 71, p. 33-39, 2016.
- WANG, L.; XIAO, M.; DAI, S.; SONG, J.; NI, X.; FANG, Y.; CARKE, H.; JIANG, F. Interactions between carboxymethyl konjac glucomannan and soy protein isolate in blended films. **Carbohydrate Polymers**, v. 101, p. 136-145, 2014.
- WANG, S.; LU, A.; ZHANG, L. Recent advances in regenerated cellulose materials. **Progress in Polymer Science**, v. 53, p. 169-206, 2016.

WITTAYA, T. Protein-based edible films: characteristics and improvement of properties. *In*: EISSA, A. A. (Ed.). **Structure and function of food engineering**. Croatia: InTech, 2012. p. 43-70.

XIA, C.; WANG, L.; DONG, Y.; ZHANG, S.; SHI, S. Q.; CAI, L.; LI, J. Soy protein isolate-based films cross-linked by epoxidized soybean oil. **The Royal Society of Chemistry**, v. 5, p. 82765-82771, 2015.

XIONG, W.; REN, C.; TIAN, M.; YANG, X.; LI, J.; LI, B. Complex coacervation of ovalbumin-carboxymethylcellulose assessed by isothermal titration calorimeter and rheology: Effect of ionic strength and charge density of polysaccharide. **Food Hydrocolloids**, v. 73, p. 41-50, 2017.

YAMANISHI, O. S.; FAGUNDES, G. R.; FILHO, J. A. M.; FALCÃO, J. V.; MIRANDA, S. P. Comportamento da maturação de mamão Tainung 1 cultivado em Brasília-DF. **Revista Brasileira de Fruticultura**, v. 27, n. 2, p. 314-316, 2005.

YOO, S.; KROCHTA, J. M. Whey protein-polysaccharide blended edible film formation and barrier, tensile, thermal and transparency properties. **Journal of the Science of Food and Agriculture**, v. 91, p. 2628-2636, 2011.

ZHENG, X.; DUAN, Y.; ZHE, W.; JIANG, J.; HE, L.; WANG, S.; WANG, M. Edible coating based on soy protein to improve shelf life and overall quality of minimally processed jujubes. **Journal of Food, Agriculture & Environment**, v. 11, p. 263-269, 2013.

ZHANG, L.; CHEN, F.; LAI, S.; WANG, H.; YANG, H. Impact of soybean protein isolate-chitosan edible coating on the softening of apricot fruit during storage. **LWT – Food Science and Technology**, v. 96, p. 604-611, 2018.

ZHENG, T.; YU, X.; PILLA, S. Mechanical and moisture sensitivity of fully bio-based dialdehyde carboxymethyl cellulose cross-linked soy protein isolate films. **Carbohydrate Polymers**, v. 157, p. 1333-1349, 2017.