



UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARÁ
INSTITUTO DE TECNOLOGIA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM CIÊNCIA E TECNOLOGIA DE
ALIMENTOS

GLAUCE VASCONCELOS DA SILVA PEREIRA

APROVEITAMENTO SUSTENTÁVEL DOS RESÍDUOS DE PESCADO PARA
OBTENÇÃO DE REVESTIMENTOS/FILMES, APLICAÇÃO NA CONSERVAÇÃO
PÓS-COLHEITA DE GOIABAS (*Psidium guajava L.*), ESTUDO DA
ESTABILIDADE E FUNCIONALIDADE DESSES FILMES

BELÉM - PA

2021

GLAUCE VASCONCELOS DA SILVA PEREIRA

**APROVEITAMENTO SUSTENTÁVEL DOS RESÍDUOS DE PESCADO PARA
OBTENÇÃO DE REVESTIMENTOS/FILMES, APLICAÇÃO NA CONSERVAÇÃO
PÓS-COLHEITA DE GOIABAS (*Psidium guajava L.*), ESTUDO DA
ESTABILIDADE E FUNCIONALIDADE DESSES FILMES**

Tese de Doutorado apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Ciência e Tecnologia de Alimentos da Universidade Federal do Pará, como requisito para obtenção do título de Doutor em Ciência e Tecnologia de Alimentos.

Orientadora: Prof^ª. Dr^ª. Lúcia de Fátima Henriques Lourenço

Co-orientadora: Prof^ª. Dr^ª. Verônica Calado

Data de Avaliação: ____ / ____ / ____

Conceito: _____

BANCA EXAMINADORA

Prof^ª. Dr^ª. Lúcia de Fátima Henriques Lourenço
(FEA/ITEC/UFPA – Orientadora)

Prof^ª. Dr^ª. Verônica Calado
(EPQB/UFRJ – Co-orientadora)

Prof. Dr. Raul Nunes de Carvalho Junior
(FEA/ITEC/UFPA – Membro Interno)

Prof^ª. Dr^ª. Maria Regina Sarkis Peixoto Joele
(PPGCTA/ITEC/UFPA – Membro Interno)

Prof. Dr. Eder Augusto Furtado Araújo
(FEA/ITEC/UFPA – Membro Externo)

Prof. Dr. Davi do Socorro Barros Brasil
(FEQ /ITEC/UFPA – Membro Externo)

Prof. Dr. Antonio Manoel da Cruz Rodrigues
(FEA/ITEC/UFPA – Membro suplente)

Prof^ª. Dr^ª. Suezilde da Conceição Amaral Ribeiro
(PPGCA/CCNT/UEPA – Membro suplente)

**Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP) de acordo com ISBD
Sistema de Bibliotecas da Universidade Federal do Pará
Gerada automaticamente pelo módulo Ficat, mediante os dados fornecidos pelo(a) autor(a)**

- V331a Vasconcelos da Silva Pereira, Glauce.
Aproveitamento sustentável dos resíduos de pescado para obtenção de revestimentos/filmes, aplicação na conservação pós-colheita de goiabas (*psidium guajava* L.), estudo da estabilidade e funcionalidade desses filmes / Glauce Vasconcelos da Silva Pereira. — 2021.
168 f.
- Orientador(a): Prof^a. Dra. Prof^a. Dr^a. Lúcia de Fátima Henriques Lourenço
Coorientação: Prof^a. Dra. Prof^a. Dr^a. Verônica Calado
Tese (Doutorado) - Universidade Federal do Pará, Instituto de Tecnologia, Programa de Pós-Graduação em Ciência e Tecnologia de Alimentos, Belém, 2021.
1. proteínas miofibrilares, amido de milho, goma arábica, reologia, maturação, isoterma.. I. Título.

“E ainda se vier noites traiçoeiras, Se a cruz pesada for, Cristo estará contigo. O mundo
pode até fazer você chorar, Mas Deus te quer sorrindo”

Padre Marcelo Rossi

A Deus, por sempre me proteger e
permitir as minhas conquistas
alcançadas;

A minha família por todo o incentivo,
apoio e amor incondicional.

AGRADECIMENTOS

Agradeço ao meu **Pai Celestial** por todas as coisas maravilhosas que vivi e aprendizados adquiridos, por que sei que Dele veio apenas o meu querer bem, pois o que vivi de tristezas em minha vida, foi por ignorância, escolha minha, uma vez que, Ele me deu o Livre-arbítrio e hoje sei que devemos sempre agradecer por tudo que acontece em nossas vidas!

As minhas queridas e amáveis orientadoras, **Lúcia Lourenço e Verônica Calado**, pelo tempo e paciência a mim dedicados, por serem excelentes profissionais a ensinar-me todas as dúvidas que tive durante o curso, contribuindo diretamente na minha formação Acadêmica.

Ao Sr. **Mário Carneiro** do Laboratório de Análises Físico-químicas pelo apoio e ajuda nas análises físico-químicas que precisei realizar, agradeço imensamente a paciência em ajudar-me quando precisei.

Aos professores e colaboradores que de maneira direta e indiretamente contribuíram e desempenharam com dedicação as aulas ministradas, nos laboratórios, ajudando de forma significativa a alcançar esse objetivo.

Aos **meus amados pais** que me deram a vida e ensinaram-me a viver com dignidade, me repassando princípios com atributos morais e éticos que levarei para o resto da minha vida! Obrigada pela dedicação e pelo amor incondicional!

Aos **meus irmãos**, por sempre estarem ao meu lado e pela confiança de que um dia eu “chegaria lá”. Pois é, cheguei! E o mais importante de tudo, por eu saber que sempre com vocês poderei contar. Obrigada por vocês existirem em minha vida. eternamente grata!

Aos **meus sobrinhos**, agradeço e dedico a cada um por todos os ensinamentos recebidos, ser tia não é fácil não, saber lhe dar com cada gosto e personalidade me fez crescer tanto como pessoa!

As minhas colegas de laboratório, pela ajuda e presteza nas atividades realizadas, as experiências trocadas, as risadas quando algo dava errado, enfim, a todas vocês, sou grata pela participação ativa nesta minha etapa.

Os autores agradecem à Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES), ao CNPq (Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico) e à PROPESP pelo indispensável apoio financeiro para esta pesquisa.

Muito OBRIGADA a todos vocês!

RESUMO

No presente estudo foi utilizado revestimento a base de proteínas miofibrilares (PML), amido de milho (AM) e goma arábica (GA) para verificar o comportamento reológico e sua influência no prolongamento da vida útil de goiabas 'cortibel'. Posteriormente, foi avaliado o efeito da mistura PML/glicerol 10% (Gli) – revestimento A, e PML/Gli/GA nas concentrações de 30 e 40 % (p/p) de Gli, denominados de revestimentos B e C, respectivamente, na qualidade da goiaba 'paloma'. Para caracterização tecnológica, foram avaliadas as propriedades funcionais e o comportamento de sorção de umidade dos filmes à base de PML e Gli nas concentrações de 5, 10, 15, 30 e 40 %. Após a seleção do melhor comportamento dos filmes à base de PML, foram analisadas as interações entre PML e GA nas diferentes proporções (10,0:0,0; 9,5:0,5; 9,0:1,0; 8,5:1,5; 8,0:2,0 e 7,5:2,5), denominadas de E1, E2, E3, E4, E5 e E6, respectivamente. Dentre os revestimentos analisados (PM; AM; GA), o AM apresentou maior viscosidade ($p \leq 0,05$), seguida da PML e GA, caracterizando dispersões muito viscosas, viscosas e muito diluídas, respectivamente. A perda de massa e firmeza dos frutos revestidos com PML e AM apresentaram menores ($p \leq 0,05$) percentuais nos dias avaliados. O revestimento C (1%PML/40%Gli/1%GA) retardou a taxa de amadurecimento ($p \leq 0,05$) dos frutos revestidos. No processo de sorção, filmes obtiveram curvas do tipo II (5 % glicerol) e III (10 a 40 % glicerol), em que elevadas concentrações de Gli acarretou no aumento do teor de água dos mesmos e a diminuição da histerese até o seu desaparecimento. O filme de mistura E4 (8,5%PML/1,5%GA/40%Gli), apresentou maior compatibilidade e integração na estrutura, com baixa permeabilidade ao vapor de água, propriedade requerida para uma embalagem de alimentos. Conclui-se que a aplicação de revestimentos apresentou contribuição positiva ao retardar o processo de maturação e aumentou a vida comercial de goiabas de variedades 'cortibel' e 'paloma'. Filmes de PML de peixe com baixa adição de glicerol pode ser processados industrialmente e utilizado para proteger alimentos, pois apresentaram baixa higroscopicidade. A incorporação da GA nos filmes de mistura (PML/Gli/GA) apresentou efeito importante nas propriedades tecnológicas, devido a interação com as proteínas miofibrilares e o glicerol.

Palavras-chave: proteínas miofibrilares, amido de milho, goma arábica, reologia, maturação, goiabas, isoterma.

SUMMARY

In the present study, a coating based on myofibrillar proteins (PML), corn starch (AM), and gum arabic (GA) were used to verify the rheological behavior and its influence on the extension of the shelf life of 'cortibel' guavas. Subsequently, the effect of the mixture PML/glycerol 10% (Gly) – coating A, and PML/Gly/GA at concentrations of 30 and 40% (w/w) of Gly, called coatings B and C, respectively, was evaluated. in the quality of 'paloma' guava. For technological characterization, the functional properties and moisture sorption behavior of PML and Gly-based films were evaluated at concentrations of 5, 10, 15, 30, and 40%. After selecting the best behavior of the PML-based films, the interactions between PML and GA were analyzed in the different proportions (10.0:0.0; 9.5:0.5; 9.0:1.0; 8.5:1.5; 8.0:2.0 and 7.5:2.5), called E1, E2, E3, E4, E5 and E6, respectively. Among the analyzed coatings (PM; AM; GA), AM had the highest viscosity ($p \leq 0.05$), followed by PML and GA, characterizing very viscous, viscous, and very diluted dispersions, respectively. The loss of mass and firmness of fruits coated with PML and AM showed lower ($p \leq 0.05$) percentages on the evaluated days. Coating C (1%PML/40%Gly/1%GA) delayed the ripening rate ($p \leq 0.05$) of the coated fruits. In the sorption process, films obtained curves of type II (5% glycerol) and III (10 to 40% glycerol), in which high concentrations of Gly resulted in an increase in their water content and a decrease in hysteresis until their disappearance. The E4 blend film (8.5%PML/1.5%GA/40%Gly) showed greater compatibility and integration into the structure, with low permeability to water vapor, a property required for food packaging. It is concluded that the application of coatings had a positive contribution by delaying the maturation process and increasing the commercial life of 'cortibel' and 'paloma' guavas. Fish PML films with low glycerol addition can be industrially processed and used to protect food, as they showed low hygroscopicity. The incorporation of GA in the mixed films (PML/Gli/GA) had an important effect on the technological properties, due to the interaction with myofibrillar proteins and glycerol.

Keywords: myofibrillar proteins, corn starch, gum arabic, rheology, ripening, guavas, isotherm.

LISTA DE FIGURAS

Capítulo 1 – Revisão Bibliográfica	
Figura 1 - Histerese das isotermas de sorção. Fonte: Park & Nogueira (1992)	36
Capítulo 2 – Caracterização reológica e influência de diferentes revestimentos biodegradáveis e comestíveis na qualidade pós-colheita da goiaba (<i>Psidium guajava</i> L.)	
Figura 1 - Curvas de fluxo e viscosidade para o modelo de Hershel-Bulkley de soluções filmogênicas de proteínas miofibrilares liofilizadas (● LMP, —), amido de milho (◆ AM, —) e goma arábica (■ GA, —)	66
Figura 2 - Frutos revestidos: Controle (sem revestimento); PML (proteínas miofibrilares liofilizadas); AM (amido de milho); GA (goma arábica) durante o armazenamento	69
Figura 3 - Efeito de diferentes revestimentos e período de armazenamento na firmeza da casca de goiabas 'cortibel' por 7 dias analisados	77
Figura 4 - Efeito de diferentes revestimentos e período de armazenamento na firmeza da polpa de goiabas 'cortibel' por 7 dias analisados	78
Capítulo 3 - Potencial das proteínas miofibrilares enriquecidas com goma arábica na conservação pós-colheita de goiaba 'paloma' (<i>Psidium guajava</i> L.)	88
Figura 1 - Avaliação no processo de maturação das goiabas controle e revestidas (A-C) durante 15 dias de armazenamento	96
Figura 2 - Índice de amadurecimento (AT) em goiabas armazenadas a 22 °C e 47 % UR por 15 dias	103
Capítulo 4 – Estudo do comportamento higroscópico e das propriedades tecnológicas em filmes de proteínas miofibrilares de peixe com diferentes concentrações de glicerol	112
Figura 1 - Gráfico de regressão linear da proteína padrão (SDS-PAGE) da eletroforese. MM representa a massa molecular das proteínas. A migração relativa foi calculada pela razão da migração individual de cada banda no gel e pela migração total das bandas	116
Figura 2 - Eletroforetograma (SDS-PAGE) de proteínas miofibrilares liofilizada (PML) - I: proteína padrão; II: Padrão - padrões de proteína BIO RAD: (a) miosina; (b) β-galactosidade; (c) Fosforilase B; (d) albumina de soro bovino; (e) Ovalbumina; (f) anidrase carbônica; (g) Inibidor de tripsina de soja; (h) lisozima e (i) aprotinina. CPM: cadeia pesada de miosina. A estimativa das massas moleculares de PML foi calculada usando a equação da linha log MM e migração relativa (Figura 1)	120
Figura 3 - Filme biodegradável com diferentes concentrações de glicerol: a = 5%; b = 10%; c = 15%; d = 30% e e = 40%	121
Figura 4 - Isotermas de adsorção e dessorção de umidade de filmes biodegradáveis PML com diferentes concentrações de glicerol	124
Figura 5 - Histerese de filmes biodegradáveis de proteínas miofibrilares adicionados com diferentes concentrações de plastificante	126
Capítulo 5 – Avaliação da adição de goma arábica nas propriedades tecnológicas de filmes de proteínas miofibrilares de resíduos de peixe	137
Figura 1 - Gráfico de regressão linear da proteína padrão (SDS-PAGE) de eletroforese. MM: representa a massa molecular das proteínas. A migração relativa foi calculada pela razão entre a migração relativa de cada banda no gel e o total das bandas	140

Figura 2 - Ilustração esquemática do processo de obtenção de filmes controle (PML) e filmes de mistura (PML/GA)	142
Figura 3 - Eletroforetograma (SDS-PAGE) de proteínas miofibrilares liofilizada (PML) (A) e B: Padrão - padrões de proteína BIO RAD: (a) Miosina; (b) galactosidade β ; (c) Fosforilase B; (d) Albumina de soro bovino; (e) Ovalbumina; (f) anidrase carbônica; (g) Inibidor de tripsina de soja; (h) lisozima e (i) Aprotinina. CPM: cadeia pesada de miosina. A massa molecular de cada banda PML foi estimada pela equação da linha reta, obtida a partir do valor da migração relativa (MR) e do log do MM (Figura 1)	146
Figura 4 - FT-IR de filmes controle (PML) e de mistura (PML/GA)	156
Figura 5 - Representação esquemática do efeito do plastificante nas estruturas da rede de proteínas e goma arábica. (A) representa as cadeias de proteínas, glicerol e goma arábica e (B) representa as disposições e interações entre as cadeias de proteínas, glicerol e goma arábica, obtendo uma estrutura de filme mais flexível e extensível	154
Figura 6 - Curvas de TG (I) e DTG (II) de filmes controle (PML) e de mistura (PML/GA): E1 (10:0,0), E2 (9,5:0,5), E3 (9,0:1,0), E4 (8,5:1,5), E5 (8,0:2,0) e E6 (7,5:2,5)	157
Figura 7 - Os termogramas DSC de filmes controle (PML) e de mistura (PML/GA): E1 (10:0,0), E2 (9,5:0,5), E3 (9,0:1,0), E4 (8,5:1,5), E5 (8,0:2,0) e E6 (7,5:2,5). Linhas de cima para baixo: Primeiro aquecimento, curva de resfriamento e segundo aquecimento	160

LISTA DE TABELAS

Capítulo 1 - Revisão Bibliográfica

Tabela 1 - Valores padrões para características físico químicas da polpa de goiabas	32
Capítulo 2 - Caracterização reológica e influência de diferentes revestimentos biodegradáveis e comestíveis na qualidade pós-colheita da goiaba (<i>Psidium guajava</i> L.)	
Tabela 1 - Parâmetros dos modelos de tensão de cisalhamento e viscosidade para diferentes revestimentos	61
Tabela 2 - Efeito de revestimentos e tempo em L^* , a^* , b^* , C^* e valores de ângulo hue° em goiabas durante o armazenamento	70
Tabela 3 - Efeito de diferentes revestimentos e período de armazenamento nos valores de PM, pH, AT, TSS e TSS/AT em goiabas 'cortibel' analisados por sete dias	73
Capítulo 3 - Potencial das proteínas miofibrilares enriquecidas com goma arábica na conservação pós-colheita de goiaba 'paloma' (<i>Psidium guajava</i> L.)	88
Tabela 1 - Efeito de revestimentos e período em L^* , a^* , b^* , C^* , $Angulo\ hue^\circ$ e ΔE em goiabas durante o armazenamento	97
Tabela 2 - Efeito de diferentes revestimentos e período de armazenamento sobre os valores de PM, SST, AT, pH, firmeza da casca a polpa em goiabas por 15 dias analisados	99
Capítulo 4 - Estudo do comportamento higroscópico e das propriedades tecnológicas em filmes de proteínas miofibrilares de peixe com diferentes concentrações de glicerol	112
Tabela 1 - Modelos matemáticos ajustados aos dados de sorção dos filmes	119
Tabela 2 - Valores de espessura, permeabilidade ao vapor de água (PVA), solubilidade em água, resistência à tração (RT) e alongamento (E) na ruptura de filmes elaborados com proteínas miofibrilares	121
Tabela 3 - Parâmetros ajustados de modelos de sorção para dados experimentais de adsorção de umidade	128
Tabela 4 - Parâmetros ajustados de modelos de sorção para dados experimentais de dessorção de umidade	129
Capítulo 5 - Avaliação da adição de goma arábica nas propriedades tecnológicas de filmes de proteínas miofibrilares de resíduos de peixe	137
Tabela 1 - Parâmetros de cor, espessura, permeabilidade ao vapor de água (PVA), solubilidade em água, resistência à tração (RT) e alongamento (E) na ruptura de filmes controle PML e de mistura PML/GA	147
Tabela 2 - Opacidade e transparência dos filmes controle (PML) e de mistura (PML/GA)	151
Tabela 3 - Temperatura de degradação térmica (T_d), perda de massa (Δw), Temperatura de transição vítrea (T_g) e temperatura de transição de fusão (T_{max}) dos filmes controle (PML) e de misturas (PML/GA)	156

LISTA DE EQUAÇÕES

Capítulo 2 - Caracterização reológica e influência de diferentes revestimentos biodegradáveis e comestíveis na qualidade pós-colheita da goiaba (<i>Psidium guajava</i> L.)	61
Equação 1 - Perda de massa (PM)	64
Equação 2 - Acidez titulável (AT)	64
Capítulo 3 - Potencial das proteínas miofibrilares enriquecidas com goma arábica na conservação pós-colheita de goiaba ‘paloma’ (<i>Psidium guajava</i> L.)	88
Equação 1 - Perda de massa (PM)	94
Equação 2 - Acidez titulável (AT)	94
Capítulo 4 - Estudo do comportamento higroscópico e das propriedades tecnológicas em filmes de proteínas miofibrilares de peixe com diferentes concentrações de glicerol	112
Equação 1 - Permeabilidade ao vapor de água (PVA)	117
Equação 2 - Solubilidade em água	117
Equação 3 - Resistência à tração (RT)	118
Equação 4 - Elongação na ruptura (E)	118
Capítulo 5 – Avaliação da adição de goma arábica nas propriedades tecnológicas de filmes de proteínas miofibrilares de resíduos de peixe	137
Equação 1 - Permeabilidade ao vapor de água (PVA)	143
Equação 2 - Solubilidade em água	144
Equação 3 - Resistência à tração (RT)	144
Equação 4 - Elongação na ruptura (E)	144
Equação 4 – Valor de transparência	144
Equação 4 - Opacidade (%)	144

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

PML	Proteína Miofibrilar Liofilizada
AM	Amido de Milho
GA	Goma arábica
Gli	Glicerol
SF	Solução filmogênica
η	Viscosidade
η_p	Viscosidade aparente
τ	Tensão de cisalhamento
τ_0	Tensão de cisalhamento inicial
K	Índice de consistência
γ	Taxa de cisalhamento
n	Índice de comportamento do fluido
C*	Croma
h°	Ângulo <i>Hue</i>
SST	Sólidos solúvel total
AT	Acidez titulável
P%	Desvio médio relativo
MS _E	Erro médio relativo quadrático
FT-IR	Espectroscopia de infravermelho com transformada de Fourier
TG	Termogravimetria
AA	Ácido ascórbico
ART	Açúcares redutores totais
FT	Fenóis totais
DPPH	Determinação da atividade de eliminação do radical 2,2-difenil-1-picrilhidrazil

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO GERAL	17
1.1 OBJETIVO GERAL.....	18
1.2 OBJETIVOS ESPECÍFICO	18
CAPÍTULO 1 - REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	19
1.1 RESÍDUOS GERADOS NA INDÚSTRIA DE PESCADO	19
1.2 PESCADA AMARELA (CYNOSCION ACOUPA).....	21
1.3 POLÍMEROS COMO MATERIAL DE REVESTIMENTO COMESTÍVEL	23
1.3.1 Proteínas miofibrilares	23
1.3.2 Amido de milho	25
1.3.3 Goma arábica (GA)	27
1.4 PROPRIEDADES REOLÓGICAS DE SOLUÇÕES FILMOGÊNICAS	28
1.5 FILMES BIODEGRADÁVEIS.....	30
1.6 APLICAÇÃO DE REVESTIMENTO COMESTÍVEL EM FRUTAS.....	32
1.7 GOIABAS	33
1.8 SORÇÃO DE UMIDADE DE FILMES BIODEGRADÁVEIS.....	35
1.9 INTERAÇÕES NA ESTRUTURA E PROPRIEDADES TECNOLÓGICAS.....	35
REFERÊNCIAS	41
CAPÍTULO 2 – CARACTERIZAÇÃO REOLÓGICA E INFLUÊNCIA DE DIFERENTES REVESTIMENTOS BIODEGRADÁVEIS E COMESTÍVEIS NA QUALIDADE PÓS-COLHEITA DA GOIABA (PSIDIUM GUAJAVA L.).....	58
1 INTRODUÇÃO	59
2 MATERIAL E MÉTODOS	61
2.1 MATÉRIA-PRIMA	61
2.2 PROTEÍNAS MIOFIBRILARES LIOFILIZADA (PML)	61
2.3 MÉTODOS DE PREPARAÇÃO DOS REVESTIMENTOS	61
2.3.1 Revestimento à base de proteínas miofibrilares liofilizadas (PML).....	61
2.3.2 Revestimento à base de amido de milho (AM)	62
2.3.3 Revestimento à base de goma arábica (GA)	62
2.4 PERFIL REOLÓGICO DAS SOLUÇÕES FILMOGÊNICAS (SF)	62
2.5 APLICAÇÃO DOS REVESTIMENTOS	63
2.6 ANÁLISES FÍSICO-QUÍMICAS	63
2.6.1 Aspecto visual	63
2.6.2 Cor da casca	63

2.6.3. Perda de massa (PM)	64
2.6.4 Determinação de pH e acidez titulável (AT)	64
2.6.5 Sólidos solúveis totais (STT) e SST/AT	64
2.6.6 Firmeza da casca e polpa	64
2.8 ANÁLISE ESTATÍSTICA	65
3 RESULTADOS E DISCUSSÃO	65
3.1 PERFIL REOLÓGICO DAS SOLUÇÕES FILMOGÊNICAS (SF)	65
3.2 ASPECTO VISUAL	69
3.3 COR DA CASCA	69
3.4 PERDA DE MASSA (PM)	72
3.5 PH E ACIDEZ TITULÁVEL (AT)	74
3.6 SÓLIDOS SOLÚVEIS TOTAIS (SST)	75
3.7 SST/AT	76
3.8 FIRMEZA DA CASCA E DA POLPA	76
4 CONCLUSÃO	80
REFERÊNCIAS	80
CAPÍTULO 3 - POTENCIAL DAS PROTEÍNAS MIOFIBRILARES ENRIQUECIDAS COM GOMA ARÁBICA NA CONSERVAÇÃO PÓS-COLHEITA DE GOIABA ‘PALOMA’ (PSIDIUM GUAJAVA L.)	88
1 INTRODUÇÃO	89
2 MATERIAL E MÉTODOS	91
2.1 MATERIAL	91
2.2 PRE-TRATAMENTO DO MATERIAL	91
2.3 OBTENÇÃO DAS PROTEÍNAS MIOFIBRILARES LIOFILIZADAS (PML)	92
2.4 PREPARAÇÃO DE REVESTIMENTOS	92
<i>Revestimento à base de proteínas miofibrilares liofilizadas (PML) e goma arábica (GA)</i>	<i>92</i>
2.5 APLICAÇÃO DE REVESTIMENTOS E ARMAZENAMENTO	93
2.6 AVALIAÇÃO DE CARACTERÍSTICAS NÃO DESTRUTIVAS	93
2.7 ÍNDICE DE AMADURECIMENTO (IA)	94
2.8 FIRMEZA DA CASCA E POLPA	94
3 RESULTADOS E DISCUSSÃO	95
3.1 AVALIAÇÃO DAS CARACTERÍSTICAS NÃO DESTRUTIVAS	95
3.1.1 Análise visual	95
3.1.2 Coloração da casca	96

3.1.3 Perda de massa	99
3.2 ÍNDICE DE AMADURECIMENTO (IA) E PH	101
3.3 FIRMEZA DA CASCA E POLPA	104
4 CONCLUSÃO	106
REFERÊNCIAS	107
CAPÍTULO 4 – ESTUDO DO COMPORTAMENTO HIGROSCÓPICO E DAS PROPRIEDADES TECNOLÓGICAS EM FILMES DE PROTEÍNAS MIOFIBRILARES DE PEIXE COM DIFERENTES CONCENTRAÇÕES DE GLICEROL	112
1 INTRODUÇÃO	113
2 MATERIAL E MÉTODOS	115
2.1 MATERIAL	115
2.2 PRÉ-TRATAMENTO DA MATÉRIA-PRIMA.....	115
2.3 OBTENÇÃO DAS PROTEÍNAS MIOFIBRILARES LIOFILIZADA (PML).....	115
2.4 OBTENÇÃO DE FILMES BIODEGRADÁVEIS	116
2.5 PROPRIEDADES FUNCIONAIS DOS FILMES	117
2.5.1 Permeabilidade ao vapor de água (PVA)	117
2.5.2 Solubilidade em água	117
2.5.3 Resistência à tração (RT) e alongação na ruptura (E)	117
2.6 OBTENÇÃO DAS ISOTERMAS DE SORÇÃO DE UMIDADE.....	118
2.7 ANÁLISE ESTATÍSTICA.....	119
3 RESULTADOS E DISCUSSÃO	119
3.1 ELETROFORESE (SDS-PAGE) DE PROTEÍNAS MIOFIBRILARES LIOFILIZADAS.....	119
3.2 PROPRIEDADES FUNCIONAIS DOS FILMES	120
3.2.1 Espessura e permeabilidade ao vapor de água (PVA)	121
3.2.2 Solubilidade em Água	122
3.2.3 Propriedades mecânicas	123
3.3 PROPRIEDADES DE SORÇÃO.....	123
3.4 MODELAGEM DE SORÇÃO.....	127
4 CONCLUSÃO	131
REFERÊNCIAS	132

CAPÍTULO 5 – AVALIAÇÃO DA ADIÇÃO DE GOMA ARÁBICA NAS PROPRIEDADES TECNOLÓGICAS DE FILMES DE PROTEÍNAS MIOFIBRILARES DE RESÍDUOS DE PEIXE	137
1 INTRODUÇÃO	138
2 MATERIAL E MÉTODOS	139
2.1 MATERIAL	139
2.2 OBTENÇÃO DAS PROTEÍNAS MIOFIBRILARES LIOFILIZADAS (PML) ..	139
2.3 ANÁLISE ELETROFORÉTICA (SDS-PAGE)	140
2.4 PREPARAÇÃO DAS SOLUÇÕES FORMADORAS DE FILMES (SFFS)	140
2.5 DETERMINAÇÃO DAS PROPRIEDADES FUNCIONAIS DOS FILMES	143
2.5.1 Medição de Cor	143
2.5.2 Permeabilidade ao Vapor de Água (PVA).....	143
2.5.3 Solubilidade em Água.....	143
2.5.4 Propriedades Mecânicas dos Filmes	144
2.5.5 Transmitância, Transparência e Opacidade dos Filmes.....	144
2.5.6 Espectroscopia de Infravermelho com Transformada de Fourier (FT-IR)	145
2.5.7 Análise Termogravimétrica/Termogravimétrica Derivada (TGA/DTG)	145
2.5.8 Análise Térmica	145
2.6 ANÁLISE ESTATÍSTICA.....	145
3. RESULTADOS E DISCUSSÃO	145
3.1 ELETROFORESE (SDS-PAGE) DAS PROTEÍNAS MIOFIBRILARES LIOFILIZADAS (PML).....	145
3.2 PARÂMETROS DE COR DOS FILMES	147
3.3 ESPESSURA E PERMEABILIDADE AO VAPOR DE ÁGUA (PVA).....	148
3.4 SOLUBILIDADE EM ÁGUA	149
3.5 RESISTÊNCIA À TRAÇÃO (RT) E ELONGAÇÃO (E)	150
3.6 VALORES DE TRANSPARÊNCIA E OPACIDADE DOS FILMES	150
3.7 ESPECTROSCOPIA FT-IR.....	152
3.8 ESTABILIDADE TÉRMICA DOS FILMES PML E DE MISTURA PML/GA..	155
3.9 PROPRIEDADES TÉRMICAS DOS FILMES	159
4 CONCLUSÃO.....	162
REFERÊNCIAS	163

1 INTRODUÇÃO GERAL

A indústria de alimentos é responsável por um grande volume de resíduos, que necessitam ser corretamente descartados para evitar que haja contaminação do meio ambiente. Em virtude de um grande volume de captura e dos métodos de processamento nas indústrias de pescado, uma quantidade considerável da produção acaba como resíduo, uma vez que indústrias aproveitam apenas o músculo do peixe. Por outro lado, materiais empregados na elaboração de embalagens, provenientes de polímeros sintéticos, também representam um grave problema ecológico devido à sua não biodegradabilidade. Nesse sentido, há a necessidade em explorar o potencial desses resíduos, oriundos de fontes baratas e renováveis, realizando seu reaproveitamento através da extração de proteínas miofibrilares de peixes para a produção de embalagens biodegradáveis.

Muitos materiais são empregados na elaboração de embalagens, e entre as fontes com capacidade de formação de filmes biodegradáveis, as proteínas miofibrilares são amplamente utilizadas devido a sua abundância e excelentes funcionalidades de geleificação. Dentre os polissacarídeos, o amido apresenta fácil disponibilidade, alto rendimento de extração, baixo custo e biodegradabilidade; e a goma arábica, um complexo heteropolissacarídeo hidrofílico, sendo considerado um polissacarídeo biodegradável e biocompatível.

Estudos têm destacado a viabilidade no uso de materiais poliméricos renováveis como inovador para a produção de revestimentos/filmes biodegradáveis. A pesquisa de novas tecnologias de embalagens como parâmetros de controle, por exemplo, no recobrimento de frutas pode ser favorável para alterar as condições metabólicas e aumentar a vida útil e a qualidade das frutas. Assim, o estudo sobre viscosidade de revestimentos permite analisar a uniformidade da superfície da película, contribuindo para os resultados efetivos no processo de maturação em frutas.

Um papel importante dos materiais de embalagem é reduzir a troca de água, de O₂ e CO₂ entre o alimento e o ambiente, no caso de frutos, dificultando seu metabolismo. Desse modo, estudar a sorção de umidade e condições de equilíbrio em filmes é útil para entender seu desempenho relacionado às propriedades de barreira em diferentes umidades relativas. Outra abordagem eficaz e amplamente utilizada para melhorar as propriedades funcionais dos filmes é a mistura de polímeros, considerados custo-desempenho dos filmes resultantes. Assim, a mistura de PML com outros polímeros miscíveis, como a goma arábica, com efeitos antioxidantes e atividade dos compostos fenólicos, seria uma abordagem alternativa para melhorar as propriedades tecnológicas de filmes.

1.1 OBJETIVO GERAL

Elaborar filmes comestíveis à base de proteínas miofibrilares de peixe, amido de milho e goma arábica, aplicar como revestimento em goiabas das variedades ‘cortibel’ e ‘paloma’ e avaliar a qualidade pós-colheita, estabilidade e funcionalidade por meio do estudo da dinâmica de sorção de umidade e propriedades tecnológicas.

1.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

Capítulo 1 - Revisão Bibliográfica

Capítulo 2: Avaliar o comportamento reológico e a influência da aplicação de diferentes revestimentos comestíveis com proteínas miofibrilares de peixes, amido de milho e goma arábica na qualidade pós-colheita de goiaba variedade 'cortibel' durante o armazenamento.

Capítulo 3: Avaliar o efeito de revestimentos com diferentes concentrações de PML, Glicerol e GA nos atributos de qualidade pós-colheita de goiabas variedade ‘paloma’.

Capítulo 4: Avaliar o efeito do glicerol nas propriedades funcionais e no comportamento de sorção de água de filmes biodegradáveis elaborados com proteínas miofibrilares obtidas a partir de resíduos de pescada amarela (*Cynoscion acoupa*).

Capítulo 5: Analisar as interações entre proteínas miofibrilares de peixe e goma arábica para obter dispersões biopoliméricas capazes de formar filmes ecológicos. Esta pesquisa foi realizada considerando: 1) A avaliação do efeito de diferentes proporções da mistura PML/GA e 2) Análise das propriedades físicas, estruturais e térmicas dos filmes de mistura.

CAPÍTULO 1 - REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

1.1 RESÍDUOS GERADOS NA INDÚSTRIA DE PESCADO

A criação, captura e processamento de peixes levam a grandes quantidades de resíduos, que são de preocupação global (CARUSO, 2016; CHOE et al., 2020, VILLAMIL; VÁQUIRO; SOLANILLA, 2017). Resíduos de peixe, como um subproduto das indústrias de processamento de pescado/mercados de peixes, dependendo da conversão, pode representar 30-45% do peso original do produto (ILLERA-VIVES et al., 2015; TEH; SUMAILA, 2013). Dependendo do processamento e da não utilização do pescado, o resíduo de peixe provavelmente pode representar cerca de 30 a 70% do pescado original (TOPPE et al., 2018). A tendência de maior processamento de produtos pesqueiros na cadeia de abastecimento está criando quantidades crescentes de miudezas e outros resíduos, que podem constituir até 70 % do peixe e marisco após o processamento industrial (OLSEN; TOPPE; KARUNASAGAR, 2014).

A geração de resíduos é um desafio para o setor pesqueiro, visto que cerca de 50% do volume processado diariamente nas indústrias é resíduo sólido, sendo descartado em lixões, córregos, rios e mares (PINTO et al., 2017). Para cada tonelada de peixe consumido, aproximadamente a mesma quantidade de resíduos de peixe é descartada por despejo no oceano ou disposição em terra (ILLERA-VIVES et al., 2015; KARIM et al., 2015). Geralmente, esses resíduos não são vendidos no mercado devido à baixa aceitação do consumidor ou por representar restrição de uso pelas regulamentações sanitárias; podendo reger também a coleta, transporte, armazenamento, manuseio, processamento e uso ou descarte destes resíduos (FAO, 2016).

O termo "resíduos de peixe" pode incluir diferentes materiais, como peixes inteiros (peixes mortos ou danificados), aparas de peixes e tecidos específicos, como cabeças, intestinos, caudas e nadadeiras, carcaças, peles, escamas, dentre outros (AHUJA et al., 2020). Diferentes estudos têm usado termos diferentes, "resíduos de processamento de peixe", "resíduos de peixe", "subprodutos", "matérias-primas" ou "matérias-primas restantes" (CHOE et al., 2020; ESTEVEZ et al., 2014; LOPES et al., 2015; RICHARDSEN et al., 2019; SAHU et al., 2016).

Considerando o crescimento da produção e consumo mundial de pescado a cada ano, os problemas oriundos da produção, como o acúmulo dos resíduos nas plantas de beneficiamento/processamento e o custo unitário de matérias-primas, podem reduzir com o aproveitamento integral da matéria-prima (PINTO et al., 2017). Cada vez mais, a

utilização de resíduos estão se tornando uma indústria importante, com foco crescente em seu manuseio de forma controlada, segura e higiênica, reduzindo o desperdício (FAO, 2016). Há alternativas para o tratamento desses resíduos, no entanto, o custo elevado e odor desagradável torna tais medidas inviáveis e alternativas como as lagoas de tratamento de efluentes e aterros sanitários não recomendadas, além do risco de poluição dos rios e das áreas costeiras (PACHECO et al., 2019).

Outro problema com a subutilização de resíduos de peixes é o custo de oportunidade, em termos de oportunidade perdida de agregar valor aos resíduos de pescado. Portanto, é necessário encontrar alternativas ecologicamente aceitáveis para o reaproveitamento de dejetos de pescado (SARANYA et al., 2016). Nesse contexto, é cada vez mais interessante estudar as aplicações diretas de compostos orgânicos a partir dos resíduos gerados na unidade de processamento de pescado. Existem muitas diferenças fisiológicas e bioquímicas entre as espécies, como na composição dos componentes dos dejetos de peixes (SABTECHA; JAYAPRIYA; TAMILSELVI, 2014). A maioria dos resíduos de peixes contém 15-30% de proteína, 0-25% de gordura e 50-80% de umidade (GHALY et al., 2013).

Os resíduos oriundos do beneficiamento do pescado podem ser destinados à produção animal e para uso na alimentação humana. Os compostos por vísceras, nadadeiras, pele e esqueleto, incluindo a cabeça e escamas são descartados ou utilizados na produção de farinhas, compostagem de peixes e/ou como fertilizantes, óleos, silagens são destinados à produção animal. Os destinados à alimentação humana, como espinhaço, incluindo a carcaça com carne aderida, após a retirada do filé, aparas são obtidas, sendo que, são descartados na linha de processamento, podendo ser processados e destinados à elaboração de empanados, embutidos e reestruturados (PIRES et al., 2014), ou transformado em produtos como bolos gelatina e molhos, salsichas de peixe, produção de ração, dentre outros (FAO, 2016).

Resíduos de peixe contendo carne, como cabeças, quadros e abas da barriga, e partes das vísceras como fígado e ovas são de bom valor nutricional, contendo proteínas de alta qualidade e lipídios com ácidos graxos ômega-3 de cadeia longa. Além disso, são frequentemente ricos em micronutrientes como vitaminas A e D, riboflavina, niacina, minerais como o ferro, zinco, selênio e iodo (OLSEN; TOPPE; KARUNASAGAR, 2014).

A utilização e o processamento posterior de resíduos dependem das condições locais e da estrutura da indústria, onde, possibilidades de produção de produtos

tecnológicos utilizando material obtidos após o processamento de peixes, como colágeno e gelatina, quitina e quitosana, enzimas e proteínas específicas, pigmentos e outros vem sendo analisadas (KANDRA et al., 2012; OLSEN; TOPPE; KARUNASAGAR, 2014; PAL; SURESH, 2016). A utilização de resíduos de pescado vem ganhando atenção, pois podem representar uma significativa fonte adicional de nutrição, havendo a necessidade de explorar o potencial desses resíduos renováveis, considerados como baixo custo e alto teor de proteínas (PEREIRA et al., 2019a), além de, aumentar a sustentabilidade econômica e ecológica da indústria pesqueira.

Considerando o crescimento da produção, beneficiamento/processamento do pescado, a importância socioeconômica da cadeia produtiva e, principalmente, a problemática da geração de resíduos sólidos descartados de forma incorreta, é necessário a conscientização do setor pesqueiro para o gerenciamento de resíduos sólidos na indústria do pescado e as opções disponíveis para o setor industrial do correto aproveitamento deste material, contribuindo para a sustentabilidade.

As preocupações com a disponibilidade de polímeros derivados do petróleo, juntamente com os problemas de descarte de resíduos causados pelo uso desses materiais não biodegradáveis, bem como o descarte inadequado dos resíduos provenientes do pescado, vindo sendo desenvolvidos procedimentos para a preparação industrial de embalagens biodegradáveis a base de polímeros renováveis a partir desses resíduos (PEREIRA et al., 2021a; 2021b). Embalagens sustentáveis podem ser desenvolvidas para reduzir o impacto ambiental total do sistema de embalagem de alimentos e estender a vida útil dos alimentos, o que torna a cadeia de abastecimento do produto muito mais sustentável (LECETA et al., 2015). Uma vez que os resíduos podem ser usados como matéria-prima para novos produtos e aplicações, a valorização de resíduos e subprodutos do processamento industrial e marinho é considerada uma alternativa atraente (GARRIDO et al., 2014; MIRABELLA; CASTELLANI; SALA, 2014).

1.2 PESCADA AMARELA (*Cynoscion acoupa*)

Os peixes representam uma fonte rica em proteínas de alta qualidade e facilmente digeridas contendo todos os aminoácidos essenciais, fornecendo gorduras essenciais (como ácidos graxos ômega-3 da cadeia longa), vitaminas (D, A e B) e minerais (incluindo cálcio, iodo, zinco, ferro e selênio). Com suas valiosas propriedades nutricionais, pode desempenhar um papel importante na correção dietas desequilibradas e, por substituição, em combater a obesidade (FAO, 2016).

A *Cynoscion acoupa* é um importante recurso pesqueiro no Brasil e a única espécie que pode ser rotulada com a designação comercial de “pescada-amarela” (*Acoupa weakfish*) (BARBOSA et al., 2020). Também conhecida por peixe amarelo, uma espécie marinha demersal dependente de ecossistemas estuarinos para completar seu ciclo de vida (BARLETTA-BERGAN; BARLETTA; SAINT-PAUL, 2002). A pescada amarela, *Cynoscion acoupa* Lacepède, 1802, é uma espécie marinha da família Sciaenidae, com ampla distribuição no oeste do Atlântico Sul, entre o Panamá e a Argentina (CERVIGÓN et al., 1993).

A família Sciaenidae abrange 70 gêneros e 270 espécies de peixes, marinhos e estuarinos, distribuídos em todas as áreas tropicais dos oceanos Atlântico, Índico e Pacífico (TREWAVAS, 1977; NELSON, 1994). *Cynoscion*, um dos gêneros sciaenídeos de importância em termos comercial e social encontrado ao longo de todo o litoral brasileiro. Apesar disso, há poucas informações sobre a espécie, tanto em termos de aspectos biológicos quanto de rendimento pesqueiro, principalmente na região sudeste do Brasil (MARTINS et al., 2019).

A Pescada amarela, *Cynoscion acoupa* Lacepède, 1801, apresenta o corpo baixo e alongado, escamas ctenóides (ásperas ao tato) no corpo, com coloração do corpo prateada com o dorso mais escurecido e exemplares adultos geralmente apresentam o ventre amarelado. É uma espécie encontrada em águas costeiras com pouca profundidade, sendo comum em áreas de estuário, próximo de desembocadura de rios e às vezes em ambiente dulcícola (SANTANA et al., 2016).

Embora não haja dados recentes disponíveis sobre a produção pesqueira no Brasil, as estatísticas publicadas indicam que esta espécie é um dos recursos pesqueiros mais importantes comercialmente no Brasil, sendo comercializado *in natura* e na forma processada, como filé congelado, e é o sciaenídeo brasileiro de maior valor agregado, sendo comercializado nas principais redes de supermercados do Pará a um preço médio de R\$ 47,00 o quilo (BARBOSA et al., 2020). A espécie é valorizada principalmente por sua bexiga natatória (que é exportado desidratado para mercados asiáticos), sendo também considerado um peixe importante para alimentação (MOURÃO et al., 2009).

Apesar de sua importância socioeconômica, a produção de “pescada-amarela” (*Acoupa weakfish*) é pouco registrada no Brasil, devido à diversidade da ictiofauna explorada pela pesca comercial no país, onde estatísticas detalhadas de desembarque se concentram em recursos pesqueiros muito abundantes ou de alto valor (FREIRE; PAULY, 2015). Não há regulamentos de pesca controlando a exploração da pescada

amarela no Brasil, sendo preocupante, pois cieniídeos de grande porte são particularmente vulneráveis à sobre-exploração (MARTINS et al., 2019). O peixe Acoupa weakfish é atualmente considerado Quase Ameaçado na costa norte brasileira, de acordo com os critérios da União Internacional para Conservação da Natureza - IUCN (CHAO et al., 2015). Assim, há alternativas de aproveitamento da pescada amarela processada em indústrias pesqueiras, como a filetagem, na utilização das proteínas do peixe para a obtenção em embalagens para alimentos, agregando valor a essa espécie amazônica (PEREIRA et al., 2021b; 2021c).

1.3 POLÍMEROS COMO MATERIAL DE REVESTIMENTO COMESTÍVEL

1.3.1 Proteínas miofibrilares

Diversos estudos reconheceram filmes e revestimentos comestíveis como uma fonte de proteção de alimentos, uma vez que são naturais, baratos e renováveis. Pesquisas são necessárias para obter e sintetizar a partir de fontes mais baratas e facilmente disponíveis (HASSAN et al., 2018; PEREIRA et al., 2020a; PEREIRA et al., 2021a), como filmes e revestimentos biodegradáveis à base de resíduos de pescada amarela, que, uma vez descartados causam poluição ambiental. Filmes e revestimentos biodegradáveis podem ser categorizados de acordo com o tipo de material do qual são derivados. Proteínas, polissacarídeos e lipídios são os três principais materiais utilizados para esse fim (DEHGHANI; HOSSEINI; REGENSTEIN, 2018).

Proteínas miofibrilares de músculo de peixe têm sido amplamente utilizadas como material de formação de filme (TONGNUANCHAN et al., 2011). Durante o processamento do pescado, uma quantidade substancial de resíduos, fonte de proteínas, é acessível. Dessa forma, produzir filmes biodegradáveis a partir desses sub resíduos pode favorecer a modernização da indústria de transformação de peixes (PIRES et al., 2011). As proteínas miofibrilares são as principais frações de proteínas musculares que apresentam excelentes funcionalidades de geleificação, emulsificação e formação de película (GÓMEZ-ESTACA; MONTERO; GÓMEZ-GUILLÉN, 2014; ZHOU et al., 2014).

O interesse pela utilização de proteínas na elaboração de filmes tem sido impulsionado pela busca de substituições de materiais poliméricos à base de petróleo e plásticos. Para atender a essa demanda, filmes e revestimentos foram feitos a partir de recursos biodegradáveis (DEHGHANI; HOSSEINI; REGENSTEIN, 2018), como caseína, concentrado de proteína de soro de leite e isolado, colágeno, gelatina

(SEYFZADEH et al. 2013; DURSUN; ERKAN, 2014; ARFAT et al., 2015; OLIVEIRA et al., 2019) e proteínas miofibrilares de peixes (PEREIRA et al., 2019a; 2019b).

Para a obtenção do filme a base de proteínas miofibrilares, a sua desnaturação é feita pelo uso de ácido, base, solvente e calor para moldar o sistema extra prolongado que pode ser necessário para a formação do filme. Após estar distendida, as proteínas estão unidas por meio de ligações de hidrogênio, iônicas e covalentes. Posicionamento igual de grupos polares ao lado da cadeia polimérica aumenta a probabilidade das interações necessárias. Após a desnaturação, filmes proteicos formam-se por associação de cadeias peptídicas por novas interações intermoleculares (CORDEIRO, 2012), tais como as covalentes (peptídeo e dissulfeto) e não covalentes (iônicas, hidrogênio e van der Waals), enquanto o grupo hidroxila é o único grupo reativo em polissacarídeos (DEHGHANI; HOSSEINI; REGENSTEIN, 2018).

Além disso, interações hidrofóbicas podem ocorrer com proteínas, em que cada uma delas tem seu próprio equilíbrio hidrofílico-hidrofóbico. As proteínas têm boas propriedades de formação de filme e boa aderência às superfícies hidrofílicas (CORDEIRO, 2012). A força iônica é um fator decisivo, onde a solubilização das proteínas miofibrilares depende de quantidade necessária de sal, pois são solúveis em soluções salinas (SUN; HOLLEY, 2011). Geralmente, são necessários 2-3% (0,47-0,68M) de NaCl para solubilizar as proteínas miofibrilares e alcançar as propriedades funcionais desejadas (XIONG; BREKKE, 1991).

Filmes à base de proteínas miofibrilares são considerados frágeis devido às extensas interações da cadeia proteína-proteína que estabilizam firmemente a rede de filmes, reforçada por ligações dissulfeto, ligação de hidrogênio, ligação hidrofóbica e/ou interações eletrostáticas. Como consequência, as propriedades não são suficientemente elásticas para aplicação comercial. Assim, plastificantes podem ser adicionados ao filme biodegradável, a fim de diminuir a fragilidade dos filmes (KAEWPRACHU; OSAKO; RAWDKUEN, 2018). A adição de plastificantes poderia aumentar a extensibilidade e tenacidade dos filmes, diminuindo as forças entre as cadeias proteína-proteína (NUANMANO; PRODPRAN; BENJAKUL, 2015). No entanto, os plastificantes geralmente diminuem a resistência dos filmes, bem como as propriedades de barreira à água.

Filmes de proteínas têm uma barreira de vapor de água relativamente fraca, isto é, duas a quatro ordens de grandeza de perda de umidade maior do que as dos materiais poliméricos convencionais para embalagem. A hidroflicidade das proteínas e dos

plastificantes, como glicerol e o sorbitol, que são incorporadas aos filmes para melhorar a flexibilidade, limitam a resistência dos filmes proteicos à transmissão de vapor de água (SÁNCHEZ-ORTEGA et al., 2014).

O filme de proteínas miofibrilares incorporado com extrato de catequina-Kradon foi utilizado na extensão da vida útil das fatias de atum (*Thunnus thynnus*) e foi comprovado que o filme prolongou a vida útil de atum em 10 dias sob armazenamento refrigerado (4 ± 1 °C), comparado ao controle que foi de 2 dias (KAEWPRACHU et al., 2017). Cortez-vega et al., (2014), ao analisarem revestimentos de isolado protéico de corvida (IPC) com montmorilonita em carne mecanicamente separada e em mamão formosa minimamente processados obtiveram redução de perda de peso, crescimento microbiano e firmeza após 12 dias de armazenamento (5 °C), comparado com amostra controle (sem adição de montmorilonita).

1.3.2 Amido de milho

O amido é produzido por plantas verdes para armazenamento de energia durante um longo período (PÉREZ; BERTOFT, 2010), sendo considerado um dos componentes mais importantes de muitas plantas alimentares, como trigo, cevada, arroz, milho, batata, batata-doce e mandioca (TAKO et al., 2014). O milho fornece um bom amido padrão, que é amplamente utilizado em diferentes texturas pela indústria alimentícia e também tem inúmeras outras aplicações (TABASUM et al., 2019). O amido consiste de dois componentes principais: amilose e amilopectina. A amilose, que contém cerca de 15-35% dos grânulos na maioria das plantas, é um polissacarídeo principalmente linear com unidades de D-glicose ligada a α (1-4) (KATERINOPOULOU et al., 2014; GUTIÉRREZ et al., 2015; MENDES et al., 2016). A estrutura linear da amilose faz com que se assemelhe ao comportamento dos polímeros sintéticos convencionais (ZOU et al. 2012; JUMAIDIN et al., 2016).

A amilopectina é um dos principais constituintes do amido, consiste de moléculas grandes e altamente ramificadas com estruturas de D-glicose ligadas por α - (1-4) e exibe cerca de 5% de ramificações ligadas a α (1-6), que têm um profundo efeito sobre as propriedades físicas e biológicas (ANDERSON, 2001; MANNERS, 1989). A amilose e a amilopectina têm, portanto, propriedades diferentes. A amilose tem uma tendência para retrogradar e produzir géis duros e filme forte. A amilopectina, dispersa em água, é mais estável e produz géis moles e filmes fracos (TABASUM et al., 2019).

O amido de milho apresenta mais aplicações na indústria química e de polímeros. É usado na fabricação de flocculantes ou surfactantes para o tratamento de água em estações de tratamento de água, na fabricação de polióis e outros polímeros contendo polioliol (XU et al., 2016; XING et al., 2017). É frequentemente combinado com outros materiais decomponíveis, como fibras de celulose, plastificantes e poliésteres decompostos para fazer material ecologicamente correto, como higiene, embalagem e agricultura (ABBAS; KHALIL; HUSSIN, 2014).

Entre as fontes renováveis com capacidade de formação de filme, o amido satisfaz todos os aspectos principais, tais como: fácil disponibilidade, alto rendimento de extração, valor nutricional, baixo custo, biodegradabilidade e biocompatibilidade com propriedades funcionais (SHAH et al., 2016). Isso o torna um material promissor para revestimentos/filmes (FALGUERA et al., 2011; SOUZA et al., 2012; KOWALCZYK; BARANIAK, 2014; DANG; YOKSAN, 2015). Devido à presença de um grande número de grupos hidroxila e outros grupos polares em sua estrutura, as ligações de hidrogênio têm uma função crucial na formação da película e características finais (DEHGHANI; HOSSEINI; REGENSTEIN, 2018).

Filmes e revestimentos à base de amido são amplamente aplicados porque são transparentes, inodoros, insípidos e boa barreira de CO₂ e O₂ (NEETOO; YE; CHEN, 2010; JIANG; NEETOO; CHEN, 2011). No entanto, devido à sua hidrofiliabilidade, os filmes/revestimentos à base de amido apresentam hidrossolubilidade e fraca barreira ao vapor de água (CAMPOS; GERSCHENSON; FLORES, 2011). Embora os revestimentos polissacarídicos possam não fornecer uma boa barreira ao vapor de água, Kester e Fennema (1986) relataram que esses revestimentos podem atuar como "agentes sacrificantes" retardando a perda de umidade dos produtos alimentícios adicionando umidade na superfície que é perdida primeiro.

Ameixas revestidas a diferentes concentrações de amido (1 a 5%) apresentaram significância na redução da mudança de peso, sólidos solúveis totais, acidez titulável, açúcar total e redutor, teor de ácido ascórbico, teor de fenol e cor durante o armazenamento em comparação com frutas não revestidas (BHOWMICK et al., 2017). Uvas revestidas com amido de milho e gelatina apresentaram boa aparência com perda de massa reduzida comparada ao grupo não revestido após 21 dias de armazenamento sob condições refrigeradas (FAKHOURI et al., 2015).

1.3.3 Goma arábica (GA)

A goma arábica, um polissacarídeo natural derivado de exsudados de acácia senegal e acácia seyal, é um hidrocolóide alimentar comumente usado. Apresenta características únicas devido à sua alta solubilidade, comercialmente disponível, menor viscosidade entre as gomas, boa formação de filme, emulsificação, não-tóxico, biocompatível (SHAHGHOLIAN; RAJABZADEH, 2016; KRISHNADEV; GUNASEKARAN, 2017) e micro encapsulação (ALI et al., 2010). É o polissacarídeo mais comum usado no setor industrial que recebeu o mais alto status de segurança toxicológica pelo Comitê de Especialistas da FAO/WHO em Aditivos Alimentares (ANDERSON; EASTWOOD, 1989; MOTLAGH et al., 2006).

A goma arábica é um complexo heteropolissacarídeo aniônico, ramificado, hidrofílico, com um esqueleto de unidades de β -galactopiranosose de 1,3-ligações e cadeias laterais de unidades de galactopiranosose ou arabinose de 1,6-ligação terminadas em ramnose ou ácido glicurônico ou resíduos do ácido 4-O- metilglicurônico (GASHUA; WILLIAMS; BALDWIN, 2016).

É composto por três frações vizinhas: frações de arabinogalactana-proteína, arabinogalactano e glicoproteína, compreendendo 10,4%, 88,4% e 1,24% do volume total (NIU et al., 2017), diferindo em massa molecular, conteúdo de proteína e estrutura. A composição e o percentual de cada fração depende da origem geográfica, variedade, condição do cultivador e do clima ou idade das árvores (PHILLIPS; WILLIAMS, 1989; IDRIS; WILLIAMS; PHILLIPS, 1998; RANDALL; RENARD et al., 2006) afetando suas propriedades funcionais (ROUSI et al., 2019).

A goma arábica é um biopolímero comestível e sua composição química é complexa, consistindo de um grupo de macromoléculas que foram caracterizadas com altas proporções de carboidratos (97%) e baixas proporções de proteína (<3%) (ISLAM et al., 1997; MONTENEGRO et al., 2012) que são ligadas covalentemente a carboidratos por meio de resíduos de serina e hidroxiprolina (LI; JIA; DU, 2017).

As moléculas de arabinogalactano são responsáveis pelas propriedades de revestimento da goma, enquanto as porções contendo proteína, em particular as moléculas de glicoproteína, conduzem às suas capacidades de emulsificação. A funcionalidade da GA pode ser aprimorada pela incorporação de antioxidantes naturais presentes (PATEL et al., 2013). De acordo com Ye et al. (2012), a goma arábica apresenta três grandes campos de aplicações: em confeitos (balas de goma), em emulsão de aromas em bebidas e em encapsulamento. É capaz de inibir a floculação e a coalescência de gotas de óleo

durante um longo período; sendo empregada em microencapsulamento para transformar os componentes líquidos voláteis do aroma de alimentos em pós, de forma a facilitar sua incorporação em alimentos.

Quando usada como revestimento comestível, a goma arábica demonstrou alguns resultados positivos e retardou significativamente o amadurecimento, mantendo teores de antioxidantes e fenólicos em tomates e em mamão (ADDAI; ABDULLAH, 2013; ALI et al., 2013); na qualidade e prazo de validade da tangerina 'Kinnow' (KHORRAM et al., 2017) e do limão mexicano (ATRASH; RAMEZANIAN; RAHEMI, 2018); reduziu também o escurecimento, a perda de ácido ascórbico e o conteúdo de fenólicos totais (ELTOUM; BABIKER, 2014).

As propriedades funcionais dos polissacarídeos melhoram por conjugação com proteína por meio da reação de Maillard (PIRESTANI et al., 2017). O revestimento comestível com base em goma arábica (GA) foi utilizado para estender a vida útil pós-colheita e manter a qualidade de pepino, tomate, banana e manga (MAQBOOL et al., 2011; AL-JUHAIMI; GHAFOR; BABIKER, 2012; ALI et al., 2013; KHALIQ et al., 2016).

1.4 PROPRIEDADES REOLÓGICAS DE SOLUÇÕES FILMOGÊNICAS

As propriedades reológicas dos alimentos fluidos são importantes no campo da engenharia de processos alimentares, como desenvolvimento de técnicas de processamento, projeto de equipamentos e avaliação da qualidade de alimentos e matérias-primas na área da ciência e tecnologia de alimentos. Assim, o comportamento reológico das soluções formadoras de filme é uma propriedade importante, pois, pode indicar as relações entre o comportamento mecânico e a estrutura das soluções biopoliméricas (LIANG et al., 2018).

O comportamento reológico dos fluidos é avaliado pela medição dos dados da taxa de cisalhamento e de viscosidade, que são representados em reogramas e por meio de equações empíricas em função da concentração, temperatura, tamanho de partícula, condições de processamento, adição de aditivos etc. Essas propriedades são úteis para entender o mecanismo de escoamento e a compreensão estrutural de sistemas de fluidos complexos (KUMAR et al., 2015). A relação entre tensão de cisalhamento e taxa de cisalhamento pode ser descrito, por exemplo, pelo modelo de Ostwald-De-Waele ou pela equação da lei de potência (SÁNCHEZ et al., 2009; SOGI; OBEROI; MALIK, 2010).

Quando uma taxa de cisalhamento é aplicada em dispersões hidrocolóides aquosas, ocorre um desemaranhamento entre as moléculas do polímero, sendo proporcional ao nível de taxa de cisalhamento. Como resultado, em taxas de cisalhamento mais baixas, espera-se que alta viscosidade seja mantida devido ao emaranhamento causados por movimento browniano das macromoléculas. Em taxas de cisalhamento mais altas, o movimento Browniano (interação hidrodinâmica entre as partículas, o qual é intensificado conforme o aumento da concentração de partículas) não consegue acompanhar os desalinhamentos acionados por cisalhamento e, conseqüentemente, a viscosidade diminui. Esse declínio continua em um nível em que qualquer aumento na taxa de cisalhamento não é suficiente para alterar a viscosidade (VATANKHAH; TAHERIAN; RAMASWAMY, 2018).

Comportamentos reológicos têm grandes influências na fabricação, armazenamento, textura de hidrogéis, compostos de proteínas e polissacarídeos, mas também inerentemente refletem a estrutura molecular e a conformação da cadeia de macromoléculas (TAN; PAN; PAN, 2008; XU et al., 2008; OLIVEIRA et al., 2011). A formulação de dispersão filmogênica é crítica, pois amostras de alta viscosidade não são facilmente manipuláveis. Por outro lado, viscosidades excessivamente baixas e dispersões diluídas resultam em problemas associados à incapacidade de formar filmes ou revestimentos (BOF et al., 2015).

A viscosidade representa a resistência do fluido ao escoamento e depende das interações entre os componentes (WESTPHALEN; BRIGGS; LONERGAN, 2006). No processamento de carne de peixe, o estudo reológico é geralmente empregado para analisar a gelificação. O comportamento reológico reflete tanto as propriedades de processamento quanto as características do gel do produto final (HUANG et al., 2019). Assim, a reologia tem um papel crucial na otimização de desenvolvimento de produto, na metodologia de processamento e na qualidade do produto final (STEFFE, 1996).

A força de cisalhamento pode alterar o grau de agregação das moléculas de proteína na solução, que por sua vez afeta as propriedades reológicas da solução (CHOE et al., 2013). De acordo com Xiong et al. (2019), provavelmente, atribuído ao efeito cisalhante que destrói as interações hidrofóbicas entre as moléculas de proteína, pode alterar as propriedades reológicas da solução proteica. Além disso, a diminuição da viscosidade da solução pode ser atribuída a uma diminuição no tamanho das partículas (ARZENI et al., 2012). Em uma dispersão de proteínas miofibrilares, a

viscosidade de fase contínua é largamente determinada pela concentração, enquanto a fração volumétrica do material suspenso é determinada pelas proteínas miofibrilares; ou seja, essa molécula é o constituinte dominante que influencia o comportamento reológico da dispersão (FENG et al., 2015).

Em soluções à base de amido, oscilações na viscosidade são o resultado de alterações estruturais, tais como inchamento irreversível de grânulos de amido, fusão de cristais formados por moléculas de amilopectina e lixiviação de moléculas de amilose da região amorfa do grânulo de amido que ocorre durante a gelatinização. Quando o máximo inchamento é atingido, há quebra da estrutura da cadeia de amido, que está associado à diminuição da viscosidade, que pode ser expandida sob alta tensão de cisalhamento (LAGARRIGUE; ALVAREZ, 2001; LI; YEH, 2001).

A goma arábica em solução requer a distinção entre espécies ricas em polissacarídeos e ricas em proteínas; sua estrutura em solução é a justaposição de duas outras estruturas. Uma decorre da abundância de polissacarídeos hiper-ramificados, que adotam a estrutura de partículas esferoidais porosas em escala múltipla. Devido a essa estrutura, a dispersão coloidal resultante apresenta uma viscosidade muito mais fraca do que o polímero linear correspondente. Assim, a goma arábica pode ser solubilizada em água até concentrações altas e com um impacto menor na viscosidade da solução. Outra estrutura resulta da presença de cadeias polipeptídicas que adotam uma conformação de cadeia gaussiana em água. Uma rede diluída é assim observada em solução, tanto em aglomerados em baixas concentrações de goma ou em maiores concentrações. Essa estrutura dupla é semelhante à dos conjugados de polissacarídeo-proteína ligados de forma covalente, mas depende em grande parte de interações intermoleculares mais fracas que abrangem todas as espécies presentes (ATGIÉ et al., 2019).

Dispersões de proteínas miofibrilares, amido de milho e goma arábica foram utilizadas para o estudo de propriedades reológicas da solução aquosa (ECHEVERRÍA; EISENBERG; MAURI, 2014; FENG et al., 2015; ORODU et al., 2018; ROMERO-BASTIDA et al., 2018; XIONG et al., 2019).

1.5 FILMES BIODEGRADÁVEIS

A produção de filmes biodegradáveis, produzidos a partir de biopolímeros extraídos de resíduos alimentares, tem atraído grande atenção da população científica (OOI et al., 2012; MARTELLI et al., 2013; FAI et al., 2016). Têm sido utilizados como estratégia sustentável para estender o prazo de validade de produtos alimentícios, pois

reduzem a perda de umidade e de compostos voláteis, bem como as taxas de respiração e a produção de etileno (SANTOS et al., 2018a). Além disso, eles podem agregar valor a esses produtos por conter compostos bioativos capazes de retardar a descoloração, o crescimento bacteriano, entre outros (CRIZEL et al., 2016).

Para ser considerado filme biodegradável, o material deve ser totalmente desintegrado em até 180 dias após ser disposto no meio ambiente, conforme estabelecido pela American Society for Testing and Materials – ASTM D833 (2008). Devido à demanda por alimentos de alta qualidade, às preocupações ambientais sobre o descarte dos materiais não renováveis e a oportunidades para criar novos mercados para matérias-primas formadoras de filme, há um grande interesse pelo desenvolvimento de filmes degradáveis biologicamente (BLANCO-PASCUAL; FERNÁNDEZ-MARTÍN; MONTERO, 2014; ARFAT et al., 2015; AZEREDO; WALDRON, 2016; FÉLIX et al., 2016).

Algumas propriedades indispensáveis devem ser adotadas para produção de embalagens em escala industrial, como a biocompatibilidade e biodegradabilidade. Nessas características, a biodegradabilidade é uma das propriedades mais fundamentais e essenciais, possibilitando garantir que os polímeros biodegradáveis não tragam nenhum ônus extra para a grave questão ambiental (LI et al., 2018). Materiais naturais poliméricos a base de polissacarídeos, como amido, celulose e goma arábica, considerada biocompatível, proteínas e triglicerídeos (óleos vegetais), são biodegradáveis, apresentando papel significativo na redução de problemas ambientais provocados pelo uso de materiais poliméricos sintéticos (CORTEZ-VEGAI et al., 2013; KRISHNADEV; GUNASEKARAN, 2017).

A baixa resistência mecânica e propriedades de barreira à água de embalagens biodegradáveis limitaram as aplicações práticas de seus biopolímeros e ainda não puderam ser amplamente utilizados em escala industrial como plástico sintético. A fim de remover essas deficiências de filmes biodegradáveis, vários métodos estão sendo estudados (SHOJAEI-ALIABADI et al., 2013), como o estudo dos revestimentos em frutas de forma a analisar a pós-colheita e estender a maturação, bem como o estudo de sorção dos filmes produzidos e suas propriedades tecnológicas.

1.6 APLICAÇÃO DE REVESTIMENTO COMESTÍVEL EM FRUTAS

Filmes e revestimentos comestíveis têm alcançado grande interesse nos últimos anos devido a seus benefícios sobre filmes sintéticos e resultados promissores na conservação de alimentos (GALUS; KADZI, 2015). O principal objetivo de formar filmes comestíveis comparado às embalagens convencionais é que esses podem ser consumidos junto com os produtos embalados (KUORWEL et al., 2015). São aplicados em alimentos por pulverização, imersão e, mais recentemente, por meio de pulverização elétrica, produzindo um revestimento fino e uniforme (KHAN et al., 2012, 2013).

Os revestimentos comestíveis são favoráveis ao meio ambiente, por reduzirem o uso de embalagens plásticas e poder aumentar o prazo de validade de produtos alimentícios. A extensão do prazo de validade pode representar vantagens econômicas significativa para as empresas de alimentos (HASSAN et al., 2018).

A taxa de respiração em frutos indica a rapidez com que um produto pode deteriorar, uma vez que a ação respiratória multiplicada danifica o tecido, causando uma diminuição significativa no prazo de validade. Filmes e revestimentos comestíveis oferecem uma barreira parcialmente permeável ao movimento do soluto, oxigênio, umidade e dióxido de carbono (CO₂), diminuindo a perda de água, taxas de reação de oxidação e taxa de respiração (PARK, 1999; PEREZ-GAGO et al., 2005).

Revestimentos biodegradáveis elaborados com polissacarídeos e/ou proteínas, podem ser adicionados de óleos vegetais e essenciais, agentes antimicrobianos e antioxidantes, podendo ser aplicados em frutas e vegetais para reforçar a ação protetora evitando perdas de água, alterações de coloração, lesões mecânicas e até deterioração microbiana, além de proporcionar brilho à superfície (MURMU; MISHRA, 2018a; SANTOS et al., 2018b). Uma fina camada de material comestível pode ser aplicada diretamente no alimento ou formar um filme como envoltório de alimentos, sem mudar os ingredientes originais ou o método de processamento (GALUS; KADZI, 2015).

O uso de agentes de revestimento de frutas pode retardar o amadurecimento dos frutos ou prolongar o período de armazenamento. Diversos mecanismos estão envolvidos na ampliação do prazo de validade de frutas e vegetais por revestimentos, tais como o controle de taxas de troca gasosa, respiração e reação oxidativa, bem como a redução ou mesmo supressão de distúrbios fisiológicos (FEKRY, 2018).

Principalmente em alimentos frescos ou processados, a infecção microbiana ocorre em maior grau na camada externa de alimentos e a embalagem é fundamental no controle do crescimento microbiano (FRAZÃO; BLANK; SANTANA, 2017).

Embalagens ativas, como filmes antimicrobianos e revestimentos que estão em interação com o produto alimentício embalado, foram produzidos para minimizar, retardar ou inibir o desenvolvimento microbiano na superfície de alimentos (APPENDINI; HOTCHKISS, 2002; ELSABEE; ABDOU, 2013).

Outra característica distinta dos revestimentos comestíveis é sua alta capacidade de serem usados como portadores de ingredientes ativos pós-colheita, como corantes, especiarias, nutrientes, sabores e agentes antiescurecimento, que podem diminuir o risco de patógenos na superfície dos alimentos e prolongar a vida pós-colheita, retardando a perda de umidade (CUPPETT, 1994; PRANOTO; SALOKHE; RAKSHIT, 2005; CIOLACU; NICOLAU; HOORFAR, 2014). De acordo com Galus e Kadzi (2015), geralmente, os principais esforços estão concentrados em encontrar a combinação correta entre o produto alimentar e a formulação de revestimento.

As características de uma cobertura, para que responda de forma satisfatória como barreira, dependem não somente do material em si, mas igualmente do produto a ser revestido, cuja fisiologia tem um papel relevante nas condições de conservação (PEREIRA et al., 2021c). Com o surgimento de novos biopolímeros, com o aumento dos grupos de pesquisas voltados a esse tema e, principalmente, com o interesse do setor produtivo e de logística no emprego dessa nova tecnologia, espera-se que o uso de revestimentos comestíveis venha a constituir em uma prática corrente a ser empregada na conservação de produtos (ASSIS; BRITTO, 2014).

1.7 GOIABAS

A goiabeira (*Psidium guajava L.*) é uma árvore frutífera amplamente cultivada no mundo, incluindo o semiárido brasileiro, considerada fonte de renda para pequenas propriedades agrícolas da região (DANTAS et al., 2015; SILVA et al., 2018). A goiaba é um fruto nativo da América tropical e a espécie mais cultivada da família Myrtaceae (ALI et al., 2001). Seu maior produtor mundial é a Índia; países como o Paquistão, o México e o Brasil também se destacam no cultivo desse fruto (GILL et al., 2016). É considerada rica em antioxidantes como fenóis e carotenos (JOSEPH; PRIYA, 2011) e é uma excelente fonte de minerais, como ferro, cálcio, fósforo e também muitas vitaminas como ácido ascórbico, ácido pantotênico, vitamina A e niacina (EMBABY; HASSAN, 2015).

A goiaba é um fruto climatérico e possui clara transição entre o crescimento e o amadurecimento, caracterizada pelo aumento da atividade respiratória e da biossíntese de

etileno (RODHES, 1980). A natureza climatérica da goiaba limita a vida útil pós-colheita entre 3 a 4 dias quando armazenada em uma temperatura de 28 a 30°C (MURMU; MISHRA, 2017). Isso impede seu armazenamento e transporte por períodos longos, pois possui vida útil máxima de oito dias (MOWLAH; ITOO, 1982).

Segundo a Instrução Normativa nº 1, de janeiro de 2000, a polpa de goiaba deverá apresentar cor variável de branco a vermelho, com sabor e aroma levemente ácido e próprio, respectivamente, com a composição química de acordo com a Tabela 1 (BRASIL, 2000).

A conservação da qualidade pós-colheita da goiaba ainda é um desafio na cadeia produtiva devido à redução da vida pós-colheita atribuída à sua alta taxa respiratória, rápida perda de firmeza e incidência de deterioração durante o armazenamento (FORATO et al., 2015) com conseqüente rápido amadurecimento. Kanwal, Randhawa, Iqbal (2016) afirmam que a qualidade da goiaba é rapidamente degradada devido à alta atividade metabólica, às taxas de respiração e transpiração, que continua na pós-colheita.

Tabela 1. Valores padrões para características físico químicas da polpa de goiabas

	Mín.	Máx.
pH	3,5	4,2
Sólidos solúveis em °Brix a 20°C	7,00	-
Acidez total expressa em ácido cítrico (g/100g)	0,40	-
Açúcares totais, naturais da goiaba (g/100g)	-	15,00
Ácido ascórbico (mg/100g)	40,00	-
Sólidos totais (g/100g)	9,00	-

O curto prazo de validade agrava as perdas pós-colheita e não permite distribuição e comercialização eficientes (JOSEPH; AWORH, 1992), o que gera a necessidade de buscar novas tecnologias para aumentar o prazo de validade, atingir mercados distantes e, assim, melhorar o processo de marketing (HOSSAIN et al., 2014).

Devido ao intenso metabolismo das goiabas durante o amadurecimento, esses frutos entram em senescência rapidamente, impedindo o armazenamento por períodos prolongados. O controle da respiração e da transpiração reduz a velocidade das mudanças fisiológicas, aumentando a vida útil (SIQUEIRA et al., 2014).

De acordo com Conway, Sams e Watada (1995), a firmeza da polpa de goiaba, assim como na maioria das frutas, é um atributo importante, pois, além de definir a

qualidade do fruto para o consumo *in natura* e para o processamento, influencia a vida útil pós-colheita interferindo na resistência ao transporte e ao ataque de microrganismos. Ei-Zoghbi (1994) afirmou que durante o amadurecimento, principalmente pela atividade das enzimas poligalacturonase, celulases e pectinases, as fibras vão sendo hidrolisadas acarretando redução de sua firmeza. Entretanto, a goiaba ‘Cortibel 1’, ‘Cortibel 2’ e ‘Cortibel 3’ possuem frutos de polpa vermelha, enquanto a ‘Cortibel 4’, frutos de polpa branca (COSTA; PACOVA, 2003). Vieira; Neres, (2003) citam que os frutos da ‘Cortibel 1’ e ‘Cortibel 4’ são de excelente resistência pós-colheita.

Assim, altos níveis de perdas pós-colheita de goiabas requerem tecnologias eficientes e sustentáveis para manter a qualidade por meio do uso criterioso de tratamentos adequados (CISSÉ et al., 2015). De acordo com Aquino, Blank e Santana (2015), após o armazenamento, é necessário avaliar o uso de coberturas comestíveis como método para reduzir as perdas e manter a qualidade da goiaba durante o armazenamento.

1.8 SORÇÃO DE UMIDADE DE FILMES BIODEGRADÁVEIS

A análise das interações entre filmes e moléculas de água tem grande importância no setor de embalagens, apresentando informações se os filmes podem ser aplicados como uma barreira eficiente para evitar a hidratação ou desidratação dos alimentos (DELGADO et al. 2018). Polissacarídeo e proteínas interagem fortemente com a água, apresentando assim características hidrofílicas (DELGADO et al. 2016). Filmes hidrofílicos obtidos de biopolímeros apresentam isotermas de sorção de água com um sutil aumento no teor de água de hidratação para baixos valores de atividade de água (a_w), e um aumento significativo para $a_w > 0,6$ (DELGADO et al. 2016). Esta forma de isotermas de sorção sugere que a maior parte da água de hidratação se apresenta na forma de multicamadas, que são indiretamente ligados à matriz polimérica (SALVAY, COLOMBO, GRIGERA, 2003), com uma pequena quantidade de água fortemente ligada à matriz polimérica formando a monocamada (DELGADO et al. 2016; PELTZER, PHASWANA-MAFUYA, PENGPID, 2017).

Isoterma é uma curva que descreve, em uma umidade específica, a relação de equilíbrio de uma quantidade de água sorvida por componentes do material biológico e a pressão de vapor ou umidade relativa, a uma dada temperatura. Esta relação depende da composição química dos alimentos, tais como gordura, amido, açúcar, proteínas, etc. (PARK et al., 2008). A isoterma de sorção é a principal fonte de informações sobre o processo de adsorção para otimizar o uso do adsorvente, pois descreve como

um adsorbato interage com um adsorvente. A correlação de dados de equilíbrio, seja por equações teóricas ou empíricas, é essencial para o projeto prático e operação de sistemas de adsorção. Assim, seria de grande interesse analisar a taxa na qual a adsorção ocorre para um dado sistema adsorvente-adsorvido (CAN; ÖMÜR; ALTINDAL, 2016).

Uma curva típica de isoterma de sorção (Figura 1), pode ser gerada a partir de um processo de adsorção ou de dessorção, a diferença entre essas curvas é definida como histerese. Labuza (1968) classifica estas três regiões de monocamada (a_w até 0,2), policamada (a_w entre 0,2 a 0,6) e condensação seguida da dissolução de materiais solúveis (a_w acima de 0,6).

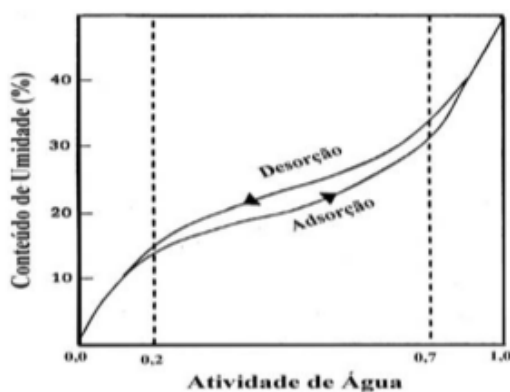


Figura 1. Histerese das isotermas de sorção.

Fonte: Park & Nogueira (1992).

A histerese está relacionada com a natureza e o estado dos componentes dos alimentos, refletindo seu potencial para rearranjos estruturais e conformacionais, o que altera a acessibilidade de locais polares energeticamente favoráveis. A presença de capilares nos alimentos resulta em diminuição considerável da atividade da água (RAJI; OJEDIRAN, 2011).

As isotermas são utilizadas na determinação das interações entre água e alimentos para fornecerem informações que podem ser usadas na seleção de condições adequadas de armazenamento e sistemas de embalagem que otimizam a retenção de aroma, textura, nutrientes e estabilidade biológica (ARIAHU et al., 2006; CHINMA et al., 2013). Além disso, a capacidade de ligação de umidade de produtos a uma determinada umidade relativa é útil na análise do efeito de plastificação sobre as propriedades mecânicas do material (CHINMA et al., 2013). Além de determinar a funcionalidade dos filmes biodegradáveis, a isoterma é uma ferramenta que oferece informações importantes do teor

de umidade de equilíbrio dos filmes poliméricos, indicando o comportamento dos filmes quanto às propriedades de barreira em diferentes umidades relativas (KIM; USTUNOL, 2001).

Autores relataram que as propriedades físicas e de barreira dos filmes de proteínas hidrófilas podem ser significativamente influenciadas pela concentração de umidade no filme (GENNADIOS et al., 1993; GONTARD; GUILBERT; CUQ, 1993). O filme de proteínas miofibrilares possui uma elevada permeabilidade ao vapor de água devido à hidrofilicidade dos aminoácidos constituintes dessas moléculas de proteínas (PEREIRA et al., 2019a) e a maioria dos plastificantes empregados em filmes apresentam caráter hidrofílico (AGUIRRE; BORNEO; LEÓN, 2013).

Os dados experimentais de isotermas de sorção são uma ferramenta útil para prever o efeito das condições ambientais sobre as propriedades do filme, particularmente considerando que a estabilidade de um filme comestível é função das suas propriedades de barreira, mecânica e umidade e são fortemente influenciados pela presença de água, o que está relacionado com a formulação, às condições de secagem e à armazenagem do filme (SOAZO; RUBIOLO; VERDINI, 2011).

A atividade de água (a_w) é um dos fatores intrínsecos dos alimentos e é uma medida qualitativa que possibilita avaliar a disponibilidade de água livre que é suscetível a diversas reações, ao passo que o teor de umidade é uma medida meramente quantitativa, medindo o percentual em massa, de toda a água presente no alimento, tanto livre, quanto ligada (SCOTT, 1957). A partir do conhecimento da atividade de água, podem-se propor sistemas adequados de embalagem de um produto. Por essa razão, muita atenção tem sido dada a propriedades de sorção de alimentos (AL-MUHTASEB; MCMINN; MAGEE, 2002); em que as isotermas de adsorção provêm informações sobre a capacidade de ligação de água dos filmes em determinada umidade relativa (VILLALOBOS; HERNÁNDEZ-MUÑOZ; CHIRALT, 2006).

De acordo com Heldman e Lund (1992), a isoterma pode ser dividida em três regiões, dependendo do estado em que se encontra a água no alimento. A primeira região, que cobre a faixa de a_w de 0 até 0,2, representa a adsorção de um filme monomolecular de água. A segunda região, entre 0,2 e 0,7, representa a adsorção de camadas adicionais de água sobre a monocamada e, acima de 0,7 encontra-se a região em que a água condensa nos poros do material e solubilizam compostos solúveis presentes. Geralmente, sistemas com alto teor proteico apresentam maior incidência de isotermas da forma sigmoideal (GONTARD; GUILBERT; CUQ, 1993).

Vários modelos matemáticos para a descrição do comportamento da umidade de sorção de alimentos estão disponíveis na literatura. Alguns desses modelos são baseados em teorias do mecanismo de sorção, outros são empíricos ou semi empíricos (KAYMAK-ERTEKIN; GEDIK, 2004). Van Den Berg e Bruin (1981) reuniram e classificaram 77 equações, sendo que as equações de isotermas mais conhecidas para alimentos são BET geral, GAB, Oswin, Peleg, Halsey e Henderson. As equações de isoterma de sorção de água são ferramentas úteis para prever e investigar propriedades de sorção de água de filmes hidrofílicos (MALI et al., 2005; ROOS e DRUSCH, 2015).

Os modelos de GAB e BET geral têm sido usados para ajustar os dados de produtos alimentícios com resultados bastante satisfatórios. Por esses modelos também é possível obter valores da umidade e do calor de sorção da monocamada, havendo assim maior significado físico destes modelos quando comparados com os modelos empíricos da literatura (MULET et al., 2002). O modelo de GAB é o mais empregado para estudar processos de sorção de água em filmes biodegradáveis, uma vez que é o que melhor se ajusta na faixa de 10 a 90% de umidade relativa (JENSEN; GROSSMANN; MALI, 2009).

1.9 INTERAÇÕES NA ESTRUTURA E PROPRIEDADES TECNOLÓGICAS

Os biopolímeros são materiais naturais com vantagens significativas sobre os materiais sintéticos devido à sua variedade de fontes e segurança. No entanto, os materiais existentes apresentam algumas limitações, como custo, disponibilidade e propriedades funcionais (VIEIRA et al., 2011). Portanto, novas fontes biológicas estão sendo continuamente exploradas, como proteínas e polissacarídeos.

Quando a proporção proteína/goma apresentar maior concentração de proteína, a superfície dos filmes apresenta-se plana, indicando que a adição de uma pequena quantidade de goma torna a estrutura da proteína mais compacta, apresentando boa compatibilidade, provavelmente devido à formação de ligações de hidrogênio e interações eletrostáticas entre dois polímeros. No entanto, com o aumento da concentração de goma, indica separação de fases entre a proteína e a goma, apresentando superfície dos filmes rugosa (ZHAO et al., 2022). Proporções muito baixa ou muito alta de goma pode ocorrer separação de fases e, portanto, rompimento da rede de gel formada pela proteína (HUI et al., 2015).

O teor de umidade de filmes a base de maior proporção de proteína e goma reduz, provavelmente, devido ao fato de um grande número de sítios de ligação com moléculas

de água nas cadeias proteicas são ocupados pela cadeia da goma, resultando na diminuição das moléculas de água (CHEN; LAI, 2008), e devido a uma boa compatibilidade de ligação das estruturas, apresentando filmes compactos, o que impede a migração de moléculas de água e reduz também a permeabilidade ao vapor de água (ZHAO et al., 2022).

A cristalinidade reduzida dos filmes compostos de proteína e goma também pode contribuir para a diminuição da resistência à tração. A presença de um grande número de pequenas moléculas (como polifenóis, minerais, terpenos e outras substâncias) contidas na goma podem atuar como lubrificantes, reduzindo a interação intermolecular entre os polímeros, contribuindo a redução da resistência à tração (WU et al., 2019).

Os filmes são geralmente incorporados com aditivos, principalmente plastificantes, a fim de melhorar a flexibilidade do polímero, pois apresentam a capacidade de diminuir as forças intermoleculares resultantes da interação cadeia-cadeia de macromoléculas (LIANG et al., 2015). Em filmes hidrofílicos, o glicerol é o aditivo mais utilizado, devido à sua estabilidade e compatibilidade com cadeias de biopolímeros hidrofílicos (GAO; POLLET; AVÉROUS, 2017). O glicerol é um líquido viscoso, incolor e inodoro que contém três grupos hidroxil-propano-1,2,3-triol, responsáveis pelo seu caráter higroscópico e solubilidade em água. Suas aplicações tradicionais como em compostos intermediários, incluem sua incorporação na indústria alimentícia, na produção de produtos farmacêuticos e de higiene pessoal, e muitos outros processos (TABASUM et al., 2019).

A eficiência de cada plastificante para funcionar na rede de filmes depende do tamanho molecular, da forma, da estrutura e da ligação à água (SOTHORNVIT; KROCHTA, 2001). Aguirre, Borneo e León (2013) perceberam que a água e o glicerol atuam sinergicamente, resultando em filmes mais flexíveis. Ao avaliarem as propriedades mecânicas de filmes plastificados com glicerol e sorbitol, os autores observaram que a mesma quantidade de água se comportou de maneira diferente na presença de glicerol e de sorbitol e que o efeito plastificante desses polióis pode ser explicado pela sua massa molecular e pela quantidade de grupos hidroxilas constituintes da estrutura química dos mesmos.

A capacidade de um agente plastificante formar tais ligações depende da sua configuração molecular e de não possuir grupos hidroxilas livres, e ainda da configuração do biopolímero, ou seja, da compatibilidade do plastificante com o polímero (HAQ; HASNAIN; AZAM, 2014). A literatura apresenta vários trabalhos com o objetivo de

estudar as propriedades de filmes à base de proteínas com vários tipos de plastificantes adicionados, incluindo proteína de gelatina, triticales, pés de frango, de peixe e do soro de leite (AGUIRRE; BORNEO; LEÓN, 2013; LEE et al., 2015; RIQUELME et al., 2015; PÉREZ et al., 2016; PEREIRA et al., 2021a).

REFERÊNCIAS

- ABBAS, K. A.; K. KHALIL, S.; MEOR HUSSIN, A. S. (2014) Modified Starches and Their Usages in Selected Food Products: A Review Study. **Journal of Agricultural Science**, 2(2): 90–100.
- ADDAI, Z. R.; ABDULLAH, A. (2013) Effect of Gum Arabic on Quality and Antioxidant Properties of Papaya Fruit during Cold Storage. **International Journal of ChemTech Research**, 5(6): 2854–2862.
- AGUIRRE, A.; BORNEO, R.; LEÓN, A. E. (2013) Properties of triticale protein films and their relation to plasticizing-antiplasticizing effects of glycerol and sorbitol. **Industrial Crops and Products**, 50: 297–303.
- ALI, A.; MAQBOOL, M.; ALDERSON, P. G.; ZAHID, N. (2013) Effect of gum arabic as an edible coating on antioxidant capacity of tomato (*Solanum lycopersicum L.*) fruit during storage. **Postharvest Biology and Technology**, 76: 119–124.
- AL-JUHAIMI, F.; GHAFOR, K.; BABIKER, E. E. (2012) Effect of gum arabic edible coating on weight loss, firmness and sensory characteristics of cucumber (*cucumis sativus L.*) fruit during storage. **Pakistan Journal of Botany**, 44(4): 1439–1444.
- AL-MUHTASEB, A. H.; MCMINN, W. A. M.; MAGEE, T. R. A. (2002) Moisture sorption isotherm characteristics of food products: a review. **Food and Bioproducts Processing**, 80(2): 118–128.
- AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS - ASTM Standard D833. (2008) “Standard Terminology Relating to Plastics.” **ASTM International**. West Conshohocken, PA.
- ANDERSON, D. M. W.; EASTWOOD, M. A. (1989) The safety of gum arabic as a food additive and its Energy Value as an ingredient: a brief review. **Journal of Human Nutrition and Dietetics**, 2(3): 137–144.
- ANDERSSON, L. (2001) Studies on starch structure and the differential properties of starch branching enzymes. Diss. (sammanfattning/summary) Uppsala: Sveriges lantbruksuniversit. **Acta Universitatis agriculturae Sueciae**. Agraria, p. 1401-6249.
- APPENDINI, P.; HOTCHKISS, J. H. (2002) Review of antimicrobial food packaging. **Innovative Food Science and Emerging Technologies**, 3(2): 113–126.
- AQUINO, A. B.; BLANK, A. F.; SANTANA, L. C. L. DE A. (2015) Impact of edible chitosan-cassava starch coatings enriched with *Lippia gracilis* Schauer genotype mixtures on the shelf life of guavas (*Psidium guajava L.*) during storage at room temperature. **Food Chemistry**, 171: 108–116.
- ARFAT, Y. A.; BENJAKUL, S.; VONGKAMJAN, K.; SUMPAPAPOL, P.; YARNPAKDEE, S. (2015) Shelf-life extension of refrigerated sea bass slices wrapped with fish protein isolate/fish skin gelatin-ZnO nanocomposite film incorporated with basil leaf essential oil. **Journal of Food Science and Technology**, 52(10): 6182–6193.

ARIAHU, C. C.; KAZE, S. A.; ACHEM, C. D. (2006) Moisture sorption characteristics of tropical fresh water crayfish. **Journal of Food Engineering**, 75(3): 355-363.

ARZENI, C.; MARTÍNEZ, K.; ZEMA, P.; ARIAS, A.; PÉREZ, O. E.; PILOSO, A. M. R. (2012) Comparative study of high intensity ultrasound effects on food proteins functionality. **Journal of Food Engineering**, 108(3): 463-472.

ATGIÉ, M.; GARRIGUES, J. C.; CHENNEVIÈRE, A.; MASBERNATA, O.; ROGER, K. (2019) Gum Arabic in solution: Composition and multi-scale structures. **Food Hydrocolloids**, 91: 319-330.

ATRASH, S.; RAMEZANIAN, A.; RAHEMI, M. (2018) Antifungal Effects of Savory Essential Oil, Gum Arabic, and Hot Water in Mexican Lime Fruits. **Hortscience**, 53(4): 524-530.

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

BARBOSA, A. J.; SAMPAIO, I.; SILVA, E. M.; ALCÂNTARA, J. V. L.; SANTOS, S. (2020) Molecular authentication by DNA barcoding and multiplex PCR assay reveals mislabeling and commercial fraud of the Acoupa weakfish (*Cynoscion acoupa*), an economically important sciaenid marketed in Brazil. **Food Control**, 117, 107351.

BARLETTA-BERGAN, A.; BARLETTA, M.; SAINT-PAUL, U. (2002) Structure and seasonal dynamics of larval fish in the Caete River Estuary in North Brazil. Estuarine, **Coastal and Shelf Science**, 54,193-206.

BHOWMICK, N.; DEY, K.; GHOSH, A.; DUTTA, P. (2017) Efficacy of corn starch for improvement of quality and shelf-life of local plum fruits grown under sub-Himalayan Terai region of West Bengal. **International journal of chemical studies**, 5(5): 683-68.

BLANCO-PASCUAL, N.; FERNÁNDEZ-MARTÍN, F.; MONTERO, P. (2014) Jumbo squid (*Dosidicus gigas*) myofibrillar protein concentrate for edible packaging films and storage stability. **LWT - Food Science and Technology**, 55(2): 543-550.

BOF, M. J.; BORDAGARAY, V. C.; LOCASO, D. E.; GARCÍA, M.A.; (2015) Chitosan molecular weight effect on starch-composite film properties. **Food Hydrocolloids**, 51: 281-294.

BRASIL. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento - MAPA. Instrução Normativa nº 01 de 07 de Janeiro de 2000. Estabelece o Regulamento Técnico para Fixação dos Padrões de Identidade e Qualidade para Polpa de Goiaba. **Diário Oficial**. Brasília, DF. 2000.

CAMPOS, C. A.; GERSCHENSON, L. N.; FLORES, S. K. (2011) Development of Edible Films and Coatings with Antimicrobial Activity. **Food and Bioprocess Technology**, 4(6): 849-875.

CAN, N.; ÖMÜR, B. C.; ALTINDAL, A. (2016) Modeling of heavy metal ion adsorption isotherms onto metallophthalocyanine film. **Sensors and Actuators, B: Chemical**, 237: 953–961.

CARUSO, G. (2016). Fishery wastes and by-products: A resource to be valorised. *Journal of Fisheries Science*, 10, 012–015.

CERVIGÓN, F.; CIPRIANI, R.; FISCHER, W.; GARIBALDI, L.; HENDRICKX, M.; LEMUS, A. J.; MÁRQUEZ, R.; POUTIERS, J. M.; ROBAINA, G.; RODRIQUEZ, B. (1993) FAO species identification sheets for fishery purposes: Field guide to the commercial marine and brackish-water resources of the northern coast of South America. Food and agriculture organization of the united nations. Rome: FAO.

CHAO, N. L.; FRÉDOU, F. L.; HAIMOVICI, M.; PERES, M. B.; RASEIRA, M.; SUBIRÁ, R.; CARPENTER, K. (2015) A popular and potentially sustainable fishery resource under pressure-extinction risk and conservation of Brazilian Sciaenidae (Teleostei: Perciformes). **Global Ecology and Conservation**, 4, 117-126.

CHEN, C. H.; LAI, L. S. (2008) Mechanical and water vapor barrier properties of tapioca starch/decolorized hsian-tsao leaf gum films in the presence of plasticizer. **Food Hydrocolloids**, 22(8): 1584–1595.

CHINMA, C. E.; ARIAHU, C. C.; ALAKALI, J. (2013) Moisture sorption and thermodynamic properties of cassava starch and soy protein concentrate based edible films. **International Journal of Food Science and Technology**, 48(11): 2400-2407.

CHOE, J. H.; KIM, H-Y.; LEE, J-M.; KIM, Y-J.; KIM, C-J.(2013) Quality of frankfurter-type sausages with added pig skin and wheat fiber mixture as fat replacers. **Meat Science**, 93(4): 849–854.

CHOE, U.; MUSTAFA, A. M.; LIN, H.; CHOE, U.; SHENG, K. (2020) Anaerobic co-digestion of fish processing waste with a liquid fraction of hydrothermal carbonization of bamboo residue. **Bioresource Technology**, 297, 122542.

CIOLACU, L.; NICOLAU, A. I.; HOORFAR, J. (2014) Edible coatings for fresh and minimally processed fruits and vegetables. **In: Global Safety of Fresh Produce**. p. 233–244.

CISSÉ, M.; POLIDORI, J.; MONTET, D.; LOISEAU, G.; DUCAMP-COLLIN, M. N. (2015) Postharvest Biology and Technology Preservation of mango quality by using functional chitosan- lactoperoxidase systems coatings. **Postharvest Biology and Technology**, 101: 10–14.

CONWAY, W. S.; SAMS, C. E.; WATADA, A. E. (1995) Relationship between total and cell wall bound in apples following postharvest pressure infiltration of calcium chloride. *Acta Horticulturae*. **Postharvest Physiology of Fruits**, p.398.

CORDEIRO, A. H. M. (2012) Edible coatings. In S. Rodrigues & F. A. N. Fernandes (Eds.), **Advances in fruit processing technologies**. Boca Raton: CRC Press Inc. p. 345–361.

CORTEZ-VEGA, W. R.; PIZATO, S.; SOUZA, J. T. A.; PRENTICE, C. (2014) Using edible coatings from Whitemouth croaker (*Micropogonias furnieri*) protein isolate and organo-clay nanocomposite for improve the conservation properties of fresh-cut 'Formosa' papaya. **Innovative Food Science and Emerging Technologies**, 22: 197–202.

CORTEZ-VEGAI, W. R.; BAGATINI, D. C.; SOUZA, J. T. A.; PRENTICE, C. (2013) Nanocomposite biofilms obtained from Whitemouth croaker (*Micropogonias furnieri*) protein isolate and Monmorilonite: Evaluation of the physical, mechanical and barrier properties. **Brazilian Journal of Food Technology**, 16(2): 90–98.

COSTA, A. F. S.; PACOVA, B. E. V. (2003) Botânica e Variedades. In: Costa, A. F. S. & Costa, A. N. (Ed). **Tecnologias para produção de goiaba**. Vitória: Incaper, pp. 27-56.

CRIZEL, T. M.; Costa, T. M. H.; RIOS, A. O.; Flôres, S. H. (2016) Valorization of food-grade industrial waste in the obtaining active biodegradable films for packaging. **Industrial Crops and Products**, 87: 218–228.

CUPPETT, S. L. (1994) Edible coatings as carriers of food additives, fungicides and natural antagonists. In: **Edible Coatings and Films to Improve Food Quality**. Krochta, J. M., Baldwin, E. A. & Nisperos-Carriedo, M. (Eds.), Technomic, Lancaster, PA, p. 121-136.

DANG, K. M.; YOKSAN, R. (2015) Development of thermoplastic starch blown film by incorporating plasticized chitosan. **Carbohydrate Polymers**, 115: 575–581.

DANTAS, E. A.; COSTA, S. S.; CRUZ, L. S.; BRAMONT, W. B.; COSTA, A. S.; PADILHA, F. F.; DRUZIAN, J.I.; MACHADO, B. A.S. (2015) Characterization and evaluation of the antioxidant properties of biodegradable films incorporated with tropical fruit pulps. **Ciência Rural**, 45(1): 142–148.

DEHGHANI, S.; HOSSEINI, S. V.; REGENSTEIN, J. M. (2018) Edible films and coatings in seafood preservation: A review. **Food Chemistry**, 240: 505–513.

DELGADO, J. F., PELTZER, M. A., WAGNER, J. R., SALVAY, A. G. (2018) Hydration and water vapour transport properties in yeast biomass based films: A study of plasticizer content and thickness effects. **European Polymer Journal**, 99: 9-17.

DELGADO, J. F., SCENI, P., PELTZER, M. A., SALVAY, A. G., LA OSA, O., WAGNER, J. R. (2016) Development of innovative biodegradable films based on biomass of *Saccharomyces cerevisiae*. **Innovative Food Science & Emerging Technologies**, 36: 83-91.

DURSUN, S.; ERKAN, N. (2014) The effect of edible coating on the quality of smoked fish. **Italian Journal of Food Science**, 26(4): 370–382.

ECHEVERRÍA, I.; EISENBERG, P.; MAURI, A. N. (2014) Nanocomposites films based on soy proteins and montmorillonite processed by casting. **Journal of Membrane Science**, 449: 15–26.

EI-ZOGHBI, M. (1994) Biochemical changes in some tropical fruits during ripening. **Food Chemistry**, 49: 33–37.

ELTOUM, Y. A. I.; BABIKER, E. E. (2014) Changes in antioxidant content, rehydration ratio and browning index during storage of edible surface coated and dehydrated tomato slices. **Journal of Food Processing and Preservation**, 38: 1135–1144.

EMBABY, E. M.; HASSAN, M. K. (2015) Decay of guava fruit (*Psidium guajava* Linn.) quality caused by some mold fungi. **International Journal of Agricultural Technology**, 11(3): 713–730.

ESTEVEZ, M. M.; SAPCI, Z.; LINJORDET, R.; MORKEN, J. (2014) Incorporation of fish byproduct into the semi-continuous anaerobic co-digestion of pre-treated lignocellulose and cow manure, with recovery of digestate's nutrients. **Renewable Energy**, 66, 550–558.

FAI, A. E. C.; SOUZA, M.R. A.; BARROS, S. T.; BRUNO, N. V.; FERREIRA, M. S. L.; GONÇALVES, E. C. B. A. (2016) Development and evaluation of biodegradable films and coatings obtained from fruit and vegetable residues applied to fresh-cut carrot (*Daucus carota* L.). **Postharvest Biology and Technology**, 112: 194–204.

FAI, A. E. C.; SOUZA, M.R. A.; BARROS, S. T.; BRUNO, N. V.; FERREIRA, M. S. L.; GONÇALVES, E. C. B. A. (2016) Development and evaluation of biodegradable films and coatings obtained from fruit and vegetable residues applied to fresh-cut carrot (*Daucus carota* L.). **Postharvest Biology and Technology**, 112: 194–204.

FAKHOURI, F. M.; MARTELLI, S. A.; CAON, T.; VELASCO, J. I.; MEI, L. H. I. (2015) 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**, 109: 57–64.

FALGUERA, V.; QUINTERO, J. P.; JIMÉNEZ, A.; MUÑOZ, J. A.; IBARZ, A. (2011) Edible films and coatings: Structures, active functions and trends in their use. **Trends in Food Science and Technology**, 22(6): 292–303.

FAO - Food and Agriculture Organization of the United Nations (2016). The State of World Fisheries and Aquaculture 2016. Contributing to food security and nutrition for all. Rome. 200 pp.

FENG, D.; XUE, Y.; LI, Z.; WANG, Y.; YANG, W.; XUE, C. (2015) Dielectric properties of myofibrillar protein dispersions from Alaska Pollock (*Theragra chalcogramma*) as a function of concentration, temperature, and NaCl concentration. **Journal of Food Engineering**, 166: 342–348.

FORATO, L. A.; BRITTO, D.; RIZZO, J. S.; GASTALDI, T. A.; ASSIS, O. B. G. (2015) Effect of cashew gum-carboxymethylcellulose edible coatings in extending the shelf-life of fresh and cut guavas. **Food Packaging and Shelf Life**, 5: 68–74.

FREIRE, K. M. F.; PAULY, D. (2015) Fisheries catch reconstructions for Brazil's mainland and oceanic islands. *Fisheries Centre Research Reports*, 23(4), 1-48.

GALUS, S.; KADZI, J. (2015) Trends in Food Science & Technology Food applications of emulsion-based edible films and coatings. **Trends in Food Science & Technology journal**, 45: 273–283.

GAO, C.; POLLET, E.; AVÉROUS, L. (2017) Properties of glycerol-plasticized alginate films obtained by thermo-mechanical mixing. **Food Hydrocolloids**, 63: 414–420.

GARRIDO, T.; LECETA, I.; CABEZUDO, S.; DE LA CABA, K.; GUERRERO, P. (2014). Valorization of soya by-products for sustainable packaging. **Journal of Cleaner Production**, 64, 228-233.

GASHUA, I. B.; WILLIAMS, P. A.; BALDWIN, T. C. (2016) Molecular characteristics, association and interfacial properties of gum Arabic harvested from both *Acacia senegal* and *Acacia seyal*. **Food Hydrocolloids**, 61: 514–522.

GENNADIOS, A.; BRANDENBURG, A. H.; WELLER, C. L.; TESTIN, R.F. (1993) Effect of pH on Properties of Wheat Gluten and Soy Protein Isolate Films. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, 41(11): 1835–1839.

GHALY, A. E.; RAMAKRISHNAN, V. V.; BROOKS, M. S.; BUDGE, S. M.; DAVE, D. (2013) Fish processing wastes as a potential source of proteins, amino acids and oils: a critical review. **Journal of Microbial and Biochemical Technology**, 5(4), 107e129.

GILL, K. S.; DHALIWAL, H. S.; MAHAJAN, B. V. C.; PALIYATH, G.; BOORA, R. S. (2016) Enhancing postharvest shelf life and quality of guava (*Psidium guajava* L.) cv. Allahabad Safeda by pre-harvest application of hexanal containing aqueous formulation. **Postharvest Biology and Technology**, 112: 224–232.

GÓMEZ-ESTACA, J.; MONTERO, P.; GÓMEZ-GUILLÉN, M. C. (2014) Shrimp (*Litopenaeus vannamei*) muscle proteins as source to develop edible films. **Food Hydrocolloids**, 41: 86–94.

GONTARD, N.; GUILBERT, S.; CUQ, J.-L. (1993) Water and Glycerol as Plasticizers Affect Mechanical and Water Vapor Barrier Properties of an Edible Wheat Gluten Film. **Journal of Food Science**, 58(1): 206–211.

GUTIÉRREZ, T. J.; MORALES, N. J.; TAPIA, M. S.; PÉREZ, E.; FAMÁ, L. (2015) Corn Starch 80:20 “Waxy”: Regular, “Native” and Phosphated, as Bio-Matrixes for Edible Films. **Procedia Materials Science**, 8: 304–310.

HAQ, M. A.; HASNAIN, A.; AZAM, M. (2014) Characterization of edible gum cordia film: Effects of plasticizers. **LWT - Food Science and Technology**, 55(1): 163–169.

HASSAN, B.; CHATHA, S. A. S.; HUSSAIN, A. I.; ZIA, K. M.; AKHTAR, N. (2018) Recent advances on polysaccharides, lipids and protein based edible films and coatings: A review. **International Journal of Biological Macromolecules**, 109: 1095–1107.

HELDMAN, D. R.; LUND, D. B. (1992) Handbook of Food Engineering. **Marcel Dekker, Inc.**, New York, Chapter 20, p. 768.

HOSSAIN, M. F.; PARVEZ, Md. A. K.; MUNSHI, M. K.; KHALIL, Md. I.; HUQUE, R. (2014) Effect of radiation and chemical treatments on guava (*Psidium guajava* L.) to delay ripening in relation to organoleptic biochemical and microbiological properties. **International Journal of Current Microbiology and Applied Sciences**, 3(12): 19–36.

HUANG, J.; BAKRY, A. M.; ZENG, S.; XIONG, S.; YIN, T.; YOU, J.; FAN, M.; HUANG, Q. (2019) Effect of phosphates on gelling characteristics and water mobility of myofibrillar protein from grass carp (*Ctenopharyngodon idellus*). **Food Chemistry**, 272: 84–92.

HUI Y.; LI, J. G.; WU, N. F.; FAN, M. M.; SHEN, X. L.; CHEN, M. T.; JIANG A. M.; LAI, L-S. (2015) Effect of hsian-tiao gum (HG) content upon rheological properties of film-forming solutions (FFS) and physical properties of soy protein/hsian-tiao gum films. **Food Hydrocolloids**, 50, 211–218.

IDRIS, O. H. M.; WILLIAMS, P. A.; PHILLIPS, G. O. (1998) Characterisation of gum from Acacia senegal trees of different age and location using multidetection gel permeation chromatography. **Food Hydrocolloids**, 12(4): 379-388.

ILLERA-VIVES, M.; SEOANE LABANDEIRA, S.; BRITO, L. M.; LÓPEZ-FABAL, A.; LÓPEZ-MOSQUERA, M. E. (2015) Evaluation of compost from seaweed and fish waste as a fertilizer for horticultural use. *Scientia Horticulturae*, 186, 101–107.

ISLAM, A. M.; PHILLIPS, G. O.; SLJIVO, A.; SNOWDEN, M. J.; WILLIAMS, P. A. (1997) A review of recent developments on the regulatory, structural and functional aspects of gum arabic. **Food Hydrocolloids**, 11(4): 493–505.

JENSEN, S.; GROSSMANN, M. V. E.; MALI, S. (2009) Microstructure and stability of cassava starch films containing emulsifiers with different hydrophilic/lipophilic balance. **Brazilian Journal of Food Technology**, 12(2): 97–105.

JIANG, Z.; NEETOO, H.; CHEN, H. (2011) Efficacy of freezing, frozen storage and edible antimicrobial coatings used in combination for control of *Listeria monocytogenes* on roasted turkey stored at chiller temperatures. **Food Microbiology**, 28(7): 1394–1401

JOSEPH, B.; PRIYA, R. M. P. (2011) Review On Nutritional, Medicinal And Pharmacological Properties Of Guava (*psidium guajava* linn.). **Interdisciplinary Research Centre**, Department of Biotechnology, 2(1): 53–69.

JOSEPH, K.; AWORH, O. C. (1992) Post-harvest treatment of wild mango (*Irvingia gabonensis*) for improved shelf life. **Food Chemistry**, 44: 45–48.

JUMAIDIN, R.; SAPUAN, S. M.; JAWAID, M; ISHAK, M R.; SAHARI, J. (2016) Characteristics of thermoplastic sugar palm Starch/Agar blend: Thermal, tensile and physical properties. **International Journal of Biological Macromolecules**, 89: 575–581.

- KAEWPRACHU, P.; OSAKO, K.; BENJAKUL, S.; SUTHILUK, P.; RAWDKEN, S. (2017) Shelf life extension for Blue fin tuna slices (*Thunnus thynnus*) wrapped with myofibrillar protein film incorporated with catechin-Kradon extract. **Food Control**, 79: 333–343.
- KAEWPRACHU, P.; OSAKO, K.; RAWDKUEN, S. (2018) Effects of plasticizers on the properties of fish myofibrillar protein film. **Journal of Food Science and Technology**, 55(8): 3046–3055.
- KANDRA, P.; CHALLA, M. M.; JYOTHI, H. K. P. (2012). Efficient use of shrimp waste: present and future trends. **Applied Microbiology and Biotechnology**, 93, 17e29.
- KANWAL, N.; RANDHAWA, M. A.; IQBAL, Z. (2016) A Review of Production, Losses and Processing Technologies of Guava. **Asian Journal of Agriculture and Food Sciences**, 04(02): 2321–1571.
- KARIM, N. U.; LEE, M. F. M. A.; ARSHAD, A. M. (2015) The effectiveness of fish silage as organic fertilizer on post-harvest quality of Pak choy (*Brassica rapa L. subsp. chinensis*). **European International Journal of Science and Technology**. 4: 163–174.
- KATERINOPOULOU, K.; GIANNAKAS, A.; GRIGORIADI, K.; BARKOULA, N. M.; LADAVOS, A. (2014) Preparation and characterization of acetylated corn starch –(PVOH)/clay nanocomposite films. **Carbohydrate Polymers**, 102: 216–222.
- KAYMAK-ERTEKIN, F.; GEDIK, A. (2004) Sorption isotherms and isosteric heat of sorption for grapes, apricots, apples and potatoes. **LWT - Food Science and Technology**, 37(4): 429–438.
- KESTER, J. J.; FENNEMA, O. R. (1986) Edible films and coatings: A review. **Food Technology**, 40(12): 47–59.
- KHALIQ, G.; MOHAMED, M. T. M.; GHAZALI, H. M.; DING, P.; ALI, A.(2016) Influence of gum arabic coating enriched with calcium chloride on physiological, biochemical and quality responses of mango (*Mangifera indica L.*) fruit stored under low temperature stress. **Postharvest Biology and Technology**, 111: 362–369.
- KHAN, M. K. I.; SCHUTYSER, M. A. I.; SCHROËN, K.; BOOM, R. (2012) The potential of electrospraying for hydrophobic film coating on foods. **Journal of Food Engineering**, 108(3): 410–416.
- KIM, S. J.; USTUNOL, Z. (2001) Solubility and moisture sorption isotherms of whey-protein-based edible films as influenced by lipid and plasticizer incorporation. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, 49(9): 4388–4391.
- KOWALCZYK, D.; BARANIAK, B. (2014) Effect of candelilla wax on functional properties of biopolymer emulsion films - A comparative study. **Food Hydrocolloids**, 41: 195–209.
- KRISHNADEV, P.; GUNASEKARAN, K. (2017) Development of gum Arabic edible coating formulation through nanotechnological approaches and their effect on physico-

chemical change in tomato (*Solanum lycopersicum L*) fruit during storage. **International Journal of Agriculture Sciences**, 9: 3866–3870.

KUMAR, R.; MANJUNATHA, S.; KATHIRAVAN, T.; VIJAYALAKSHMI, S.; NADANASABAPATHI, S.; RAJU, P. S. (2015) Rheological characteristics of inulin solution at low concentrations: Effect of temperature and solid content. **Journal of Food Science and Technology**, 52(9): 5611–5620.

KUORWEL, K. K.; CRAN, M. J.; ORBELL, J. D.; BUDDHADASA, S.; BIGGER, S. W. (2015) Review of Mechanical Properties, Migration, and Potential Applications in Active Food Packaging Systems Containing Nanoclays and Nanosilver. **Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety**, 14(4): 411–430.

LABUZA, T. P. (1968) Sorption phenomena in foods. **Food Technology**, 22(3): 15-24.

LAGARRIGUE, S.; ALVAREZ, G. (2001) The rheology of starch dispersions at high temperatures and high shear rates: a review. **Journal of Food Engineering**, 50: 189–202.

LECETA, I.; URANGA, J.; ARANA, P.; CABEZUDO, S.; DE LA CABA, K.; GUERRERO, P. (2015) Valorisation of fishery industry wastes to manufacture sustainable packaging films: modelling moisture-sorption behaviour. **Journal of Cleaner Production**, 91: 36e42.

LEE, J. H.; LEE, J. H.; YANG, H. J.; WON, M.; SONG, K. B. (2015) Characterisation of jellyfish protein films with added transglutaminase and wasabi extract. **International Journal of Food Science and Technology**, 50(7): 1683–1689.

LI, S.; SUN, X.; LI, H.; YAN, S. (2018) The crystallization behavior of biodegradable polymer in thin film. **European Polymer Journal**, 102: 238–253.

LI, W.; JIA, Y.; DU, J. (2017) Recursive state estimation for complex networks with random coupling strength. **Neurocomputing**, 219: 1–8.

LIANG, J.; XIA, Q.; WANG, S.; LI, J.; HUANG, Q.; LUDESCHER, R. D. (2015) Influence of glycerol on the molecular mobility, oxygen permeability and microstructure of amorphous zein films. **Food Hydrocolloids**, 44: 94–100.

LIANG, T.; SUN, G.; CAO, L.; LI, J., WANG, L. (2018) Rheological behavior of film-forming solutions and film properties from *Artemisia sphaerocephala* Krasch. gum and purple onion peel extract. **Food Hydrocolloids**. 82: 124-134.

LOPES, C.; ANTELO, L. T.; FRANCO-URÍA, A.; ALONSO, A. A.; PÉREZ-MARTÍN, R. (2015) Valorisation of fish by-products against waste management treatments – Comparison of environmental impacts. **Waste Manage**, 46, 103–112.

MALI, S., SAKANAKA, L. S., YAMASHITA, F., YAMASHITA, M. V. E. (2005) Water sorption and mechanical properties of cassava starch films and their relation to plasticizing effect. **Carbohydrate Polymers**, 60(3): 283-289.

MANNERS, D. J. R. (1989) Review Paper Recent Developments in Our Understanding of Amylopectin Structure. **Carbohydrate Polymers**, 11(2): 87–112.

MAQBOOL, M.; ALI, A.; ALDERSON, P. G.; ZAHID, N.; SIDDIQUI, Y. (2011) Effect of a Novel Edible Composite Coating Based on Gum Arabic and Chitosan on Biochemical and Physiological Responses of Banana Fruits during Cold Storage. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, 59(10): 5474–5482.

MARTINS, R. S.; ALVARES, J. G.; MOURATO, B. L.; SILVA, A. O. A.; BASTOS, G. C. C. (2019) The fishery exploitation of acoupa weakfish off são paulo coast, southeastern brazil. **Boletim do instituto de pesca**, 45(3): e489.

MENDES, J. F.; PASCHOALIN, R. T.; CARMONA, V. B.; SENA, A. R.; MARQUES, A. C. P.; MARCONCINI, J. M.; MATTOSO, L. H. C.; MEDEIROS, E. S.; OLIVEIRA, J. E. (2016) Biodegradable polymer blends based on corn starch and thermoplastic chitosan processed by extrusion. **Carbohydrate Polymers**, 137: 452–458.

MIRABELLA, N.; CASTELLANI, V.; SALA, S. (2014) Current options for the valorization of food manufacturing waste: a review. **Journal of Cleaner Production**, 65: 28-41.

MONTENEGRO, M. A.; BOIERO, M. L.; VALLE, L.; BORSARELLI, C. D. (2012) Gum arabic: more than edible emulsifier. In: Verbeek, J. C. R. (Ed.), **Products and Applications of Biopolymers**. InTech, Rijeka, Croatia, p. 25.

MOTLAGH, S.; RAVINES, P.; KARAMALLAH, K. A.; MA, Q. (2006) The analysis of Acacia gums using electrophoresis. **Food Hydrocolloids**, 20: 848–854.

MOURÃO, K. R. M.; FRÉDOU, F. L.; ESPÍRITO SANTO, R. V.; ALMEIDA, M. C.; SILVA, B. B.; FRÉDOU, T.; ISAAC, V. J. (2009) Sistema de produção pesqueira pescada amarela - Cynoscion acoupa Lacèpede (1802): um estudo de caso no litoral nordeste do Pará – Brasil. **Boletim do Instituto de Pesca**, 35(3): 497- 511.

MOWLAH, G.; ITOO, S. (1982) Guava (*Psidium Guajava L.*) sugar components and related enzymes at stages of fruit- development a ripening. **Journal of Japanese Society of Food Science and Technology**, Tokyo, 29(8): 472-476.

MULET, A.; GARCÍA-PASCUAL, P.; SANJUÁN, N.; GARCÍA-REVERTER, J. (2002) Equilibrium isotherms and isosteric heats of morel (*Morchella esculenta*). **Journal of Food Engineering**, 53: 75–81.

NEETOO, H.; YE, M.; CHEN, H. (2010) Bioactive alginate coatings to control *Listeria monocytogenes* on cold-smoked salmon slices and fillets. **International Journal of Food Microbiology**, 136(3): 326–331.

NELSON, J. S. (1994) *Fishes of the World*. 3rd ed. John Wiley and Sons Inc., New York, 600 pp.

- NIU, F.; ZHANG, Y.; CHANG, C.; PAN, W.; SUN, W.; SU, Y.; YANG, Y. (2017) Influence of the preparation method on the structure formed by ovalbumin/gum arabic to observe the stability of oil-in-water emulsion. **Food Hydrocolloids**, 63: 602–610.
- NUANMANO, S.; PRODPRAN, T.; BENJAKUL, S. (2015) Potential use of gelatin hydrolysate as plasticizer in fish myofibrillar protein film. **Food Hydrocolloids**, 47: 61–68.
- OLIVEIRA, L. C.; BARBOSA, J. R.; RIBEIRO, S. C. A.; VASCONCELOS, M. A. M.; AGUIAR, B. A.; PEREIRA, G. V. S.; ALBUQUERQUE, G. A.; SILVA, F. N. L.; CRIZEL, R. L.; CAMPELO, P. H.; LOURENÇO, L. F. H. (2019) Improvement of the characteristics of fish gelatin – gum arabic through the formation of the polyelectrolyte complex. **Carbohydrate Polymers**, 223: 115068.
- OLIVEIRA, N. M.; DOURADO, F. Q.; PERES, A. M.; SILVA, M. V.; MAIA, J. M.; TEIXEIRA, J. A. (2011) Effect of Guar Gum on the Physicochemical , Thermal , Rheological and Textural Properties of Green Edam Cheese. **Food and Bioprocess Technology**, 4(8): 1414–1421.
- OLSEN, R.L.; TOPPE, J.; KARUNASAGAR, I. (2014) Challenges and realistic opportunities in the use of by-products from processing of fish and shellfish. **Trends in Food Science & Technology**, 36(2): 144–151.
- ORODU, O. D.; ORODU, K. B.; AFOLABI, R. O.; DAFE, E. A. (2018) Rheology of Gum Arabic Polymer and Gum Arabic Coated Nanoparticle for enhanced recovery of Nigerian medium crude oil under varying temperatures. **Data in Brief**, 19: 1773–1778.
- PACHECO, M. G. F.; GONZAGA, L. F.; SILVA, D. F.; ELIOMAR, J. J. S.; NETO, O. J. A. G.; GOMES, W. C. (2019) Evaluation of the quality of the organic fertilizer produced by the composting process, from the fish residues generated at the Mercado do Peixe, São Luís – MA. **Revista GEAMA**, 5 (2): 43-48.
- PAL, G. K.; SURESH, P. V. (2016) Sustainable valorisation of seafood by-products: Recovery of collagen and development of collagen-based novel functional food ingredients. **Innovative Food Science & Emerging Technologies**. 37, Part B: 201-215.
- PARK, H. J. (1999) Development of Advanced Edible Coatings for Fruits. **Trends in Food Science and Technology**. 10: 254–260.
- PARK, K. J. B.; PARK, K. J.; CORNEJO, F. E. P.; FABBRO, I. M. (2008) Thermodynamic considerations of the isotherms. **Revista Brasileira de Produtos Agroindustriais**, Campina Grande, 10(1): 83-94.
- PARK, K. J.; NOGUEIRA, R. I. (1992) Models for adjusting food sorption isotherms. **Engenharia Rural**, Piracicaba, 1(3): 180-186.
- PATEL, A. R.; TEN-HOORN, J. S.; HAZEKAMP, J.; BLIJDENSTEIN, T. B. J.; VELIKOV, K. P. (2013) Colloidal complexation of a macromolecule with a small molecular weight natural polyphenol: Implications in modulating polymer functionalities. **Soft Matter**, 9(5): 1428–1436.

PELTZER, K., PHASWANA-MAFUYA, N., PENGPID, S. (2017) Victimization and Perpetration of Intimate Partner Violence among Female and Male Youth and Adults in South Africa. **Global Journal of Health Science**, 9(10): 1-11.

PEREIRA, G. V. S.; PEREIRA, G. V. S.; ARAUJO, E. F.; XAVIER, E. M. P.; JOELE, M. R. S. P.; LOURENÇO, L. F. H. (2019a) Optimized process to produce biodegradable films with myofibrillar proteins from fish byproducts. **Food Packaging and Shelf Life**, 21: 100364.

PEREIRA, G. V. S.; PEREIRA, G. V. S.; NEVES, E. M. P. X.; JOELE, M. R. S. P.; LIMA, C. L. S.; LOURENÇO, L. F. H. (2019b) Effect of adding fatty acids and surfactant on the functional properties of biodegradable films prepared with myofibrillar proteins from acoupa weakfish (*Cynoscion acoupa*). **Food Science and Technology**, 39(1): 287–294.

PEREIRA, G. V. S.; PEREIRA, G. V. S., NEVES, E. M. P. X.; REGO, J. A. R.; BRASIL, D. S. B.; LOURENÇO, L. F. H.; JOELE, M. R. S. P. (2020) Glycerol and fatty acid influences on the rheological and technological properties of composite films from residues of *Cynoscion acoupa*. **Food Bioscience**, 38: 100773.

PEREIRA, G. V. S., PEREIRA, G. V. S., NEVES, E. M. P. X., ALBUQUERQUE, G. A., REGO, J. A. R., CARDOSO, D. N. P., BRASIL, D. S. B., JOELE, M. R. S. P. (2021a) Effect of the Mixture of Polymers on the Rheological and Technological Properties of Composite Films of Acoupa Weakfish (*Cynoscion acoupa*) and Cassava Starch (*Manihot esculenta C.*). **Food and Bioprocess Technology**. <https://doi.org/10.1007/s11947-021-02622-1>.

PEREIRA, G. V. S.; PEREIRA, G. V. S.; NEVES, E. M. P. X.; OLIVEIRA, L. C.; PENA, R. S.; CALADO, V.; LOURENÇO, L. F. H. (2021b) Biodegradable films from fishing industry waste: Technological properties and hygroscopic behavior. **Journal of Composite Materials**, 55(28): 4169–4181.

PEREIRA, G. V. S.; PEREIRA, G. V. S.; OLIVEIRA, L. C.; CARDOSO, D. N. P.; CALADO, V.; LOURENÇO, L. F. H. (2021c) Rheological characterization and influence of different biodegradable and edible coatings on post-harvest quality of guava. **Journal of Food Processing and Preservation**, 45:e15335.

PÉREZ, L. M.; PICCIRILLI, G. N.; DELORENZI, N. J.; VERDINI, R. A. (2016) Effect of different combinations of glycerol and/or trehalose on physical and structural properties of whey protein concentrate-based edible films. **Food Hydrocolloids**, 56: 352-359.

PÉREZ, S.; BERTOFT, E. (2010) The molecular structures of starch components and their contribution to the architecture of starch granules: **A comprehensive review**. **Starch/Staerke**, 62(8): 389–420.

PEREZ-GAGO, M. B.; SERRA, M.; ALONSO, M.; MATEOS, M.; DEL RÍO, M. A. (2005) Effect of whey protein- and hydroxypropyl methylcellulose-based edible composite coatings on color change of fresh-cut apples. **Postharvest Biology and Technology**, 36(1): 77–85.

- PINTO, B. V. V.; BEZERRA, A. E.; AMORIN, E.; VALADÃO, R. C.; OLIVEIRA, G. M. (2017) The residue of fish and sustainable use in the processing of coproducts. **Revista Mundi Meio Ambiente e Agrárias**. 2(2): 15-26.
- PIRES, C.; RAMOS, C.; TEIXEIRA, G.; BATISTA, I.; MENDES, R.; NUNES, L.; MARQUES, A. (2011) Characterization of biodegradable films prepared with hake proteins and thyme oil. **Journal of Food Engineering**, 105(3): 422–428.
- PIRES, D. R.; MORAIS, A. G. N.; COSTA, J. F.; GOES, L. C. D. S. A.; OLIVEIRA, G. M. (2014). Aproveitamento do resíduo comestível do pescado: Aplicação e viabilidade. **Revista Verde**, 9(5): 34 – 46.
- PIRESTANI, S.; NASIRPOUR, ALI; KERAMAT, J.; DESOBRY, S.; JASNIEWSKI, J. (2017) Effect of glycosylation with gum Arabic by Maillard reaction in a liquid system on the emulsifying properties of canola protein isolate. **Carbohydrate Polymers**, 157: 1620–1627.
- PRANOTO, Y.; SALOKHE, V. M.; RAKSHIT, S. K. (2005) Physical and antibacterial properties of alginate-based edible film incorporated with garlic oil. **Food Research International**, 38(3): 267–272.
- RAJI A. O.; OJEDIRAN, J. O. (2011) Moisture sorption isotherms of two varieties of millet. *Food and Bioproducts Processing*, 89(3): 178-184.
- RANDALL, R. C.; PHILLIPS, G. O.; WILLIAMS, P. A. (1989) Fractionation and characterization of gum from Acacia senegal. **Topics in Catalysis**, 3(1): 65–75.
- RENARD, D; LAVENANT-GOURGEON, L.; RALET, M. C.; SANCHEZ, C. (2006) Acacia senegal gum: Continuum of molecular species differing by their protein to sugar ratio, molecular weight, and charges. **Biomacromolecules**, 7(9): 2637–2649.
- RICHARDSEN, R.; MHYRE, M.; NYSTØYL, R.; STRANDHEIM, G.; MARTHINUSSEN, A. (2019) **Analyse marint restråstoff 2018** - Tilgang og anvendelse av marint restråstoff 2018 (Analysis of marine raw material 2018 – Access and use of marine raw material 2018). SINTEF Ocean As, Tromsø, p. 47.
- RIQUELME, N.; DÍAZ-CALDERÓN, P.; ENRIONE, J.; MATIACEVICH, S. (2015) Effect of physical state of gelatin-plasticizer based films on to the occurrence of Maillard reactions. **Food Chemistry**, 175: 478–484.
- RODHES, M. J. C. (1980) The maturation and ripening of fruits. In: Thimann, K.V., Adelman, R. C. & Roth, G. S. **Senescence in plants**. Florida: CRC Presscap. 8, p. 157-205.
- ROMERO-BASTIDAA, C. A.; GUTIÉRREZ, M. C.; BELLO-PÉREZ, L. A.; ABARCA-RAMÍREZ, E.; VELAZQUEZ, G.; MENDEZ-MONTEALVO, G. (2018) Rheological properties of nanocomposite-forming solutions and film based on montmorillonite and corn starch with different amylose content. **Carbohydrate Polymers**, 188: 121–127.

ROOS, Y. H., DRUSCH, S. (2015) Phase Transitions in Foods (2th ed.). **Academic Press**, 380 p.

ROUSI, Z.; MALHIAC, C.; FATOUROS, D. G.; PARASKEVOPOULOU, A. (2019) Complex coacervates formation between gelatin and gum Arabic with different arabinogalactan protein fraction content and their characterization. **Food Hydrocolloids**, 96: 577–588.

SABTECHA, B.; JAYAPRIYA, J.; TAMILSELVI, A., (2014) Extraction and characterization of proteolytic enzymes from fish visceral waste: potential applications as destainer and dehairing agent. **International Journal of ChemTech Research**, 6: 4504e4510.

SAHU, B. B.; BARIK, N. K.; PAIKARAY, A.; AGNIBESH, A.; MOHAPATRA, S.; JAYASANKAR, P. (2016) Fish waste bio-refinery products: Its application in organic farming. **International Journal of Environment, Agriculture and Biotechnology**, 1: 0837–0843.

SALVAY, A. G., COLOMBO, M. F., GRIGERA, J. R. (2003) Hydration effects on the structural properties and haem-haem interaction in haemoglobin. **Physical Chemistry Chemical Physics**, 5(1): 192-197.

SÁNCHEZ, C.; BLANCO, D.; ORIA, R.; SÁNCHEZ-GIMENO, A. C. (2009) White guava fruit and purees: textural and rheological properties and effect of the temperature. **Journal of Texture Studies**, 40(3): 334–345.

SÁNCHEZ-ORTEGA, I.; GARCÍA-ALMENDÁREZ, B. E.; SANTOS-LÓPEZ, E. M.; AMARO-REYES, A.; BARBOZA-CORONA, J. E.; REGALADO, C. (2014) Antimicrobial edible films and coatings for meat and meat products preservation. **The Scientific World Journal**, 2014: 1-18.

SANTANA, T. C.; TEIXEIRA, E.G.; CASTRO, J. S.; FERNANDES, J. F. F.; LOBATO, R. S.; CARREIRO, C. R. P. (2016) **Principais espécies de Sciaenidae marinhas e estuarinas comercializadas na Ilha do Maranhão**. Recursos Pesqueiros e Pesca Artesanal no Maranhão: Sumário Executivo, (cap. 4), 41-59.

SARANYA, R.; PRASANNA, R.; JAYAPRIYA, J.; ARAVINDHAN, R.; TAMIL SELVI, A. (2016) Value addition of fish waste in the leather industry for dehairing. **Journal of Cleaner Production**, 118: 179e186.

SCOTT, W. J. (1957) Water Relations of Food Spoilage Microorganisms. **Advances in Food Research**, 7: 83–127.

SEYFZADEH, M.; MOTALEBI, A. A.; KAKOOLAKI, S.; GHOLIPOUR, H. (2013) Chemical, microbiological and sensory evaluation of gutted kilka coated with whey protein based edible film incorporated with sodium alginate during frozen storage. **Iranian Journal of Fisheries Sciences**, 12(1): 140–153.

SHAH, U.; NAQASH, F.; GANI, A.; MASOODI, F. A. (2016) Art and Science behind Modified Starch Edible Films and Coatings: A Review. **Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety**, 15(3): 568–580.

SHAHGHOLIAN, N.; RAJABZADEH, G. (2016) Fabrication and characterization of curcumin-loaded albumin/gum arabic coacervate. **Food Hydrocolloids**, 59: 17–25.

SHOJAEE-ALIABADI, S.; HOSSEINI, H.; MOHAMMADIFAR, M. A.; MOHAMMADI, A.; GHASEMLOU, M.; OJAGH, S. M.; HOSSEINI, S. M.; KHAKSAR, R. (2013) Characterization of antioxidant-antimicrobial κ -carrageenan films containing *Satureja hortensis* essential oil. **International Journal of Biological Macromolecules**, 52(1): 116–124.

SILVA, W. B.; SILVA, G. M. C.; SANTANA, D. B.; SALVADOR, A. R.; MEDEIROS, D. B.; BELGHITHD, I.; SILVA, N. M.; CORDEIRO, M. H. M.; MISOBUTSIA, G. P. (2018) Chitosan delays ripening and ROS production in guava (*Psidium guajava* L.) fruit. **Food Chemistry**, 242: 232–238.

SIQUEIRA, A. M. A.; SANTOS, S. M. L.; LIMA, B. S.; AFONSO, M. R. A.; COSTA, J. M. C. (2014) Post-harvest shelf-life of guava ‘Paluma’ subjected to forced-air rapid cooling. **Revista Ciencia Agronomica**, 45(1): 45–51.

SOAZO, M.; RUBIOLO, A. C.; VERDINI, R. A. (2011) Food Hydrocolloids Effect of drying temperature and beeswax content on physical properties of whey protein emulsion films. **Food hydrocolloids**, 25(5): 1251–1255.

SOGI, D. S.; OBEROI, D. P. S.; MALIK, S. (2010) Effect of Particle Size , Temperature , and Total Soluble Solids on The Rheological Properties of Watermelon Juice: A Response Surface Approach. **International Journal of Food Properties**, 13(6): 2907–1214.

SOTHORNVIT, R.; KROCHTA, J. M. (2001) Plasticizer effectt on mechanical properties of b-lactoglobulin films. **Journal of Food Engineering**, 50: 149–155.

SOUZA, A. C.; BENZE, R.; FERRÃO, E. S.; DITCHFIELD, C.; COELHO, A. C. V.; TADINI, C. (2012) 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**, 46(1): 110–117.

STEFFE, J. F. (1996) **Rheological methods in food process engineering** (2nd ed.). East Lansing, MI, USA: Freeman Press, p. 418.

SUN, X. D.; HOLLEY, R. A. Factors Influencing Gel Formation by Myofibrillar Proteins in Muscle Foods. **Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety**, 10(1): 33–51.

TABASUM, S.; YOUNAS, M.; ZAEEM, M. A.; MAJEED, I.; MAJEED, M.; NOREEN, A.; IQBAL, M. N.; ZIA, K. M. (2019) A review on blending of corn starch with natural and synthetic polymers, and inorganic nanoparticles with mathematical modeling. **International Journal of Biological Macromolecules**, 122: 969–996.

TAKO, M.; TAMAKI, Y.; TERUYA, T.; TAKEDA, Y. (2014) The Principles of Starch Gelatinization and Retrogradation. **Food and Nutrition Sciences**, 5(3): 280–291.

TAN, L.; PAN, D.; PAN, N. (2008) Gelation behavior of polyacrylonitrile solution in relation to aging process and gel concentration. **Polymer**, 49(26): 5676–5682.

TEH, L. C. L.; SUMAILA, U. R. (2013) Contribution of marine fisheries to worldwide employment. **Fish Fish**, 14: 77–88.

TONGNUANCHAN, P.; BENJAKUL, S.; PRODPRAN, T.; SONGTIPYA, P. (2011) Characteristics of film based on protein isolate from red tilapia muscle with negligible yellow discoloration. **International Journal of Biological Macromolecules**, 48(5): 758–767.

TOPPE, J.; OLSEN, R. L.; PEÑARUBIA, O. R. (2018) **Production and Utilization of Fish Silage. A Manual on How to Turn Fish Waste into Profit and a Valuable Feed Ingredient or Fertilizer**. FAO, Rome, p. 28.

TREWAVAS, E. (1977) The sciaenidae fishes (croakers or drums) of the Indo-West-Pacific. **Transactions of the Zoological Society of London**, 33: 253-541.

VAN DEN BERG, C.; BRUIN, S. (1981) Water activity and its estimation in food systems: theoretical aspects. In: L. B. ROCKLAND; G. F. STEWART (Eds.), **Water activity: influences on food quality**, New York: Academic Press, p. 1-61.

VATANKHAH, H.; TAHERIAN, A. R.; RAMASWAMY, H. S. (2018) High-pressure induced thermo-viscoelasticity and dynamic rheology of gum Arabic and chitosan aqueous dispersions. **LWT - Food Science and Technology**, 89: 291–298.

VIEIRA, G.; NERES, C. R. L. (2003) Caracterização dos frutos de variedades regionais Cortibel. In: Costa, A.F.S.; Costa, A.N. (Ed.). **Tecnologias para produção de goiaba**. Vitória: Incaper, pp. 57-64.

VIEIRA, M. G. A.; SILVA, M. A.; SANTOS, L. O.; BEPPU, M. M. (2011) Natural-based plasticizers and biopolymer films: A review. **European Polymer Journal**. 47(3): 254-263

VILLALOBOS, R.; HERNÁNDEZ-MUÑOZ, P.; CHIRALT, A. (2006) Effect of surfactants on water sorption and barrier properties of hydroxypropyl methylcellulose films. **Food Hydrocolloids**, 20: 502–509.

VILLAMIL, O.; VÁQUIRO, H.; SOLANILLA, J. F. (2017) Fish viscera protein hydrolysates: Production, potential applications and functional and bioactive properties. **Food Chemistry**, 224: 160–171.

WESTPHALEN, A. D.; BRIGGS, J. L.; LONERGAN, S. M. (2006) Influence of muscle type on rheological properties of porcine myofibrillar protein during heat-induced gelation. **Meat Science**, 72(4): 697–703.

WU, C.; LI, Y.; DU, Y.; WANG, L.; TONG, C.; HU, Y.; PANG, J.; YAN, Z. (2019) Preparation and characterization of konjac glucomannan-based bionanocomposite film for active food packaging. **Food Hydrocolloids**, 89: 682-690.

XING, J. J.; LIU, Y.; LI, D.; WANG, L. J.; ADHIKARI, B. (2017) Heat-moisture treatment and acid hydrolysis of corn starch in different sequences. **LWT - Food Science and Technology**, 79: 11–20.

XIONG, Y. L.; BREKKE, C. J. (1991) Protein Extractability and Thermally Induced Gelation Properties of Myofibrils Isolated from Pre- and Postrigor Chicken Muscles. **Journal of Food Science**, 56(1): 210–215.

XIONG, Y.; LI, Q.; MIAO, S.; ZHANG, Y.; ZHENG, B.; ZHANG, L. (2019) Effect of ultrasound on physicochemical properties of emulsion stabilized by fish myofibrillar protein and xanthan gum. **Innovative Food Science & Emerging Technologies**, 54: 225–234.

XU, J.; WANG, L.; WANG, J.; FAN, X.; WANG, Q.; WANG, P.; ZHANG, Y.; LI, C.; YUAN, J.; YU, Y. (2016) Partially gelatinized corn starch as a potential environmentally friendly warp-sizing agent. **Journal of Cleaner Production**, 112: 3195–3200.

XU, X.; XU, J.; ZHANG, Y.; ZHANG, L. (2008) Rheology of triple helical Lentinan in solution: Steady shear viscosity and dynamic oscillatory behavior. **Food hydrocolloids**, 22: 735–741.

YE, A.; EDWARDS, P. J. B.; GILLILAND, J.; JAMESON, G. B.; SINGH, H. (2012) Temperature-dependent complexation between sodium caseinate and gum arabic. **Food hydrocolloids**, 26(1): 82–88.

ZHAO, Y.; CHEN, F.; GAO, G.; FENG, X.; TANG, X. (2022) Structure, physical and antioxidant properties of quinoa protein /hsian-tsoo gum composite biodegradable active films. **LWT – Food Science and Technology**, 155: 112985.

ZHOU, F.; ZHAO, M.; SU, G.; CUI, C.; SUN, W. (2014) Gelation of salted myofibrillar protein under malondialdehyde-induced oxidative stress. **Food Hydrocolloids**, 40: 153–162.

ZOU, W.; YU, L.; LIU, X.; CHEN, L.; ZHANG, X.; QIAO, D.; ZHANG, R. (2012) Effects of amylose/amylopectin ratio on starch-based superabsorbent polymers. **Carbohydrate Polymers**, 87(2): 1583–1588.

CAPÍTULO 2 – Caracterização reológica e influência de diferentes revestimentos biodegradáveis e comestíveis na qualidade pós-colheita da goiaba (*Psidium guajava L.*)¹

Resumo

Materiais poliméricos, como proteínas e carboidratos, podem ser utilizados como revestimentos para estender o prazo de validade de frutos climatéricos que tem sua vida útil pós-colheita curta. Este trabalho teve como objetivo avaliar o comportamento reológico e a aplicação de revestimentos de proteínas miofibrilares de peixes (PML), amido de milho (AM) e goma arábica (GA) em frutos durante o armazenamento. O comportamento reológico das soluções PML, AM e GA foi realizado nas concentrações de 1 g de proteínas, 3 g de amido de milho e 1 g de goma arábica, respectivamente. As soluções foram aplicadas às goiabas com casca e avaliados os parâmetros de cor, perda de massa, pH, acidez total (AT), sólidos solúveis totais (SST), relação SST/AT e firmeza. Em seguida, foram armazenadas a uma temperatura de $24 \pm 0,21$ °C e umidade relativa de $64 \pm 1,15\%$ UR em bandejas de polietileno. A solução filmogênica AM apresentou maior viscosidade, seguida por PML e GA. O modelo de Herschel- Bulkley apresentou o melhor ajuste para todas as soluções, indicando um comportamento de natureza dilatante para PML e GA e pseudoplástico para AM. O PML e o AM retardaram o amadurecimento dos frutos quando comparados ao controle e ao GA, verificado pela cor. As goiabas revestidas com PML obtiveram o menor valor para SST e para a relação SST/AT durante todo o período de armazenamento, indicando contribuição positiva desse polímero como revestimento. A perda de massa e firmeza com PML e AM apresentou menor porcentagem no armazenamento. PML e AM contribuirão positivamente para a desaceleração do amadurecimento das goiabas.

Palavras-chave: modelo Herschel-Bulkley, proteínas miofibrilares, amido de milho, goma arábica, maturação.

¹ Pereira, G. V. S.; Pereira, G. V. S.; Oliveira, L. C.; Cardoso, D. N. P.; Calado, V.; Lourenço, L. F. H. (2021) Rheological characterization and influence of different biodegradable and edible coatings on post-harvest quality of guava. **Journal of Food Processing and Preservation**, 45:e15335.

1 INTRODUÇÃO

A goiaba (*Psidium guajava L.*) é uma fruta tropical que *in natura* apresenta alto valor nutricional, sendo fonte de minerais, fibras e compostos bioativos, principalmente ácido ascórbico que possui atividade antioxidante. É uma das melhores fontes de vitamina C e carotenóides entre as árvores frutíferas cultivadas (DANTAS et al., 2015). É nativa do Brasil, e seu cultivo é fundamental em países tropicais e subtropicais, devido à sua capacidade de crescimento e produção (HONG, et al., 2012), além da excelente aceitação para consumo *in natura* (MARTÍNEZ et al., 2012).

Durante o amadurecimento, o fruto aumenta a taxa respiratória e a produção de etileno, tornando-se facilmente perecível à temperatura ambiente (SINGH; PAL, 2008). A goiaba é uma fruta climatérica e tem uma vida pós-colheita curta, entretanto o uso de refrigeração e embalagens adequadas podem estender esse período (MURMU; MISHRA, 2018). Devido esta necessidade é importante desenvolver e aplicar tecnologias inovadoras para aumentar a vida útil de goiabas (FEKRY, 2018; TEODOSIO et al., 2018).

Diferentes tipos de revestimento foram estudados para aumentar a durabilidade de frutas usando materiais poliméricos biodegradáveis (AHMED et al., 2017; JU; SONG, 2020; HAN; SONG, 2020). De acordo com Thakur et al. (2016), o uso de revestimentos comestíveis é considerado promissor para a indústria de embalagens, pois contribui para a redução dos impactos ambientais gerados pelas embalagens tradicionais não biodegradáveis. Estudos sobre o uso de revestimentos na pós-colheita de frutas e hortaliças *in natura* apresentaram resultados satisfatórios, pois contribuem para a redução do metabolismo e, conseqüentemente, retardaram a senescência e o amadurecimento em cenoura, tomate, caqui, uva, morango, maçã, entre outros (FAI, et al., 2015; KHALIQ, et al., 2015; FAKHOURI, et al., 2015; FRANCO et al., 2017; ROMANI; HERNÁNDEZ; MARTINS, 2018; SALEEM et al., 2020).

Entre as matérias-primas utilizadas como filmes e revestimentos comestíveis, destacam-se as proteínas, carboidratos e lipídeos. As proteínas de origem animal mais utilizadas são o colágeno e a gelatina, e as de origem vegetal, a zeína e a proteína do glúten do trigo. Os carboidratos mais usados são amido e gomas, além de quitosana e alginato e os lipídios como cera de abelha, óleos minerais e vegetais e glicerídeos (YANG, et al., 2016; FANGFANG et al. 2019; TABASSUM; KHAN, 2020; TOKATLI; DEMIRDÖVEN, 2020).

As proteínas são excelentes formadoras de filmes devido sua capacidade de formar ligações intra e intermoleculares e, por meio de modificações químicas, físicas ou enzimáticas, podem desenvolver propriedades adequadas para aplicações em embalagens (HAMMANN; SCHMID, 2014). Dentre os polissacarídeos, o amido consiste em uma mistura de dois polissacarídeos, amilose e amilopectina. Polímeros biodegradáveis à base de amido tornaram-se materiais de excelente interesse tecnológico, como em embalagens ecológicas (SHOGREN, 2007). A goma arábica apresenta características únicas devido sua alta solubilidade, menor viscosidade entre as gomas, boa formação de filme, emulsificação, atóxica e biocompatível (KRISHNADEV; GUNASEKARAN, 2017).

Nas soluções a base de biopolímeros, é essencial realizar um estudo do comportamento do fluxo dessas soluções, pois esta característica pode afetar a espalhabilidade, espessura, uniformidade da camada e aplicação na fruta (CHEN; KUO; LAI, 2009). O comportamento reológico dos sistemas de alimentos líquidos é crítico devido seu efeito direto nas condições de processamento, como a eficiência e o produto final (VATANKHAH; TAHERIAN; RAMASWAMY, 2018). A viscosidade do fluido depende das forças intermoleculares e das interações soluto-solvente devido ao espaçamento intermolecular e à força de ligação entre as moléculas (KUMAR et al., 2015).

Filmes baseados em proteínas têm melhores propriedades de barreira mecânica e gasosa quando comparados aos polissacarídeos, uma vez que as proteínas têm uma estrutura única, que pode conferir excelentes de propriedades funcionais e potencial de ligação intermolecular excepcionalmente alto (PEREIRA et al., 2019a; 2019b; PEREIRA et al., 2021a; 2021b). Os polissacarídeos têm capacidade adequada de barreira ao gás, mas baixas barreiras de transferência de vapor de água, pois são hidrofílicos (BATISTA et al., 2019).

Na literatura não foram encontradas pesquisas sobre o efeito de diferentes revestimentos, como amido de milho, goma arábica e proteínas miofibrilares de peixe liofilizadas (PML) para retardar o amadurecimento de frutas. Nesse contexto, o presente trabalho teve como objetivo avaliar o comportamento reológico e a influência da aplicação de diferentes revestimentos comestíveis com proteínas miofibrilares de peixes, amido de milho e goma arábica na qualidade pós-colheita de cultivares de goiaba 'cortibel', durante o armazenamento.

2 MATERIAL E MÉTODOS

2.1 MATÉRIA-PRIMA

Proteínas miofibrilares obtidas a partir de filés de acoupa weakfish (*Cynoscion acoupa*) foram doadas por uma Indústria Pesqueira localizada em Belém-PA. O amido de milho (Unilever, Garanhuns -PE, Brasil), goma arábica em pó (128 - B'Herzog, Rio de Janeiro-RJ, Brasil) e glicerol PA (Vetec Química, Duque de Caxias-RJ, Brasil) foram adquiridos dessas empresas. Goiabas (*Psidium guajava L.*), variedade 'cortibel', foram adquiridas de produtor rural de Piraúba - MG, Brasil, transportadas por seis horas à temperatura ambiente até o Ceasa-RJ (Grupo Benassi) em caixas de papelão com orifícios de ventilação e embaladas individualmente em papel seda 18grs (MG Plus, Lutepel, Santana do Paraíba-SP). O objetivo era evitar a contaminação por insetos, como a "mosca da fruta". Em seguida, foram transportados para o Laboratório do Programa de Engenharia de Processos Químicos e Bioquímicos da Universidade Federal do Rio de Janeiro-RJ.

Os resíduos do filé de peixe acoupa weakfish (*Cynoscion acoupa*) foram embalados e armazenados em caixas de gelo. No laboratório, os resíduos foram higienizados com água clorada (5 mg.L^{-1}) a $4 \text{ }^{\circ}\text{C}$ por cinco minutos; em seguida, as amostras foram embaladas a vácuo e armazenadas a $-18 \text{ }^{\circ}\text{C}$.

2.2 PROTEÍNAS MIOFIBRILARES LIOFILIZADA (PML)

Essa etapa foi realizada de acordo com a metodologia de Pereira et al. (2019a), com modificações. Os resíduos foram misturados, três vezes, com volumes de solução de NaCl 50 mM (Synth PA-ACS), por 5 minutos, e homogeneizados (Tecnal, Turratec, Piracicaba - SP, Brasil) a 10.000 rpm por 2 min a $4 \text{ }^{\circ}\text{C}$. Em seguida, a fração retida foi misturada a três volumes de solução de ácido fosfórico 0,05 % (v/v), para desodorizar a amostra. Posteriormente, o material foi misturado com três volumes de água destilada a $4 \text{ }^{\circ}\text{C}$. A cada conclusão do processo, era realizada uma etapa de filtração. O material obtido foi congelado a $-22 \text{ }^{\circ}\text{C}$ e liofilizado (Liotop, L101).

2.3 MÉTODOS DE PREPARAÇÃO DOS REVESTIMENTOS

2.3.1 Revestimento à base de proteínas miofibrilares liofilizadas (PML)

O revestimento foi preparado de acordo com Zavareze et al. (2012), com modificações por Pereira et al. (2019a). A PML foi moída e peneirada (malha de 0,42

mm) para facilitar a homogeneização. Cerca de 1 g de proteína foi pesado para 100 ml de água deionizada (p/v) e o pH da solução foi ajustado para 11,0 com NaOH 2M (Cinético, NaOH-PA). Posteriormente, o glicerol foi utilizado como plastificante (Isosfar, glicerina PA 99,5 %) na concentração de 30 % (p/p). A solução foi homogeneizada a 10.000 rpm por 5 min (Turratec-Tecnal, TE-102) e posteriormente colocada em banho-maria (TECNAL, TE-057) a 50 °C por 30 min para a produção da solução filmogênica (SF).

2.3.2 Revestimento à base de amido de milho (AM)

Para o revestimento à base de amido, a metodologia de Fakhouri et al. (2015) e Silva, Silva, & Sousa, (2019) foi utilizado, com modificações. 3 g de amido foram pesados para 100 ml de água deionizada e 30% de glicerol (p/p). Posteriormente, a solução foi aquecida com agitação (IKA C-MG H57532, IKA) a 80 °C durante 10 minutos para gelatinizar o amido.

2.3.3 Revestimento à base de goma arábica (GA)

O revestimento de goma foi preparado de acordo com Khaliq et al. (2015), com modificações. Foi usado 1 g de GA por 100 ml de água deionizada. Esta solução foi aquecida a 50 °C durante 30 minutos numa placa de agitação (IKA C-MG H57532, IKA) e depois filtrada sob vácuo (DAA-V507-QD, Mish USA) para remover impurezas. Em seguida, foi adicionado glicerol a 30% (p/p) e o pH foi ajustado para 5,6 com solução de NaOH 2M.

2.4 PERFIL REOLÓGICO DAS SOLUÇÕES FILMOGÊNICAS (SF)

As curvas de fluxo foram obtidas para as soluções preparadas para avaliar o efeito da viscosidade no processo de amadurecimento das goiabas. A análise reológica foi realizada em um viscosímetro rotacional (Haake Viscotester, VT 550, Alemanha), acoplado ao sistema de configuração de cilindros coaxiais SV cup e cilindros SV1, onde a viscosidade aparente da solução filmogênica foi determinada a 28 °C com taxa de cisalhamento variando de 2 a 600 s⁻¹ (tempo de 180 s). A análise e os resultados foram programados e obtidos por meio do software do equipamento (Software de Medição e Avaliação Thermo Scientific™ HAAKE™ RheoWin™) (SCHRAMM, 2006).

Os modelos matemáticos (Tabela 1) foram ajustados aos dados experimentais de tensão de cisalhamento (τ) e viscosidade (η) dos revestimentos, e sua seleção por serem os mais utilizados em alimentos.

2.5 APLICAÇÃO DOS REVESTIMENTOS

Os frutos foram colhidos manualmente para evitar danos mecânicos, presença de fissuras e/ou coloração variada, e encontravam-se no estágio de maturação 1, indicado pelo produtor e pela análise colorimétrica (Konica Minolta). Neste estágio, a cor da casca é verde escuro e o ângulo de cor (h^0) é entre 120 e 117 (AZZOLINI; JACOMINO; BRON, 2004). Foram coletadas aproximadamente 300 goiabas, sendo 3 frutos selecionados para cada uma das soluções filmogênicas e o controle, totalizando 12 frutos. Durante o estudo de vida de prateleira, foram realizadas seis análises em cada período estudado, utilizando 72 frutos (em triplicata), totalizando 216 frutos ao final.

Os frutos foram lavados em água corrente, sanitizados em solução de hipoclorito (200 mg. L^{-1}) por 15 min, lavados em água deionizada e secos em temperatura ambiente ($25 \text{ }^\circ\text{C}$). Posteriormente, foram separados aleatoriamente em quatro grupos para aplicação: 1) controle (sem revestimento); 2) proteínas miofibrilares liofilizadas (PML); 3) amido de milho (AM) e 4) goma arábica (GA).

Foram feitas três aspersões em cada fruta, com 8 mL da solução filmogênica a $40 \text{ }^\circ\text{C}$, com intervalo de 1 min entre elas. Em seguida, foram armazenados em bandejas de polietileno a uma temperatura de $24 \pm 0,21 \text{ }^\circ\text{C}$ e umidade relativa de $64 \pm 1,15\% \text{ UR}$. A umidade e a temperatura do ar foram monitoradas com termohigrômetro digital (0817, Incoterm/China). As análises físico-químicas foram realizadas nos tempos 0, 3 e 7 dias, que caracterizam o período de maturação final das goiabas (SILVA et al., 2018).

2.6 ANÁLISES FÍSICO-QUÍMICAS

2.6.1 Aspecto visual

As soluções utilizadas nos revestimentos foram analisadas visualmente quanto à homogeneidade sem apresentar partículas insolúveis. Após a cobertura, devem manter a uniformidade da fruta para monitorar a maturação.

2.6.2 Cor da casca

A cor instrumental dos filmes foi avaliada em um colorímetro (Minolta, CR 410, EUA), com os parâmetros L^* (brilho), a^* (intensidade do vermelho), b^* (intensidade do

amarelo), os valores de C^* (croma) e ângulo hue° (ângulo de inclinação). Foram calculados em quatro repetições (PEREIRA et al. 2020).

2.6.3. Perda de massa (PM)

A PM do fruto foi expressa em porcentagem, considerando a diferença entre a massa inicial do fruto (P_i) e aquela obtida a cada intervalo de tempo de amostragem (P_f) (Equação 1) (FRANCO et al., 2017).

$$ML = \left(\frac{(P_i - P_f)}{P_i} \right) * 100 \quad (1)$$

2.6.4 Determinação de pH e acidez titulável (AT)

Foi utilizado 10 g de amostra triturados e homogeneizados com 100 mL de água destilada, medidos em um pHmetro (MS TECNOPON Instrumentation) e para cálculo da acidez foi titulada com solução de hidróxido de sódio 0,1 N na presença de indicador fenolftaleína a 1% (p/v) (Equação 2) (AOAC, 2012).

$$Acidez (\%) = \left(\frac{V * f_c * M * 100}{P} \right) \quad (2)$$

Onde: V = volume de solução de hidróxido de sódio gasto na titulação; f_c = fator de correção; M = molaridade da solução; P = massa da amostra em g ou volume pipetado em mL.

2.6.5 Sólidos solúveis totais (STT) e SST/AT

Três a quatro gotas da amostra foram transferidas para o prisma do refratômetro de bancada (Modelo 703075, Biobrix), onde a escala do instrumento foi lida. A temperatura da amostra foi medida para correção dos valores, método proposto por AOAC (2012). A relação SST/AT foi obtida pela relação entre os valores de sólidos solúveis totais e acidez total.

2.6.6 Firmeza da casca e polpa

A firmeza foi medida num texturômetro (CT3, Brookfield Engineering Laboratories, INC.) a partir do valor de força (N) necessária para a sonda cilíndrica penetrar na superfície externa e na polpa das goiabas. O diâmetro da sonda foi de 2 mm e as condições de teste foram: velocidade de pré-teste de 2 mm/s, velocidade de teste de 2 mm/s, pós-teste de 10 mm/s e distância de penetração de 10 mm (COSTA et al., 2017).

2.8 ANÁLISE ESTATÍSTICA

Os modelos matemáticos foram ajustados aos dados experimentais por regressão não linear. Para isso, foi utilizado o algoritmo Quasi-Newton, com critério de convergência de 10^{-4} (erro relativo). O menor valor do erro médio quadrático (MS_E), e o maior valor do coeficiente de determinação ajustado ($R^2_{ajustado}$) foram os critérios utilizados para definir o melhor modelo para curva de fluxo e viscosidade (MONTGOMERY; RUNGER, 2018). O valor de $R^2_{ajustado}$ considera o número de graus de liberdade que não é considerado pelo R^2 (MONTGOMERY; RUNGER, 2018). Segundo Taylor (1997), o MS_E é uma boa medida de precisão, pois mede a diferença entre dois conjuntos de dados e amplifica grandes resíduos.

Para a análise dos frutos, quatro grupos foram considerados como tratamento: Controle – fruto não revestidos; PML – revestidos com proteínas miofibrilares liofilizadas; AM - revestido com amido de milho e GA - revestido com goma arábica. A análise estatística dos resultados obtidos na conservação pós-colheita de goiabas foi realizada utilizando software *Statistica* 13.1 para Windows e análise de variância (ANOVA), em que a influência dos tipos de tratamentos e o tempo de armazenamento foi analisada pela Fisher (LSD), com nível de significância de 5% ($p \leq 0,05$).

3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

3.1 PERFIL REOLÓGICO DAS SOLUÇÕES FILMOGÊNICAS (SF)

Curvas de fluxo e viscosidade foram obtidas para soluções filmogênicas de proteínas miofibrilares, amido de milho e goma arábica (Figura 1). O modelo Herschel-Bulkley apresentou o melhor ajuste de acordo com os critérios de menor erro médio quadrático (MS_E) e maior coeficiente de determinação ajustado ($R^2_{ajustado}$) (Tabela 1).

Todos os resultados foram ajustados aos modelos matemáticos de Bingham, Ostwald-de Waele (lei de potência), Herschel- Bulkley e Newtoniano (Tabela 1), para obter o modelo matemático que melhor se adequava à tensão de cisalhamento e à viscosidade. O modelo matemático de Herschel- Bulkley descreveu um ajuste adequado aos dados, uma vez que $R^2_{ajustado}$ foi próximo de 1 para todas as soluções filmogênicas. De acordo com Toneli, Murr e Park (2005), o modelo de Herschel- Bulkley considera a relação não linear entre tensão e taxa de cisalhamento. O coeficiente de consistência (K) da solução de amido obteve um valor superior ao das demais soluções. Este coeficiente é um índice informativo sobre as propriedades viscosas das soluções, cujos maiores valores indicam maior viscosidade (KARACA et al., 2009; MA; ZHU; WANG, 2019). A Tabela

1 mostra que a PML e o GA apresentaram menores valores de K e, portanto, menor viscosidade.

Tabela 1. Parâmetros dos modelos de tensão de cisalhamento e viscosidade para diferentes revestimentos.

Modelos (Schramm, 2006)	Tensão de cisalhamento (Pa)				Viscosidade (Pa.s)			
	Parâmetros	R^2_{ajustado}	MS_E		Parâmetros	R^2_{ajustado}	MS_E	
Proteínas miofibrilares (PM)								
Bingham	$\tau = \tau_0 + \eta_p \cdot \dot{\gamma}$	$\tau_0 = 0,33$ $\eta_p = 0,05$	0,99	0,497	$\eta = \eta_p + \tau_0/\dot{\gamma}$	$\tau_0 = 0,66$ $\eta_p = 0,06$	0,88	0,0011
Herschel-Bulkley	$\tau = \tau_0 + K \cdot \dot{\gamma}^n$	$\tau_0 = 1,15$ $K = 0,02$ $n = 1,15$	0,99	0,158	$\eta = \tau_0/\dot{\gamma} + K \cdot \dot{\gamma}^{(n-1)}$	$\tau_0 = 0,08$ $K = 0,33$ $n = 0,66$	0,95	0,0003
Ostwald de Weale	$\tau = K \cdot \dot{\gamma}^n$	$K = 0,04$ $n = 1,05$	0,99	0,478	$\eta = K + \dot{\gamma}^{(n-1)}$	$K = 0,38$ $n = 0,63$	0,95	0,0003
Newtoniano	$\tau = \eta \cdot \dot{\gamma}$	$\eta = 0,05$	0,99	0,510	$\eta = \tau/\dot{\gamma}$	$\eta = 0,84$	0,52	0,0040
Amido de milho (AM)								
Bingham	$\tau = \tau_0 + \eta_p \cdot \dot{\gamma}$	$\tau_0 = 20,63$ $\eta_p = 0,31$	0,98	86,784	$\eta = \eta_p + \tau_0/\dot{\gamma}$	$\tau_0 = 6,65$ $\eta_p = 0,48$	0,95	0,0407
Herschel-Bulkley	$\tau = \tau_0 + K \cdot \dot{\gamma}^n$	$\tau_0 = 2,81$ $K = 2,50$ $n = 0,68$	0,99	0,198	$\eta = \tau_0/\dot{\gamma} + K \cdot \dot{\gamma}^{(n-1)}$	$\tau_0 = 2,79$ $K = 2,74$ $n = 0,67$	0,99	0,0002
Ostwald de Weale	$\tau = K \cdot \dot{\gamma}^n$	$K = 3,13$ $n = 0,65$	0,99	0,934	$\eta = K + \dot{\gamma}^{(n-1)}$	$K = 4,59$ $n = 0,56$	0,99	0,0035
Newtoniano	$\tau = \eta \cdot \dot{\gamma}$	$\eta = 0,36$	0,94	263,215	$\eta = \tau/\dot{\gamma}$	$\eta = 8,08$	0,69	0,2449
Goma arábica (GA)								
Bingham	$\tau = \tau_0 + \eta_p \cdot \dot{\gamma}$	$\tau_0 = -1,45$ $\eta_p = 0,04$	0,97	2,107	$\eta = \eta_p + \tau_0/\dot{\gamma}$	$\tau_0 = 0,24$ $\eta_p = 0,02$	0,89	0,0001
Herschel-Bulkley	$\tau = \tau_0 + K \cdot \dot{\gamma}^n$	$\tau_0 = 0,19$ $K = 0,001$ $n = 1,58$	0,99	0,027	$\eta = \tau_0/\dot{\gamma} + K \cdot \dot{\gamma}^{(n-1)}$	$\tau_0 = 0,30$ $K = 0,001$ $n = 1,60$	0,97	0,0000
Ostwald-de Waele	$\tau = K \cdot \dot{\gamma}^n$	$K = 0,001$ $n = 1,55$	0,99	0,038	$\eta = K + \dot{\gamma}^{(n-1)}$	$K = 0,16$ $n = 0,60$	0,67	0,0004
Newtoniano	$\tau = \eta \cdot \dot{\gamma}$	$\eta = 0,03$	0,95	2,863	$\eta = \tau/\dot{\gamma}$	$\eta = 0,31$	0,42	0,0006

η = Viscosidade (Pa.s); η_p = viscosidade aparente; τ = tensão de cisalhamento (Pa); τ_0 = tensão de cisalhamento inicial (Pa); k = índice de consistência (Pa.sⁿ); $\dot{\gamma}$ = taxa de cisalhamento (s⁻¹); n = índice de comportamento do fluido (adimensional). O valor 1 indica fluido newtoniano; maior que 1 indica fluido dilatante e entre 0 e 1 indica fluido pseudoplástico (ACEVEDO-FANI et al, 2015); R^2_{ajustado} - coeficiente de determinação; MS_E - erro médio quadrático.

A viscosidade de uma solução tende a diminuir devido à presença ou aumento da concentração da fase dispersa sob homogeneização em altos níveis de agitação (forças de cisalhamento), induzindo alteração ou degradação das cadeias poliméricas diminuindo sua massa molecular, afetando a viscosidade (ACEVEDO- FANI et al., 2015). A Figura 1 não mostra alterações significativas de viscosidade partindo da taxa de cisalhamento de 100 s⁻¹ para a solução de proteína. No amido, a viscosidade diminuiu com o aumento

da taxa de cisalhamento ($p \leq 0,05$). Na solução GA, a partir das taxas de 50 s^{-1} , houve um aumento da viscosidade ao aumentar a taxa de cisalhamento ($p \leq 0,05$).

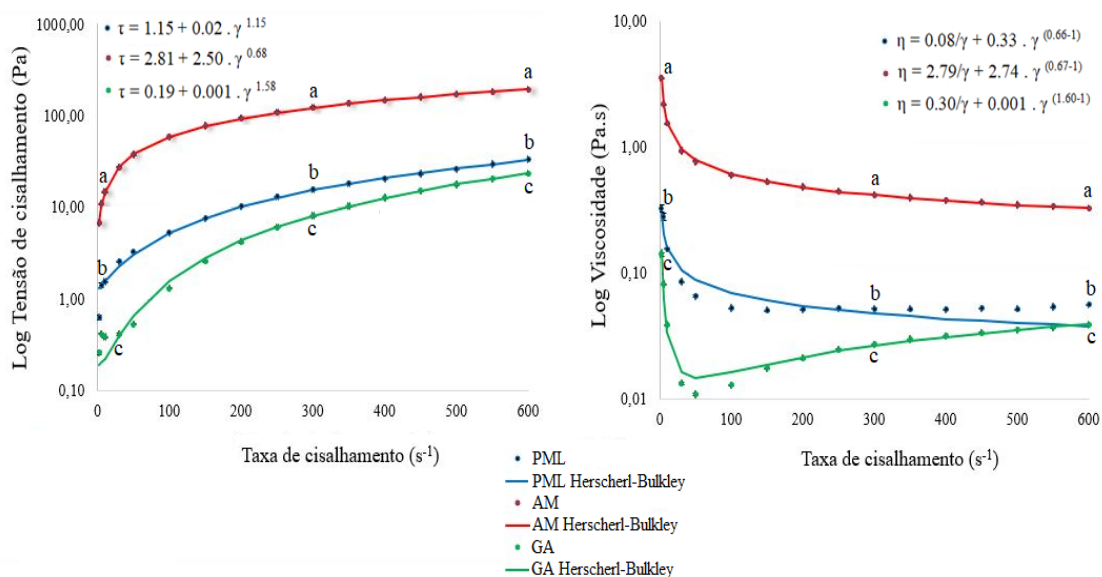


Figura 1. Curvas de fluxo e viscosidade para o modelo de Herschel-Bulkley de soluções filmogênicas de proteínas miofibrilares liofilizadas (● LMP, —), amido de milho (◆ AM, —) e goma arábica (■ GA, —). Diferentes letras minúsculas entre as curvas significam diferenças estatísticas ($p \leq 0,05$).

A solução de goma arábica apresentou a menor viscosidade ($p \leq 0,05$), seguida pelas proteínas miofibrilares e amido de milho (Figura 1). A goma arábica tem uma estrutura polissacarídica ramificada, fazendo com que a dispersão coloidal resultante tenha uma viscosidade mais baixa do que o polímero linear correspondente. Portanto, a goma arábica pode ser solubilizada em água em concentrações muito alta e com um impacto mínimo na viscosidade da solução (ATGIÉ et al., 2019).

Quando a taxa de cisalhamento aumenta para superar os movimentos brownianos e quebra ligações químicas, as cadeias proteicas são alinhadas ao longo do campo de fluxo, apresentando menor resistência a ele, o que resulta em menor viscosidade (XIANG et al., 2001). Os amidos submetidos a uma força de cisalhamento aumentam a quantidade de amilose em cadeias mais curtas, resultando em uma estrutura altamente ordenada e com maior viscosidade (ROMERO-BASTIDA et al., 2018).

A Figura 1 mostra que a solução de goma apresentou um aumento acentuado da tensão de cisalhamento conforme aumento da taxa cisalhante com uma concavidade para baixo, indicando um comportamento reológico de dilatação. Para soluções de proteína e

amido, a tensão de cisalhamento aumentou continuamente com o aumento da taxa de cisalhamento seguida de linearidade, proporcionando curvas com concavidade para baixo, caracterizadas por natureza dilatante e fluido pseudoplástico, respectivamente (Tabela 1). Rashid et al. (2020) prepararam revestimentos comestíveis para preservar a qualidade de maçãs pós-colheita com polissacarídeos de feno-grego e linhaça, nas concentrações de 1,92 a 2,71% e 0,92 a 1,71%, respectivamente, encontraram comportamento com diminuição da viscosidade e taxas crescentes de cisalhamento.

O comportamento do fluxo de soluções formadoras de filme pode afetar a capacidade de espalhamento, espessura, uniformidade de camada de revestimento, design da aplicação (CHEN; KUO; LAI, 2009) e o processo de amadurecimento. Plastificantes são materiais que interagem com cadeias poliméricas, reduzindo ligações de hidrogênio intermoleculares devido ao aumento do espaçamento na matriz polimérica (CHANTAWEE; RIYAJAN, 2019). Quando o glicerol interage com a matriz polimérica, ocorre um aumento nos espaços intermoleculares. No presente estudo, a mesma quantidade de sólidos solúveis, proteínas e goma arábica foi utilizada para a obtenção das soluções filmogênicas, o que provavelmente influenciou na espessura do filme foi a interação entre o plastificante glicerol e o polímero, afetando as interações polímero-polímero.

De acordo com Gutiérrez et al. (2015), a espessura é uma característica importante que afeta as propriedades de barreira do filme. A diminuição da viscosidade da solução de GA pode ser atribuída a uma reação incompleta entre grande quantidade de plastificante e os locais livres da cadeia por se tratar de uma estrutura altamente ramificada, dificultando a conexão entre o glicerol e a GA. Quimicamente, a GA é uma mistura complexa de macromoléculas de diferentes tamanhos e composições, principalmente carboidratos e proteínas (MONTENEGRO et al., 2012).

Ao revestir a fruta, infere-se que uma solução muito viscosa pode se comportar como um bloqueador da passagem de umidade, trocas gasosas, dificultando o metabolismo da fruta (com baixa taxa respiratória). Para dispersões diluídas, a solução provavelmente não atuaria como barreira a esses componentes, acelerando a taxa respiratória, a sudorese e a senescência, contribuindo para o amadurecimento acelerado. Segundo Sobral (2000), soluções muito viscosas não escoam sob a força do próprio peso, apresentando dificuldade em manter a uniformidade na espessura desses materiais.

3.2 ASPECTO VISUAL

A Figura 2 mostra as imagens da fruta não revestida (controle) e revestida com proteínas miofibrilares liofilizadas (PML), amido de milho (AM) e goma arábica (GA). Os revestimentos aderiram uniformemente à superfície da fruta após a evaporação da água; ou seja, a polimerização dos revestimentos formou um filme fino e translúcido, quase imperceptível a olho nu, não influenciando o aspecto durante o armazenamento.

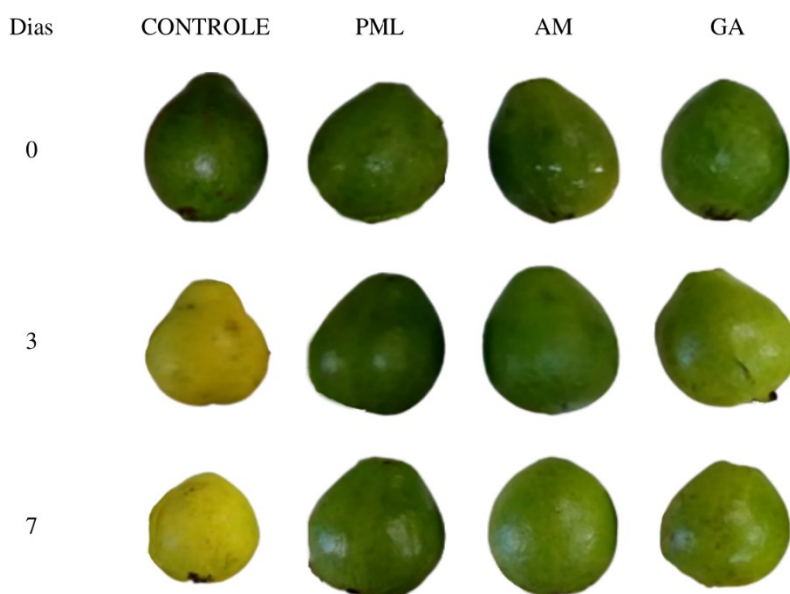


Figura 2. Frutos revestidos: Controle (sem revestimento); PML (proteínas miofibrilares liofilizadas); AM (amido de milho); GA (goma arábica) durante o armazenamento.

3.3 COR DA CASCA

A Tabela 2 mostra os resultados dos parâmetros de cor das goiabas com e sem cobertura. Houve diferença significativa ($p \leq 0,05$) na luminosidade (L^*) entre a amostra controle e as amostras revestidas durante o período de armazenamento.

Tabela 2. Efeito de revestimentos e tempo em L*, a*, b*, C* e valores de ângulo *hue*^o em goiabas durante o armazenamento.

Tratamentos	Dias de armazenamento		
	0	3	7
L*			
Controle	42,19 ± 2,64 ^c	62,35 ± 0,96 ^{A,b}	71,30 ± 1,00 ^{A,a}
PML	42,19 ± 2,64 ^c	49,64 ± 0,97 ^{B,b}	54,81 ± 0,80 ^{B,a}
AM	42,19 ± 2,64 ^c	49,87 ± 1,11 ^{B,b}	54,98 ± 1,11 ^{B,a}
GA	42,19 ± 2,64 ^c	51,63 ± 0,11 ^{B,b}	59,75 ± 0,76 ^{C,a}
a*			
Controle	-19,49 ± 1,01 ^a	-16,74 ± 0,40 ^{C,b}	-2,03 ± 0,75 ^{C,c}
PML	-19,49 ± 1,01 ^a	-19,16 ± 0,18 ^{B,a}	-18,78 ± 0,30 ^{A,a}
AM	-19,49 ± 1,01 ^a	-18,39 ± 0,30 ^{B,b}	-19,28 ± 0,20 ^{A,a,b}
GA	-19,49 ± 1,01 ^a	-19,51 ± 0,60 ^{A,a,b}	-17,76 ± 0,50 ^{B,b}
b*			
Controle	32,43 ± 3,02 ^c	49,74 ± 0,54 ^{A,b}	60,49 ± 0,59 ^{A,a}
PML	32,43 ± 3,02 ^b	32,86 ± 1,06 ^{B,b}	35,91 ± 0,91 ^{B,a}
AM	32,43 ± 3,02 ^b	32,06 ± 0,31 ^{B,b}	35,20 ± 1,41 ^{B,a}
GA	32,43 ± 3,02 ^b	34,57 ± 0,29 ^{B,b}	44,02 ± 0,99 ^{C,a}
C*			
Controle	37,85 ± 3,11 ^c	52,35 ± 0,70 ^{A,b}	60,56 ± 0,57 ^{A,a}
PML	37,85 ± 3,11 ^a	37,85 ± 1,18 ^{B,a}	40,41 ± 0,95 ^{B,a}
AM	37,85 ± 3,11 ^{a,b}	37,18 ± 0,31 ^{B,b}	40,14 ± 1,29 ^{B,a}
GA	37,85 ± 3,11 ^{a,b}	39,50 ± 0,51 ^{B,b}	47,35 ± 0,96 ^{C,a}
Ângulo <i>hue</i>^o			
Controle	121,09 ± 1,08 ^a	108,45 ± 0,32 ^{C,b}	91,90 ± 0,68 ^{D,c}
PML	121,09 ± 1,08 ^a	119,37 ± 0,47 ^{B,b}	116,88 ± 0,45 ^{B,c}
AM	121,09 ± 1,08 ^a	120,83 ± 0,23 ^{A,a}	119,13 ± 0,77 ^{A,b}
GA	121,09 ± 1,08 ^a	119,89 ± 0,53 ^{B,b}	112,05 ± 1,12 ^{C,c}

Diferentes letras maiúsculas na coluna e diferentes letras minúsculas na linha estatísticas de diferenças médias ($p \leq 0,05$).

As amostras PML e AM retardaram o amadurecimento dos frutos, apresentando menor luminosidade e mantendo a cor verde ($p \leq 0,05$). A GA obteve maior luminosidade ($p \leq 0,05$) que os demais tratamentos no tempo sete e pode estar relacionado à baixa

viscosidade da solução de revestimento, resultando em amadurecimento mais rápido. De acordo com Zavareza et al. (2012), as propriedades de barreiras melhoram quando a mistura de hidrocolóide forma uma rede contínua e consistente. Porém, infere-se que devido à estrutura ramificada da goma arábica, a interação intermolecular com o glicerol não ocorreu por completo, resultando em maior transparência do revestimento de GA. Além disso, moléculas de glicerol hidrofílico podem ser inseridas entre cadeias poliméricas adjacentes, diminuindo a atração intermolecular e aumentando a mobilidade molecular (CHANTAWEE; RIYAJAN, 2019). Assim, a maior transmissão de luz ocorreu devido à mudança na luminosidade (Tabela 3), resultando em revestimentos mais claros (GA) (L^*). Pode-se observar também que o fruto controle mudou de verde para amarelo ao final do armazenamento.

Mudanças de cor estão associadas a mudanças bioquímicas, como degradação e síntese de várias moléculas, incluindo carotenóides (AINA; OLADUNJOYE, 1993). Quanto aos valores de a^* (tendência ao vermelho quando é positivo e verde se negativo), observou-se que os frutos sem cobertura apresentaram maturação completa ao final do armazenamento ($p \leq 0,05$), diferentemente dos revestidos, que manteve a cor verde. O parâmetro b^* (Tabela 2) indica tendência de cor amarela quando o valor é positivo, e os resultados mostraram que a fruta controle apresentou diferença ($p \leq 0,05$) nos períodos de 3 e 7 dias quando comparados aos demais tratamentos, exceto tratamentos PML e AM no tempo 3. O fruto controle apresentou amadurecimento mais acelerado com maior rugosidade (Figura 2).

Os frutos apresentaram uma cor inicial predominantemente verde, mas a mudança de cor foi observada como uma indicação natural de maturação ao longo dos dias. Durante a maturação, a clorofila é degradada em cloroplastos formando um aglomerado de catabólitos incolores, expondo os carotenóides como os principais pigmentos responsáveis pelo amarelecimento típico do processo (STREIT et al., 2005). Essas mudanças foram observadas usando os parâmetros de cores instrumentais a^* e b^* . A degradação da clorofila pode ser acelerada pela presença de sistemas oxidantes, como o contato livre com o O_2 atmosférico (BLEINROTH et al., 1992). Assim, os revestimentos que atuam como barreira ao O_2 também contribuem para reduzir as mudanças de cor ao longo do tempo; a transparência também pode ser vista nos revestimentos (L^*) (Tabela 2).

Uvas revestidas com gelatina de peixe adicionadas com extrato de pinho (EP) apresentaram diminuição da luminosidade (L^*) e aumento da cor b^* , com valores de

25,35 ± 1,08 a 27,08 ± 1,37 para L* e 1,54 ± 0,29 a 1,06 ± 0,4 para b* no 10º dia de armazenamento (YANG et al., 2016). Ju e Song (2020), ao desenvolver filmes biodegradáveis utilizando extrato de casca de cebola amarela (ECCA) e funoran extraído de *Gloiopeltis furcata* (FFG), obteve redução no brilho (L*) dos filmes FFG, com valores de 87,97 a 29,44, de acordo com o aumento na concentração de ECCA.

Todas as frutas, independentemente do tratamento, apresentaram aumento do C* e diminuição do *angulo hue*º em função do tempo de armazenamento, indicando a transição do verde para o amarelo (Tabela 2). O croma C* indica a saturação ou intensidade da cor, enquanto o *angulo hue*º indica a cor real (JANGCHUD; CHINNAN, 1999). Observa-se que o controle e o GA apresentaram diferenças ($p \leq 0,05$) nos valores de C*, com maior intensidade de cor quando comparados aos tratamentos PML e AM.

O *angulo hue*º apresentou diferenças significativas na cor das cascas das goiabas revestidas em comparação ao controle, durante o armazenamento. Este parâmetro obteve valores em torno de 121,00 (verde) para um valor próximo a 92,00 (amarelo), confirmando os resultados anteriores, onde as goiabas não revestidas (controle) apresentaram coloração mais amarela, enquanto as demais permaneceram verdes.

3.4 PERDA DE MASSA (PM)

Os dados apresentados na Tabela 3 mostram que a perda de massa (PM) foi crescente no período avaliado, variável influenciada ($p \leq 0,05$) pelos fatores avaliados (diferentes revestimentos e tempo de armazenamento).

A PM da fruta é considerada uma variável crítica, pois está diretamente relacionada à qualidade da fruta. Segundo Elsabee & Abdou (2013), a perda de massa do fruto reflete principalmente na taxa de respiração, transpiração e alguns processos de oxidação, que são influenciados pelo tratamento pós-colheita e temperatura de armazenamento. Neste estudo, verificou-se no terceiro dia de armazenamento que o controle apresentou maior percentual de perda de massa, seguida do tratamento com GA, indicando estádios de amadurecimento mais acelerados (Tabela 3).

Tabela 3. Efeito de diferentes revestimentos e período de armazenamento nos valores de PM, pH, AT, SST e SST/AT em goiabas 'cortibel' analisados por sete dias.

Tratamentos	Dias de armazenamento		
	0	3	7
PM (%)			
Controle	-	7,65 ± 0,18 ^{A,b}	14,00 ± 0,11 ^{B,a}
PML	-	5,75 ± 0,21 ^{B,b}	9,72 ± 0,32 ^{D,a}
AM	-	5,86 ± 0,25 ^{B,b}	10,21 ± 0,15 ^{C,a}
GA	-	7,34 ± 0,01 ^{A,b}	19,65 ± 0,46 ^{A,a}
pH			
Controle	4,30 ± 0,01 ^c	4,39 ± 0,01 ^{A,b}	4,71 ± 0,01 ^{A,a}
PML	4,30 ± 0,01 ^a	4,18 ± 0,07 ^{B,b}	4,16 ± 0,06 ^{B,b}
AM	4,30 ± 0,01 ^a	4,23 ± 0,02 ^{B,a,b}	4,28 ± 0,03 ^{B,b}
GA	4,30 ± 0,01 ^a	4,28 ± 0,02 ^{A,B,a}	4,01 ± 0,07 ^{C,b}
AT (%)			
Controle	0,94 ± 0,00 ^a	0,82 ± 0,01 ^{A,b}	0,80 ± 0,01 ^{A,B,b}
PML	0,94 ± 0,00 ^a	0,82 ± 0,00 ^{A,b}	0,79 ± 0,00 ^{A,B,b}
AM	0,94 ± 0,00 ^a	0,74 ± 0,06 ^{B,b}	0,78 ± 0,01 ^{B,b}
GA	0,94 ± 0,00 ^a	0,72 ± 0,07 ^{B,c}	0,81 ± 0,04 ^{A,b}
SST (%)			
Controle	8,50 ± 0,10 ^c	9,10 ± 0,06 ^{A,b}	10,06 ± 0,06 ^{A,a}
PML	8,50 ± 0,10 ^b	8,57 ± 0,08 ^{B,b}	9,00 ± 0,06 ^{D,a}
AM	8,50 ± 0,10 ^c	8,66 ± 0,06 ^{B,b}	9,23 ± 0,00 ^{C,a}
GA	8,50 ± 0,10 ^c	8,96 ± 0,15 ^{A,b}	9,86 ± 0,06 ^{B,a}
SST/AT			
Controle	8,96 ± 0,07 ^c	11,08 ± 0,08 ^{C,b}	12,53 ± 0,18 ^{A,a}
PML	8,96 ± 0,07 ^c	10,41 ± 0,01 ^{D,b}	11,39 ± 0,06 ^{C,a}
AM	8,96 ± 0,07 ^b	11,67 ± 0,27 ^{B,a}	11,90 ± 0,10 ^{B,a}
GA	8,96 ± 0,07 ^c	12,93 ± 0,21 ^{A,a}	11,74 ± 0,17 ^{B,C,b}

Diferentes letras maiúsculas na coluna e minúsculas na linha indicam diferenças estatísticas ($p \leq 0,05$). PM (perda de massa); AT (acidez titulável); TSS (sólidos solúveis totais); TSS/AT (sólidos solúveis/acidez titulável).

Os resultados mostram a eficiência da incorporação de proteínas miofibrilares de peixes e amido de milho nos revestimentos para retardar o amadurecimento dos frutos (Tabela 4). Esses revestimentos podem minimizar a perda excessiva de água para o ambiente externo, funcionando como barreiras semipermeáveis contra oxigênio, dióxido de carbono e umidade, reduzindo a respiração, a perda de água e as reações de oxidação (GOL; PATEL; RAO, 2013). Proteínas miofibrilares de peixes e amido de milho podem ser utilizados como barreiras protetoras para prevenir o processo de sudorese, com consequente perda de massa, e dificultar o consumo de O₂, resultando em diminuição da taxa respiratória e na produção de etileno (TRUNG; PHUONG; STEVEN, 2011).

Ao final do armazenamento, os frutos controle e os revestidos com goma arábica apresentaram maior ($p \leq 0,05$) percentual de perda de massa (Tabela 3), indicando amadurecimento mais acelerado que os demais tratamentos. Por ser considerada um polímero hidrofílico, a goma arábica tende a perder mais partículas de água para o ambiente externo (umidade relativa). A goma arábica é um complexo heteropolissacarídeo hidrofílico aniônico, ramificado, fazendo com que a dispersão coloidal resultante tenha uma viscosidade mais baixa comparado ao polímero linear correspondente (ATGIÉ et al., 2019; GASHUA; WILLIAMS; BALDWIN, 2016). Essa característica pode afetar suas propriedades funcionais, incluindo a barreira ao vapor d'água. Estudos relatados por Franco et al. (2017) mostraram que revestimentos de amido nativo (oxidado e acetilado) e modificado adicionado de sorbitol apresentaram menores perdas de peso, com valores variando de 28,17%, 29,11% e 32,96%, respectivamente, em comparação ao controle e revestimentos adicionados com glicerol e manitol após oito dias de armazenamento.

3.5 pH e ACIDEZ TITULÁVEL (AT)

O pH dos frutos controle apresentou valores mais elevados ao longo do período estudado, apresentando também diferença ($p \leq 0,05$) em relação à acidez titulável (Tabela 3). Observa-se que o controle apresentou diferença ($p \leq 0,05$) de pH com os revestimentos PML e AM no terceiro dia de armazenamento e ao final, com todos os tratamentos ($p \leq 0,05$). Porém, o tratamento com GA apresentou menor valor de pH ao final do tratamento. Oz e Ulukanli (2012) observaram um valor de pH cerca de 4 na medição inicial, com redução sutil até o 8º dia de armazenamento para frutos de romã revestidos com amido e óleo de semente de *Nigella sativa*; apresentando valor quase constante para o grupo controle até o 8º dia.

Quando a acidez e o pH são elevados durante o armazenamento, provavelmente há maior concentração de ácidos na forma não dissociada, como os ácidos fracos, cítrico e ascórbico (MERCADO-SILVA; BENITO-BAUTISTA; GARCÍA-VELASCO, 1998). Chitarra e Chitarra (2005) afirmam que uma pequena variação no pH ocorre devido à capacidade tamponante de algumas soluções, uma vez que a presença simultânea de ácidos orgânicos e seus sais evita que o aumento da acidez titulável altere significativamente os valores de pH. Porém, a manutenção da acidez pode estar relacionada à menor taxa respiratória das frutas no sétimo dia.

A acidez do fruto sem revestimento (controle) e PML não diferiram nos dias 3 e 7 e entre AM e GA no terceiro dia de armazenamento ($p \leq 0,05$). A diminuição gradual da acidez durante o armazenamento pode ser devido à conversão de ácidos em açúcares e ao uso rápido de ácidos orgânicos no processo respiratório (CHULAKI et al., 2017; NANDANIYA et al, 2017). Tucker (1993) afirma que, durante o amadurecimento, os ácidos orgânicos representam um dos substratos primários para os processos respiratórios e, em geral, tendem a diminuir significativamente. Assim, o teor de AT pode ser considerado indicativo do estágio de maturação dos frutos. Aquino, Blank e Santana (2015), ao analisarem goiaba recoberta com amido, quitosana e genótipos de *Lippia gracilis Schauer*, observaram que a acidez não diferiu entre os revestimentos, obtendo valores de 0,31 a 0,80%.

3.6 SÓLIDOS SOLÚVEIS TOTAIS (SST)

Os dados apresentados na Tabela 3 revelaram que os sólidos (°Brix) dos frutos aumentaram gradativamente ($p \leq 0,05$) durante o armazenamento para todos os tratamentos, afetando o amadurecimento das goiabas.

O fruto revestido com proteína (PML) apresentou o menor percentual de SST ($p \leq 0,05$) após uma semana de armazenamento, indicando resultado positivo do processo de aspensão, seguido de AM (Tabela 3). O efeito do amadurecimento tardio de frutos revestidos com PML e AM pode estar relacionado à redução da respiração, o que diminui a síntese e o uso de metabólitos. Os revestimentos aplicados na fruta diminuem a taxa respiratória e a perda de massa devido à menor permeabilidade aos gases CO_2 e O_2 e a taxa metabólica, mantendo o teor de sólidos solúveis já que a hidrólise do amido em açúcares solúveis é bem menor (CHAWLA; DEVI; JAIN, 2018; VERSINO et al., 2016).

O teor de SST das goiabas aumentou no armazenamento, onde os tratamentos sem revestimento (controle) e com revestimento de GA apresentaram diferença ($p \leq 0,05$) e

maiores valores de SST. Outro resultado indireto para o efeito de barreira dos revestimentos é a redução da perda de umidade e a consequente redução do SST em relação ao teor de umidade (NANDANIYA et al., 2017).

Fekry (2018) observou que o SST aumentou durante o armazenamento em todos os tratamentos ao analisar o efeito dos revestimentos de quitosana e glutamato de cálcio sobre goiabas, com valores de 8,87 a 10,23% no 7º dia. Estudos relatados por Saleem et al. (2020) mostraram um aumento nos sólidos solúveis totais (SST) durante todo o período de armazenamento, com valores próximos a 15% no 8º dia; com valores significativamente maior em frutos de caqui não revestidos em comparação com frutos revestidos com GA (10%).

3.7 SST/AT

A relação TSS/AT aumentou durante o armazenamento para todos os tratamentos (Tabela 3), exceto para o tratamento GA ($p \leq 0,05$). A relação SST/AT tende a aumentar devido ao aumento no conteúdo de SST e diminuir em AT devido à degradação de polissacarídeos e oxidação de ácidos durante a respiração. Pode-se observar que a relação SST/AT (Tabela 3) apresentou um valor maior ($p \leq 0,05$) para o tratamento controle, indicando aumento do amadurecimento ao final do período analisado.

A relação SST/AT é o parâmetro mais crítico na avaliação da qualidade da fruta, pois determina o equilíbrio do sabor da fruta e a aceitabilidade do consumidor (STURM; KORON; STAMPAR, 2003). O aumento na proporção de sólidos solúveis/ácido total pode ser atribuído principalmente à degradação do amido, açúcares solúveis, sacarose e glicose durante o amadurecimento (ABD EL-MONEIM et al., 2015). Os resultados deste estudo mostraram que os frutos recobertos pelas proteínas PML e GA apresentaram menor porcentagem de perda na relação SST/AT comparado ao AM e controle no último dia de armazenamento, refletindo na redução do amadurecimento e indicando um efeito benéfico ao diminuir o metabolismo da fruta.

3.8 FIRMEZA DA CASCA E DA POLPA

Nas Figuras 3 e 4 observa-se que a firmeza dos frutos diminuiu durante o armazenamento para todos os tratamentos. A firmeza da casca da goiaba (Figura 3) apresentou diferença ($p \leq 0,05$) entre os tratamentos durante o armazenamento, exceto para os tratamentos PML e AM, no tempo 7 e o tratamento GA, no tempo 3.

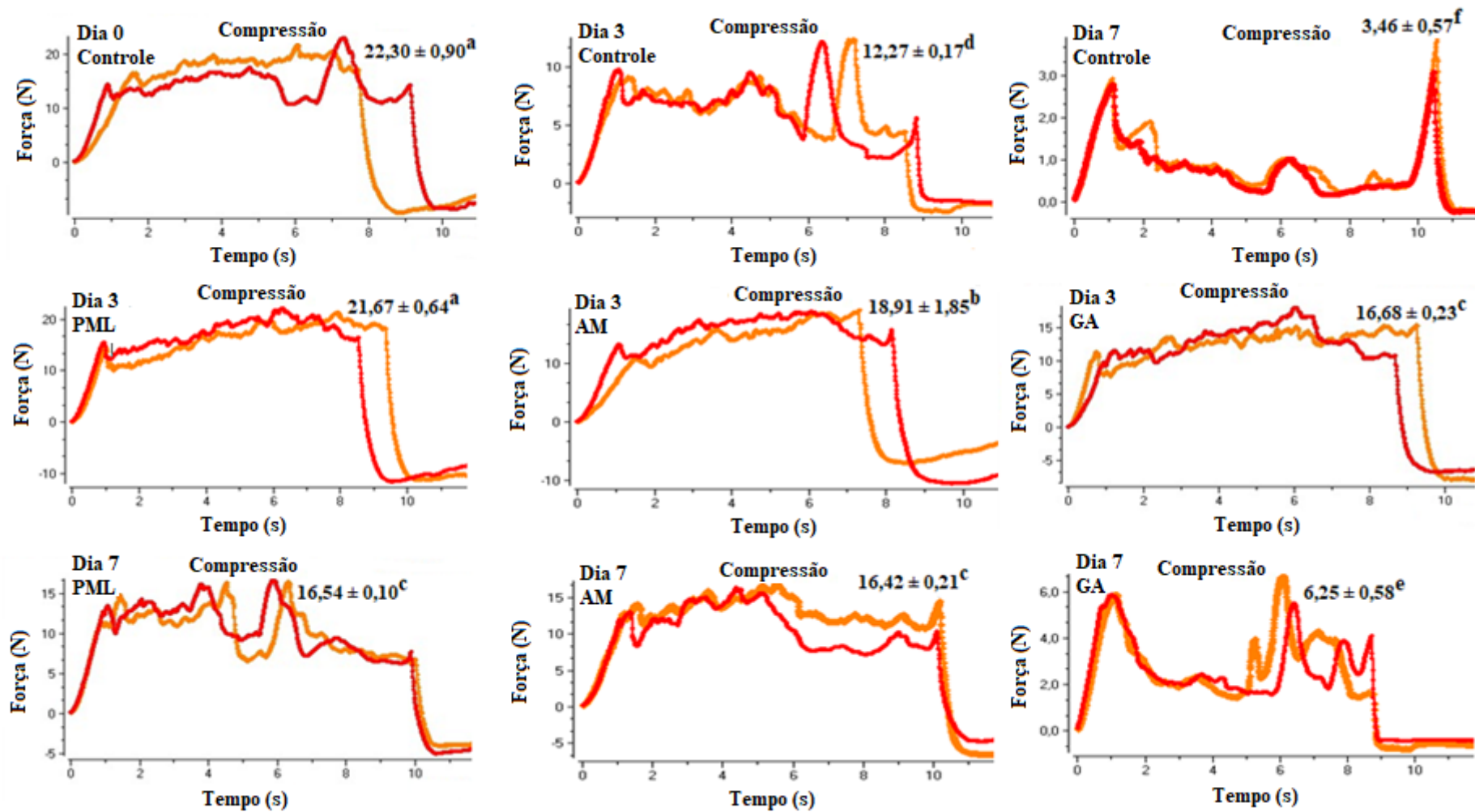


Figura 3. Efeito de diferentes revestimentos e período de armazenamento na firmeza da casca de goiabas 'cortibel' por 7 dias analisados. Diferentes letras minúsculas indicam diferenças estatísticas ($p \leq 0,05$).

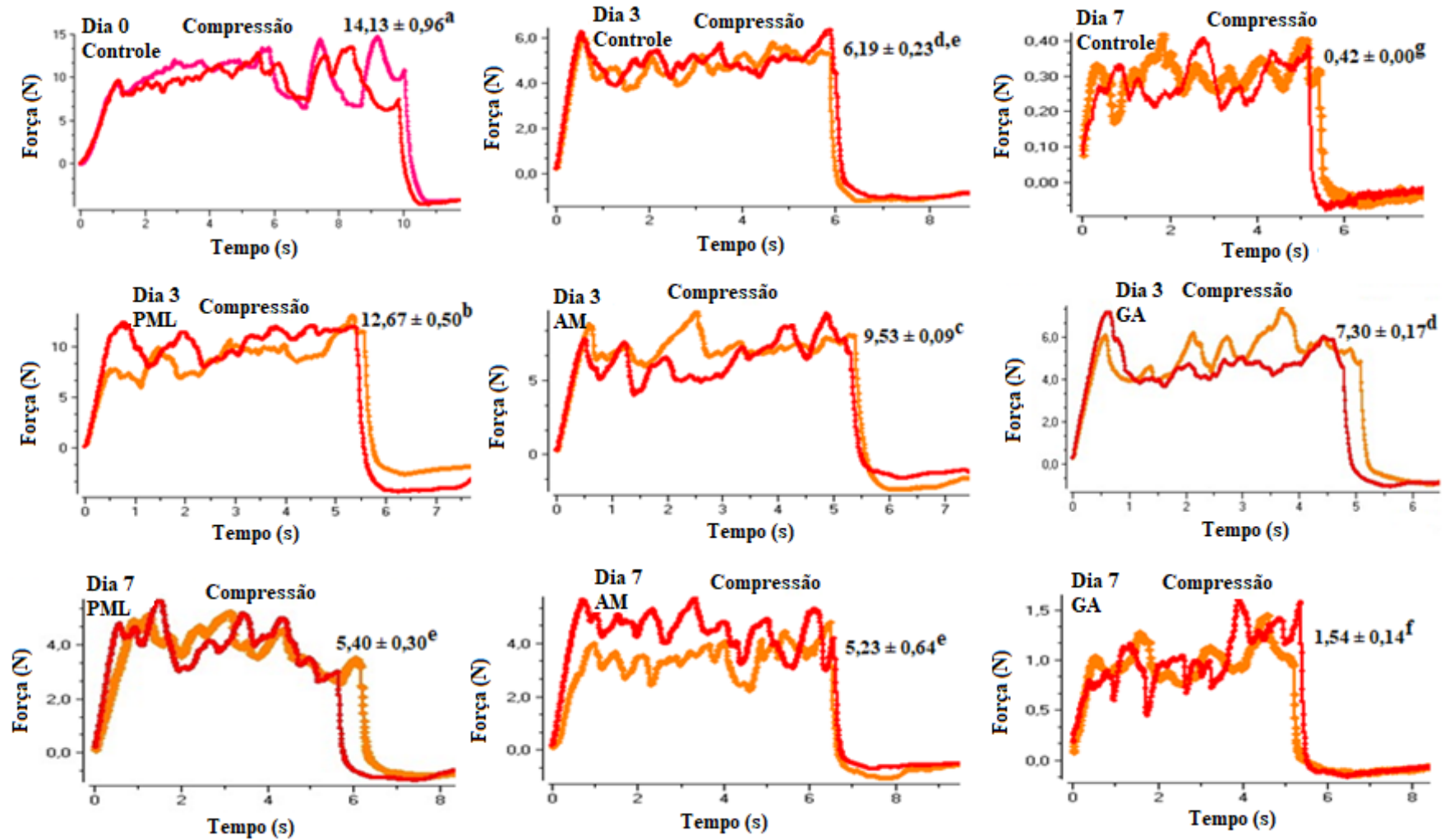


Figura 4. Efeito de diferentes revestimentos e período de armazenamento na firmeza da polpa de goiabas 'cortibel' por 7 dias analisados. Diferentes letras minúsculas indicam diferenças estatísticas ($p \leq 0,05$).

O fruto controle apresentou o menor valor de firmeza no último dia analisado, seguido pelo tratamento com GA. A firmeza pode estar relacionada ao aumento da atividade enzimática degradativa da parede celular do fruto. A firmeza dos frutos revestidos, segundo Huber, Karakurt e Jeong (2001), pode estar associada à menor ação do etileno, que reduziu a atividade das enzimas pectinolíticas, e o teor de água pela perda do turgor celular (AQUINO; BLANK; SANTANA, 2015).

As goiabas mostraram que os revestimentos PML e AM apresentaram o maior valor ($p \leq 0,05$) de firmeza em comparação aos demais tratamentos ao final do armazenamento (Figuras 3 e 4). Analisando a firmeza da polpa (Figura 4) foi observada diferença ($p \leq 0,05$) entre os revestimentos PML, AM e controle no tempo 3, entre GA e controle no 7. Foi verificado o maior valor obtido para firmeza nos tratamentos PML e AM, seguidos de GA e controle. Este fato pode estar relacionado à perda de massa, pois a redução na polpa do fruto influencia neste parâmetro.

A manutenção da firmeza em goiabas revestidas pode estar relacionada ao bloqueio dos poros na superfície da fruta e à diminuição da permeabilidade da casca a gases, como oxigênio e etileno (AMARANTE; BANKS, 2001). Portanto, os revestimentos com proteínas e amido podem reduzir o desempenho de enzimas, retardar a respiração e, conseqüentemente, o metabolismo da goiaba, tornando-se uma alternativa viável na manutenção da qualidade pós-colheita dessa fruta.

Murmu e Mishra (2018) analisaram o efeito do revestimento a base de goma arábica, caseinato de sódio e óleo essencial de canela e capim-limão em goiabas e observaram que a firmeza diminuiu após sete dias analisados. Por outro lado, houve aumento da firmeza na amostra controle, com valores variando de 9,87 a 11,93 N, sem diferença entre os tratamentos.

Infere-se que a viscosidade de uma solução pode interferir no amadurecimento dos frutos, em parâmetros como cor, perda de massa e firmeza. De acordo com Peressini et al. (2003), a baixa viscosidade permite a uniformidade da superfície do filme, afetando sua aparência e a eficiência de suas propriedades protetoras. Soluções muito viscosas são indesejáveis, pois a dispersão dos ingredientes e a eliminação de bolhas de ar visíveis são um problema e podem ser responsáveis por descontinuidades.

Assim, as soluções de PML, que apresentaram viscosidade média, exibiram significativo processo de amadurecimento das goiabas, com menor valor ($p \leq 0,05$) para perda de peso, sólidos solúveis e SST/AT (Tabela 4) e maior valor de firmeza na casca e polpa (Figuras 3 e 4) da fruta, quando comparado aos revestimentos de amido de milho e

goma arábicos, que apresentaram maior viscosidade e dispersões muito diluídas, respectivamente.

O estudo das interações de proteínas, goma arábica e amido com moléculas de glicerol para a obtenção de revestimentos biodegradáveis é de grande importância para o setor de embalagens, que tem como objetivo evitar a hidratação e desidratação dos alimentos. A embalagem desempenha um papel fundamental na troca de água e gases entre o alimento revestido e o meio ambiente, considerada essenciais para a conservação/degradação do produto. Assim, o presente estudo demonstra que 30% de glicerol, adicionado aos revestimentos, contribuiu para a maturação acelerada da goiaba recoberta com o tratamento GA, em comparação aos demais tratamentos.

4 CONCLUSÃO

Em relação à conservação e aumento da vida útil de goiabas “Cortibel”, foram preparados revestimentos biodegradáveis à base de proteínas de peixe (PML), amido de milho (AM) e goma arábica (GA). Observou-se que a viscosidade do revestimento PML apresentou maior uniformidade na superfície das goiabas, influenciando no amadurecimento. No entanto, o AM apresentou maior viscosidade e o GA dispersões muito diluídas.

O estudo mostrou que os revestimentos foram eficientes para retardar o amadurecimento das goiabas e após 7 dias de armazenamento os frutos revestidos permaneceram verdes, diferente do controle que perdeu esta cor no 3º dia de armazenamento.

Os revestimentos PML e AM preservaram a qualidade das goiabas ao retardar o estágio de maturação, apresentando menor perda de água e transpiração, o que influenciou positivamente na manutenção da firmeza e cor verde dos frutos. No entanto, o PML apresentou menor percentual de perda de massa (69,04%), sólidos solúveis (5,88%) e SST/TA (27,12%), maior firmeza da casca (25,83%) e da polpa (61,78), quando comparado aos demais tratamentos e ao controle, apresentando o menor índice de amadurecimento, fatores cruciais para indicar a eficácia de revestimentos de frutas.

Conclui-se que o revestimento PML contribuiu positivamente por retardar o amadurecimento, aumentar a vida comercial das goiabas da variedade 'Cortibel', podendo reduzir perdas pós-colheita, agregando valor ao fruto.

REFERÊNCIAS

- ABD EL-MONEIM, E. A. A.; KAMEL, H. M.; ZAKI, Z. A.; ABO REHAB, M. E. (2015) Effect of Honey and Citric Acid Treatments on Postharvest Quality of Fruits and Fresh-Cut of Guava. **World Journal Agricultural Research**, 11(5): 255–267.
- ACEVEDO-FANI, A.; SALVIA-TRUJILLO, L.; ROJAS-GRAÜ, M. A.; MARTÍN-BELLOSO, O. (2015) Edible films from essential-oil-loaded nanoemulsions: Physicochemical characterization and antimicrobial properties. **Food Hydrocolloids**, 47: 168–177.
- AHMED, A.; ALI, S. W.; IMRAN, A.; AFZAAL, M.; ARSHAD, M. S.; NADEEM, M.; MUBEEN, Z.; IKRAM, A. (2019). Formulation of date pit oil-based edible wax coating for extending the storage stability of guava fruit. **Journal Food Processing and Preservation**, 44: 1-10.
- AINA, J. O.; OLADUNJOYE, O. O. (1993) Respiration, pectolytic activity and textural changes in ripening African mango (*Irvingia gabonensis*) fruits. **Journal Science Food Agriculture**, 63(4): 451–454.
- AMARANTE, C.; BANKS, N. H. (2001) Postharvest physiology and quality of coated fruits and vegetables. Book Editor(s): Jules Janick. **Horticultural Reviews**, 26: 16 - 238.
- AQUINO, A. B., BLANKM A. F., & SANTANA, L. C. L. A. (2015) Impact of edible chitosan-cassava starch coatings enriched with *Lippia gracilis* Schauer genotype mixtures on the shelf life of guavas (*Psidium guajava L.*) during storage at room temperature. **Food Chemistry**, 171: 108–116.
- ATGIÉ, M.; GARRIGUES, J. C.; CHENNEVIÈRE, A.; MASBERNAT, O.; ROGER, K. (2019) Gum Arabic in solution: Composition and multi-scale structures. **Food Hydrocolloids**, 91: 319–330.
- AZZOLINI, M.; JACOMINO, A. P.; BRON, I. U. (2004) Indices to evaluate postharvest quality of guavas under different maturation stages. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, 39(2), 139–145.
- BATISTA, J. T.; ARAÚJO, C. S.; PEIXOTO JOELE, M. R. S.; SILVA, J. O. C.; LOURENÇO, L. F. H. (2019) Study of the effect of the chitosan use on the properties of biodegradable films of myofibrillar proteins of fish residues using response surface methodology. **Food Packaging and Shelf Life**, 20: 100306.
- BLEINROTH, E. W.; SIGRIST, J. M. M., ARDITO, E. F. G.; CASTRO, J. V., SPAGNOL, W. A.; NEVES-FILHO, L. C. (1992) **Tecnologia pós-colheita de frutas tropicais** (2ª ed.). Campinas: ITAL, 203 p. (Manual Técnico, 9).
- CHANTAWEE, K.; RIYAJAN, S.-A. (2019). Effect of Glycerol on the Physical Properties of Carboxylated Styrene-Butadiene Rubber/Cassava Starch Blend Films. **Journal of Polymers and the Environment**, 27: 50–60.

CHAWLA, S.; DEVI, R.; JAIN, V. (2018) Changes in physicochemical characteristics of guava fruits due to chitosan and calcium chloride treatments during storage. **Journal of Pharmacognosy and Phytochemistry**, 7(3): 1035–1044.

CHEN, C.; KUO, W.; LAI, L. (2009) Rheological and physical characterization of film-forming solutions and edible films from tapioca starch/decolorized hsian-tsoa leaf gum. **Food Hydrocolloids**, 23(8): 2132–2140.

CHITARRA, M. I. F.; CHITARRA, A. B. (2005) **Post-harvest and vegetables: physiology and handling** (2^a ed.). Lavras: UFLA.

CHULAKI, M. M.; PAWAR, C.; KHAN, S. M.; KHAN, A. M. (2017) Effects of ascorbic acid and calcium chloride on chemical properties of firm flesh jackfruit bulbs. **Journal of Pharmacognosy and Phytochemistry**, 6(5): 654–658.

COSTA, L. C.; SANTOS, L. R.; FRANÇA, R.; DAVINI, G.; SHIRAI, M. A. (2017) Application of different edible coatings for postharvest conservation of guavas (*Psidium guajava* L.). **Brazilian Journal of Food Research**, 8(2): 16–31.

DANTAS, E. A.; COSTA, S. S.; CRUZ, L.S.; BRAMONT, W. B., COSTA, A. S.; PADILHA, F. F., DRUZIAN, J. I.; MACHADO, B. A. S. (2015) Characterization and evaluation of the antioxidant properties of biodegradable films incorporated with tropical fruit pulps. **Ciencia Rural**, 45(1): 142–148.

ELSABEE, M. Z., & ABDU, E. S. (2013) Chitosan based edible films and coatings: A review. **Materials Science and Engineering: C**. 33(4): 1819–1841.

FAl, A. E. C.; SOUZA, M. R. A.; BRUNO, N. V.; GONÇALVES, E. C. B. A. (2015) Production of edible coating based on fruit and vegetable residues: application on minimally processed carrot (*Daucus carota* L.). **Science Agropecuária**, 6(1): 59–68.

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

FANGFANG, Z.; XINPENG, B.; WEI, G.; WANG, G.; SHI, Z.; JUN, C. (2019) Effects of virgin coconut oil on the physicochemical, morphological and antibacterial properties of potato starch-based biodegradable films. **International Journal of Food Science and Technology**, 55(1): 192-200.

FEKRY, O. M. (2018) Effect of edible coating chitosan and calcium gluconate on maintaining fruit quality and marketability of guava (*Psidium guajava*) fruits during storage. **Middle East Journal of Applied Sciences**, 8(4): 1046– 1060.

FORATO, L. A.; BRITTO, D.; RIZZO, J. S.; GASTALDI, T. A.; ASSIS, O. B. G. (2015) Effect of cashew gum-carboxymethylcellulose edible coatings in extending the shelf-life of fresh and cut guavas. **Food Packaging and Shelf Life**, 5: 68–74.

- FRANCO, M. J.; MARTIN, A. A.; BONFIM JR., L. F.; CAETANO, J.; LINDE, G. A.; DRAGUNSKI, D. C. (2017). Effect of plasticizer and modified starch on biodegradable films for strawberry protection. **Journal of Food Processing and Preservation**, 41(4): 1-9.
- GASHUA, I. B.; WILLIAMS, P. A.; BALDWIN, T. C. (2016) Molecular characteristics, association and interfacial properties of gum Arabic harvested from both *Acacia senegal* and *Acacia seyal*. **Food Hydrocolloids**, 6: 514–522.
- GOL, N. B.; PATEL, P. R.; RAO, T. V. R. (2013) Improvement of quality and shelflife of strawberries with edible coatings enriched with chitosan. **Postharvest Biology Technology**, 85: 185–195.
- GUTIÉRREZ, T. J.; MORALES, N. J.; TAPIA, M. S.; PÉREZ, E.; FAMÁ, L. (2015) Corn Starch 80:20 “Waxy”: Regular , “ Native ” and Phosphated , as Bio-Matrixes for Edible Films. **Procedia Materials Science**, 8: 304–310.
- HAMMANN, F.; SCHMID, M. (2014) Determination and quantification of molecular interactions in protein films: A review. **Materials**, 7(12): 7975–7996.
- HAN, H-S.; SONG, K. B. (2020) Effects of ultraviolet-C irradiation on the physicochemical properties of polysaccharide films prepared from the stalk base of oyster mushrooms (*Pleurotus ostreatus*). **International Journal of Food Science and Technology**. <https://doi.org/10.1111/ijfs.14705>.
- HONG, K.; XIE, J.; ZHANG, L.; SUN, D.; GONG, D. (2012) Effects of chitosan coating on postharvest life and quality of guava (*Psidium guajava L.*) fruit during cold storage. **Scientia Horticulturae**, 144: 172–178.
- HUBER, D. J.; KARAKURT, Y.; JEONG, J. (2001) Pectin degradation in ripening and wounded fruits. **Revista Brasileira de Fisiologia Vegetal**, 13(2): 224–241.
- JANGCHUD, A.; CHINNAN, M. S. (1999) Peanut protein film as affected by drying temperature and pH of film forming solution. **Journal of Food Science**, 64(1): 153–157.
- JU, A.; SONG, K. B. (2020) Incorporation of yellow onion peel extract into the funoran-based biodegradable films as an antioxidant packaging material. **International Journal of Food Science and Technology**, 55(4): 1671-1678.
- KARACA, O. B.; GÜVEN, M.; YASA, K.; KAYA, S.; KAHYAOGU T. (2009) The functional rheological and sensory characteristics of ice creams with various fat replacers. **International Journal of Dairy Technology**. 62: 93–99.
- KHALIQ, G.; MOHAMED, M. T. M.; ALI, A.; DING, P.; GHAZALI, H. M. (2015) Effect of gum arabic coating combined with calcium chloride on physico-chemical and qualitative properties of mango (*Mangifera indica L.*) fruit during low temperature storage. **Scientia Horticulturae**, 190: 187–194.
- KRISHNADEV, P.; GUNASEKARANM K. (2017) Development of gum Arabic edible coating formulation through nanotechnological approaches and their effect on physico-

chemical change in tomato (*Solanum lycopersicum L.*) fruit during storage. **International Journal Agriculture Sciences**, 9(8): 3866–3870.

KUMAR, R.; MANJUNATHA, S.; KATHIRAVAN, T.; VIJAYALAKSHMI, S.; NADANASABAPATHI, S.; RAJU, P. S. (2015) Rheological characteristics of inulin solution at low concentrations: Effect of temperature and solid content. **Journal of Food Science and Technology**, 52(9): 5611–5620.

LATIMER J. W. (2012) **Official Methods of Analysis of AOAC INTERNATIONAL** (19^a ed.). Gaithersburg, maryland.

MA, S.; ZHU, P.; WANG, M. (2019) Effects of konjac glucomannan on pasting and rheological properties of corn starch. **Food Hydrocolloids**, 89: 34–240.

MARTÍNEZ, R.; TORRES, P.; MENESES, M. A.; FIGUEROA, J. G.; PÉREZ-ÁLVAREZ, J. Á.; VIUDA-MARTOS, M. (2012) Chemical, technological and in vitro antioxidant properties of mango, guava, pineapple and passion fruit dietary fibre concentrate. **Food Chemistry**, 135(3), 1520–1526.

MERCADO-SILVA, E.; BENITO-BAUTISTA, P.; GARCÍA-VELASCO, M. A. (1998) Fruit development, harvest index and ripening changes of guavas produced in central Mexico. **Postharvest Biology and Technology**, 13(2): 143–150.

MONTENEGRO, M. A.; BOIERO, M. L.; VALLE, L.; BORSARELLI, C. D. (2012) Gum Arabic: More Than an Edible Emulsifier. In Verbeek C. (Ed.). **Products and Applications of Biopolymers** (pp.1-26). Londre: IntechOpen.

MONTGOMERY, D. C.; RUNGER, G. C. (2018). **Applied Statistics and Probability for Engineers** (7^a ed.). John Wiley & Sons, Inc.

MURMU, S. B.; MISHRA, H. N. (2018). The effect of edible coating based on Arabic gum, sodium caseinate and essential oil of cinnamon and lemon grass on guava. **Food Chemistry**, 245: 820–828.

NANDANIYA, U. L.; GOJIYA, D. K.; BANDHIYA, R. D.; ANTALA, D. D. K. (2017). Effect of Pre-Treatments on Biochemical and Microbial Parameters of Guava Fruit during storage. **International Journal of Nutritional Science and Food Technology**, 3(3): 37–42.

OZ, A.T.; ULUKANLI, Z. (2012) Application of edible starch-based coating including glycerol plus oleum nigella on arils from long-stored whole pomegranate fruits. **Journal of Food Processing and Preservation**, 36(1): 81-95.

PEREIRA, G. V. S.; PEREIRA, G. V. S.; ARAUJO, E. F.; XAVIER, E. M. P.; JOELE, M. R. S. P.; LOURENÇO, L. F. H. (2019a) Optimized process to produce biodegradable films with myofibrillar proteins from fish byproducts. **Food Packaging and Shelf Life**, 21: 100364.

PEREIRA, G. V. S.; PEREIRA, G. V. S.; NEVE, E. M. P. X.; JOELE, M. R. S. P.; LIMA, C. L. S.; LOURENÇO, L. F. H. (2019b) Effect of adding fatty acids and surfactant on the

functional properties of biodegradable films prepared with myofibrillar proteins from acoupa weakfish (*Cynoscion acoupa*). **Food Science and Technology**, 39(1): 287–294.

PEREIRA, G. V. S.; PEREIRA, G. V. S.; NEVE, E. M. P. X.; REGO, J. A. R.; BRASIL, D. S. B.; LOURENÇO, L. F. H.; JOELE, M. R. S. P. (2020) Glycerol and fatty acid influences on the rheological and technological properties of composite films from residues of *Cynoscion acoupa*. **Food Bioscience**, 38: 100773.

PERESSINI, D.; BRAVIN, B.; LAPASIN, R.; RIZZOTTI, C.; SENSIDONI, A. (2003) Starch-methylcellulose based edible films: Rheological properties of film-forming dispersions. **Journal of Food Engineering**, 59(1): 25–32.

RASHID, F.; AHMED, Z.; HUSSAIN, S.; KAUSAR, T.; NADEEM, M.; AINEE, A.; MEHMOOD, T. (2020) Optimization of fenugreek and flax polysaccharides-based edible coating formulation to preserve the quality and storability of apple after harvesting. **Journal of Food Processing and Preservation**, 44(10): e14812.

ROMANI, V. P.; HERNÁNDEZ, C. P.; MARTINS, V. G. (2018) Pink pepper phenolic compounds incorporation in starch/protein blends and its potential to inhibit apple browning. **Food Packaging and Shelf Life**, 15: 151–158.

ROMERO-BASTIDA, C. A.; GUTIÉRREZ, M. C.; BELLO-PÉREZ, L. A.; ABARCA-RAMÍREZ, E.; VELAZQUEZ, G.; MENDEZ-MONTEALVO, G. (2018) Rheological properties of nanocomposite-forming solutions and film based on montmorillonite and corn starch with different amylose content. **Carbohydrate Polymers**, 188: 121–127.

SALEEM, M. S.; EJAZ, S.; ANJUM, M. A.; NAWAZ, A.; NAZ, S.; HUSSAIN, S.; ALI, S.; CANAN, I. (2020) Postharvest application of gum arabic edible coating delays ripening and maintains quality of persimmon fruits during storage. **Journal of Food Processing and Preservation**, 44(8): e14583.

SCHARAMM, G. (2006) **Reologia e Reometria: fundamentos teóricos e práticos** (1ª ed.). São Paulo: Artliber Editora.

SHOGREN R. (2007) Effect of orientation on the physical properties of potato amylose and high-amylose corn starch films. **Biomacromolecules**, 8(11): 3641–3645.

SILVA, W. B.; SILVA, G. M. C.; SANTANA, D. B.; SALVADOR, A. R.; MEDEIROS, D. B.; BELGHITHD, I.; SILVA, N. M.; CORDEIRO, M. H. M.; MISOBUTSIA, G. P. (2018) Chitosan delays ripening and ROS production in guava (*Psidium guajava* L.) fruit. **Food Chemistry**, 242: 232–238.

SILVA, A. C. G.; SILVA, N. S.; SOUSA, F. F. (2019) Post-harvest of yellow passion fruit with cassava inner bark starch-based coatings. **Revista verde de agroecologia e desenvolvimento sustentável**, 14(2): 238-245.

SINGH, S. P.; PAL, R. K. (2008) Controlled atmosphere storage of guava (*Psidium guajava* L.) fruit. **Postharvest Biology and Technology**, 47(3): 296–306.

SOBRAL, P. J. A. (2000) Thickness effects of myofibrillar protein based edible films on their functional properties. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, 35(6): 1251–1259.

STREIT, N. M.; CANTERLE, L. P.; CANTO, M. W.; HECKTHEUER, L. H. H. (2005) **The Chlorophylls**, 35(3), 748-755.

STURM, K.; KORON, D.; STAMPAR, F. (2003) The composition of fruit of different strawberry varieties depending on maturity stage. **Food Chemistry**, 83(3): 417–422.

TABASSUM, N.; KHAN, M. A. (2020) Modified atmosphere packaging of fresh-cut papaya using alginate based edible coating: Quality evaluation and shelf life study. **Scientia Horticulturae**, 259: 108853.

TAYLOR, J R. (1997). Introduction to error analysis: The study of Uncertainties in physical measurements (2^a ed.). University Science Books.

TEODOSIO, A. E. M. M.; ONIAS, E. A.; OLIVEIRA, L. M.; RODRIGUES, M. H. B. S.; RIBEIRO, J. A.; QUEIROGA, T. B.; MESQUITA, E. F.; ARAÚJO, R. H. C. F.; SANTOS, B. G. F. L. (2018) Influence of Different Coatings on Quality and Shelf-Life of Guava under Different Storage Temperature. **Journal of Experimental Agriculture International**, 26(3): 1–10.

THAKUR, R.; SABERI, B.; PRISTIJONO, P.; GOLDING, J.; STATHOPOULOS, C.; SCARLETT, C.; BOWYER, M.; VUONG, Q. (2016) Characterization of rice starch-t-carrageenan biodegradable edible film. Effect of stearic acid on the film properties. **International Journal of Biological Macromolecules**, 93: 952–960.

TOKATLI, K.; DEMIRDÖVEN, A. (2020) Effects of chitosan edible film coatings on the physicochemical and microbiological qualities of sweet cherry (*Prunus avium L.*). **Science Horticulturae**, 259:108656.

TONELI, J. T. C. L.; MURR, F. E. X.; PARK, K. J. (2005) Study of the rheology of polysaccharides used in the food industry. **Revista Brasileira de Produtos Agroindustriais**, 7(2): 181–204.

TRUNG, S. T.; PHUONG, N. T. H.; STEVEN, W. F. (2011) Protective effect of chitosan coating and polyethylene film wrapping on postharvest storage of sugarapples. **Asian Journal of Food and Agro-Industry**, 4(2): 81–90.

TUCKER, G.A. (1993). Introduction. In Seymour, G. B., Taylor, J. E., & Tucker, G. A. (Eds.). **Biochemistry of fruit ripening** (pp.1-51). London: Chapman and Hall.

VATANKHAH, H.; TAHERIAN, A. R.; RAMASWAMY, H. S. (2018) High-pressure induced thermo-viscoelasticity and dynamic rheology of gum Arabic and chitosan aqueous dispersions. **LWT-Food Science Technology**, 89: 291–298.

VERSINO, F.; LOPEZ, O. V.; GARCIA, M. A.; ZARITZKY, N. E. (2016) Starch-based films and food coatings: An overview. **Starch/Staerke**, 68(11): 1026-1037.

XIANG, B. Y.; SIMPSON, M. V.; NGADI, M. O.; SIMPSON B. K. (2001) Flow behaviour and viscosity of reconstituted skimmed milk treated with pulsed electric field. **Biosystems Engineering**, 109(3): 228–234.

YANG, H-J.; LEE, J. H.; LEE, K-Y.; SONG, K. B. (2017) Application of gelatin film and coating prepared from dried alaska pollock by-product in quality maintenance of grape berries. **Journal of Food Processing and Preservation**, 41(6): 1-9.

ZAVAREZE, E. R.; EL HALAL, S. L. M.; TELLES, A. C.; PRENTICE-HERNÁNDEZ, C. (2012) Biodegradable films based on myofibrillar proteins of fish. **Brazilian Journal of Food Technology**, 15: 53–57.

CAPÍTULO 3 - Potencial das proteínas miofibrilares enriquecidas com goma arábica na conservação pós-colheita de goiaba ‘paloma’ (*Psidium guajava* L.)

Resumo

O objetivo desse estudo foi avaliar a vida de prateleira de goiabas com revestimentos elaborados com diferentes concentrações de proteínas miofibrilares liofilizadas (PML), glicerol (Gli) e goma arábica (GA) durante o armazenamento. Foram elaborados três tipos de revestimentos: A (1%PML/30%Gli); B (1%PML/10%Gli) e C (1%PML/40%Gli/1%GA) armazenados a 22 °C e umidade relativa de 47%. As frutas controle (não revestidas) permaneceram aptas para o consumo até o sexto dia, e as revestidas até o 15º dia, com menor perda de massa de 29,87 (revestimento C). A aplicação dos revestimentos resultou na manutenção da cor verde (a^*) até 12º dia, já o controle somente até o 3º dia, indicando que as goiabas revestidas apresentaram taxa de maturação mais lenta. O índice de amadurecimento (IA) mostrou que os tratamentos aplicados retardaram o estágio de maturação das goiabas ($p \geq 0,05$), com valores de $14,26 \pm 0,16$ (revestimento A), seguidos dos revestimentos C com valor de $14,46 \pm 0,0$, revestimentos B com valor de $15,22 \pm 0,15$ no último dia analisado e o controle com $16,10 \pm 0,38$ no sexto dia. Os resultados mostraram que o revestimento C com PML adicionado com GA foi a formulação que apresentou potencial para manter a qualidade da goiaba durante os 15 dias de armazenamento, sendo eficaz em minimizar as mudanças físico-químicas na goiaba.

Palavras-chave: proteínas miofibrilares, goma arábica, revestimento comestível, misturas de polímeros, pós-colheita, vida-útil.

1 INTRODUÇÃO

O estudo de polímeros de fontes renováveis e biodegradáveis é de grande interesse para substituir os plásticos derivados do petróleo devido às preocupações com os problemas ambientais (FÉLIX et al., 2016). Assim, filmes e/ou revestimentos biodegradáveis são uma alternativa promissora para a substituição de embalagens não ecológicas, minimizando os impactos ambientais. Para algumas aplicações, como embalagens de frutas e vegetais frescos, revestimentos comestíveis funcionam como uma barreira relativamente alta ao vapor de água, gases (O₂, CO₂ ou etileno), compostos aromáticos e ajudam a limitar as reações de degradação, melhoram a qualidade, prolongando a vida útil dos alimentos (APHIBANTHAMMAKIT et al., 2018).

A goiaba (*Psidium guajava L.*) é excelente fonte de fibra dietética, pectina, vitamina C, cálcio, fósforo, riboflavina, caroteno, dentre outros. O consumo da goiaba é conhecido por reduzir níveis de triglicerídeos, colesterol sérico, hipertensão, enquanto aumenta o nível de colesterol bom (lipoproteína de alta densidade) (MANGARAJ et al., 2014). A natureza climatérica da goiaba limita sua vida útil pós-colheita de 3–4 dias a 25 ± 2 ° C, e o armazenamento em condições refrigeradas agrava as lesões por frio (MURMU; MISHRA, 2017a), é uma fruta altamente perecível com alto teor de umidade e atividades metabólicas intensas que continuam após a colheita, apresentando perda da textura e qualidade durante o armazenamento (KANWAL; RANDHAWA; IQBAL, 2016).

Para preservar a qualidade e aumentar a vida útil das culturas hortícolas e frutíferas, geralmente são necessários tratamentos pós-colheita (ATRASH; RAMEZANIAN; RAHEMI, 2018), com o objetivo de retardar os processos fisiológicos de senescência e maturação, reduzir e/ou inibir o desenvolvimento de distúrbios fisiológicos e minimizar o risco de crescimento microbiano e contaminação. Pois, os produtos colhidos são metabolicamente ativos, passando por processos de maturação e senescência que devem ser controlados para prolongar a qualidade pós-colheita (MAHAJAN et al., 2014).

Os revestimentos comestíveis, considerados camadas finas de materiais, são feitos principalmente de proteínas e polissacarídeos, podendo ser adicionados com agentes antimicrobianos, antioxidantes, etc., que melhoram a aparência, integridade, segurança microbiana (MURMU; MISHRA, 2018), reduzindo a troca de umidade, oxigênio e substâncias dissolvidas em alimentos, diminuindo sua deterioração (ATRASH; RAMEZANIAN; RAHEMI, 2018).

Revestimentos de proteínas têm mostrado propriedades promissoras devido à sua capacidade de formar redes tridimensionais estabilizadas e fortalecidas por ligações de hidrogênio, interações hidrofóbicas e ligações dissulfeto, apresentando ligações intermoleculares e matrizes coesivas; demonstram vantagens de biodegradabilidade, boas propriedades de barreira a gases e desempenho mecânico em comparação com outras macromoléculas (BENBETTAIEB et al., 2016).

As proteínas miofibrilares de peixe (PML) estão entre os recursos que podem ser utilizados para obtenção de filmes com boa transparência e resistência, pois são filamentosas e elásticas, e desempenham um papel ativo por possuírem grupos funcionais para formar ligações intra e intermoleculares (BLANCO-PASCUAL; FERNÁNDEZ-MARTÍN; MONTERO, 2014b). A PML também tem sido considerada devido aos aspectos econômicos e à necessidade de encontrar formas adequadas de reaproveitamento dos resíduos gerados no processamento do pescado (PEREIRA et al., 2019a; 2019b; PEREIRA et al., 2021a; 2021b).

Devido à sua natureza hidrofílica, filmes à base de proteínas não são uma barreira eficaz ao vapor de água. No entanto, por meio de estudos de compatibilidade que demonstrem adequada sinergia para a melhoria das propriedades estruturais dos filmes, como técnica de mistura ou revestimento com outros polímeros que possuem propriedades de barreira desejáveis, como polissacarídeos, lipídeos e/ou outros polímeros, é possível usufruir das características funcionais distintas de cada composto (KHANZADI, et al., 2015; CALVA-ESTRADA; JIMÉNEZ-FERNÁNDEZ; LUGO-CERVANTES, 2019).

A goma arábica (GA) tem excelente capacidade de formação de filme (KRISHNADEV; GUNASEKARAN, 2017). É um composto heteropolissacarídeo complexo ramificado com uma estrutura de unidades β -galactopiranosose e cadeias laterais de unidades de galactopiranosose ou arabinose que terminam em ramnose ou ácido glucurônico ou resíduos de ácido 4-O-metilglucurônico (MURMU; MISHRA, 2017b). É um polissacarídeo natural com um baixo teor de proteína (<3%) (APHIBANTHAMMAKIT et al., 2018), capaz de diminuir a tensão interfacial nas interfaces gás-água, líquido-líquido ou sólido-líquido e estabilizar a interface por meio de repulsão eletrostática, estérica e forças de hidratação (SANCHEZ et al., 2018).

Os filmes são preparados a partir de uma solução composta por três componentes principais: polímero, plastificante e solvente. Plastificantes podem ser adicionados ao revestimento biodegradável a fim de diminuir a fragilidade dos filmes em torno do

alimento. São materiais que interagem com as cadeias poliméricas, reduzindo a ligação de hidrogênio intermolecular, como consequência do aumento do espaçamento (CHANTAWEE; RIYAJAN, 2019). A eficiência de cada plastificante para funcionar na rede de filmes depende do tamanho molecular, forma, estrutura e ligação com a água (SOTHORNVIT; KROCHTA, 2001).

Os filmes à base de proteínas miofibrilares (PML) possuem um grande número de grupos polares (-CH, -OH e -NH) em sua estrutura. Todos os componentes da GA também consistem em grupos polares múltiplos (-OH e C=O) (MURMU; MISHRA, 2018), bem como na estrutura do glicerol (Gli) (-OH), possibilitando, de acordo com (MURMU; MISHRA, 2018), extensas ligações intermoleculares de hidrogênio entre o oxigênio/nitrogênio eletronegativo e o hidrogênio eletropositivo nas matrizes PML/Gli e PML/Gli/GA, facilitando a biocompatibilidade entre os componentes analisados.

Várias tipos de revestimentos comestíveis foram estudados em goiabas (AQUINO; BLANK; SANTANA, 2015b; FORATO et al., 2015; MURMU; MISHRA, 2017b). No entanto, não foram encontradas pesquisas sobre revestimentos com proteínas miofibrilares de peixe e goma arábica na manutenção da vida útil pós-colheita de goiabas. Portanto, o objetivo desse trabalho foi avaliar o efeito de revestimentos com diferentes concentrações de PML, GLi e GA nos atributos de qualidade pós-colheita de goiabas da variedade 'paloma'.

2 MATERIAL E MÉTODOS

2.1 MATERIAL

Foram utilizados resíduos da filetagem da pescada amarela (*Cynoscion acoupa*) doadas pela Indústria de Pesca localizada no município de Icoaraci, em Belém-PA. O glicerol P.A., goma arábica em pó, hidróxido de sódio foram adquiridos da Vetec Química (Duque de Caxias-RJ, Brasil). Os reagentes utilizados foram adquiridos das seguintes empresas: cloreto de sódio e carbonato de sódio P.A. (ISO FAR, RJ, Brasil), ácido fosfórico e ácido gálico monohidratado P.A. (NEON, SP, Brasil), álcool etílico e metílico P.A. (ÊXODO Científica, SP, Brasil), o ácido dinitro-3,5-salicílico e o Folin-Ciocalteu (Sigma-Aldrich, San Luis-Missouri, EUA).

2.2 PRE-TRATAMENTO DO MATERIAL

Os resíduos de pescada amarela foram embalados e armazenados em caixas térmicas com gelo, transportadas para o laboratório da Universidade Federal do Pará e

sanitizados com água clorada (5 mg.L⁻¹) a 4 °C por 5 min. Em seguida, as amostras foram embalados a vácuo (náilon/polietileno), congelados e armazenados a -18 °C.

2.3 OBTENÇÃO DAS PROTEÍNAS MIOFIBRILARES LIOFILIZADAS (PML)

Para a extração das proteínas miofibrilares foi utilizada a metodologia proposta por Pereira et al. (2019a), com modificações. A massa muscular do peixe foi misturada, por três vezes, com três volumes de solução de NaCl (50 mM) (Synth PA-ACS) por 5 minutos e homogeneizada (Tecnal, Turratec, Piracicaba-SP, Brasil) a uma velocidade de 10.000 rpm por 5 minutos. Em seguida, na fração retida foi adicionado 3 volumes de solução de ácido fosfórico (0,05%) para desodorizar a amostra e em seguida, três volumes de água destilada a 4°C. Ao final de cada etapa foi realizada a filtração da amostra. O material obtido foi congelado a -22 °C por 24 horas, e posteriormente liofilizado (Liopot, L101). O material foi submetido à análise de eletroforese em gel de poliacrilamida, com dodecil sulfato de sódio (SDS-PAGE), sendo a corrida realizada em gel de separação a 8% e de empilhamento a 5 % (LAEMMLI, 1970).

2.4 PREPARAÇÃO DE REVESTIMENTOS

Revestimento à base de proteínas miofibrilares liofilizadas (PML) e goma arábica (GA)

Foram elaborados três revestimentos a base de proteínas miofibrilares de peixe, diferenciando nas concentrações de glicerol (Gli) e na adição de goma arábica (GA). Os revestimentos foram elaborados de acordo com metodologia proposta Zavareze et al. (2012), com modificações proposta por Pereira et al. (2019a). Cerca de 1 g da proteína foi solubilizada em 100 mL de água (p/v) e o pH da solução ajustado para 11,0 com NaOH 2 M. O Gli foi utilizado como plastificante nas concentrações de 10, 30 e 40 % (p/p), denominados de revestimentos A, B e C, respectivamente. E então a solução foi homogeneizada (Ultra Stirrer - Ultra 380, Jacaréi-SP) a 10.000 rpm por 5 min. Em seguida, a solução foi mantida em banho-maria (Tecnal - TE-057, Piracicaba-SP) a 50 °C por 30 min para obtenção da solução filmogênica (SF).

Para elaborar os revestimentos a base de PML/GA seguiu-se metodologia de Khaliq et al. (2015). Para o revestimento de GA, utilizou-se uma concentração de 1 g em 100 mL de água destilada (p/v). A mistura foi agitada numa chapa aquecedora a 40 °C durante 60 minutos para dissolver completamente a GA e o Gli foi adicionado a 40% (p/p). Posteriormente, o pH da solução foi ajustado para 5,6 (NaOH 2M). As soluções foram combinadas (PML/GA) para obter uma proporção de 8,5:1,5, finalizando a

obtenção do revestimento C. Então, a solução foi agitada a 6.500 rpm por 30 segundos para obtenção da solução filmogênica (SF).

2.5 APLICAÇÃO DE REVESTIMENTOS E ARMAZENAMENTO

As goiabas da variedade ‘paloma’, foram colhidas manualmente para evitar danos mecânicos, livres de quaisquer defeitos visíveis e coloração variada apresentando estágio de maturação fisiológica 1, indicado pelo produtor e pela análise colorimétrica (Konica Minolta). Neste estágio, a cor da casca é verde escuro e o ângulo da cor (h°) está entre 119,71 e 118,75 (AZZOLINI; JACOMINO; BRON, 2004). Foram coletadas aproximadamente 100 goiabas, sendo 3 frutos selecionados para o controle e para cada uma das soluções filmogênicas (triplicata), totalizando 12 frutos. Durante o estudo da vida útil de 15 dias, foram realizadas análises a cada três dias, totalizando 72 frutos.

As goiabas foram higienizadas em água corrente, sanitizadas em solução de hipoclorito (200 mg. L^{-1}) por 15 min, lavadas em água deionizada, secas em temperatura ambiente ($\approx 25 \text{ }^\circ\text{C}$) e separadas aleatoriamente em quatro grupos para aplicação dos revestimentos: 1) Controle (sem revestimento); 2) A: 1%PML/30%Gli (proteínas miofibrilares liofilizadas e glicerol); 3) B: 1%PML/10%Gli (proteínas miofibrilares liofilizadas e glicerol) e 4) C: 1%PML/40%Gli/1%GA (proteínas miofibrilares liofilizadas, glicerol e goma arábica).

Foram realizadas três aspersões (8 mL da solução filmogênica) em cada fruto a $40 \text{ }^\circ\text{C}$, com intervalo de 1 min entre elas e armazenadas em bandejas de polietileno a uma temperatura de $22 \pm 0,37 \text{ }^\circ\text{C}$ e $47 \pm 1,00 \text{ \% UR}$. A temperatura e a umidade do ar foram monitoradas com termohigrômetro digital (0817, Incoterm/China). As amostras foram coletadas a cada três dias para realização das análises físico-químicas nos tempos 0, 3, 6, 9, 12 e 15 dias, o qual foi definido o período de maturação final das goiabas, pois a natureza climatérica da goiaba limita sua vida útil pós-colheita de 3–4 dias a $25 \pm 2 \text{ }^\circ\text{C}$, (MURMU; MISHRA, 2017a), sendo considerada uma fruta altamente perecível com alto teor de umidade (KANWAL; RANDHAWA; IQBAL, 2016).

2.6 AVALIAÇÃO DE CARACTERÍSTICAS NÃO DESTRUTIVAS

As soluções filmogênicas utilizadas como revestimentos nas goiabas foram analisadas visualmente quanto à homogeneidade, com o objetivo de observar a presença de partículas insolúveis, para manter a uniformidade nos frutos, e assim poder monitorar a maturação.

Para avaliar a coloração da casca, foi utilizado colorímetro (Minolta, CR 410, USA). As leituras foram expressas no módulo de refletância: o eixo L* variando de preto (0%) para branco (100%); o eixo a*, do verde (-a) ao vermelho (+a) e do eixo b*, do azul (-b) ao amarelo (+ b). O Croma (C*) indica a saturação ou intensidade da cor e o ângulo *hue* (h°) a cor real dos filmes (JANGCHUD; CHINNAN, 1999). A diferença de cor (ΔE) foi calculada em relação a amostra controle. Os parâmetros obtidos correspondem à média de quatro leituras aleatórias em cada uma das goiabas.

Na perda de massa (PM) da goiaba, foi considerada a diferença da massa inicial e da massa final no tempo de armazenamento e os cálculos foram expressos em porcentagem, de acordo com a Equação 1.

$$PM = \left(\frac{M_i - M_f}{M_i} \right) * 100 \quad (1)$$

2.7 ÍNDICE DE AMADURECIMENTO (IA)

O conteúdo de sólidos solúveis totais (SST) foi medido usando um refratômetro digital (RHB-32/ATC-Refratômetro, Megabrix, Curitiba-PR). 3 a 4 gotas da amostra foram transferidas para o prisma do refratômetro e feita a medida na escala. A acidez titulável (AT) foi determinada pela titulação de 10 g da amostra homogeneizada com 100 mL de água destilada e, posteriormente, titulada com solução de hidróxido de sódio 0,1 N, expressa como g de ácido cítrico por 100 g amostra (Equação 2) e o pH foi medido em pHmetro (Pro pH Meter - Linelab, São Leopoldo - RS) (AOAC, 2012). O índice de amadurecimento (IA) foi determinado como a razão de sólidos solúveis totais (SST) e a acidez titulável (AT).

$$g \text{ ácido cítrico} / 100 g = \left(\frac{V * f_c * M * PM}{10 * P * n} \right) \quad (2)$$

Onde: V = volume de solução de hidróxido de sódio gasto na titulação; f_c = fator de correção; M = molaridade da solução de hidróxido de sódio; P = massa da amostra em g ou volume pipetado em mL; PM = peso molecular do ácido correspondente em g; n = número de hidrogênio ionizáveis.

2.8 FIRMEZA DA CASCA E POLPA

A firmeza dos frutos foi determinada em penetrômetro (Fruit Hardness Tester PTR-300 - Instrutherm, São Paulo-SP) com sonda cilíndrica de 8 mm de diâmetro, na superfície externa e na polpa das goiabas, expressa na força N (SAMAAN et al., 2012).

2.9 ANÁLISE ESTATÍSTICA

Os resultados obtidos do monitoramento da maturação pós-colheita das goiabas foram submetidos à análise de variância (ANOVA) e teste de Fisher (LSD), com nível de significância de 5%, usando o Statistica 13.1.

3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

3.1 AVALIAÇÃO DAS CARACTERÍSTICAS NÃO DESTRUTIVAS

3.1.1 Analise visual

As goiabas com os revestimentos A, B e C com proteínas miofibrilares (PML) e goma arábica (GA), permaneceram em condições de consumo durante todo o período de armazenamento (15 dias), enquanto os frutos controle (não revestidos) somente até o sexto dia (Figura 1).

Considerando a propriedade funcional das PML e GA é possível que, tenham apresentado efeito inibitório de reações de degradações sobre as goiabas revestidas. Revestimento de proteínas formam redes tridimensionais estabilizadas e fortalecidas por ligações de hidrogênio, interações hidrofóbicas e ligações dissulfeto, apresentando ligações intermoleculares e matrizes coesivas (BENBETTAIEB et al., 2016). E a GA é capaz de diminuir a tensão interfacial nas interfaces líquido-líquido ou sólido-líquido e estabilizam a interface por meio de repulsão eletrostática (SANCHEZ et al., 2018). Ao revestir a fruta, infere-se que uma solução com formação rígida na estrutura das matrizes poliméricas pode se comportar como bloqueadora/barreira da passagem excessiva de umidade e trocas gasosas, dificultando o metabolismo da fruta, com baixa taxa respiratória, sudorese e a senescência, retardando a maturação das goiabas.

Porém, frutas revestidas com menor concentração de glicerol (1%PML/10%Gli) apresentaram maturação mais acelerada quando comparada aos outros revestimentos. Plastificantes são materiais que interagem com cadeias poliméricas, reduzindo as ligações de hidrogênio intermoleculares (CHANTAWEE; RIYAJAN, 2019), o que provavelmente foi atribuído a uma reação incompleta entre uma pequena quantidade de sólidos solúveis (polímero), glicerol e os locais livres da cadeia proteica. A formulação B com menos glicerol, apresentaram mais grupos hidrofílicos disponíveis na estrutura para interação mais significativa com a água, proporcionando maior maturação da goiaba.

No geral, foram observados frutos revestidos com coloração externa verde escuro ao claro até os 12 dias de armazenamento, indicando que não atingiram o grau máximo de maturação. Os revestimentos são considerados eficazes quando retardam o processo

de amadurecimento de frutos, prolongando a vida útil mantendo em condições de consumo adequados.

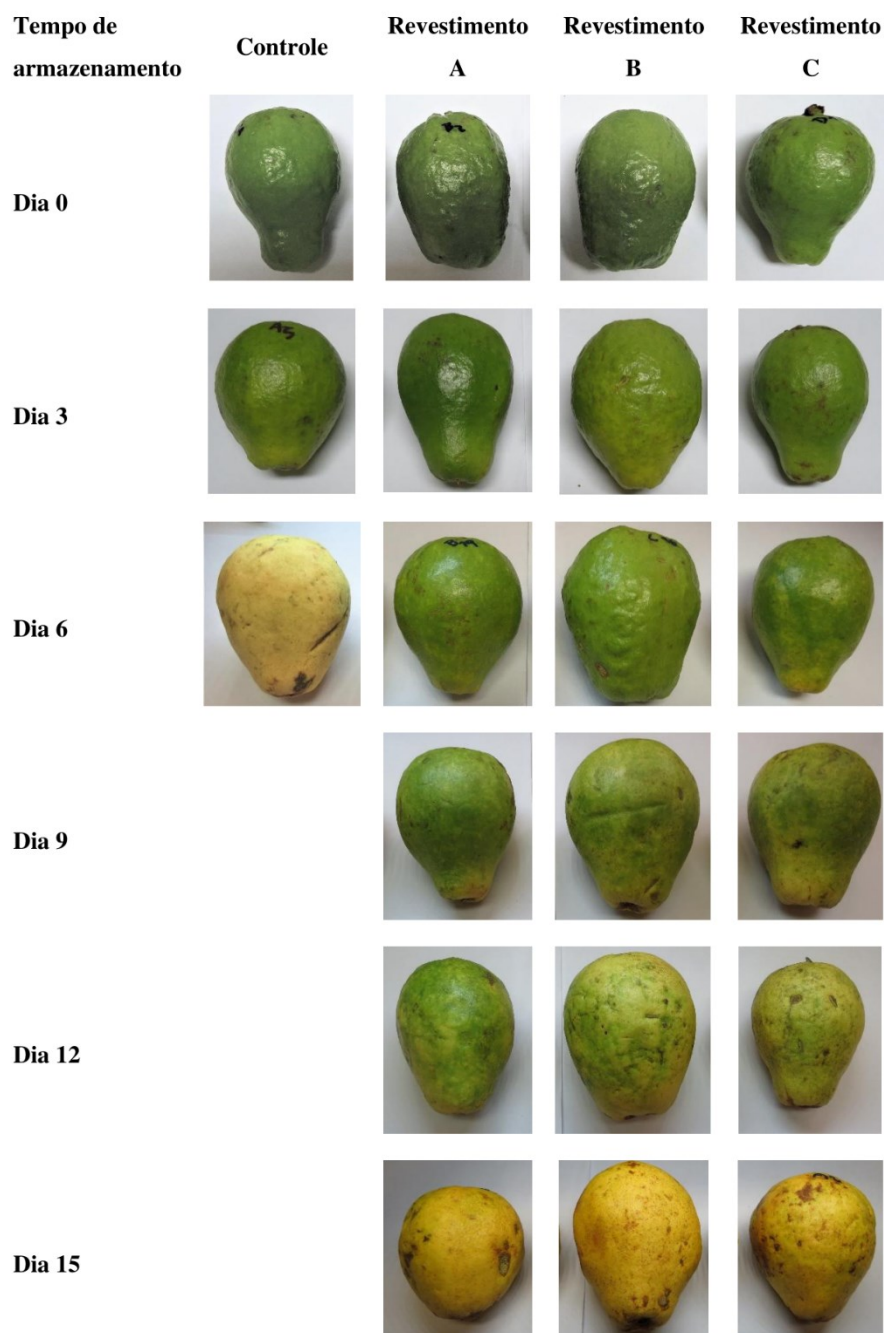


Figura 1. Avaliação no processo de maturação das goiabas controle e revestidas (A-C) durante 15 dias de armazenamento.

3.1.2 Coloração da casca

A cor da casca da fruta é um aspecto importante para aceitação do consumidor, pois determina a qualidade da fruta em termos de maturação e período de colheita (NAIR; SAXENA; KAUR, 2018). As tonalidades do epicarpo e da polpa das goiabas variaram de

acordo com o estágio de maturação, em que, na coloração da casca, houve interação significativa entre os revestimentos e o tempo de armazenamento para o parâmetro diferença total de cor (ΔE) ($p \leq 0,05$) (Tabela 1).

Todas as frutas revestidas, independente do tratamento, apresentaram redução significativa ($p \leq 0,05$) de maturação durante os 15 dias avaliados, comparadas ao controle, que apresentou maturação completa no 6º dia. A natureza climatérica da goiaba limita sua vida útil pós-colheita de 3–4 dias (MURMU; MISHRA, 2017a), sendo considerada uma fruta altamente perecível, com alto teor de umidade e atividades metabólicas intensas que continuam após a colheita, apresentando perda da textura e qualidade durante o armazenamento (KANWAL; RANDHAWA; IQBAL, 2016).

Tabela 1. Efeito de revestimentos e período em L^* , a^* , b^* , C^* , *Angulo hue*° e ΔE em goiabas durante o armazenamento.

Tratamentos	Tempo de armazenamento					
	0	3	6	9	12	15
L^*						
Controle	47,84 ± 0,46 ^{B,c}	57,43 ± 0,99 ^{A,b}	79,74 ± 0,66 ^{A,a}	-	-	-
Revestimento A	47,78 ± 0,71 ^{B,e}	47,71 ± 1,00 ^{D,e}	52,20 ± 0,73 ^{C,d}	55,57 ± 1,24 ^{C,c}	59,67 ± 0,33 ^{B,b}	72,59 ± 1,05 ^{B,a}
Revestimento B	48,11 ± 0,95 ^{B,f}	49,58 ± 0,73 ^{C,e}	56,53 ± 0,58 ^{B,d}	58,57 ± 0,26 ^{A,c}	65,49 ± 0,57 ^{A,b}	73,83 ± 0,50 ^{A,a}
Revestimento C	50,22 ± 0,22 ^{A,f}	51,01 ± 1,11 ^{B,e}	53,16 ± 0,31 ^{C,d}	56,91 ± 1,22 ^{B,c}	64,61 ± 1,13 ^{A,b}	73,76 ± 0,29 ^{A,a}
a^*						
Controle	-17,88 ± 0,61 ^{A,a}	-16,77 ± 0,35 ^{A,b}	+2,10 ± 88 ^{C,c}	-	-	-
Revestimento A	-17,57 ± 0,31 ^{A,a}	-17,40 ± 0,05 ^{A,a}	-16,60 ± 0,09 ^{A,B,b}	-15,42 ± 0,52 ^{A,c}	-12,53 ± 1,06 ^{A,d}	+1,55 ± 0,22 ^{A,e}
Revestimento B	-17,12 ± 0,49 ^{A,a}	-17,02 ± 0,54 ^{A,a}	-17,04 ± 0,21 ^{A,a}	-12,59 ± 0,61 ^{B,b}	-9,40 ± 0,41 ^{B,c}	+2,15 ± 0,33 ^{A,d}
Revestimento C	-17,70 ± 0,24 ^{A,a}	-16,85 ± 0,05 ^{A,b}	-16,05 ± 0,24 ^{B,c}	-12,41 ± 0,38 ^{B,d}	-8,85 ± 0,62 ^{B,c}	+0,70 ± 0,06 ^{B,f}
b^*						
Controle	30,27 ± 0,87 ^{A,c}	38,26 ± 0,46 ^{A,b}	55,82 ± 1,09 ^{A,a}	-	-	-
Revestimento A	29,63 ± 0,54 ^{A,e}	30,29 ± 0,72 ^{C,e}	33,48 ± 1,02 ^{C,d}	37,68 ± 0,74 ^{B,c}	41,15 ± 0,89 ^{B,b}	52,61 ± 0,78 ^{A,a}
Revestimento B	30,31 ± 0,74 ^{A,f}	33,20 ± 1,14 ^{B,e}	35,83 ± 0,51 ^{B,d}	41,70 ± 0,44 ^{A,c}	46,73 ± 0,68 ^{A,b}	52,79 ± 0,81 ^{A,a}
Revestimento C	29,90 ± 0,19 ^{A,f}	32,76 ± 1,00 ^{B,c}	35,79 ± 0,66 ^{B,d}	40,76 ± 0,69 ^{A,c}	46,47 ± 0,72 ^{A,b}	47,86 ± 0,71 ^{B,a}
C						
Controle	35,42 ± 0,68 ^{A,c}	42,15 ± 0,54 ^{A,b}	55,93 ± 1,10 ^{A,a}	-	-	-
Revestimento A	34,27 ± 0,82 ^{A,e}	34,53 ± 0,85 ^{C,e}	37,10 ± 1,07 ^{C,d}	40,49 ± 0,65 ^{B,c}	42,53 ± 0,74 ^{B,b}	52,68 ± 0,82 ^{A,a}
Revestimento B	34,31 ± 0,70 ^{A,f}	36,99 ± 1,17 ^{B,c}	39,75 ± 0,48 ^{B,d}	43,28 ± 0,61 ^{A,c}	47,67 ± 0,75 ^{A,b}	52,82 ± 0,85 ^{A,a}
Revestimento C	34,18 ± 0,19 ^{A,e}	36,68 ± 1,02 ^{B,d}	39,09 ± 0,55 ^{B,c}	42,39 ± 0,62 ^{A,b}	47,03 ± 0,84 ^{A,a}	47,87 ± 0,71 ^{B,a}
<i>Angulo hue</i> (h°)						
Controle	119,71 ± 0,49 ^{A,a}	114,42 ± 0,10 ^{C,b}	87,50 ± 1,12 ^{C,c}	-	-	-
Revestimento A	119,33 ± 0,26 ^{A,a}	118,93 ± 0,33 ^{A,a}	115,67 ± 0,34 ^{A,b}	111,67 ± 0,21 ^{A,c}	106,49 ± 1,29 ^{A,d}	90,58 ± 1,90 ^{A,e}
Revestimento B	118,11 ± 0,83 ^{A,a}	116,84 ± 0,71 ^{B,b}	115,65 ± 0,47 ^{A,c}	106,22 ± 0,48 ^{B,d}	101,37 ± 0,32 ^{B,e}	89,04 ± 1,14 ^{B,f}

		118,75 ± 0,55 ^{A,a}	117,29 ± 0,14 ^{B,b}	114,16 ± 0,34 ^{B,c}	106,63 ± 0,59 ^{B,d}	100,61 ± 0,65 ^{B,e}	89,45 ± 0,44 ^{B,f}
		ΔE					
Controle	-	12,78 ± 0,32 ^{A,b}	44,18 ± 0,98 ^{A,a}	-	-	-	-
Revestimento A	-	1,36 ± 0,31 ^{C,e}	6,28 ± 0,17 ^{C,d}	10,84 ± 0,84 ^{C,c}	17,58 ± 0,21 ^{C,b}	37,01 ± 1,18 ^{A,a}	
Revestimento B	-	3,93 ± 0,24 ^{B,e}	9,81 ± 0,43 ^{B,d}	15,94 ± 0,23 ^{A,c}	25,34 ± 0,06 ^{A,b}	37,60 ± 0,88 ^{A,a}	
Revestimento C	-	3,71 ± 0,14 ^{B,e}	6,58 ± 0,43 ^{C,d}	14,30 ± 0,60 ^{B,c}	23,33 ± 0,62 ^{B,b}	34,04 ± 0,12 ^{B,a}	

Diferentes letras maiúsculas na coluna e diferentes letras minúsculas na linha significam diferenças estatísticas ($p \leq 0,05$).

Ocorreram mudanças significativas ($p \leq 0,05$) nos parâmetros de cor (Tabela 1), com aumento dos valores de L^* , menor participação da cor verde ($-a^*$) e maior da amarela ($+b^*$), demonstrando o amadurecimento dos frutos. A perda da cor verde está relacionada à degradação da molécula da clorofila ($-a^*$) através da enzima clorofilase, cujo aumento da atividade enzimática geralmente está associado à produção de etileno, induzindo a síntese de novas enzimas responsáveis pela biossíntese de carotenoides ($+b^*$) (ARROYO et al., 2020). Assim, conforme o amadurecimento das goiabas, o teor de clorofila é reduzido.

Os resultados no parâmetro a^* apresentaram valores negativos até 12º dias de armazenamento para os frutos revestidos, com coloração mais verde nestes frutos, devido pigmentos de clorofila. Os frutos controle apresentaram cor amarela representada pelo aumento dos valores positivos da coordenada b^* no 6º dia. A luminosidade (L^*) da casca dos frutos revestidos apresentaram valores reduzidos até 15º dias comparado aos frutos controle, com aumento do brilho no 6º dia ($p \leq 0,05$), exibindo processo de maturação mais acelerado. As goiabas revestidas tornaram os frutos mais opacos, retardando a síntese e degradação dos pigmentos com um brilho menos pronunciado.

Todas as goiabas apresentaram aumento do croma C^* (intensidade da cor) e diminuição do *ângulo hue* (cor real) em função do tempo de armazenamento, indicando a transição da cor verde para o amarelo. Observa-se que revestimento C apresentou menor valor de C^* comparado aos demais. Para o parâmetro h° , o revestimento B apresentou menor valor que os demais tratamentos ($p \leq 0,05$). Contudo, o controle apresentou maior maturação (intensidade e cor amarelada) indicativo que o ângulo (h°) é atribuído à aparência do fruto no 6º dia, quando comparados aos demais tratamentos que permaneceram na fase de maturação verde até 12 dias analisados. O uso de revestimento a base de alginato (5%) e quitosana (5%) adicionados de nanopartículas de ZnO (1%) em goiabas apresentou interação significativa ($P < 0,001$) entre os revestimentos e o tempo

para ΔE , com valor em torno de $29,6 \pm 1,8$ a $38,4 \pm 0,7$ em goiabas controle e revestidas em 15 dias avaliados (ARROYO et al., 2020).

O revestimento A apresentou menor diferença (ΔE) ($p \leq 0,05$) até o 12º dia. Porém, ao final do armazenamento, o C apresentou redução significativa comparado aos demais tratamentos ($p \leq 0,05$) (Tabela 1). Revestimento de proteínas têm mostrado propriedades promissoras devido sua capacidade de formar ligações intra e intermoleculares (BLANCO-PASCUAL; FERNÁNDEZ-MARTÍN; MONTERO, 2014b) e a goma arábica é um polissacarídeo capaz de diminuir a tensão interfacial nas interfaces sólido-líquido (SANCHEZ et al., 2018).

3.1.3 Perda de massa

A perda fisiológica de massa (PM), independente do tratamento, principal determinante do tempo de armazenamento e da qualidade dos frutos, aumentou progressivamente ao longo do período de armazenamento ($p \leq 0,05$) (Tabela 2).

Tabela 2. Efeito de diferentes revestimentos e período de armazenamento sobre os valores de PM, SST, AT, pH, firmeza da casca a polpa em goiabas por 15 dias analisados.

Tratamentos	Tempo de armazenamento					
	0	3	6	9	12	15
PM						
Controle	-	$8,71 \pm 0,54^{A,b}$	$32,71 \pm 1,26^{A,a}$	-	-	-
Revestimento A	-	$6,56 \pm 0,15^{B,c}$	$12,92 \pm 0,59^{C,d}$	$16,91 \pm 0,34^{A,c}$	$22,97 \pm 0,16^{A,b}$	$31,59 \pm 0,78^{A,a}$
Revestimento B	-	$7,15 \pm 0,24^{B,d}$	$15,56 \pm 0,49^{B,c}$	$17,96 \pm 0,65^{A,c}$	$24,41 \pm 0,84^{A,b}$	$32,01 \pm 0,60^{A,a}$
Revestimento C	-	$6,67 \pm 0,32^{B,c}$	$12,21 \pm 0,97^{C,d}$	$16,69 \pm 0,79^{A,c}$	$23,06 \pm 0,67^{A,b}$	$29,87 \pm 0,19^{B,a}$
SST						
Controle	$9,49 \pm 0,07^{A,c}$	$10,18 \pm 0,07^{A,b}$	$12,09 \pm 0,07^{A,a}$	-	-	-
Revestimento A	$9,04 \pm 0,00^{A,d}$	$9,94 \pm 0,00^{A,c}$	$10,23 \pm 0,00^{B,c}$	$10,83 \pm 0,14^{A,b}$	$11,19 \pm 0,07^{A,b}$	$11,58 \pm 0,07^{A,a}$
Revestimento B	$7,89 \pm 0,07^{C,d}$	$9,13 \pm 0,00^{B,c}$	$9,39 \pm 0,07^{C,c}$	$9,94 \pm 0,00^{B,b}$	$10,58 \pm 0,21^{B,a}$	$11,13 \pm 0,00^{B,a}$
Revestimento C	$8,29 \pm 0,07^{B,c}$	$9,09 \pm 0,07^{B,b}$	$9,19 \pm 0,07^{C,b}$	$9,48 \pm 0,07^{C,b}$	$10,68 \pm 0,64^{A,B,a}$	$10,93 \pm 0,14^{B,a}$
AT						
Controle	$0,86 \pm 0,01^{B,a}$	$0,80 \pm 0,00^{A,a}$	$0,75 \pm 0,01^{B,b}$	-	-	-
Revestimento A	$0,92 \pm 0,00^{A,a}$	$0,87 \pm 0,05^{A,b}$	$0,85 \pm 0,03^{A,b}$	$0,85 \pm 0,00^{A,b}$	$0,82 \pm 0,01^{A,b}$	$0,81 \pm 0,00^{A,b}$
Revestimento B	$0,86 \pm 0,01^{B,a}$	$0,84 \pm 0,01^{A,a}$	$0,82 \pm 0,01^{A,a}$	$0,82 \pm 0,00^{A,a}$	$0,79 \pm 0,01^{A,b}$	$0,73 \pm 0,01^{B,c}$
Revestimento C	$0,93 \pm 0,02^{A,a}$	$0,87 \pm 0,01^{A,b}$	$0,83 \pm 0,01^{A,b}$	$0,82 \pm 0,02^{A,b}$	$0,82 \pm 0,01^{A,b}$	$0,76 \pm 0,01^{B,c}$
pH						
Controle	$3,87 \pm 0,01^{A,b}$	$3,90 \pm 0,01^{A,b}$	$3,98 \pm 0,06^{A,a}$	-	-	-
Revestimento A	$3,79 \pm 0,00^{B,c}$	$3,82 \pm 0,01^{B,c}$	$3,85 \pm 0,00^{C,b}$	$3,88 \pm 0,01^{A,b}$	$3,96 \pm 0,01^{A,a}$	$3,97 \pm 0,01^{A,a}$

Revestimento B	3,86 ± 0,01 ^{A,b}	3,90 ± 0,01 ^{A,b}	3,90 ± 0,03 ^{B,C,b}	3,92 ± 0,02 ^{A,b}	3,99 ± 0,00 ^{A,a}	4,00 ± 0,01 ^{A,a}
Revestimento C	3,87 ± 0,01 ^{A,b}	3,88 ± 0,01 ^{A,b}	3,91 ± 0,00 ^{B,a,b}	3,93 ± 0,01 ^{A,a,b}	3,94 ± 0,01 ^{A,a}	3,94 ± 0,01 ^{A,a}
FIRMEZA DA CASCA						
Controle	109,49 ± 0,64 ^{A,B,a}	69,50 ± 2,38 ^{D,b}	7,26 ± 0,19 ^{D,c}	-	-	-
Revestimento A	110,01 ± 0,84 ^{A,a}	76,75 ± 1,68 ^{B,b}	43,95 ± 0,86 ^{C,c}	42,68 ± 2,32 ^{A,c}	42,16 ± 1,84 ^{A,c}	28,34 ± 0,80 ^{B,d}
Revestimento B	106,86 ± 2,13 ^{C,a}	73,10 ± 1,29 ^{C,b}	51,28 ± 2,89 ^{B,c}	28,06 ± 1,21 ^{C,d}	25,21 ± 0,34 ^{C,e}	25,01 ± 0,52 ^{C,e}
Revestimento C	107,50 ± 3,79 ^{B,C,a}	94,51 ± 2,18 ^{A,b}	59,13 ± 1,37 ^{A,c}	33,91 ± 1,02 ^{B,d}	31,53 ± 0,55 ^{B,c}	31,03 ± 0,31 ^{A,e}
FIRMEZA DA POLPA						
Controle	86,50 ± 3,70 ^{B,a}	55,41 ± 2,02 ^{C,b}	5,08 ± 0,33 ^{D,c}	-	-	-
Revestimento A	84,25 ± 0,50 ^{B,C,a}	81,66 ± 2,26 ^{A,a}	42,81 ± 1,92 ^{B,b}	29,04 ± 0,42 ^{A,c}	27,35 ± 1,00 ^{A,c}	15,15 ± 0,59 ^{A,d}
Revestimento B	82,50 ± 4,80 ^{C,a}	66,84 ± 1,91 ^{B,b}	27,15 ± 1,32 ^{C,c}	15,81 ± 0,34 ^{C,d}	15,66 ± 0,49 ^{C,d}	14,56 ± 0,49 ^{A,d}
Revestimento C	92,05 ± 1,69 ^{A,a}	81,75 ± 3,86 ^{A,b}	49,61 ± 3,50 ^{A,c}	20,24 ± 1,12 ^{B,d}	17,94 ± 1,12 ^{B,d,e}	16,33 ± 0,77 ^{A,e}

Diferentes letras maiúsculas na coluna e diferentes letras minúsculas na linha significam diferenças estatísticas ($p \leq 0,05$). PM (perda de massa), SST (sólidos solúveis totais), AT (acidez titulável), e SST/AT (índice de amadurecimento).

O tratamento de goiabas com proteínas (PML) e GA retardou a perda de massa durante o armazenamento e PM mínima foi observada nas frutas tratadas com o revestimento C (1 % de proteínas, 1 % de goma e 40 % de glicerol) seguida pelo revestimento A (1 % de proteína e 30 % de glicerol) com diferença ($p \leq 0,05$). A perda de massa em frutas e vegetais frescos deve-se principalmente à liberação de água causada pelos processos de transpiração e respiração (ZHU et al., 2008). A PM na fruta deve-se principalmente à respiração e o revestimento C atuou como barreira, restringindo assim a evaporação, a transferência de água retardando a desidratação, mantendo a rigidez do tecido.

A PM é considerada um bom índice para avaliar a eficácia dos revestimentos na preservação da qualidade da fruta. Sua determinação é um dos parâmetros decisivos na escolha da embalagem e de grande importância na determinação da qualidade de frutos, pois influencia a firmeza, textura, valor nutricional. Proteínas miofibrilares de peixes podem ser usados como barreiras protetoras, não só para prevenir o processo de sudorese, com consequente perda de massa, mas também dificultar o consumo de O₂, resultando em diminuição da taxa respiratória e na produção de etileno (TRUNG; PHUONG; STEVENS, 2011). GA é um complexo polissacarídeo-proteína que é composto por duas partes de proteínas hidrofóbicas ramificadas e partes hidrofílicas. Essa estrutura cria uma camada espessa e semipermeável contra gases, como oxigênio, dióxido de carbono e umidade que altera a atmosfera interna ao redor da fruta (CAMPELO et al., 2017; GURJAR et al., 2018). Estudos em goiabas relatados por Pereira et al. (2020a) no 7º dia

de armazenamento, a maior e a menor perda de massa ocorreram em goiabas revestidas com 1% de GA e controle com diferença significativa, respectivamente.

As goiabas controle já no 6º dia de armazenamento apresentaram perda de massa similar aos resultados obtidos pelos revestimentos A e B no 15º dia de armazenamento ($p \geq 0,05$). O maior valor de perda de massa do revestimento B comparado aos demais revestimentos podem ser atribuída a uma reação incompleta entre uma pequena quantidade de plastificante e locais livres na cadeia proteica, apresentando maior perda de umidade para meio externo. A alta transferência de vapor d'água tem acelerado a transferência das moléculas de água uma vez que a umidade migra mais rapidamente na matriz hidrofílica, aumentando a taxa de transferência de água, (MURMU; MISHRA, 2017a), o que resultou na maior perda significativa de massa em goiabas não revestidas e revestidas com o tratamento B.

3.2 ÍNDICE DE AMADURECIMENTO (IA) E pH

A interação dos tratamentos e o tempo de armazenamento em sólidos solúveis totais (SST), acidez titulável (AT), pH (Tabela 2) e índice de amadurecimento-SST/TA (IA) (Figura 2) foi significativa ($p \leq 0,05$). Simultaneamente com o aumento da extensão do tempo de armazenamento das frutas revestidas, a proporção de SST apresentou aumento conforme foi diminuindo AT. Desta forma, o IA aumentou durante o período analisados ($p \leq 0,05$).

Em relação ao teor de SST, houve aumento gradativo em todas as frutas revestidas (Tabela 2). No entanto, observou que o controle apresentou maiores valores de SST ($p \leq 0,05$). Tratamento com proteínas e goma foi eficiente para manter valores de SST mais baixos em comparação as goiabas não revestidas e as com proteínas miofibrilares (revestimento A e B) ($P \leq 0,05$). A menor taxa de SST pode ser explicado de acordo com Khaliq et al. (2015), pela redução da taxa respiratória dos frutos, reduzindo também a formação e utilização de metabólitos, resultando em menor concentração de sólidos solúveis e conversão mais lenta dos frutos ao final do armazenamento. Desta forma, o processo de amadurecimento ocorreu de forma mais intensa nos frutos não revestidos (controle) e nos demais tratamentos (revestimento A e B).

O menor valor de SST observado nas goiabas revestidas com tratamentos B e C pode estar relacionado à menor perda de água pela transpiração, ou pela degradação da parede celular, transformando os polissacarídeos em açúcares no período climatérico,

apresentando menor mudança no estágio de maturação. A redução do teor de sólidos solúveis também está relacionada à respiração natural da fruta, que usa a glicose como substrato para a produção de energia necessária para manter os processos de respiração e reprodução (GOL; PATEL; RAO, 2013). Um efeito de menor intensidade no SST observado nos frutos tratados com o revestimento C, possivelmente é devido a atmosfera modificada do filme biopolimérico que prolongou o processo de conversão dos açúcares na superfície do próprio filme pela goiaba, evitando o consumo do açúcar acumulado (OLIVEIRA et al., 2018).

Durante o processo de amadurecimento, o SST aumenta com a diminuição dos níveis de acidez (AT) devido ao metabolismo ácido e à degradação do amido disponível em açúcares simples. A goiaba, considerada uma fruta climatérica, tende a apresentar aumento nos níveis de SST durante o armazenamento (SINGH; PAL, 2008). A AT diminui com o armazenamento à medida que os ácidos orgânicos são usados durante o processo de respiração (GOL; CHAUDHARI; RAO, 2015).

A Tabela 2 mostra que a acidez diminuiu significativamente ($p \leq 0,05$) ao longo do tempo de armazenamento para goiabas controle e revestidas. No entanto, diferentemente de SST, frutos tratados com revestimento A (1%PML/30%Gli) e revestimento C (1%PML/40%Gli/1%GA) exibiram AT maiores ao final do armazenamento ($p \leq 0,05$). Provavelmente, estes revestimentos promoverem uma diminuição na degradação dos ácidos orgânicos, conferindo às goiabas um ambiente controlado com baixo teor de oxigênio (RANA; SIDDIQUI; GOYAL, 2015).

Ao final do armazenamento, a menor AT foi observado nas frutas controle no 6º dia e frutas com 1%PML/10%Gli (revestimento B) no 15º analisadas (Tabela 2). Isso está relacionado ao período de produção máxima de etileno, uma vez que essa diminuição é devido à oxidação dos ácidos da matéria orgânica durante a respiração dos frutos climatéricos, indicando a passagem da fase de maturação para a senescência. A medida que a AT diminui com o amadurecimento, representa o aumento do teor de açúcares e a baixa ou nula degradação dos ácidos orgânicos (DENG et al., 2017).

A proporção de açúcar em relação ao ácido desempenha um papel essencial na determinação da qualidade do sabor da fruta. O índice de amadurecimento (SST/AT) foi constante entre os tratamentos até o 9º dia de armazenamento ($p \geq 0,05$). Porém a maior razão SST/AT (Figura 2) foi observada no controle e no revestimento A (1%PML/30%Gli), valor proporcional à quantidade de SST presentes nessas frutas (Tabela 1) ($p \leq 0,05$), diferentemente para os demais tratamentos que foi observada

redução na razão SST/AT no 15º. De acordo com Khaliq et al. (2015), o aumento do SST e a diminuição do AT ocorrem até o fruto atingir a senescência.

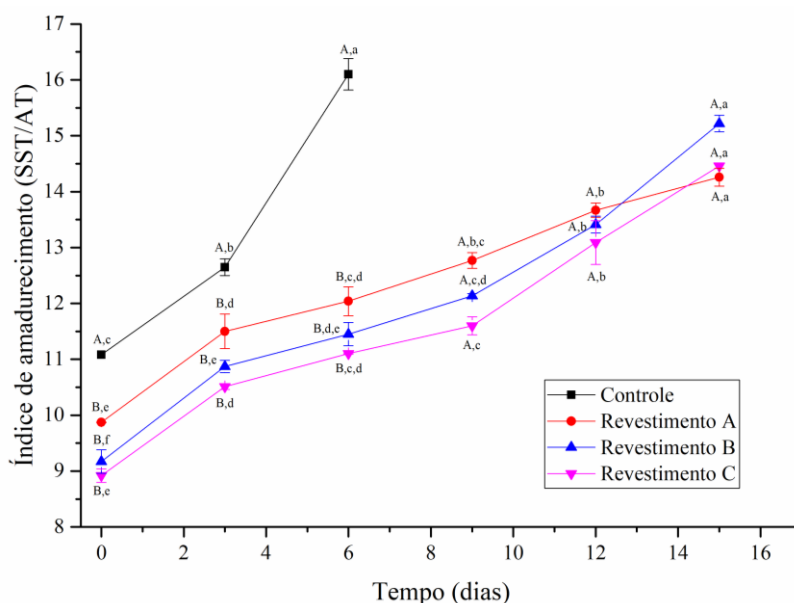


Figura 2. Índice de amadurecimento (AT) em goiabas armazenadas a 22 °C e 47 % UR por 15 dias. Diferentes letras maiúsculas entre as curvas e diferentes letras minúsculas na curva significam diferenças estatísticas ($p \leq 0,05$).

A índice de maturação mais baixo foi exibido em frutas tratadas com revestimento C, indicando o efeito positivo e manutenção da qualidade da fruta durante o período de armazenamento ($p \leq 0,05$). Portanto, a incorporação da goma na solução de proteína, resultou em mais restrição ao aumento do índice de amadurecimento, com as modificações nas taxas de respiração. O amadurecimento de frutas e vegetais pode ser retardado pelo uso de coberturas comestíveis, uma vez que a atmosfera interna das frutas se tornaria seletivamente permeável aos gases metabólicos (MEDEIROS et al., 2012; ROJAS-GRAÜ et al., 2007). Resultados semelhantes foram relatados no caso de manga revestida com goma arábica combinada com cloreto de cálcio (KHALIQ et al., 2015); goiabas revestidas com quitosana, alginato e nano ZnO (ARROYO et al., 2020) e bananas revestidas com emulsão de celulose (DENG et al., 2017).

Os valores de pH dos frutos revestidos no início do armazenamento aumentaram com a evolução da maturação dos frutos; sendo o fruto não revestido apresentando maior valor no 6º dia, comparado aos frutos revestidos no 15º dia analisado ($p \leq 0,05$) (Tabela 2). O pH menor observado até o final dos dias analisados foi nas goiabas tratadas com revestimentos C; provavelmente, esse comportamento é devido a capacidade tamponante

de algumas polpas/sucos, permitindo que grandes variações na acidez titulável ocorram sem variações considerável no pH (ARROYO et al., 2020). A caracterização físico-química das goiabas revestidas demonstrou que a adição de goma arábica nas matrizes poliméricas a base de proteínas miofibrilares não impedem o amadurecimento dos frutos, porém, influenciaram no comportamento da velocidade de amadurecimento, promovendo redução da maturação.

3.3 FIRMEZA DA CASCA E POLPA

A firmeza da fruta, geralmente, é considerada um dos primeiros atributos de qualidade julgados pelo consumidor, sendo importante na aceitação geral do produto. A goiaba sofre uma rápida perda de firmeza durante a senescência, contribuindo para suscetibilidade à contaminação por fungos e sua curta vida útil pós-colheita (HONG et al., 2012). A firmeza mostrou uma interação significativa ($p \leq 0,05$) entre o tipo de revestimento e o tempo de armazenamento (Tabela 2).

As alterações na firmeza da casca para as goiabas revestidas e controle apresentaram valores de $110,01 \pm 0,84$ a $69,50 \pm 2,38$ nos três primeiros dias analisados. Porém, a partir do sexto dia, houve diminuição considerável da firmeza nas goiabas controle comparado as revestidas ($p \leq 0,05$), determinante para a maturação total das goiabas não revestidas. A goiaba é considerada uma fruta bastante perecível que perde a firmeza conforme o amadurecimento, comportamento associado à sua curta vida pós-colheita. Atividade enzimática, hidrolase e pectinase, reduzem a firmeza dos frutos causando a degradação da estrutura da parede celular, da parede celular primária e de materiais inter e intracelulares (SEYMOUR et al., 1987).

A Tabela 2 mostra as mudanças na firmeza das goiabas revestidas, observando que os revestimentos protegeram os frutos contra a redução acentuada da firmeza, com destaque para o revestimento C (1%PML/40%Gli/1%GA) que resultou em maior firmeza durante o armazenamento em comparação aos demais tratamentos ($p \leq 0,05$). Provavelmente, devido a uma atmosfera alterada ao redor da fruta e diminuição da perda de água, demonstrado na PM desse tratamento (Tabela 2), reduzindo as mudanças no teor de pectina e a atividade enzimática degradantes da parede celular. A goiaba possui alto teor de pectinas e frações de fibras, que são responsáveis pela integridade da parede celular. Durante o processo de maturação, as enzimas podem agir sinergicamente dentro da parede celular para diminuir o tamanho molecular dos polímeros de pectina levando à

despolimerização e indução de solubilidades de polissacarídeo de pectina (JAIN et. Al., 2001).

A perda de massa pode ser minimizada pelo uso de revestimento, mantendo assim a firmeza da goiaba revestida, uma vez que este atributo é muito influenciado pelo teor de água. A eficácia do tratamento C pode ser devido à ligação covalente entre GA e a PML que, possivelmente, diminuiu a disponibilidade de volume livre para transporte de gás e vapor de água na matriz polimérica (1%PML/40%Gli/1%GA), diminuindo a α -hélice, β -hélice e a estrutura da caseína aumentando a estrutura da folha β (MURMU; MISHRA, 2017b). Prevenir a diminuição da firmeza foi relatado anteriormente usando a GA em goiabas e mangas (KHALIQ et al., 2015; ETEMADIPOOR et al., 2020).

A perda de firmeza da polpa nas goiabas controle também apresentou uma redução significativa ($p \leq 0,05$) contraposto as goiabas revestidas no sexto dia de armazenamento (Tabela 2), e partir de então, houve uma redução sutil das goiabas revestidas até o último dia analisado ($p \geq 0,05$). Os materiais de pectina são responsáveis pela firmeza das frutas, sendo os principais componentes da lamela média e estrutura primária da parede celular (ETEMADIPOOR et al., 2020). A goiaba é rica em atividade antioxidante, provavelmente, por seu alto teor de ácido ascórbico e fenol total e rica em substâncias pécticas (LEITE; BALDOCHI; OLIVEIRA, 2006). À medida que os frutos amadurecem, as principais enzimas envolvidas na degradação da parede celular são poligalacturonase, pectina metilesterase e pectato liase (HADFIELD; BENNETT, 1998).

O efeito menos inibitório de 1%PML/10%Gli (revestimento B) tanto na firmeza da casca e polpa das goiabas pode ser, possivelmente, devido à maior atividade das enzimas dentro da parede celular, resultando em uma taxa mais rápida de degradação, apresentando aumento da maciez de 52 e 77 % no sexto dia e 82 e 67 % no último dia analisado, respectivamente. A perda de firmeza dos frutos corresponde com as mudanças que ocorrem na estrutura da parede celular, verificando que o tratamento B adicionados de PML e menor concentração de Gli exerceram menor efeito na textura dos frutos. A pectinametilesterase (PME) e a poligalacturonase (PG) agem de forma coordenada, contribuindo para a perda de firmeza durante o amadurecimento dos frutos, em que, a PME remove os grupos metila das cadeias de pectina e a PG cliva as ligações entre as unidades de ácido galacturônico, resultando na dissolução da parede celular e na diminuição da adesão célula-célula (LIN et al., 2018).

4 CONCLUSÃO

O estudo mostrou que revestimentos comestíveis de proteínas miofibrilares e goma arábica podem ser uma excelente alternativa na conservação pós-colheita de goiabas ‘paloma’. A incorporação da GA nos revestimentos de proteínas preservou a qualidade das goiabas ao retardar o estágio de maturação.

O revestimento C com 1%PML/40%Gli/1%GA aplicados nas goiabas da variedade ‘paloma’ preservaram a qualidade dessas frutas por um maior período de armazenamento, retardando a taxa de amadurecimento. A caracterização físico-química (SST, pH), a perda de massa e firmeza das goiabas tratadas com revestimentos C apresentou os melhores resultados, confirmando com os resultados do aumento da vida útil dessas frutas. Também protegeu os frutos contra a degradação da clorofila e a manutenção da cor verde das goiabas por um período maior. As mudanças nos parâmetros de cor nos frutos controle foram evidentes durante o armazenamento quando comparadas com os revestidos, indicando que o processo de maturação foi retardado. Conclui-se que revestimentos de proteínas com a adição de goma arábica é um tratamento eficaz para prolongar a vida útil e a qualidade das goiabas durante todo o período de armazenamento.

REFERÊNCIAS

APHIBANTHAMMAKIT, C.; NIGEN, M., GAUCEL, S., SANCHEZ, C., CHALIER, P., (2018) Surface properties of Acacia senegal vs Acacia seyal films and impact on specific functionalities. **Food Hydrocolloids**, 82: 519–533.

AQUINO, A. B.; BLANK, A. F.; SANTANA, L. C. L. A. (2015) Impact of edible chitosan-cassava starch coatings enriched with *Lippia gracilis* Schauer genotype mixtures on the shelf life of guavas (*Psidium guajava* L.) during storage at room temperature. **Food Chemistry**, 171: 108–116.

ARROYO, B. J.; BEZERRA, A. C.; OLIVEIRA, L. L.; ARROYO, S. J.; MELO, E. A.; SANTOS, A. M. P. (2020.) Antimicrobial active edible coating of alginate and chitosan add ZnO nanoparticles applied in guavas (*Psidium guajava* L.). **Food Chemistry**, 309: 125566.

ATRASH, S.; RAMEZANIAN, A.; RAHEMI, M. (2018) Antifungal Effects of Savory Essential Oil, Gum Arabic, and Hot Water in Mexican Lime Fruits. **HortScience**, 53(4): 524–530.

BAZAN, J. H. V. (1993) **Produção de Dextrana clínica por via enzimática**. 123 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Alimentos) – Faculdade de Engenharia de Alimentos, Universidade de Campinas-Campinas, 1993.

BENBETTAIEB, N.; GAY, J.-P.; KARBOWIAK, T.; DEBEAUFORT, F. (2016) Tuning the Functional Properties of Polysaccharide–Protein Bio-Based Edible Films by Chemical, Enzymatic, and Physical Cross-Linking. **Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety**, 15: 239–752.

BLANCO-PASCUAL, N.; FERNÁNDEZ-MARTÍN, F.; MONTERO, P. (2014) Jumbo squid (*Dosidicus gigas*) myofibrillar protein concentrate for edible packaging films and storage stability. **LWT - Food Science and Technology**, 55(2): 543–550, 2014.

BRAND-WILLIAMS, W.; CUVELIER, M. E.; BERSET, C. Use of a free radical method to evaluate antioxidant activity. **LWT - Food Science and Technology**, v. 28, n. 1, p. 25–30, 1995.

CALVA-ESTRADA, S. J.; JIMÉNEZ-FERNÁNDEZ, M.; LUGO-CERVANTES, E. (2019) Protein-Based Films: Advances in the Development of Biomaterials Applicable to Food Packaging. **Food Engineering Reviews**, 11: 78–92.

CAMPELO, P. H.; JUNQUEIRA, L. A.; VILELA, J.; RESENDE, D.; ZACARIAS, R. D.; BARROS, R. V.; BOTREL, D. A.; BORGES, S. V. (2017) Stability of lime essential oil emulsion prepared using biopolymers and ultrasound treatment. **International Journal of Food Properties**, 20(1): 564–579.

CHANTAWEE, K.; RIYAJAN, S.-A. Effect of Glycerol on the Physical Properties of Carboxylated Styrene-Butadiene Rubber/Cassava Starch Blend Films. **Journal of Polymers and the Environment**, 27(1): 50–60, 2019.

- DENG, Z.; JUNG, J.; SIMONSEN, J.; ZHAO, Y. (2017) Cellulose nanomaterials emulsion coatings for controlling physiological activity, modifying surface morphology, and enhancing storability of postharvest bananas (*Musa acuminata*). **Food Chemistry**, 232: 359–368.
- ETEMADIPOOR, R., DASTJERDI, A. M., RAMEZANIAN, A., EHTESHAMI, S. (2020) Ameliorative effect of gum arabic, oleic acid and/or cinnamon essential oil on chilling injury and quality loss of guava fruit. **Scientia Horticulturae**, 266: 109255.
- FÉLIX, M.; LUCIO-VILLEGAS, A.; ROMERO, A.; GUERRERO, A. (2016) Development of rice protein bio-based plastic materials processed by injection molding. **Industrial Crops and Products**, 79: 152–159.
- FORATO, L. A.; BRITTO, D.; RIZZO, J. S.; GASTALDI, T. A.; ASSIS, O. B. G. (2015) Effect of cashew gum-carboxymethylcellulose edible coatings in extending the shelf-life of fresh and cut guavas. **Food Packaging and Shelf Life**, 5: 68–74.
- GOL, N. B.; CHAUDHARI, M. L.; RAO, T. V. R. (2015) Effect of edible coatings on quality and shelf life of carambola (*Averrhoa carambola L.*) fruit during storage. **Journal of Food Science and Technology**, 52(1): 78–91.
- GOL, N. B.; PATEL, P. R.; RAO, T. V. R. (2013) Improvement of quality and shelf-life of strawberries with edible coatings enriched with chitosan. **Postharvest Biology and Technology**, 85: 185–195.
- GURJAR, P. S.; KILLADI, B.; LENKA, J.; SHUKLA, D. K. (2018) Effect of Gum Arabic Coatings on Physico-Chemical and Sensory Qualities of Guava (*Psidium guajava L*) cv. Shweta. **International Journal of Current Microbiology and Applied Sciences**, 7(5): 3769–3775.
- HADFIELD, K. A., BENNETT, A. B. (1998) Polygalacturonases: Many genes in search of a function. **Plant Physiology**, 117(2): 337-343.
- HONG, K., XIE, J., ZHANG, L., SUN, D., GONG, D. (2012) Effects of chitosan coating on postharvest life and quality of guava (*Psidium guajava L.*) fruit during cold storage. **Scientia Horticulturae**, 144: 172–178.
- JAIN, N., DHAWAN, K., MALHOTRA, S. P., SIDDIQUI, S., SINGH, R. (2001) Compositional and enzymatic changes in guava (*Psidium guajava L.*) fruits during ripening. **Acta Physiologiae Plantarum**, 23(3): 357-362.
- JANGCHUD, A.; CHINNAN, M. S. (1999) Peanut protein film as affected by drying temperature and pH of film forming solution. **Journal of Food Science**, 64(1): 153–157.
- KANWAL, N.; RANDHAWA, M. A.; IQBAL, Z. (2016) A Review of Production, Losses and Processing Technologies of Guava. **Asian Journal of Agriculture and Food Sciences**, 04(02): 2321–1571.
- KHALIQ, G.; MOHAMED, M. T. M.; ALI, A.; DING, P.; GHAZALI, H. M. (2015) Effect of gum arabic coating combined with calcium chloride on physico-chemical and

qualitative properties of mango (*Mangifera indica L.*) fruit during low temperature storage. **Scientia Horticulturae**, 190: 187–194.

KHANZADI, M.; JAFARI, S. M.; MIRZAEI, H.; CHEGINI, F. K.; MAGHSOUDLOU, Y.; DEHNAD, D. (2015) Physical and mechanical properties in biodegradable films of whey protein concentrate-pullulan by application of beeswax. **Carbohydrate Polymers**, 118: 24–29.

KRISHNADEV, P.; GUNASEKARAN, K. (2017) Development of gum Arabic edible coating formulation through nanotechnological approaches and their effect on physico-chemical change in tomato (*Solanum lycopersicum L*) fruit during storage. **International Journal of Agriculture Sciences**, 9(8): 3866–3870.

LAEMMLI, U. K. (1970) Cleavage of Structural Proteins during the Assembly of the Head of Bacteriophage T4. **Nature**, 227: 680–685.

LATIMER, J. W. (2012) **Official Methods of Analysis of AOAC INTERNATIONAL** (19^a ed.). Gaithersburg, maryland.

LAVAL-MARTIN, D. L. (1985) Spectrophotometric method of controlled pheophytinization for the determination of both chlorophylls and pheophytins in plant extracts. **Analytical Biochemistry**, 149(1): 121–129.

LEITE, K. M. S. C., TADIOTTI, A. C., BALDOCHI, D., OLIVEIRA, O. M. M. F. (2006) Partial purification, heat stability and kinetic characterization of the pectinmethylesterase from Brazilian guava, Paluma cultivars. **Food Chemistry**, 94(4): 565-572.

LIN, Y., LIN, Y., LIN, H., LIN, M., LI, H., YUAN, F., CHEN, Y., XIAO, J. (2018) Effects of paper containing 1-MCP postharvest treatment on the disassembly of cell wall polysaccharides and softening in Younai plum fruit during storage. **Food Chemistry**, 264: 1-8.

MAHAJAN, P. V.; CALEB, O. J.; SINGH, Z.; WATKINS, C. B.; GEYER, M. (2014) Postharvest treatments of fresh produce. **Philosophical Transactions of the Royal Society A: Mathematical, Physical and Engineering Sciences**, 372: 20130309.

MANGARAJ, S.; GOSWAMI, T. K.; GIRI, S. K.; JOSHY, C. G. (2014) Design and development of modified atmosphere packaging system for guava (*cv. Baruipur*). **Journal of Food Science and Technology**, 51(11): 2925–2946.

MEDEIROS, B. G. S.; PINHEIRO, A. C.; CARNEIRO-DA-CUNHA, M. G.; VICENTE, A. A. (2012) Development and characterization of a nanomultilayer coating of pectin and chitosan - Evaluation of its gas barrier properties and application on “Tommy Atkins” mangoes. **Journal of Food Engineering**, 110(3): 457–464.

MURMU, S. B.; MISHRA, H. N. (2017a) Engineering evaluation of thickness and type of packaging materials based on the modified atmosphere packaging requirements of guava (*Cv. Baruipur*). **LWT - Food Science and Technology**, 78: 273–280.

MURMU, S. B.; MISHRA, H. N. (2017b) Optimization of the arabic gum based edible coating formulations with sodium caseinate and tulsi extract for guava. **LWT - Food Science and Technology**, 80: 271–279.

MURMU, S. B.; MISHRA, H. N. (2018) The effect of edible coating based on Arabic gum, sodium caseinate and essential oil of cinnamon and lemon grass on guava. **Food Chemistry**, 245: 820–828.

NAIR, M. S.; SAXENA, A.; KAUR, C. (2018) Effect of chitosan and alginate based coatings enriched with pomegranate peel extract to extend the postharvest quality of guava (*Psidium guajava* L.). **Food Chemistry**, 240: 245–252.

OLIVEIRA, V. R. L.; SANTOS, F. K. G.; LEITE, R. H. L.; AROUCHA, E. M. M.; SILVA, K. N. O. (2018) Use of biopolymeric coating hydrophobized with beeswax in post-harvest conservation of guavas. **Food Chemistry**, 259: 55–64.

PEREIRA, G. V. S.; PEREIRA, G. V. S.; ARAUJO, E. F.; XAVIER, E. M. P.; JOELE, M. R. S. P.; LOURENÇO, L. F. H. (2019a) Optimized process to produce biodegradable films with myofibrillar proteins from fish byproducts. **Food Packaging and Shelf Life**, 21: 100364.

PEREIRA, G. V. S.; PEREIRA, G. V. S.; NEVES, E. M. P. X.; JOELE, M. R. S. P.; LIMA, C. L. S.; LOURENÇO, L. F. H. (2019b) Effect of adding fatty acids and surfactant on the functional properties of biodegradable films prepared with myofibrillar proteins from acoupa weakfish (*Cynoscion acoupa*). **Food Science and Technology**, 39(1): 287–294.

PEREIRA, G. V. S., PEREIRA, G. V. S., NEVES, E. M. P. X., ALBUQUERQUE, G. A., REGO, J. A. R., CARDOSO, D. N. P., BRASIL, D. S. B., JOELE, M. R. S. P. (2021a) Effect of the Mixture of Polymers on the Rheological and Technological Properties of Composite Films of Acoupa Weakfish (*Cynoscion acoupa*) and Cassava Starch (*Manihot esculenta* C.). **Food and Bioprocess Technology**. <https://doi.org/10.1007/s11947-021-02622-1>.

PEREIRA, G. V. S.; PEREIRA, G. V. S.; NEVES, E. M. P. X.; OLIVEIRA, L. C.; PENA, R. S.; CALADO, V.; LOURENÇO, L. F. H. (2021b) Biodegradable films from fishing industry waste: Technological properties and hygroscopic behavior. **Journal of Composite Materials**, 55(28): 4169–4181.

RANA, S.; SIDDIQUI, S.; GOYAL, A. (2015) Extension of the shelf life of guava by individual packaging with cling and shrink films. **Journal of Food Science and Technology**, 52(12): 8148–8155.

ROJAS-GRAÜ, M. A.; AVENA-BUSTILLOS, R. J.; OLSEN, C.; FRIEDMAN, M.; HENIKA, P. R.; MARTÍN-BELLOSO, O.; PAN, Z.; MCHUGH, T. H. (2007) Effects of plant essential oils and oil compounds on mechanical, barrier and antimicrobial properties of alginate-apple puree edible films. **Journal of Food Engineering**, 81(3): 634–641.

RUFINO, M. S. M.; ALVES, R. E.; BRITO, E. S.; PÉREZ-JIMÉNEZ, J.; SAURA-CALIXTO, F.; MANCINI-FILHO, J. (2010) Bioactive compounds and antioxidant

capacities of 18 non-traditional tropical fruits from Brazil. **Food Chemistry**, 121(4): 996–1002.

SAMAAN, L. G.; IRAQI, M. A.; ARAFAT, L. A.; SERAG, T. A. A. (2012) Treatments to increase storability and marketability of guava (*Psidium guajava L.*) fruits. **Journal of Plant Production**, 3(5): 857–876.

SANCHEZ, C.; NIGEN, M.; TAMAYO, V. M.; DOCO, T.; WILLIAMS, P.; AMINE, C.; RENARD, D. (2018) Acacia gum: History of the future. **Food hydrocolloids**, 78: 140–160.

SEYMOUR, G. B., HARDING, S. E., TAYLOR, A. J., HOBSON, G. E., TUCKER, G. A. (1987) Polyuronide solubilization during ripening of normal and mutant tomato fruit. **Phytochemistry**, 26 (7): 1871-1875.

SINGH, S. P.; PAL, R. K. (2008) Controlled atmosphere storage of guava (*Psidium guajava L.*) fruit. **Postharvest Biology and Technology**, 47(3): 296–306.

SINGLETON, V. L.; ROSSI, J. A. (1965). Colorimetry of Total Phenolics with Phosphomolybdic-Phosphotungstic Acid Reagents. **American Journal of Enology and Viticulture**, 16(3): 144-158.

SOTHORNVIT, R.; KROCHTA, J. M. (2001) Plasticizer effect on mechanical properties of b-lactoglobulin films. **Journal of Food Engineering**, 50: 149–155.

TRUNG, S. T.; PHUONG, N. T. H.; STEVENS, W. F. (2011) Protective effect of chitosan coating and polyethylene film wrapping on postharvest storage of sugar-apples. **Asian Journal of Food and Agro-Industry**, 4(02): 81–90.

ZAVAREZE, E. R.; EL HALAL, S. L. M.; TELLES, A. C.; PRENTICE-HERNÁNDEZ, C. (2012) Biodegradable films based on myofibrillar proteins of fish. **Brazilian Journal of Food Technology**, 15: 53–57.

ZHU, X.; WANG, Q.; CAO, J.; JIANG, W. (2008) Effects of chitosan coating on postharvest quality of mango (*Mangifera indica L. cv. tainong*) fruits. **Journal of Food Processing and Preservation**, 32(5): 770–784.

CAPÍTULO 4 – Estudo do comportamento higroscópico e das propriedades tecnológicas em filmes de proteínas miofibrilares de peixe com diferentes concentrações de glicerol²

Resumo

O objetivo do estudo foi avaliar o efeito do glicerol nas propriedades funcionais e comportamento de sorção de filmes elaborados com proteínas miofibrilares liofilizadas (PML) de peixes com diferentes concentrações do plastificante glicerol (Gli) (5, 10, 15, 30 e 40 %). Foram realizadas análises de solubilidade, permeabilidade ao vapor de água (PVA), resistência à tração (RT), alongação (E) e isothermas de sorção de umidade. Filmes com menores concentrações de glicerol (5, 10 e 15 %) apresentaram menor ($p \leq 0,05$) permeabilidade comparado aos filmes com maiores concentrações (30 e 40 %). O aumento na concentração de glicerol diminuiu a RT e aumentou o alongamento dos filmes de proteína miofibrilar liofilizada ($p \leq 0,05$). O glicerol afetou significativamente as propriedades de solubilidade, com aumento de 95,96%. No processo de sorção, os filmes apresentaram curvas do tipo II e III, em que elevadas concentrações de glicerol aumentou o teor de água dos mesmos. A histerese de sorção diminuiu com o aumento na contração do plastificante até o seu desaparecimento nos filmes com 40 % de glicerol. O modelo GAB foi adequado para representar o processo de sorção de filmes biodegradáveis na faixa de umidade relativa de 10-85% nas condições estudadas. Filmes à base de proteínas miofibrilares de peixe com a adição de Gli aumentam a capacidade de ligação da água a mono e multicamadas, e dependendo do alimento embalado, preserva a umidade do produto alimentício, prolongando sua vida útil.

Palavras-chave: polímeros renováveis, proteínas miofibrilares, glicerol, embalagem, isothermas.

² Pereira, G. V. S.; Pereira, G. V. S.; Neves, E. M. P. X.; Oliveira, L. C.; Pena, R. S.; Calado, V.; Lourenço, L. F. H. (2021) Biodegradable films from fishing industry waste: Technological properties and hygroscopic behavior. **Journal of Composite Materials**, 55(28): 4169–4181.

1 INTRODUÇÃO

O grande volume de pesca no mundo e os métodos de processamento utilizados contribuem para a geração de uma quantidade considerável de resíduos (VALENTE et al., 2014). Isso ocorre porque somente o músculo do peixe é utilizado, sendo descartados cabeça, vísceras, carcaças, entre outros. Nesse sentido, há a necessidade de explorar o potencial desses resíduos, considerados de baixo custo e com alto teor de proteínas, com potencial de reaproveitamento. Dentre as espécies da região amazônica, a pescada amarela (*Cynoscion acoupa*) por sua alta produção e comercialização, gera uma grande quantidade de resíduos (PIRES; MAGNO; ARAÚJO, 2019) que podem ser utilizados na produção de filmes biodegradáveis.

As proteínas têm sido reconhecidas com potencial para obtenção de embalagens biodegradáveis devido à abundância, capacidade de formação de filme funcional e biodegradabilidade (PEREIRA et al., 2019a, 2019b; PEREIRA et al., 2020). As proteínas miofibrilares são as mais promissoras devido à sua capacidade de formar filmes transparentes e flexíveis com excelentes propriedades de barreira à luz ultravioleta. No entanto, os filmes de proteínas apresentam baixa barreira ao vapor de água devido à sua característica hidrofílica (KAEWPRACHU et al., 2017).

Embalagens fabricadas com plásticos obtidos de fontes não renováveis contribuem para o acúmulo e destinação inadequada, além de permanecer por muito tempo sem degradar no meio ambiente (ASSIS et al., 2017). Portanto, o estudo de polímeros obtidos a partir de fontes renováveis e sua utilização em filmes biodegradáveis é de grande interesse para substituir os plásticos derivados do petróleo (FÉLIX et al., 2016), minimizando os impactos ambientais.

Materiais poliméricos hidrofílicos adsorvem e desorvem moléculas de água do meio ambiente, mostrando uma tendência para atingir o equilíbrio (VAN DER WEL; ADAN 1999). Assim, as propriedades de sorção de umidade representam um fator decisivo para o desenvolvimento de materiais poliméricos com propriedade específicas, domínio de aplicação e prazo de validade (TORRES; CHENLO; MOREIRA, 2018).

Plastificantes como o glicerol (Gli) contêm grupos hidrofílicos que interagem com as moléculas de água por ligações de hidrogênio, resultando na adsorção de umidade (CHIUMARELLI; HUBINGER 2012). As moléculas de água podem ser um problema devido aos fortes efeitos de plastificação nos filmes, sendo capaz de modificar as propriedades físicas do material (SOBRAL; HUBINGER; ROQUES, 2001), exigindo uma determinação qualitativa ou quantitativa da umidade nos filmes. Assim,

para analisar as propriedades funcionais e de sorção de filmes poliméricos hidrofílicos, o estudo do efeito do glicerol é essencial.

Muitas pesquisas foram realizadas para determinar as propriedades funcionais dos filmes (SABAGHI; MAGHSOUDLOU; HABIBI, 2015; HU et al., 2018; CHANTAWEE; RIYAJAN 2019) pois os filmes ganham ou perdem umidade quando armazenados em diferentes condições de umidade relativa (BERGO; MORAES; SOBRAL, 2012). Assim, suas propriedades físicas são fortemente afetadas pelo teor de água, e a vida útil dos alimentos embalados com esses filmes depende da capacidade de transferir umidade através do filme (DTHMAN et al., 2017). Este processo está diretamente relacionado aos mecanismos de deterioração, tais como a oxidação de lipídeos e a atividade microbiana (ROBERTSON, 2013). Parâmetros como a umidade relativa e a temperatura ambiente, influenciam na quantidade e na taxa de transferência de umidade (DTHMAN et al., 2017).

A análise das interações entre filmes e moléculas de água é de grande importância na área de embalagens, onde os filmes podem ser aplicados como uma barreira eficiente para prevenir a hidratação ou desidratação de alimentos (DELGADO et al., 2018). A sorção de água pode induzir mudanças físicas na estrutura dos materiais poliméricos e a estrutura da água absorvida reflete suas propriedades físicas e químicas (ICHIKAWA et al., 2001).

No entanto, ainda não existem estudos do impacto de diferentes concentrações de glicerol nas propriedades de sorção de filmes a base de proteínas miofibrilares liofilizadas de peixes (PML) relacionados à sua estabilidade. Assim, existe a necessidade de avaliar as características higroscópicas de filmes nas condições de armazenamento de alimentos embalados. Portanto, o objetivo do trabalho foi avaliar o efeito do glicerol nas propriedades funcionais e no comportamento de sorção de água de filmes biodegradáveis elaborados com proteínas miofibrilares obtidas a partir de resíduos de pescada amarela (*Cynoscion acoupa*).

2 MATERIAL E MÉTODOS

2.1 MATERIAL

Foram utilizadas aparam de pescada amarela (*Cynoscion acoupa*) doadas pela Indústria Pesqueira localizada em Icoaraci (Belém-PA, Brasil). O glicerol e o hidróxido de sódio foram adquiridos da Vetec Química, Duque de Caxias-RJ, Brasil.

2.2 PRÉ-TRATAMENTO DA MATÉRIA-PRIMA

As aparam de pescada amarela (*Cynoscion acoupa*) foram embaladas e colocadas dentro de caixas térmicas com gelo, transportadas para o laboratório da Universidade Federal do Pará e higienizadas com água clorada (5 ppm) a 4°C por 5 min. Em seguida, as peles, espinhas e outros materiais foram removidos para obter a massa muscular, que posteriormente foi embalada a vácuo (nylon/polietileno), congelada e armazenada a -8°C.

2.3 OBTENÇÃO DAS PROTEÍNAS MIOFIBRILARES LIOFILIZADA (PML)

Para a extração de proteínas miofibrilares, utilizou-se a metodologia proposta por Pereira et al. (2019a), com modificações. A massa muscular do peixe foi misturada três vezes com três volumes de solução NaCl (50 mM) (Synth PA-ACS) por 5 min, homogeneizada (Tecnal, Turratec, Piracicaba-SP, Brasil) a uma velocidade de 10.000 rpm por 5 min. Em seguida, foi adicionada a fração retida três volumes de solução de ácido fosfórico de 0,05%, para desodorizar a amostra e, posteriormente, foram adicionados três volumes de água destilada a 4°C. Ao final de cada etapa, a amostra foi filtrada. O material obtido foi congelado a -22°C durante 24 horas e liofilizado (Liotop, L101) para obtenção das proteínas miofibrilares liofilizadas (PML).

O produto obtido foi submetido à análise de eletroforese em gel de poliacrilamida com dodecil sulfato de sódio (SDS-PAGE), e a corrida foi realizada em 8% de gel de separação e 5% de empilhamento. A estimativa das massas moleculares da PML foi calculada com os dados de regressão linear obtidos pelo log MM e migração relativa (MR) (Figura 1) utilizando o programa Statistica 13.1.

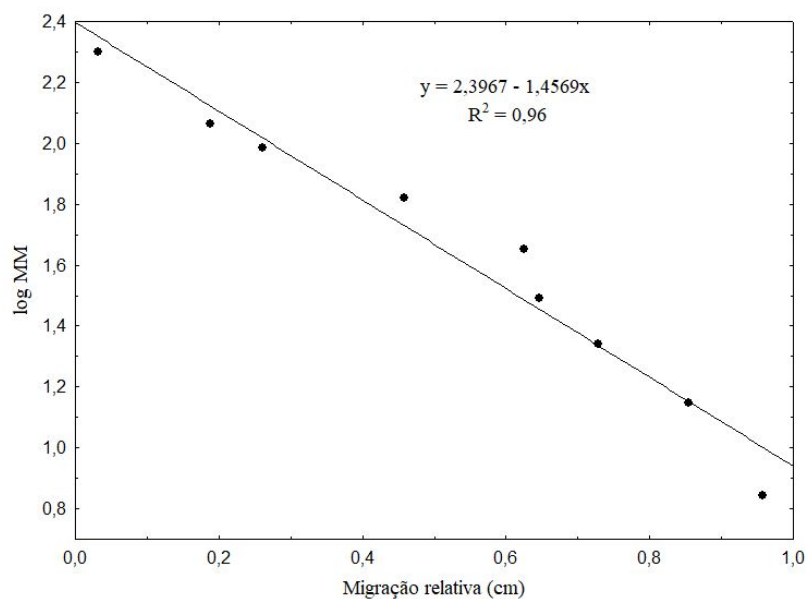


Figura 1. Gráfico de regressão linear da proteína padrão (SDS-PAGE) de eletroforese. MM: representa a massa molecular das proteínas. A migração relativa foi calculada pela razão entre a migração relativa de cada banda no gel e o total das bandas.

2.4 OBTENÇÃO DE FILMES BIODEGRADÁVEIS

Os filmes foram preparados de acordo com a metodologia proposta por Zavareze et al. (2012), com modificações por Pereira et al. (2019a). A PML foi triturada e peneirada (malha de 0,42 mm) para facilitar a homogeneização. Os filmes foram preparados pelo método de casting, onde 1g da proteína foi solubilizada em 100 ml de água (p/v) e o pH da solução foi ajustado para 11,0 com NaOH a 2M. O glicerol foi utilizado como plastificante nas concentrações de 5, 10, 15, 30 e 40% (p/p), cujas amostras foram denominadas como E1, E2, E3, E4 e E5, respectivamente. Após a adição do glicerol, a solução foi homogeneizada a 10,000 rpm durante 5 minutos, usando um homogeneizador (Ultra Agitador - Ultra 380, Jacareí -SP). Em seguida, a solução foi mantida em banho-maria (Tecnal - TE-057, Piracicaba-SP) a 50 °C por 30 min. para obtenção da solução filmogênica (SF).

A SF foi filtrada e a espessura dos filmes foi controlada pelo volume de 120 mL colocado no suporte de silicone (22 cm de diâmetro x 3 cm de altura) para manter a uniformidade e garantir a comparação das propriedades, que posteriormente foi seco em D.B.O. com circulação forçada de ar (Quimis - Q315M16, Diadema -SP) a 26 °C por 16 horas. Após a secagem, os filmes foram embalados a vácuo e armazenado a 25 °C.

2.5 PROPRIEDADES FUNCIONAIS DOS FILMES

Para medir a espessura dos filmes, utilizou-se um micrometro digital (Insize, modelo IP54, Brasil) com resolução de 0,001 mm. Oito medições aleatórias foram feitas em torno dos filmes.

2.5.1 Permeabilidade ao vapor de água (PVA)

A PVA dos filmes foi determinada pelo método modificado ASTM D882-95 (ASTM, 2003). Para isso, os filmes foram fixados com adesivo de silicone em um frasco de vidro de 4,5 cm x 7,0 cm (diâmetro x altura), contendo 10 g de gel de sílica (0% RH; 0 pressão de vapor (Pa); 30°C). Os frascos foram colocados em um dessecador com água destilada a 30°C (99% de UR e pressão de vapor de 4.244,9 Pa) e pesados a cada hora durante 10 horas. As análises de PVA foram realizadas em triplicado calculado pela Equação 1.

$$PVA = \left(\frac{\Delta W}{t} \right) * \left(\frac{X}{A * \Delta P} \right) \quad (1)$$

Onde PVA = permeabilidade ao vapor de água ($\text{g} \cdot \text{m}^{-1} \cdot \text{s}^{-1} \cdot \text{Pa}^{-1}$); ΔW = aumento de peso do dessecante (g); X = espessura do filme (m); A = área de superfície exposta do filme (m^2); t = tempo (s) de incubação e ΔP = diferença de pressão parcial (MPa).

2.5.2 Solubilidade em água

Os discos de filme de 2 cm de diâmetro foram secos em um forno a 105°C durante 24 horas para determinar a matéria seca. Após a pesagem, as amostras foram imersas em recipientes contendo 50 mL de água destilada. O sistema foi agitado em uma Incubadora Shaker refrigerada (Cientec, CT-712RNT, São Paulo-Brasil) a 150 rpm por 24 horas a 25°C. Em seguida, os filmes foram secos a 105°C durante 24 horas para determinar a matéria seca não solubilizada em água (Equação 2) (GONTARD; GUILBERT; CUQ, 1992)

$$Sol. (\%) = \frac{M_i - M_f}{M_i} \times 100 \quad (2)$$

Onde Sol (%) é a porcentagem do material solubilizado; M_i é a massa inicial (db) da amostra (g) e M_f (db) é a massa final da amostra (g).

2.5.3 Resistência à tração (RT) e alongação na ruptura (E)

A resistência à tração (RT) e a alongação (E) na ruptura dos filmes foram determinados pela metodologia ASTM D882-91 (ASTM, 1996) em analisador de textura (QTS - Brookfield, Rio de Janeiro-RJ, Brasil) à temperatura ambiente (25°C). A abertura

inicial das garras e a velocidade da sonda foram de 50 mm e 1 mm.s⁻¹, respectivamente. As amostras foram cortadas em pedaços de 100 mm x 25 mm (comprimento x largura) e RT e E foram calculados pelas Equações 3 e 4, respectivamente.

$$TS = F_m / A \quad (3)$$

Onde RT é a resistência à tração na ruptura (MPa); F_m é a força máxima quando o filme se rompe (N) e A é a área transversal do filme (m²).

$$E = \left(d_{final} / d_{inicial} \right) * 100 \quad (4)$$

Onde E é a alongação na ruptura (%); d_{final} é distância final no momento da ruptura (mm), e d_{inicial} é a abertura inicial de separação (50 mm).

2.6 OBTENÇÃO DAS ISOTERMAS DE SORÇÃO DE UMIDADE

As isotermas de umidade de adsorção e dessorção foram obtidas em um Analisador de Sorção de Vapor (VSA) (Aqualab VSA, Decagon, WA, EUA). Uma quantidade representativa de amostras (300 a 900 mg) foi pesada na cápsula de aço inoxidável da microbalança. Foi utilizado o método de sorção de vapor dinâmico (DVS), e o equipamento foi programado para obter os dados em um ciclo de adsorção-dessorção para uma faixa de a_w de 0,1 a 0,9.

A condição de equilíbrio foi programada para ocorrer quando em duas leituras consecutivas a relação entre a variação da massa e do tempo ($\Delta m / \Delta t$) fosse menor que 0,05. Ao final da análise, a umidade da amostra foi determinada em estufa a 105 °C (AOAC, 2000). Dados de adsorção e dessorção a 30 °C foram obtidos para as cinco formulações dos filmes. Os ajustes de seis modelos matemáticos (Tabela 1) aos dados experimentais de adsorção e dessorção foram avaliados para as cinco formulações dos filmes biodegradáveis.

Tabela 1. Modelos matemáticos ajustados aos dados de sorção dos filmes.

Modelos		Autores
BET	$m_{eq} = \frac{(X_m \cdot C \cdot a_w) \cdot (1 - (n + 1) \cdot a_w^n + n \cdot a_w^{n+1})}{(1 - a_w) \cdot (1 + (C - 1) \cdot a_w - C \cdot a_w^{n+1})}$	Brunauer, Emmett e Teller (1938)
GAB	$m_{eq} = \frac{X_m \cdot C \cdot K \cdot a_w}{(1 - k \cdot a_w) \cdot (1 - K \cdot a_w + C \cdot K \cdot a_w)}$	Van Den Berg (1984)
Oswin	$m_{eq} = A \cdot \left(\frac{a_w}{1 - a_w} \right)^B$	Oswin (1946)
Peleg	$m_{eq} = K_1 \cdot a_w^{n1} + K_2 \cdot a_w^{n2}$	Peleg (1988)
Halsey	$m_{eq} = \left(\frac{-a}{\ln a_w} \right)^{\frac{1}{b}}$	Halsey (1948)
Henderson	$m_{eq} = \left(\frac{-\ln(1 - a_w)}{k} \right)^{\frac{1}{N}}$	Henderson (1952)

m_{eq} = conteúdo de água no equilíbrio (g água/100 g db); X_m = teor de água na monocamada molecular (g água/100 g db); a_w = atividade da água, adimensional; C, K, N, A, B, K1, K2, k, n, n1, n2, a, b são parâmetros dos modelos. A restrição para a equação de Peleg é que $n1 < 1$ e $n2 > 1$.

2.7 ANÁLISE ESTATÍSTICA

Os resultados das propriedades dos filmes foram submetidos à análise de variância (ANOVA) e teste de Fisher (LSD) com significância de 5%. Os modelos matemáticos apresentados na Tabela 1 foram ajustados aos dados experimentais de adsorção e desorção dos filmes por regressão não linear. Para isso, utilizou-se o algoritmo Quasi-Newton com critério de convergência de 10^{-6} , utilizando-se o *Statistica 13.1*.

Para avaliar a adequação dos modelos aos dados experimentais, utilizou-se o maior valor do coeficiente de determinação ajustado ($R^2_{ajustado}$) ou o menor valor do erro médio quadrático (MS_E) (MONTGOMERY; RUNGER, 2018).

3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

3.1 ELETROFORESE (SDS-PAGE) DE PROTEÍNAS MIOFIBRILARES LIOFILIZADAS

A Figura 2 mostra o perfil eletroforético de proteínas miofibrilares extraídas de acoupa weakfish, mostrando padrões de proteínas de pesos moleculares conhecidos e as várias frações de proteínas presentes.

As proteínas contráteis miofibrilares, actina e miosina podem ser evidenciadas principalmente pela presença da cadeia pesada de miosina (banda *a*) e os fragmentos de actina, tropomiosina e troponina (bandas *d*, *e*, *f*). A presença de várias frações proteicas na amostra ocorreu devido as fracas interações de hidrogênio, presentes na estrutura das

proteínas, que se romperam quando essas proteínas foram diluídas em solução de dodecil sulfato de sódio a 10% (SDS) (KAEWPRACHU et al., 2016).

As cadeias leves de miosina podem ser vistas entre as bandas *f* e *h* (Figura 2, II). A presença da banda *h* pode corresponder a ambos os fragmentos da cadeia leve da miosina e das subunidades da troponina T ou β -actinina (ARAÚJO et al., 2018). Portanto, o método de extração usado para obter proteínas miofibrilares foi considerado satisfatório, sendo confirmado pelo perfil eletroforético. Também foram encontradas frações da cadeia pesada de miosina e actina em proteínas miofibrilares de tilápia *in natura* (*Oreochromis niloticus*) por eletroforese em gel (SDS-PAGE) (KAEWPRACHU et al., 2016).

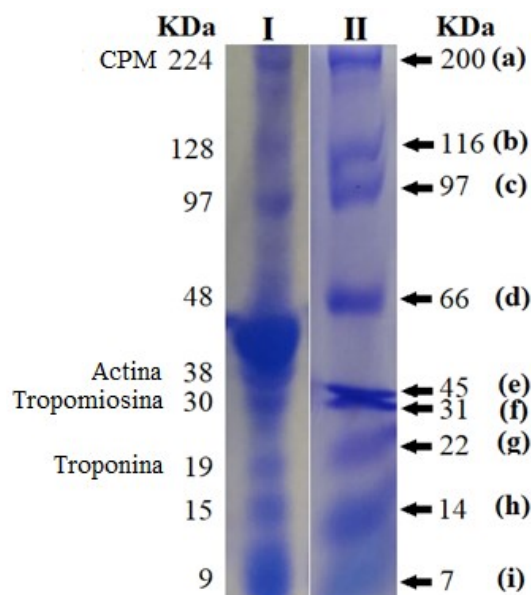


Figura 2. Eletroforetograma (SDS-PAGE) de proteínas miofibrilares liofilizada (PML) - I: proteína padrão; II: Padrão - padrões de proteína BIO RAD: (a) miosina; (b) β -galactosidade; (c) Fosforilase B; (d) albumina de soro bovino; (e) Ovalbumina; (f) anidrase carbônica; (g) Inibidor de tripsina de soja; (h) lisozima e (i) aprotinina. CPM: cadeia pesada de miosina. A estimativa das massas moleculares de PML foi calculada usando a equação da linha log MM e migração relativa (Figura 1).

3.2 PROPRIEDADES FUNCIONAIS DOS FILMES

Os filmes produzidos eram visualmente transparentes e incolores, e quando retirados dos suportes, podiam ser manipulados (Figura 3). Os filmes com 30 e 40% de glicerol apresentaram estrutura contínua, sem fraturas ou rupturas após a secagem. No

entanto, estes estavam mais aderidos aos suportes, provavelmente devido as altas concentrações de glicerol. Filmes com menores concentrações de glicerol (5 a 15%), por outro lado, eram mais quebradiços.

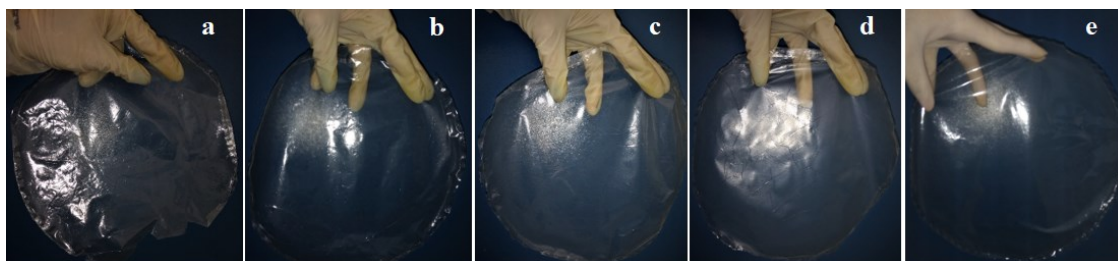


Figura 3. Filme biodegradável com diferentes concentrações de glicerol: a = 5%; b = 10%; c = 15%; d = 30% e e = 40%.

Os valores de espessura, permeabilidade ao vapor de água (PVA), solubilidade e propriedades mecânicas (RT e E) dos filmes estudados são apresentados na Tabela 2.

Tabela 2. Valores de espessura, permeabilidade ao vapor de água (PVA), solubilidade em água, resistência à tração (RT) e alongamento (E) na ruptura de filmes elaborados com proteínas miofibrilares.

Filmes (% de Glicerol)	Espessura (mm)	PVA ($\times 10^{-11} \text{ gm}^{-1}\text{s}^{-1}\text{Pa}^{-1}$)	Solubilidade (%)	RT (MPa)	E (%)
5% (E1)	0,026 \pm 0,002 ^b	2,19 \pm 0,18 ^b	20,08 \pm 0,10 ^d	28,46 \pm 1,26 ^a	103,72 \pm 0,91 ^d
10% (E2)	0,027 \pm 0,001 ^b	2,37 \pm 0,39 ^b	28,12 \pm 0,84 ^c	20,99 \pm 1,38 ^b	105,03 \pm 1,78 ^d
15% (E3)	0,027 \pm 0,001 ^b	2,42 \pm 0,07 ^b	30,46 \pm 0,98 ^b	14,16 \pm 0,69 ^c	107,48 \pm 0,78 ^c
30% (E4)	0,035 \pm <0,001 ^a	3,83 \pm 0,70 ^a	32,04 \pm 0,55 ^b	10,62 \pm 0,56 ^d	131,29 \pm 1,74 ^b
40% (E5)	0,038 \pm 0,004 ^a	3,99 \pm 0,23 ^a	39,33 \pm 0,70 ^a	6,30 \pm 0,57 ^e	180,96 \pm 1,82 ^a

Letras minúsculas na coluna indicam diferenças estatísticas ($p \leq 0,05$).

3.2.1 Espessura e permeabilidade ao vapor de água (PVA)

A espessura dos filmes (Tabela 2) foi constante até 15% de glicerol, mas a partir de 30% de glicerol, a espessura aumentou. Isso pode ser atribuído ao maior teor de sólidos solúveis nessas formulações, o que aumentou a viscosidade da matriz durante a preparação dos filmes. Na matriz polimérica, a reorganização na matriz afeta a estrutura dos filmes e provoca tensões internas que influenciam a permeação (PARK; CHINNAN, 1995).

A PVA dos filmes também aumentou ($p \leq 0,05$) com a concentração de glicerol (Tabela 2). Esse comportamento pode ser atribuído à natureza hidrofílica do plastificante que promove processos de sorção de água, alterando a permeabilidade dos filmes e as interações entre a cadeia polimérica de proteínas, água e plastificante. Os maiores valores de PVA estão relacionados à abertura da macromolécula e à entrada facilitada do glicerol na rede proteica, o que favorece a difusão da água nos filmes (SOUZA; SOBRAL; MENEGALLI, 2012).

3.2.2 Solubilidade em Água

Observou-se aumento da solubilidade dos filmes ($p \leq 0,05$) para maiores concentrações de glicerol na formulação (Tabela 2). Esse comportamento também pode ser atribuído ao caráter hidrofílico do glicerol, bem como à desnaturação de proteínas (SOUZA et al., 2012). Ao interagir com a matriz polimérica, o glicerol aumenta o espaço entre as cadeias. Esse fato facilita a migração da água para a matriz e, portanto, aumenta a solubilidade do filme (CHIUMARELLI; HUBINGER, 2012). Esta propriedade é importante para definir o tipo de aplicação desses filmes, pois indica seu comportamento quando imerso em água ou em contato com ambientes úmidos.

Foi observada diferença ($p \leq 0,05$) no ensaio E2 (glicerol a 10%) em comparação com os ensaios E3 e E4 (15 e 30% de glicerol), que provavelmente pode estar relacionado à não solubilização proteica, pois no ensaio E2 houve uma interação intermolecular mais significativa entre o polímero e o plastificante. Nos ensaios E3 e E4, a interação intermolecular incompleta nas maiores concentrações de glicerol e proteína produz locais livres na cadeia plastificante, aumentando a solubilização. Provavelmente a matéria seca solubilizada na água consiste principalmente de plastificante (CUQ et al., 1997).

De acordo com a interação na matriz, a rede de proteínas provavelmente não se solubilizará ou se dispersará na água. A manutenção da integridade dos filmes à base de proteínas, durante o teste de solubilidade, é um indicativo de que a matriz proteica não foi totalmente desestabilizada (SOUZA et al., 2012). Filmes obtidos de isolado de proteína de pescada (5,8g) adicionado de 1,4g de glicerol em diferentes concentrações (3 e 5% de proteína isolada) apresentaram valores de solubilidade em torno de $48,9 \pm 2,2$ e $43,4 \pm 0,7$, respectivamente (NOGUEIRA; MARTINS, 2018).

3.2.3 Propriedades mecânicas

Houve redução da resistência à tração (RT) e aumento do alongamento (E) na ruptura dos filmes PML ($p \leq 0,05$) com o aumento da concentração de glicerol na formulação (Tabela 2). Plastificantes são materiais que interagem com as cadeias poliméricas por meio de ligações de hidrogênio, proporcionando melhores propriedades mecânicas e reduzindo a ligação intermolecular de hidrogênio como consequência do aumento do espaçamento (CHANTAWEE; RIYAJAN, 2019).

O uso de plastificantes reduz a fragilidade e/ou melhora a capacidade de trabalho do filme devido diminuir as interações intermoleculares entre as cadeias de biopolímeros adjacentes, resultando em maior mobilidade entre as cadeias e filmes mais flexíveis. Esses compostos reduzem a tensão de deformação, dureza, a viscosidade dentro da matriz polimérica, aumentando a flexibilidade e resistência à ruptura dos filmes (VIEIRA et al, 2011).

Os resultados de RT e E indicam que a adição de glicerol nas formulações dos filmes de PML ocasionou alterações significativas nas propriedades mecânicas, promovendo mudanças intensas nas interações entre moléculas de proteínas. Ao utilizar proteínas miofibrilares na preparação de filmes com 50 % de glicerol, Pereira et al. (2019b) obtiveram valores de RT e E de 2,10 MPa e 49,05%, respectivamente. Filmes compostos poliméricos de éter diglycidyl de glicerol (2%) adicionados de materiais de resíduos industriais (torta de colza, gesso fosfatado ou farinha de chifre) (5, 10, 15 ou 20% em peso), apresentaram RT e E mínimo e máximo de aproximadamente 25 a 140 MPa e 5 a 14%, respectivamente. (KASETAITE et al., 2017).

Portanto, a adição de glicerol (5 a 40%) refletiu na extensibilidade/elasticidade das formulações dos filmes PML, características importantes nas embalagens de alimentos. As propriedades mecânicas são extremamente importantes para manter a integridade dos filmes utilizados nas embalagens, durante o manuseio e armazenamento (WIHODO; MORARU, 2013).

3.3 PROPRIEDADES DE SORÇÃO

A Figura 4 mostra as isotermas de sorção de umidade de filmes biodegradáveis de PML obtidos com diferentes concentrações de glicerol. As variações na higroscopicidade dos filmes dependem tanto do teor de glicerol quanto da atividade de água (a_w). De acordo com as isotermas de sorção, os filmes adsorveram pequena quantidade de água em baixas concentrações de a_w e de glicerol (Figura 4). Em a_w menor que 0,2, o teor de

umidade dos filmes foi aproximado, com aumento mais pronunciado nas concentrações de 30 e 40% de Gli em a_w igual a 5,5. Entre as formulações de filme estudadas, amostras com menor concentração de glicerol (E1 e E2) apresentaram valores máximos de umidade de 37,59 e 39,27 g de água/100 g db, respectivamente, apresentando maior estabilidade ao serem utilizadas em produtos embalados e/ou revestidos armazenados.

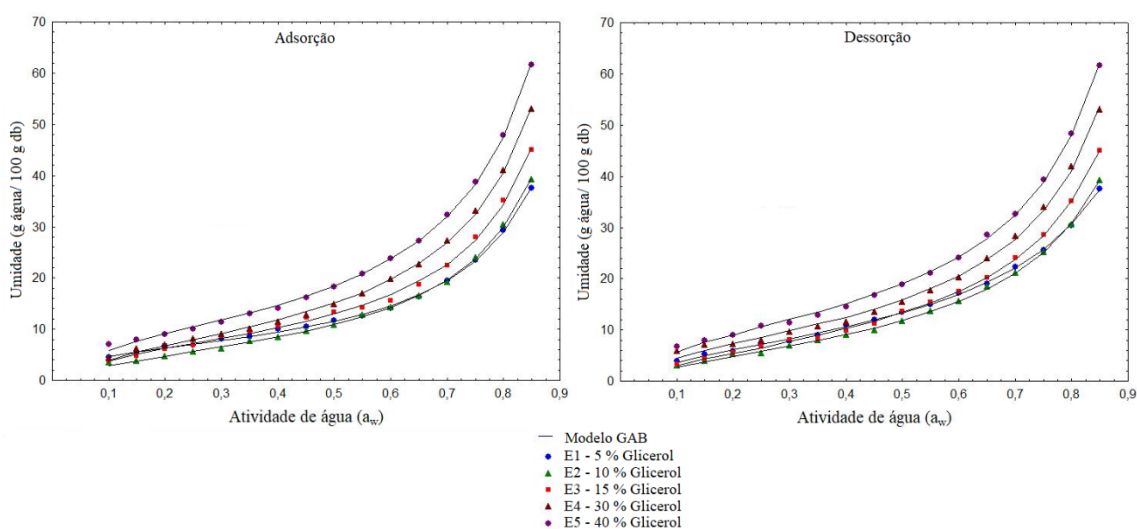


Figura 4. Isothermas de adsorção e dessorção de umidade de filmes biodegradáveis PML com diferentes concentrações de glicerol.

O aumento na umidade dos filmes biodegradáveis pode ser atribuído a uma reação incompleta entre uma grande quantidade de plastificante e locais livres na cadeia da proteína. Este fato aumenta o número de sítios ativos para adsorção de água devido à hidrofiliabilidade do material polimérico. O aumento da umidade dos filmes também pode ser explicado pela afinidade dos grupos de hidroxil glicerol para moléculas de água (SANYANG et al., 2016).

Moléculas de glicerol hidrofílicos podem ser inseridos entre cadeias de polímeros adjacentes, diminuindo atração intermolecular, aumentando a mobilidade molecular e proporcionando um aumento da migração de moléculas de água, especialmente para concentrações elevadas de glicerol (CHANTAWEE; RIYAJAN, 2019). Outra motivação para aumentar o teor de água nos filmes é a existência de uma rede rígida capaz de reter mais moléculas de água, formada pela introdução de açúcar na matriz (MOHAMMADI et al., 2013).

Quando produzidos com baixas concentrações de glicerol e em baixos níveis de a_w , a obtenção de filmes menos higroscópicos provavelmente se deve a algumas razões, como

as interações intermoleculares do plastificante, a intramolecular do biopolímero (proteínas) e o tipo de ligação de hidrogênio. Plastificantes pode induzir uma diminuição na mobilidade molecular e capacidade de ligação à água. Este problema indica a proteção eficaz contra a adsorção de umidade que o plastificante proporciona quando em baixas concentrações de glicerol, demonstrando que atua como uma barreira à transferência de vapor d'água entre o produto embalado e/ou revestido e o ambiente externo. Isso permite um armazenamento seguro e torna o produto menos suscetível ao ataque de microrganismos. A passagem de água e gases pelo material de embalagem é indesejável, pois está diretamente ligada aos mecanismos de deterioração dos alimentos, incluindo oxidação lipídica e atividade microbiana (ROBERTSON, 2013).

As isotermas de adsorção e dessorção dos filmes mostraram um comportamento tipo II para a formulação com 5% de glicerol e tipo III para as outras formulações (BRUNAUER et al., 1940). A isoterma do tipo II (forma sigmoideal) leva em consideração a existência de multicamadas na superfície interna de um material (MEDEIROS et al. 2006), e é a forma de isoterma mais comum em alimentos. A isoterma do tipo III (curva do tipo J) é conhecida como isoterma de Flory-Huggins, na qual a absorção do adsorbato aumenta exponencialmente com o aumento da pressão/concentração (NG et al., 2017). O comportamento do tipo II foi relatado para isotermas de adsorção de filmes de quitosana de baixo e alto peso molecular, adicionados 15 e 30% de glicerol (LECETA et al., 2015).

A mudança no comportamento isotérmico dos filmes pode ser atribuída a mudanças na composição da formulação devido à adição de glicerol. No filme com 5% de glicerol, a proteína (biopolímero) define o comportamento do tipo II da isoterma, enquanto nos demais filmes (10 a 40% de glicerol) os sólidos solúveis definem o comportamento do tipo III das isotermas (Figura 4). As isotermas típicas de sorção de proteínas apresentam uma primeira região na qual a água está ligada a locais carregados de proteínas e grupos altamente polares. Na segunda região, a transição é de água para multicamadas, onde a água se liga a sítios de sorção mais fracos, e por meio do agrupamento de volumes livres criados pelo intumescimento do polímero. Na terceira região, a água é condensada em sítios de proteínas frágeis e/ou em camadas de água fracamente mantidas (TOWN, 1995).

Na Figura 5 são apresentadas as isotermas de adsorção e dessorção evidenciando o fenômeno de histerese. A histerese está relacionada à natureza e ao estado dos componentes de um produto, refletindo o potencial para rearranjos estruturais e conformacionais, o que altera a acessibilidade de locais polares energeticamente favoráveis (RAJI; OJEDIRAN, 2011).

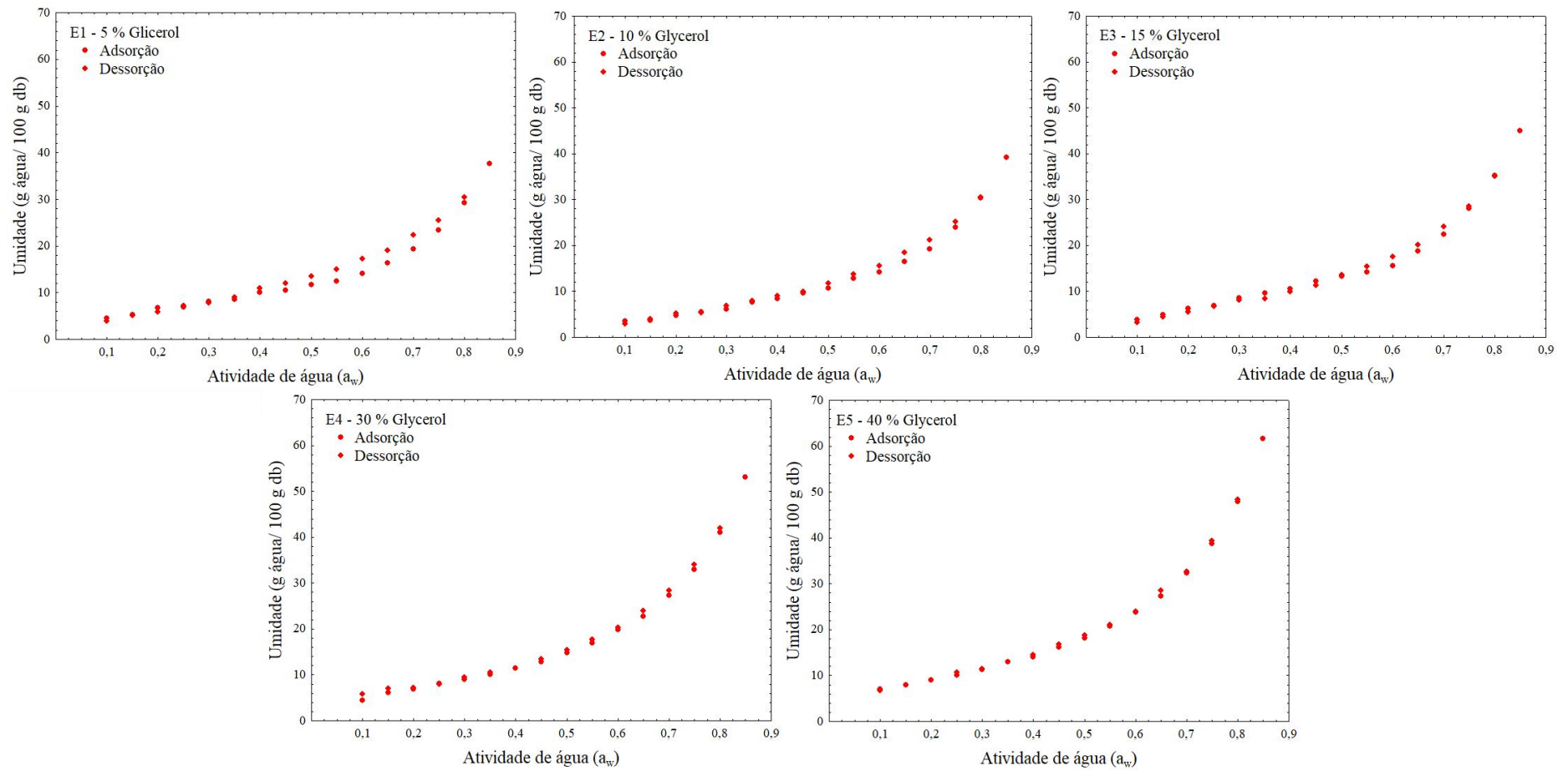


Figura 5. Histerese de filmes biodegradáveis de proteínas miofibrilares adicionados com diferentes concentrações de plastificante.

A histerese reduziu com o aumento da concentração de glicerol na formulação do filme; para os filmes com 30 e 40% de glicerol, a histerese desapareceu. A redução da higroscopicidade para o processo de dessorção do filme pode ser atribuída ao aumento da concentração de glicerol. Os filmes adicionados com maiores concentrações de Gli apresentam mais água absorvida, perdendo água até atingir o equilíbrio, conforme observado nos testes E4 e E5. Ao contrário, a formulação E1 com menos glicerol apresentou mais grupos hidrofílicos disponíveis na estrutura da proteína para interação mais significativa com a água, proporcionando maior histerese. Este fenômeno de histerese pode ser usado como um índice de qualidade para alimentos, uma vez que um aumento na histerese indica uma redução na estabilidade do produto; por outro lado, sua redução ou ausência indica melhor estabilidade do produto durante o armazenamento (CAURIE, 2007).

O fenômeno de histerese observado para os filmes pode ser atribuído à combinação complexa dos vários constituintes do produto, como proteína e glicerol, que não só podem adsorver água de forma independente, mas também podem interagir uns com os outros aumentando a capacidade de adsorção de água. Na adsorção, os poros capilares do adsorvente tornam-se elásticos e incham durante a dessorção (RAO, 1941). A remoção da água causa encolhimento e colapso da estrutura capilar porosa.

O estudo das interações entre filmes e/ou revestimentos e moléculas de água é de grande importância no setor de embalagens, onde se determina se podem ser aplicados como uma barreira eficiente para prevenir a hidratação ou desidratação de alimentos embalados. Dependendo do tipo de alimento no qual o revestimento e/ou filme será aplicado, pode requerer baixa permeabilidade ao vapor de água. Para alimentos com baixa característica higroscópica, como pós e desidratados, embalagens com baixa permeabilidade seriam mais adequadas, ao contrário de produtos *in natura*, como frutas e vegetais, embalagens com alta permeabilidade seriam recomendadas.

3.4 MODELAGEM DE SORÇÃO

As Tabelas 3 e 4 apresentam os parâmetros matemáticos de adsorção e dessorção de umidade dos filmes, respectivamente. Os modelos Halsey, GAB e PELEG apresentaram os maiores valores de R^2_{ajustado} e os menores valores de MS_E ; portanto, eles podem ser usados para prever os processos de adsorção e dessorção. Uma boa adequação do modelo GAB pode ser observada na Figura 4, visto ser um modelo recomendado para estimar a umidade de equilíbrio dos filmes estudados.

Tabela 3. Parâmetros ajustados de modelos de sorção para dados experimentais de adsorção de umidade.

Modelos	Parametros	R ² _{ajustado}	MSE	Parametros	R ² _{ajustado}	MSE
		E1			E2	
BET	X _m = 2,75 C = 2,07 n = 0,03	0,999	0,135	X _m = 3,26 C = 1,88 n = 0,01	0,999	0,154
GAB	X _m = 6,19 C = 18,37 K = 0,99	0,999	0,110	X _m = 6,48 C = 5,78 K = 0,99	0,999	0,108
Oswin	A = 12,03 B = 0,63	0,986	1,310	A = 11,00 B = 0,72	0,996	0,430
PELEG	K ₁ = 16,26 n ₁ = 0,58 K ₂ = 68,41	0,999	0,057	K ₁ = 72,51 n ₁ = 7,00 K ₂ = 18,26	0,999	0,137
Halsey	n ₂ = 6,77 a = 14,81 b = 1,25	0,997	0,230	n ₂ = 0,84 a = 9,60 b = 1,11	0,999	0,110
Henderson	k = 0,06 N = 0,99	0,953	4,309	k = 0,09 N = 0,84	0,977	2,558
		E3			E4	
BET	X _m = 3,51 C = 1,97 n = 0,02	0,998	0,372	X _m = 4,35 C = 1,91 n = 0,01	0,998	0,402
GAB	X _m = 7,34 C = 8,41 K = 0,99	0,998	0,341	X _m = 8,96 C = 6,28 K = 0,98	0,999	0,212
Oswin	A = 13,19 B = 0,69	0,992	1,201	A = 15,30 B = 0,71	0,996	0,775
PELEG	K ₁ = 84,83 n ₁ = 7,01 K ₂ = 20,27	0,999	0,143	K ₁ = 21,50 n ₁ = 0,70 K ₂ = 88,19	0,999	0,169
Halsey	n ₂ = 0,73 a = 13,06 b = 1,15	0,997	0,388	n ₂ = 5,99 a = 14,78 b = 1,13	0,999	0,161
Henderson	k = 0,07 N = 0,89	0,968	4,639	k = 0,07 N = 0,86	0,977	4,636
		E5				
BET	X _m = 4,87 C = 1,97 n = 0,01	0,998	0,601			
GAB	X _m = 10,41 C = 9,52 K = 0,98	0,999	0,236			
Oswin	A = 18,85 B = 0,67	0,994	1,610			
PELEG	K ₁ = 25,19 n ₁ = 0,63 K ₂ = 100,98	0,999	0,343			
Halsey	n ₂ = 5,97 a = 22,04 b = 1,19	1,000	0,054			
Henderson	k = 0,05 N = 0,92	0,971	7,741			

X_m = teor de água na monocamada molecular (g água / 100 g db); C, K, N, A, B, K₁, K₂, k, n, n₁, n₂, a, b = constantes de ajuste do modelo. A restrição para a equação de Peleg é que n₁ < 1 e n₂ > 1.

Tabela 4. Parâmetros ajustados de modelos de sorção para dados experimentais de dessecção de umidade.

Modelos	Parametros	R ² ajustado	MSE	Parametros	R ² ajustado	MSE
		E1			E2	
BET	X _m = 2,03	0,991	0,988	X _m = 2,56	0,996	0,447
	C = 2,72 n = 0,18			C = 2,31 n = 0,12		
GAB	X _m = 7,79	0,999	0,094	X _m = 8,59	0,999	0,083
	C = 6,16 K = 0,92			C = 4,19 K = 0,95		
Oswin	A = 13,45	0,999	0,069	A = 11,91	0,999	0,086
	B = 0,59 K ₁ = 22,48			B = 0,68 K ₁ = 58,91		
PELEG	n ₁ = 0,82	0,999	0,163	n ₁ = 6,29	0,999	0,177
	K ₂ = 48,96 n ₂ = 6,29			K ₂ = 20,40 n ₂ = 0,89		
Halsey	a = 21,06	0,994	0,619	a = 12,03	0,996	0,483
	b = 1,33 k = 0,04			b = 1,17 k = 0,07		
Henderson	N = 1,07	0,988	1,246	N = 0,91	0,988	1,436
		E3		E4		
BET	X _m = 3,03	0,997	0,488	X _m = 4,39	0,995	1,025
	C = 2,25 n = 0,11			C = 1,91 n = 0,00		
GAB	X _m = 8,76	1,000	0,078	X _m = 9,34	0,997	0,580
	C = 4,26 K = 0,96			C = 7,02 K = 0,98		
Oswin	A = 13,43	0,999	0,108	A = 16,07	0,995	1,055
	B = 0,69 K ₁ = 69,37			B = 0,68 K ₁ = 81,71		
PELEG	n ₁ = 6,35	0,999	0,153	n ₁ = 5,13	0,999	0,259
	K ₂ = 22,99 n ₂ = 0,89			K ₂ = 18,62 n ₂ = 0,55		
Halsey	a = 13,35	0,996	0,567	a = 17,33	0,998	0,353
	b = 1,15 k = 0,07			b = 1,17 k = 0,06		
Henderson	N = 0,89	0,987	1,949	N = 0,90	0,976	4,908
		E5				
BET	X _m = 4,68	0,997	0,982			
	C = 2,04 n = 0,03					
GAB	X _m = 10,96	0,999	0,260			
	C = 8,40 K = 0,97					
Oswin	A = 19,33	0,996	1,192			
	B = 0,66 K ₁ = 26,00					
PELEG	n ₁ = 0,64	0,999	0,338			
	K ₂ = 95,96 n ₂ = 5,76					
Halsey	a = 23,92	0,999	0,163			
	b = 1,21 K = 0,04					
Henderson	N = 0,94	0,975	6,770			

X_m = teor de água na monocamada molecular (g água / 100 g db); C, K, N, A, B, K₁, K₂, k, n, n₁, n₂, a, b = constantes de ajuste do modelo. A restrição para a equação de Peleg é que n₁ < 1 e n₂ > 1.

O modelo Peleg por ser considerado um modelo complexo e conter quatro parâmetros só é utilizado quando não é possível obter um bom ajuste com modelos mais simples. A equação de Halsey é um modelo de sorção multimolecular, segundo o qual a energia de ligação da água é uma função da força de sorção (AGUIRRE-LOREDO; RODRIGUEZ-HERNANDEZ; VELAZQUEZ, 2017), assumindo que a energia potencial de uma molécula varia com a potência inversa de sua distância da superfície (CRAPISTE; ROTSTEIN, 1982).

O modelo GAB tem sido amplamente utilizado para descrever o comportamento de sorção de água de alimentos (BIZOT, 1984). Este modelo é o mais utilizado para descrever processos de sorção de água em filmes biodegradáveis (OTHMAN et al., 2019). O modelo GAB representa adequadamente os dados experimentais na faixa a_w de maior interesse prático em alimentos (0,10 a 0,90 a_w) (PEDRO; TELIS-ROMERO; TELIS, 2010). Este modelo é considerado um modelo relativamente simples, cujo os parâmetros têm significado físico. O modelo envolve três parâmetros: a monocamada de umidade (X_m), a constante de Guggenheim do calor da superfície (C) e o fator de correção de multicamadas (K).

Os valores de umidade da monocamada (X_m), estimados pelo modelo GAB, aumentaram conforme maiores concentrações de glicerol nos filmes e variaram de 6,19 a 10,41 g água/ 100 g db para o processo de adsorção, e de 7,79 a 10,96 g água/ 100 g db para o processo de dessorção (Tabela 3 e 4). O comportamento observado é atribuído à hidrofiliabilidade do glicerol, utilizado como plastificante, que promove menor interação com cadeias poliméricas e maior afinidade por moléculas de água (CHANTAWEE; RIYAJAN, 2019). Aumento da umidade de equilíbrio nos filmes de quitosana para as concentrações de 15 e 30% de glicerol, obtendo valores de X_m na faixa de 10,4 a 15,9 g/ 100 g db para isotermas de adsorção (LECETA et al., 2015). X_m é considerado um parâmetro importante pois garante a estabilidade alimentar, indicando a quantidade de água que está fortemente adsorvida no produto (GABAS et al., 2009).

O parâmetro C da equação GAB apresentou maior valor quando foram adicionadas as concentrações mínimas (ensaio E1) e máximas (ensaio E5) de glicerol, representadas nos processos de adsorção e dessorção, respectivamente. O parâmetro C no modelo GAB está relacionado à natureza do fenômeno de adsorção, pois reflete as diferenças entre a entalpia de dessorção da monocamada (LEWICKI, 1997). Esse fato indica que a água está mais fortemente ligada às áreas hidrofílicas quando o biopolímero (proteína) e o glicerol são mais evidenciados na matriz. Filmes representados por E2 na dessorção, com

o menor valor C, significam que a interação umidade da monocamada foi a mais fraca para este filme.

Os valores constantes de K não foram afetados pela adição de glicerol. O valor de K próximo a 1 indica que a água ao lado da monocamada apresenta propriedades de água líquida pura (CHANG et al., 2019). O valor de K manteve-se dentro da faixa registrada na literatura para filmes biodegradáveis (0,92-0,98) (CARVALHO; GROSSO; SOBRAL, 2008).

4 CONCLUSÃO

No presente estudo foram obtidos filmes de proteínas miofibrilares de peixe com baixa permeabilidade ao vapor de água em todos os ensaios, elevada resistência à tração ($\leq 15\%$ glicerol) e alongamento ($\geq 30\%$ glicerol). O glicerol, adicionado aos filmes nas concentrações de 5 a 40%, afetou a solubilidade, com aumento de 95,97%. Filmes com maiores porcentagens de glicerol ($\geq 30\%$) foram menos resistentes à deformação (77,86%) e mais flexíveis (74,47%).

As isotermas de adsorção e dessorção dos filmes apresentaram mudança de comportamento, do tipo II para o tipo III, quando foram adicionadas concentrações de glicerol acima de 5%. O teor de umidade de equilíbrio dos filmes aumentou com a concentração de glicerol e a atividade de água (a_w). No entanto, o fenômeno de histerese de sorção diminuiu com o aumento da concentração de glicerol até seu desaparecimento em filmes adicionados com 30 e 40% de glicerol. O modelo GAB foi adequado para representar a relação entre a atividade de água e o teor de umidade de equilíbrio de filmes biodegradáveis na faixa de umidade relativa de 10-85% nas condições estudadas e com erros menores que 5%. Este modelo pode prever muito bem a isoterma de sorção de filmes.

O presente estudo demonstra que a presença de glicerol a 10% (E2) em filmes de proteínas miofibrilares diminuiu a capacidade de ligação da água a mono e multicamadas. Ele tem características boas para ser aplicados em alimentos com baixa característica higroscópica, como produtos em pós e desidratados, estendendo sua vida útil.

REFERÊNCIAS

AGUIRRE-LOREDO, R. Y.; RODRIGUEZ-HERNANDEZ, A. I.; VELAZQUEZ, G., (2017) Modelling the effect of temperature on the water sorption isotherms of chitosan films. **Food Science and Technology**, 37: 112–118.

ARAÚJO, C. S.; RODRIGUES, A. M. C.; JOELE, M. R. S. P.; ARAÚJO, E. A. F.; LOURENÇO, L. F. H. (2018) Optimizing process parameters to obtain a bioplastic using proteins from fish byproducts through the response surface methodology. **Food Packaging and Shelf Life**, 16: 23–30.

ASSIS, R. Q.; LOPES, S. M.; COSTA, T. M. H.; FLÔRES, S. H.; RIOS, A. O. (2017) Active biodegradable cassava starch films incorporated lycopene nanocapsules. **Industrial Crops and Products**, 109: 818–827.

ASSOCIATION OF OFFICIAL ANALYTICAL CHEMISTS (AOAC) (2000). Official methods of 494 analysis. In: Horwitz, W., 17^a ed. (pp. 2200), Gaithersburg, MD, USA: **AOAC 495 international**, v. 1 and v. 2.

ASTM (2003). **Annual book of ASTM standards**. Pennsylvania: American Society for Testing and Materials.

ASTM. D882-91 (1996). **Annual Book of ASTM Standards**. Philadelphia: Standard Test Methods for Tensile Properties of Thin Plastic Sheeting.

BERGO, P.; MORAES, I. C. F.; SOBRAL, P. J. A. (2012) Effects of Different Moisture Contents on Physical Properties of PVA-Gelatin Films. **Food Biophysics**, 7: 354–361.

BIZOT, H. (1984). Using the GAB model to construct sorption isotherms. In Physical properties of foods, Ed R. Jowitt, F. Escher, B. Hallstrom, H. F. T. Meffert, W. E. L. Spiess, and G. Vos. (pp. 27-41). **Applied Science Publishers**, London.

BRUNAUER, S.; DEMING, L. S.; DEMING, W. E.; TELLER, E. (1940) On a Theory of the van der Waals Adsorption of Gases. **Journal of the American Chemical Society**, 62: 1723–1731.

BRUNAUER, S.; EMMETT, P. H.; TELLER, E. (1938) Adsorption of Gases in Multimolecular Layers. **Journal of the American Chemical Society**, 60(2): 309–319. 510.

CARVALHO, B. R. A.; GROSSO, C. R. F.; SOBRAL, P. J. A. (2008) Effect of Chemical Treatment on the Mechanical Properties, Water Vapour Permeability and Sorption Isotherms of Gelatin-based Films. **Packaging Technology and Science**, 21: 165–169.

CAURIE, M. (2007) Hysteresis phenomenon in foods. **International Journal of Food Science & Technology**, 42, 45–49.

CHANG, L. S.; KARIM, R.; MOHAMMED, A. S.; CHAI, K. F.; GHAZALI, H. M. (2019) Moisture sorption isotherm and shelf-life prediction of anticaking agent

incorporated spray-dried soursop (*Annona muricata L.*) powder. **Journal of Food Process Engineering**, 42: 1–10.

CHANTAWEE, K.; RIYAJAN, S.-A. (2019) Effect of Glycerol on the Physical Properties of Carboxylated Styrene-Butadiene Rubber/Cassava Starch Blend Films. **Journal of Polymers and the Environment**, 27: 50–60.

Chiumarelli, M.; Hubinger, M. D. (2012) Stability, solubility, mechanical and barrier properties of cassava starch - Carnauba wax edible coatings to preserve fresh-cut apples. **Food Hydrocolloids**, 28: 59–67.

CRAPISTE, G. H.; ROTSTEIN, E. (1982) Prediction of Sorptional Equilibrium Data for Starch-Containing Foodstuffs. **Journal of Food Science**, 47: 1501–1507.

CUQ, B.; GONTARD, N.; CUQ, J. L.; GUILBERT, S. (1997) Selected Functional Properties of Fish Myofibrillar Protein-Based Films As Affected by Hydrophilic Plasticizers. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, 45: 622–626.

DELGADO, J. F.; PELTZER, M. A.; WAGNER, J. R.; SALVAY, A. G. (2018) Hydration and water vapour transport properties in yeast biomass based films: A study of plasticizer content and thickness effects. **European Polymer Journal**, 99: 9–17.

DTHMAN, S. H.; EDWAL, S. A. M.; RISYDN, N. P., BASHA, R. K.; TALIB, R. A. (2017) Water sorption and water permeability properties of edible film made from potato peel waste. **Food Science and Technology**, 37: 63–70.

FÉLIX, M.; LUCIO-VILLEGAS, A.; ROMERO, A.; GUERRERO, A. (2016) Development of rice protein bio-based plastic materials processed by injection molding. **Industrial Crops and Products**, 79: 152–159.

GABAS, A. L.; TELIS-ROMERO, J.; GIRALDO-GÓMEZ, G. I.; REGINA, V.; TELIS, N. (2009) Propiedades termodinámicas de sorción de agua de la pulpa de lulo en polvo con encapsulantes. **Ciência e Tecnologia de Alimentos**, 29: 911–918.

GONTARD, N.; GUILBERT, S.; CUQ, J.-L. (1992) Edible Wheat Gluten Films: Influence of the Main Process Variables on Film Properties using Response Surface Methodology. **Journal of Food Science**, 57: 190–195.

HALSEY, G. (1948) Physical Adsorption on Non-Uniform Surfaces. **Journal of Chemical Physics**, 16(10): 931–937.

HENDERSON, S. M. (1952) A basic concept of equilibrium moisture. **Agricultural Engineering**, 33(1): 29-32.

HU, X.; ZHANG, X.; TIAN, M.; QU, L.; ZHU, S.; HAN, G. (2016) Robust ultraviolet shielding and enhanced mechanical properties of graphene oxide/sodium alginate composite films. **Journal of Composite Materials**, 50(17): 2365–2374.

ICHIKAWA, K.; MORI, T.; KITANO, H.; FUKUDA, M.; MOCHIZUKI, A.; TANAKA, M. (2001) Fourier Transform Infrared Study on the Sorption of Water to Various Kinds of Polymer Thin Films. **Journal of Polymer Science: Part B: Polymer Physics**, 39: 2175–2182.

KAEWPRACHU, P.; OSAKO, K.; BENJAKUL, S.; RAWDKUEN, S. (2016) Effect of protein concentrations on the properties of fish myofibrillar protein based film compared with PVC film. **Journal of Food Science and Technology**, 53: 2083–2091.

KASETAITE, S.; OSTRUSKAITE, J.; GRAZULEVICIENE, V.; BRIDZIUVIENE, D.; RAINOSALO, E. (2017) Biodegradable glycerol-based polymeric composites filled with industrial waste materials. **Journal of Composite Materials**, 51(29): 4029–4039.

LAEMMLI, U. K. (1970). Cleavage of Structural Proteins during the Assembly of the Head of Bacteriophage T4. **Nature**, 227: 680–685.

LECETA, I.; URANGA, J.; ARANA, P.; CABEZUDO, S.; CABA, K.; GUERRERO, P. (2015) Valorisation of fishery industry wastes to manufacture sustainable packaging films: modelling moisture-sorption behaviour. **Journal of Cleaner Production**, 91: 36–42.

LEWICKI, P. P. (1997) The applicability of the GAB model to food water sorption isotherms. **International Journal of Food Science and Technology**, 32: 553–557.

MEDEIROS, M. L.; AYROSA, A. M. I. B.; PITOMBO, R. N. M.; LANNES, S. C. S. (2006) Sorption isotherms of cocoa and cupuassu products. **Journal of Food Engineering**, 73: 402–406.

MOHAMMADI, N. A.; TABATABAEI, R. H.; PASHANIA, B.; RAJABI, H. Z.; KARIM, A. A. (2013) Effects of ascorbic acid and sugars on solubility , thermal , and mechanical properties of egg white protein gels. **International Journal of Biological Macromolecules**, 62: 397–404.

MONTGOMERY, D. C.; RUNGER, G. C. (2018) **Applied Statistics and Probability for Engineers** (pp. 564). 7th Edition. Hoboken, Nova Jersey, USA: John Wiley & Sons, Inc.

NG, K. C.; BURHAN, M.; SHAHZAD, M. W.; ISMAIL, A. B. (2017) A Universal Isotherm Model to Capture Adsorption Uptake and Energy Distribution of Porous Heterogeneous Surface. **Scientific Reports**, 7: 1–11.

NOGUEIRA, D.; MARTINS, V. G. (2018) Biodegradable bilayer films prepared from individual films of different proteins. **Journal of Applied Polymer Science**, 135(45): 1–13.

OSWIN, C. R. (1946) The kinetics of package life. III. The isotherm. **Journal of the Society of Chemical Industry**, 65(12): 419–421.

- OTHMAN, S. H.; KECHIK, N. R. A.; SHAPI'I, R. A.; TALIB, R. A.; TAWAKKAL, I. S. M. A. (2019) Water sorption and mechanical properties of starchchitosan nanoparticle films. **Journal of Nanomaterials**, 12.
- PARK, H. J.; CHINNAN, M. S. (1995) Gas and water vapor barrier properties of edible films from protein and cellulosic materials. **Journal of Food Engineering**, 25: 497–507.
- PEDRO, M. A. M.; TELIS-ROMERO, J.; TELIS, V. R. N. (2010) Effect of drying method on the adsorption isotherms and isosteric heat of passion fruit pulp powder. **Ciência e Tecnologia de Alimentos**, 30: 993–1000.
- PELEG, M. (1988). An Empirical Model for the Description of Moisture Sorption Curves. **Journal of Food Science**, 53(4): 1216–1217.
- PEREIRA, G. V. S.; PEREIRA, G. V. S.; ARAUJO, E. F.; XAVIER, E. M. P.; JOELE, M. R. S. P.; LOURENÇO, L. F. H. (2019a) Optimized process to produce biodegradable films with myofibrillar proteins from fish byproducts. **Food Packaging and Shelf Life**, 21: 100364.
- PEREIRA, G. V. S.; PEREIRA, G. V. S.; NEVES, E. M. P. X.; JOELE, M. R. S. P., LIMA, C. L. S.; LOURENÇO, L. F. H. (2019b) Effect of adding fatty acids and surfactant on the functional properties of biodegradable films prepared with myofibrillar proteins from acoupa weakfish (*Cynoscion acoupa*). **Food Science and Technology**, 39: 287–294.
- PEREIRA, G. V. S.; PEREIRA, G. V. S., NEVES, E. M. P. X.; REGO, J. A. R.; BRASIL, D. S. B.; LOURENÇO, L. F. H.; JOELE, M. R. S. P. (2020) Glycerol and fatty acid influences on the rheological and technological properties of composite films from residues of *Cynoscion acoupa*. **Food Bioscience**, 38: 100773.
- PIRES, M. B.; MAGNO, F. S.; ARAÚJO, J. L. (2019) Obtaining a protein isolate extracted from by-products of acoupa weakfish (*Cynoscion acoupa*). In: Vieira, V. B.; Piovesan, N. (Org.) **Innovation in Food Science and Technology**. (pp. 216-227). Ponta Grossa: Atena.
- RAJI, A. O.; OJEDIRAN, J. O. (2011) Moisture sorption isotherms of two varieties of millet. **Food and Bioproducts Processing Journal**, 9: 178–184.
- RAO, K. S. (1941). Hysteresis in sorption. VI: Disappearance of the hysteresis loop. The rôle of elasticity of organogels in hysteresis in sorption. Sorption of water on some cereals. **Journal of Physical Chemistry**, 45: 531–539.
- ROBERTSON, G. L. (2013). **Food Packaging Principles and Practice**, Third Edition. Boca Raton, FL: CRC Press, p.118.
- SABAGHI, M.; MAGHSOUDLOU, Y.; HABIBI, P. (2015) Enhancing structural properties and antioxidant activity of kefirin films by chitosan addition Moslem. **Food Structure**, 5: 66-71.

- SANYANG, M. L.; SAPUAN, S. M.; JAWAID, M.; ISHAK, M. R.; SAHARI, J. (2016) Effect of plasticizer type and concentration on physical properties of biodegradable films based on sugar palm (*arenga pinnata*) starch for food packaging. **Journal of Food Science and Technology**, 53, 326–336.
- SOBRAL, P. J. A.; MENEGALLI, F. C.; HUBINGER, M. D.; ROQUES, M. A. (2001). Mechanical, water vapor barrier and thermal properties of gelatin based edible films. **Food Hydrocolloids**, 15: 423–432.
- SOUZA, S. M. A.; SOBRAL, P. J. A.; MENEGALLI, F. C. (2012) Physical properties of edible films based on bovine myofibril proteins. **Semina: Ciências Agrárias**, 33: 283–296.
- TORRES, M. D.; CHENLO, F.; MOREIRA, R. (2018) Structural features and water sorption isotherms of carrageenans: A prediction model for hybrid carrageenans. **Carbohydrate Polymers**, 180: 72–80.
- TOWNS, J. K. (1995) Moisture content in proteins: its effects and measurement. **Journal of Chromatography A**, 705: 115–127.
- VALENTE, B. S.; XAVIER, E. G.; PEREIRA, H. S.; PILOTTO, M. V. T. (2014) Composting in residues management of freshwater fish. **Boletim Do Instituto de Pesca**, 40: 95–103.
- VAN DEN BERG, C. (1984) Description of the water activity of food for engineering purposes using the GAB sorption model. In BM McKenna (Ed.), **Engineering and Foods**. (pp. 311–321). Vol. 1. New York, United States: Elsevier applied science publishers.
- VAN DER WEL, G. K.; ADAN, O. C. G. (1999) Moisture in organic coatings - a review. **Progress in Organic Coatings**, 37: 1–14.
- VIEIRA, M. G. A.; SILVA, M. A.; SANTOS, L. O.; BEPPU, M. M. (2011) Natural-based plasticizers and biopolymer films: A review. **European Polymer Journal**, 47: 254–263.
- WIHODO, M., MORARU, C. (2013). Physical and chemical methods used to enhance the structure and mechanical properties of protein films: A review. **Journal of Food Engineering**, 114: 292–302.
- ZAVAREZE, E. R.; HALAL, S. L. M. E.; TELLES, A. C.; PRENTICE-HERNÁNDEZ, C. (2012). Biodegradable films based on myofibrillar proteins of fish. **Brazilian Journal of Food Technology**, 15: 53–57.

CAPÍTULO 5 – Avaliação da adição de goma arábica nas propriedades tecnológicas de filmes de proteínas miofibrilares de resíduos de peixe

Resumo

O objetivo deste estudo foi desenvolver, caracterizar e avaliar as propriedades tecnológicas de filmes elaborados com proteínas miofibrilares liofilizadas (LMP) e goma arábica (GA). Foram utilizadas diferentes proporções de PML:GA (10,0:0; 9,5:0,5; 9,0:1,0; 8,5:1,5, 8,0:2,0 e 7,5:2,5) e adicionados 40% de glicerol (Gli). A incorporação do GA interferiu na redução da luminosidade e transparência e no aumento da opacidade ($\geq 15\%$). A permeabilidade ao vapor de água (PVA) dos filmes de mistura estava na faixa de $4,00 \pm 2,27E^{-12} \times 10^{-11} \text{ gm}^{-1} \cdot \text{s}^{-1} \cdot \text{Pa}^{-1}$, e a solubilidade em água aumentou em até 30% com o adição de GA, pois pode ser dissolvida até altas concentrações (50% p/v) sem mostrar aumento evidente na viscosidade. O filme de mistura E4 (85% PML, 15% GA e 40% Gli) apresentou maior compatibilidade e integração na estrutura, com baixa permeabilidade ao vapor de água, propriedade necessária para uma embalagem de alimentos. Os espectros de FTIR mostraram interações vibracionais entre os grupos polares de PML, OH e COOH da goma arábica e hidroxilas de glicerol, indicando a compatibilidade entre os dois polímeros. As análises de DSC e TG indicaram boa interação e estabilidade térmica dos filmes PML e PML/GA (E2, E4 e E5). Os resultados obtidos demonstram a eficácia da interação da GA com proteínas miofibrilares, melhorando as propriedades tecnológicas dos filmes compostos. E a utilização de resíduos do processamento de pescado pode ser considerada promissora para o desenvolvimento de embalagens ecologicamente corretas para serem utilizadas na preservação de alimentos, pois filmes de mistura E4 (8,5:1,5) apresentaram boa propriedades de barreira à água, determinado assim redução no processo de transpiração de frutos revestidos.

Palavras-chave: resíduos de peixe, proteínas miofibrilares, goma arábica, filmes compósitos, materiais de embalagem.

1 INTRODUÇÃO

O uso de embalagens plásticas obtidas a partir de fontes não renováveis pode contribuir para o acúmulo e, muitas vezes para o descarte inadequado desses materiais, que permanecem centenas e/ou milhares de anos sem degradar causando poluição ao meio ambiente (ASSIS et al., 2017). A produção de embalagens ecológicas e renováveis, representam uma alternativa conveniente aos polímeros convencionais. Proteínas e polissacarídeos podem ser utilizados por apresentar propriedades adequadas para a formação de filmes biodegradáveis ou revestimentos comestíveis (OTONI et al., 2017; PEREIRA et al., 2021a; 2021b; 2021c).

Os polissacarídeos apresentam boa resistência mecânica, propriedades de barreira eficientes contra lipídios e permeabilidade seletiva para transmissão de oxigênio. No entanto, filmes à base de proteínas mostram propriedades mecânicas, ópticas e de barreira mais eficientes em comparação aos de polissacarídeos (EGHBAL et al., 2016).

Estudos evidenciaram que filmes produzidos com a mistura de biopolímeros apresentaram melhores propriedades, quando comparados aos elaborados com um só componente (SAHRAEE et al., 2017; CRIZEL et al., 2018; ERBEN et al., 2019; XU et al., 2019). Portanto, as interações entre biomacromoléculas como proteínas e carboidratos, pode melhorar o desempenho de filmes (JAFARI et al., 2015), as propriedades físicas e térmicas. Essas misturas podem afetar fortemente as propriedades físico-químicas de cada polímero devido a fenômenos de compatibilidade/incompatibilidade.

De acordo com Guerrero et al. (2013), a compatibilidade depende da concentração e conformação, peso molecular, estrutura química e, conseqüentemente, filmes preparados a partir de misturas binárias podem apresentar estruturas diferentes, afetando as propriedades finais. Misturas de polímeros como proteínas e carboidratos, podem ser promissoras para obter filmes ecológicos, com características diferentes, proporcionando melhores propriedades funcionais.

Pesquisas realizadas com proteínas miofibrilares de carpa mostraram que a resistência a tração dos filmes foi melhorada pela adição de ácido tânico e procianidina da maçã (NIE et al., 2017). Pereira et al. (2019b) ao adicionar ácidos graxos esteárico, palmítico e caprótico em filmes de proteínas miofibrilares de peixe obtiveram menor propriedade de barreira ao vapor de água nos filmes com 10% de ácido caprótico, comparado ao controle sem adição de ácidos.

A goma arábica (GA), um polissacarídeo natural, não tóxico, derivado de

exsudados de acácia Senegal e acácia seyal, é um hidrocolóide alimentar que apresenta boa capacidade de formação de filmes. Este hidrocolóide tem características únicas devido sua alta solubilidade, biocompatibilidade, além de ser comercialmente disponível (SHAHGHOLIAN; RAJABZADEH, 2016; KRISHNADEV; GUNASEKARAN, 2017). É o polissacarídeo mais comum utilizado no setor industrial que recebeu o mais alto status de segurança toxicológica do Comitê de Especialistas da FAO/WHO em Aditivos Alimentares (ANDERSON; EASTWOOD, 1989; MOTLAGH et al., 2006).

Existem poucas aplicações usando goma arábica em revestimentos ou filmes (APHIBANTHAMMAKIT et al., 2018), e não há relatos sobre sua mistura com proteínas miofibrilares de peixe. O objetivo deste estudo foi analisar as interações entre proteínas miofibrilares de peixe e goma arábica para obter dispersões biopoliméricas capazes de formar filmes ecológicos. Esta pesquisa foi realizada considerando: 1) A avaliação do efeito de diferentes proporções da mistura PML/GA e 2) A análise das propriedades físicas, estruturais e térmicas dos filmes de mistura.

2 MATERIAL E MÉTODOS

2.1 MATERIAL

Foram utilizados aparas de filetagem da pescada amarela (*Cynoscion acoupa*) cedidos pela Indústria de Pesca localizada em Belém-PA. O glicerol P.A., a goma arábica em pó e o hidróxido de sódio foram adquiridos da empresa Vetec Química, (Duque de Caxias-RJ, Brasil). O cloreto de sódio P.A. e o dodecil sulfato de sódio (SDS) da empresa ISOFAR (Duque de Caxias-RJ, Brasil) e o ácido fosfórico P.A. da empresa NEON (São Paulo-SP, Brasil).

2.2 OBTENÇÃO DAS PROTEÍNAS MIOFIBRILARES LIOFILIZADAS (PML)

Foi utilizada a metodologia de Pereira et al. (2019a) para obter as proteínas miofibrilares. As aparas de filetagem foram misturadas com 3 volumes de solução de NaCl (50 mM) por 5 minutos, homogeneizadas em Turrax (Tecnal, Turratec, Piracicaba-SP, Brasil) a 10.000 rpm por 5 minutos. Esse processo foi repetido por mais duas vezes e a fração retida foi misturada com 3 volumes de ácido fosfórico a 0,05 % para desodorizar a amostra. Posteriormente, o material foi misturado com 3 volumes de água destilada a 4 °C. Foi realizada filtração ao finalizar cada etapa. O material obtido foi congelado a -22 °C por 24 h, para posteriormente ser liofilizado (Liotop, Liobras, São Carlos-SP, Brasil).

2.3 ANÁLISE ELETROFORÉTICA (SDS-PAGE)

Os padrões de proteínas miofibrilares liofilizadas (PML) foram analisados em eletroforese em gel de dodecil sulfato de sódio (SDS-PAGE) e a corrida das amostras foi realizada em gel de poliacrilamida (8% de gel de separação e 5% de gel de empilhamento), sob condições redutoras de acordo com (LAEMMLI, 1970). A estimativa das massas moleculares das proteínas miofibrilares (PML) foi obtida (Figura 1) da regressão linear entre log MM e migração relativa (MR) (*Statistica 13.1* for software Windows). Marcadores de proteínas padrão foram utilizados para estimar o peso molecular das proteínas miofibrilares (Figura 3).

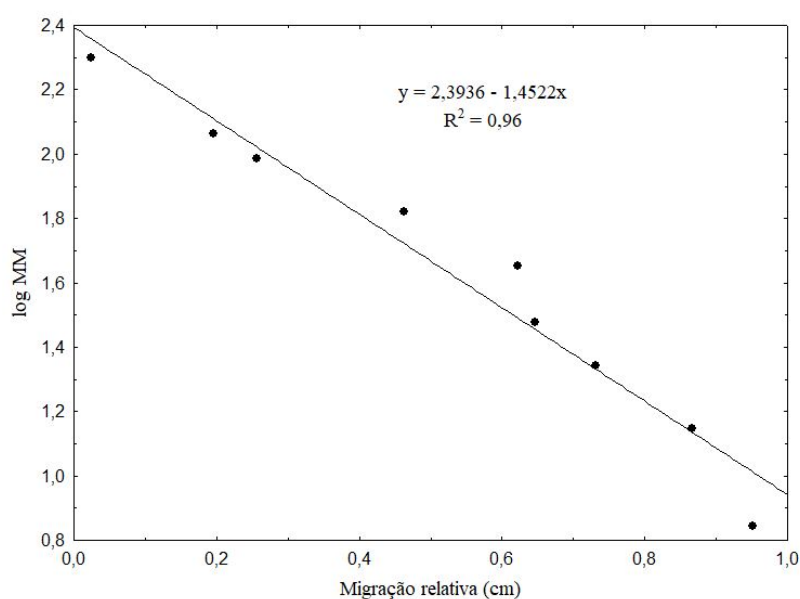


Figura 1. Gráfico de regressão linear da proteína padrão (SDS-PAGE) de eletroforese. MM: representa a massa molecular das proteínas. A migração relativa foi calculada pela razão entre a migração relativa de cada banda no gel e o total das bandas.

2.4 PREPARAÇÃO DAS SOLUÇÕES FORMADORAS DE FILMES (SFFs)

Para elaborar as soluções formadoras dos filmes seguiu-se metodologia de Khaliq et al. (2015) e Zavareze et al. (2012), com modificações por Pereira et al. (2019a) (Figura 2). A solução filmogênica (SFF/PML) foi preparada com PML e água destilada na concentração de 1% (p/v). O pH da solução foi ajustado para 11 com NaOH 2M e adicionado 40% (p/p) de glicerol. Posteriormente, a solução foi homogeneizada (Ultra-Turrax T25, basic IKA-Werke, USA) a 10,000 rpm por 5 minutos, colocada em banho-maria (NI 1236/Nova Instruments, Piracicaba-SP) a 50°C por 30 minutos, e em seguida

filtrada para reter proteínas não dissolvidas. Para a solução filmogênica (SFF/GA), a goma arábica em pó foi dissolvida em água destilada a 1% (p/v), agitada em chapa aquecedora a 40 °C por 60 minutos e adicionado 40% (p/p) de glicerol, e o pH da solução foi ajustado para 5,6 com NaOH 2M. As soluções filmogênicas foram obtidas nas diferentes proporções de PML/GA (10,0:0,0; 9,5:0,5; 9,0:1,0; 8,5:1,5; 8,0:2,0 e 7,5:2,5), denominadas de E1, E2, E3, E4, E5 e E6, respectivamente. O filme E1 (10,0:0,0) sem adição de goma arábica foi considerado como filme controle. Essas soluções foram agitadas a 6.500 rpm por 30 segundos e em seguida, 120 mL de cada solução foram adicionadas em recipientes de silicone (diâmetro de 22 cm e 2,5 cm de altura) e secas em estufa com circulação de ar a 26 °C por 18 h.

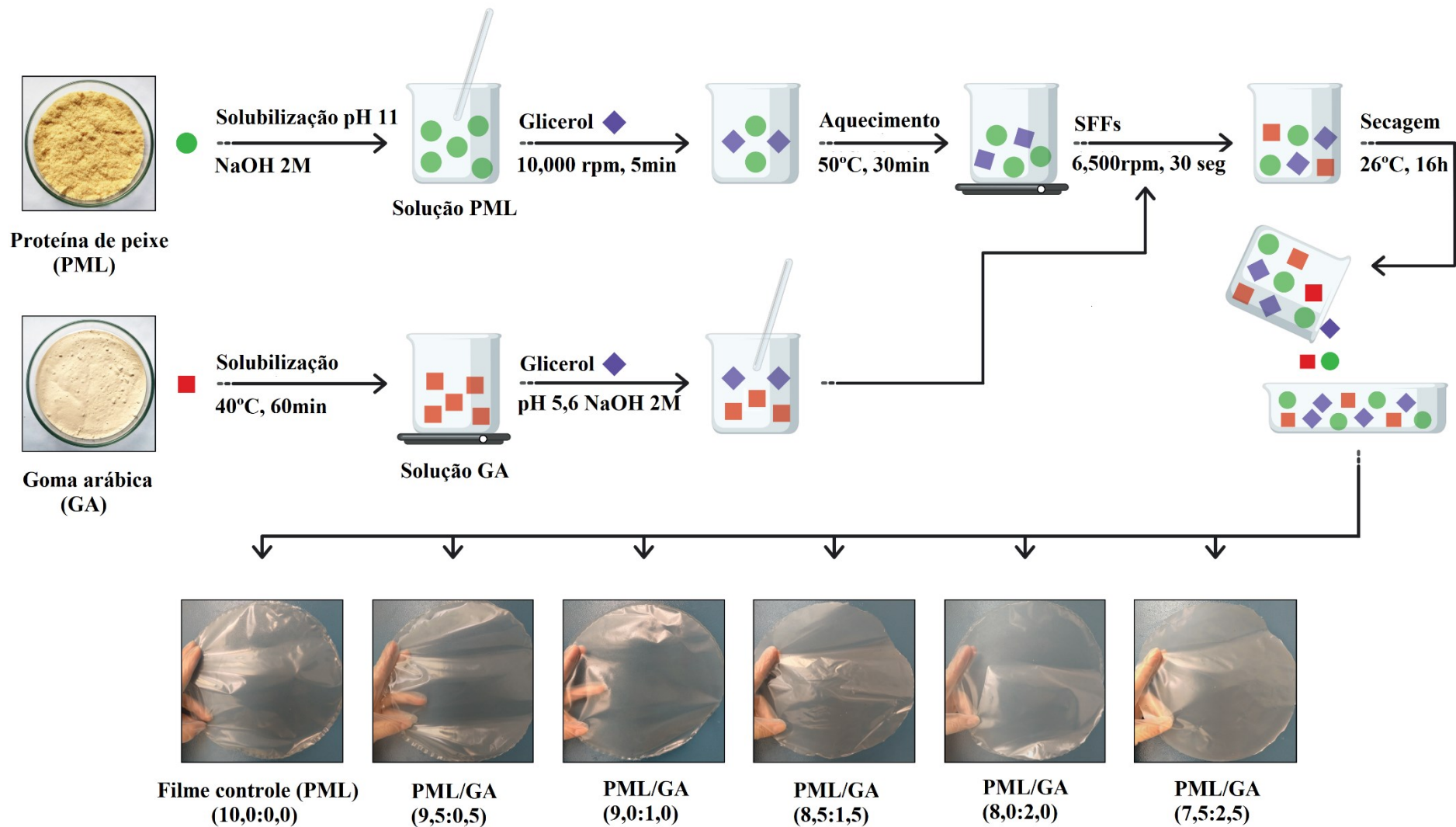


Figura 2. Ilustração esquemática do processo de obtenção de filmes controle (PML) e filmes de mistura (PML/GA).

2.5 DETERMINAÇÃO DAS PROPRIEDADES FUNCIONAIS DOS FILMES

A espessura dos filmes foi medida utilizando micrômetro digital (MIP/E-103/Mitutoyo, Kawasaki, Japão), sendo expressa como a média de três leituras obtidas aleatoriamente em cada um dos filmes.

2.5.1 Medição de Cor

Os parâmetros de cor foram determinados em colorímetro portátil (Konica Minolta, Chroma Meter CR-400, Japan). Os filmes foram sobrepostos a um padrão branco ($L^* = 95,91$; $a^* = -1,48$; $b^* = 9,56$) para a determinação de L^* , a^* , b^* . O Cromo (C^*) indica a saturação ou intensidade da cor e o ângulo *hue* (h°) a cor real dos filmes (JANGCHUD; CHINNAN, 1999). A diferença de cor (ΔE) foi calculada em relação ao filme controle. Os parâmetros foram expressos com a média de quatro leituras obtidas aleatoriamente em cada um dos filmes.

2.5.2 Permeabilidade ao Vapor de Água (PVA)

A permeabilidade foi determinada usando o método ASTM D882-95 modificado (ARFAT et al., 2014). A amostra de filme foi selada com adesivo de silicone em becker de 4,5 cm x 7,0 cm (diâmetro x altura) contendo 10 g de sílica gel (0 % UR; 0 Pa de pressão de vapor de água; 30 °C). Os frascos foram colocados em dessecadores contendo água destilada a 30 °C (99 % UR e 4244,9 Pa de pressão de vapor) e pesados a cada hora por 10 h (Equação 1).

$$PVA = \left(\frac{\Delta W}{t} \right) * \left(\frac{X}{A * \Delta P} \right) \quad (1)$$

Onde: PVA é a permeabilidade ao vapor de água ($\text{g.m.m}^{-2}.\text{s}^{-1}.\text{Pa}^{-1}$); ΔW é o ganho de peso pelo dessecante (g); X é a espessura do filme (m); A representa a área superficial do biofilme exposto (m^2); t é tempo (s) de incubação; ΔP representa a diferença de pressão parcial (Pa). Três filmes foram usados nos ensaios de PVA.

2.5.3 Solubilidade em Água

Os filmes foram recortados em discos de 2 cm de diâmetro, pesados, e a umidade inicial foi determinada em estufa a 105 °C por 24 horas. Após a primeira pesagem, os filmes foram imersos em recipientes contendo 50 mL de água destilada e o sistema foi agitado a 150 rpm em Incubadora Shaker (Cientec, CT-712RNT, São Paulo-SP) por 24 horas a 25 °C. Após esse período, os filmes foram removidos e secos (105 °C por 24 horas) para determinar a matéria seca não dissolvida em água (Equação 2) (Gontard et al.

1992). A solubilidade foi expressa em triplicata para cada filme.

$$Sol (\%) = \frac{M_i - M_f}{M_i} \times 100 \quad (2)$$

Onde: Sol (%) é a porcentagem de material solubilizado; M_i representa massa inicial da amostra (g) e M_f a massa final da amostra (g).

2.5.4 Propriedades Mecânicas dos Filmes

A resistência à tração na ruptura (RT) e alongamento na ruptura (E) dos filmes foram determinados pela metodologia ASTM D882-91 (ASTM, 1996), com modificações, utilizando analisador de textura (QTS, Brookfield) à temperatura ambiente (25 °C). A distância inicial das garras e a velocidade da sonda foram de 50 mm e 1 mm.s⁻¹, respectivamente. As amostras foram cortadas em 70 mm x 25 mm (comprimento x largura). RT e E foram calculados usando as Equações 3 e 4, respectivamente.

$$RT = \frac{F_m}{A} \quad (3)$$

Onde RT é a resistência à tração na ruptura (MPa); F_m a força máxima no momento da ruptura do filme (N); A representa a área transversal da película (m²).

$$E = \left(\frac{d_{final}}{d_{inicial}} \right) * 100 \quad (4)$$

Onde E é alongamento na ruptura (%); d_{final} é distância final no momento da ruptura (mm); $d_{inicial}$ representa a abertura inicial de separação de aderência (50 mm).

2.5.5 Transmitância, Transparência e Opacidade dos Filmes

A transmitância de luz de filmes foi medida na gama do visível e ultravioleta (200-800nm) usando um espectrofotômetro (Shimadzu UV-1800, Quioto, Japão), de acordo com metodologia de Shiku et al. (2004). O valor de opacidade e transparência dos filmes foi calculado de acordo com as Equações 5 e 6, respectivamente (HAN; FLOROS, 1997):

$$Valor\ de\ transparência = \frac{-\log T_{600}}{x} \quad (5)$$

Onde: T_{600} é a transmitância a 600 nm; x representa a espessura filme (mm). O maior valor de transparência representa a menor transparência do filme.

$$Opacidade (\%) = \frac{A_{600}}{x} \quad (6)$$

Onde: A_{600} é a opacidade a 600 nm; x representa a espessura filme (mm).

2.5.6 Espectroscopia de Infravermelho com Transformada de Fourier (FT-IR)

A espectroscopia FT-IR de absorção na região do infravermelho foi conduzida usando espectrômetro com transformador de Fourier (Cary 630, Agilent), acoplado a um acessório de reflectância total atenuada (ATR) com cristal de seleneto de zinco, para identificar a estrutura química dos filmes e as possíveis interações entre seus componentes. Os espectros foram obtidos na faixa espectral de 400 a 4000 cm^{-1} coletados 32 varreduras com resolução de 4 cm^{-1} .

2.5.7 Análise Termogravimétrica/Termogravimétrica Derivada (TGA/DTG)

Os filmes foram avaliados em analisador termogravimétrico (Shimadzu, DTG-60AH) em atmosfera de nitrogênio com vazão de 50 $\text{mL}\cdot\text{min}^{-1}$. Foram aquecidos a partir da temperatura ambiente até 300°C com taxa de aquecimento de 10°C $\cdot\text{min}^{-1}$. A aquisição dos registros e tratamento dos dados foi realizada com auxílio do software TA60 versão 2.21 (Shimadzu).

2.5.8 Análise Térmica

A calorimetria de varredura diferencial (DSC) foi realizada num DSC200 F3 (NETZSCH, Alemanha) sob atmosfera de nitrogênio a um fluxo de 50 mL/min . Amostras (7,0 mg) foram seladas em painéis de alumínio e aquecidas de 25 a 400 ° C, com uma taxa de aquecimento e resfriamento de 10 °C/min.

2.6 ANÁLISE ESTATÍSTICA

A análise estatística dos resultados obtidos para as propriedades de filmes PML e de mistura PML/GA foi analisada por meio do software *Statistica* 13.1 for Windows, por meio da análise de variância (ANOVA). A influência das concentrações de GA nos filmes de PML foi analisada pelo teste de Fisher (LSD) com nível de significância igual a 5% ($p \leq 0,05$).

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

3.1 ELETROFORESE (SDS-PAGE) DAS PROTEÍNAS MIOFIBRILARES LIOFILIZADAS (PML)

O perfil eletroforético das frações proteicas da amostra (PML) e padrão, pode ser observado na Figura 3 (A e B, respectivamente), onde são visualizadas variações de frações de proteínas com peso molecular na PML, demonstrando a eficiência do processo

de extração e liofilização.

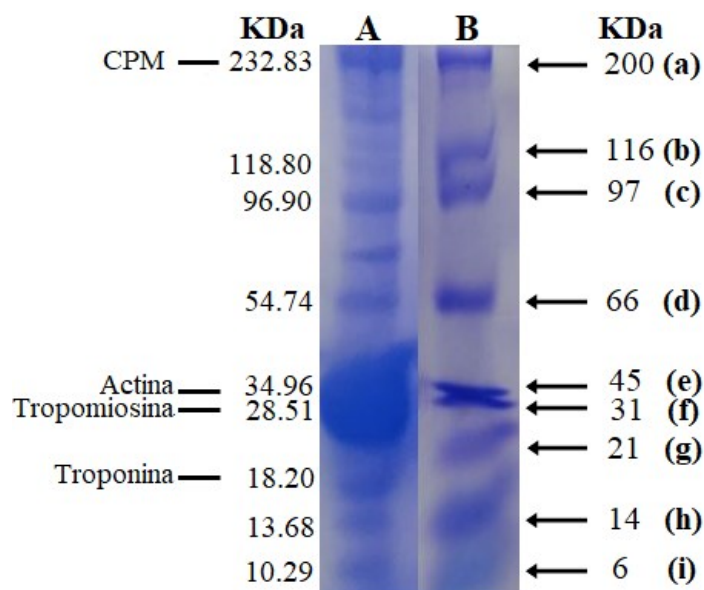


Figura 3. Eletroforetograma (SDS-PAGE) de proteínas miofibrilares liofilizada (PML) (A) e B: Padrão - padrões de proteína BIO RAD: (a) Miosina; (b) galactosidade β ; (c) Fosforilase B; (d) Albumina de soro bovino; (e) Ovalbumina; (f) anidrase carbônica; (g) Inibidor de tripsina de soja; (h) lisozima e (i) Aprotinina. CPM: cadeia pesada de miosina. A massa molecular de cada banda PML foi estimada pela equação da linha reta, obtida a partir do valor da migração relativa (MR) e do log do MM (Figura 1).

O músculo de peixes é composto por 66-77% de proteínas miofibrilares e 20-25% por proteínas sarcoplasmáticas. Sendo as miofibrilares, principalmente a miosina e a actina, importantes por suas propriedades funcionais (ZAVAREZE et al., 2014) que melhoram as características físicas e térmicas dos filmes. Proteínas com alto peso molecular de 45, 66, 97 e 200 kDa foram encontradas em maior quantidade na PML, destacando-se a miosina de cadeia pesada (CPM) e a actina. Estes resultados podem ser corroborados por Pereira et al. (2019a) e Pereira et al. (2020) que também evidenciaram a presença de cadeias pesadas (45 e 200 KDa) em proteínas miofibrilares de pescada amarela.

São observados fragmentos de miosina e actina (bandas *d-f*), como também cadeias leves de miosina entre as bandas *f* e *h*, evidenciando desnaturação não completa da PML. A SDS e β -ME utilizados na eletroforese, podem destruir as ligações de hidrogênio, hidrofóbica e dissulfeto na estrutura proteica (HOQUE et al., 2010). Assim, a estrutura

dos filmes de proteínas miofibrilares, sem a presença de ligação dissulfeto, provavelmente, foi estabilizada por ligações fracas, especialmente ligação de hidrogênio.

3.2 PARÂMETROS DE COR DOS FILMES

Os resultados dos parâmetros de cor, espessura, permeabilidade ao vapor de água (PVA), solubilidade e propriedades mecânicas dos filmes controle (PML) e de mistura (PML/GA) encontram-se na Tabela 1. A cor dos filmes é importante para a aceitabilidade do consumidor, visto que inferem sobre o aspecto visual nas aplicações como embalagens de alimentos.

Tabela 1. Parâmetros de cor, espessura, permeabilidade ao vapor de água (PVA), solubilidade em água, resistência à tração (RT) e alongamento (E) na ruptura de filmes controle PML e de mistura PML/GA.

Filmes PML/GA	L*	b*	C*	Ângulo hue°	ΔE
E1 (10:0,0)	96,91 ± 0,25 ^a	9,56 ± 0,30 ^a	9,67 ± 0,29 ^a	98,82 ± 0,46 ^e	-
E2 (9,5:0,5)	96,28 ± 0,14 ^b	7,96 ± 0,17 ^b	8,06 ± 0,17 ^b	98,37 ± 0,78 ^e	1,76 ± 0,20 ^c
E3 (9,0:1,0)	95,52 ± 0,45 ^c	7,09 ± 0,14 ^c	7,32 ± 0,25 ^c	102,03 ± 1,32 ^d	2,92 ± 0,19 ^d
E4 (8,5:1,5)	95,05 ± 0,24 ^d	6,75 ± 0,31 ^d	6,42 ± 0,39 ^d	106,07 ± 1,70 ^c	3,38 ± 0,32 ^c
E5 (8,0:2,0)	93,13 ± 0,20 ^e	5,93 ± 0,16 ^e	6,17 ± 0,13 ^{d,e}	110,05 ± 1,52 ^b	5,25 ± 0,10 ^b
E6 (7,5:2,5)	93,11 ± 0,23 ^e	5,48 ± 0,18 ^f	5,94 ± 0,16 ^e	116,84 ± 2,58 ^a	5,68 ± 0,24 ^a
	Espessura (mm)	PVA (x10 ⁻¹¹ gm ⁻¹ s ⁻¹ Pa ⁻¹)	Solubilidade (%)	RT (MPa)	E (%)
E1 (10:0,0)	0,051 ± 0,007 ^b	5,30 ± 6,93E ^{-12a,b}	24,64 ± 0,85 ^b	5,17 ± 0,62 ^{a,b}	44,38 ± 3,12 ^c
E2 (9,5:0,5)	0,033 ± 0,001 ^d	3,62 ± 2,00E ^{-12c}	22,67 ± 0,31 ^b	4,95 ± 0,58 ^b	34,95 ± 2,62 ^c
E3 (9,0:1,0)	0,038 ± 0,001 ^{c,d}	3,68 ± 2,97E ^{-12c}	23,65 ± 1,91 ^b	5,74 ± 0,74 ^{a,b}	36,83 ± 2,10 ^{d,e}
E4 (8,5:1,5)	0,045 ± 0,002 ^{b,c}	4,00 ± 2,27E ^{-12c}	24,02 ± 0,11 ^b	5,92 ± 0,52 ^a	40,29 ± 0,96 ^{c,d}
E5 (8,0:2,0)	0,063 ± 0,006 ^a	5,10 ± 5,48E ^{-12b}	28,62 ± 1,13 ^a	5,29 ± 0,29 ^{a,b}	53,24 ± 3,24 ^b
E6 (7,5:2,5)	0,061 ± 0,006 ^a	6,06 ± 6,23E ^{-12a}	30,44 ± 0,32 ^a	0,01 ± 0,001 ^c	60,20 ± 3,20 ^a

Letras diferentes na mesma coluna indicam diferenças significativas ($p \leq 0,05$).

Foram encontrados menores valores de L* nos filmes de mistura PML/GA com concentrações mais elevadas de goma arábica (GA) apresentando diferença ($p \leq 0,05$) entre os filmes. A adição do emulsificante (GA) diminuiu a luminosidade dos filmes, provavelmente devido apresentar cadeia heteropolissacarídica complexa ramificada (MURMU; MISHRA, 2017) e da hidrofobicidade. De acordo com Kieliszewski e Lamport (1994), as gomas de acácia contém glicoproteínas ricas em hidroxiprolina conhecidas por ligar substâncias hidrofóbicas, como taninos e fenólicos.

O parâmetro b^* indica tendência a cor amarela quando o valor é positivo, sendo observado diminuição da intensidade com o aumento da adição de GA ($p \leq 0,05$) nos filmes. A cor amarela presente nos filmes de proteínas pode estar relacionada ao ajuste do pH para 11 durante o processo de elaboração. Segundo Tongnuanchan et al. (2011) a condição alcalina pode induzir a formação de pigmento amarelo, especialmente por meio da reação de Maillard. E este pH favorece a formação de redutona com a produção de furfural a partir dos produtos de Amadori, induzindo ao desenvolvimento dessa cor. Filmes de proteínas miofibrilares de tilápia (0,5-2%) com 25% de glicerol apresentaram menor luminosidade (L^*), com variação de 88,92-95,01; e parâmetro b^* em torno de 4,70-18,10 (Kaewprachu et al. 2017).

Foram também avaliados o croma C^* e o ângulo *hue* (h°) que indicam a saturação ou intensidade da cor e a cor real, respectivamente (JANGCHUD; CHINNAN, 1999) (Tabela 1). Observaram-se valores decrescentes do croma C^* com a adição de GA ($p \leq 0,05$). Os valores do ângulo *hue*, indicam que a adição de GA alterou o quadrante da cor amarela (70° a 100°) para o verde (100° a 200°). Pois, para os filmes E1 e E2, os valores obtidos indicam coloração amarela, porém após a adição de 10% de GA houve alteração de quadrante para a cor verde.

A diferença de cor (ΔE) entre os filmes controle (PML) e de mistura (PML/GA) aumentaram ($p \leq 0,05$) com a concentração do emulsificante (GA) (Tabela 1), estando relacionado a diminuição na luminosidade (L^*) e da cor amarela (b^*).

3.3 ESPESSURA E PERMEABILIDADE AO VAPOR DE ÁGUA (PVA)

A espessura do filme pode afetar as propriedades de barreira, e no caso de filmes hidrofílicos ocorre devido as diferenças entre a pressão do vapor de água e a umidade na interface do filme (GUTIÉRREZ et al., 2015). A Tabela 1 mostra que a espessura dos filmes aumentou com a adição da goma arábica ($p \leq 0,05$), porém, sem diferença nos ensaios E5 e E6. Vale ressaltar que as mesmas quantidades de sólidos solúveis, proteínas e goma, foram utilizadas na obtenção das soluções filmogênicas, diferenciando apenas as proporções utilizadas de PML e GA. Portanto, o que pode ter influenciado na espessura foram as interações entre o glicerol, as proteínas e a goma.

Ao analisar os resultados (Tabela 1), o filme controle PML (E1) e de mistura PML/GA (E5 e E6) apresentaram maior permeabilidade ($p \leq 0,05$), que pode estar relacionada a hidrofobicidade e concentração da cadeia de proteínas e goma arábica. McHugh et al. (1993) relataram que quanto maior espessura, aumenta a resistência à

transferência de massa e, conseqüentemente, a pressão parcial da água em equilíbrio na superfície interna do filme. Assim, filmes com maior espessura apresentaram aumento na PVA.

A PVA dos filmes (Tabela 1) em geral foi considerada satisfatória, visto que foram encontrados valores baixos, pois a determinação desta propriedade pode prever a perda ou ganho de água nos alimentos embalados. E a PVA pode ser afetada por vários fatores, como a espessura do filme, a atividade de água, a umidade e a concentração de componentes utilizados na formulação dos filmes, entre outros (GUTIÉRREZ et al., 2015). Resultados observados por Wu et al. (2018) em filmes de gelatina de peixe com complexos β -ciclodextrina/curcumina, encontraram redução de PVA, com valores de $2,88 \pm 0,05$ a $2,38 \pm 0,06 \times 10^{-10} \text{ gm}^{-1}.\text{s}^{-1}.\text{Pa}^{-1}$. É importante ressaltar que a embalagem tem como uma de suas principais funções impedir e/ou reduzir a transferência de umidade do ambiente circundante para o produto e vice-versa.

No caso dos filmes de goma arábica, as leis que descrevem a afinidade intermolecular dos filmes são complexas e não apenas as propriedades de superfície dos filmes ou as propriedades físico-químicas dos compostos orgânicos. Além disso, mesmo que a afinidade por todos os compostos orgânicos apolares fosse forte, a afinidade pela água não é desprezível (APHIBANTHAMMAKIT et al., 2018). Esses resultados podem estar relacionados à estrutura e composição específica, dupla polaridade dos filmes de goma arábica, permitindo afinidade por compostos polares (água) e compostos apolares.

3.4 SOLUBILIDADE EM ÁGUA

Os resultados da solubilidade dos filmes indicam sua integridade em meio líquido, pois, quanto maior este parâmetro menor a resistência à água. Foi observado aumento na solubilidade dos filmes de mistura (PML/GA) conforme o aumento nas concentrações de goma arábica ($p \leq 0,05$) (Tabela 1). A baixa solubilidade nos filmes com maior concentração de proteínas miofibrilares é devido às ligações entre as moléculas na matriz, que, de acordo com Nuthong et al. (2009), as interações inter e intra-moleculares entre proteínas estão associadas ao desenvolvimento de uma rede tridimensional nos filmes.

Os filmes E5 e E6 apresentaram maior solubilidade ($p \leq 0,05$) devido suas características hidrofílicas, pois a goma arábica pode ser dissolvida até altas concentrações (50% p/v) sem mostrar aumento evidente na viscosidade (WANG et al., 2016). A GA é um material heterogêneo e anfifílico, e suas propriedades físico-químicas dependem do equilíbrio das interações hidrofílicas e hidrofóbicas. As propriedades

funcionais da goma arábica estão intimamente relacionadas à sua estrutura, que determinam a solubilidade, a viscosidade, o grau de interação com água e óleo em emulsão, a capacidade de microencapsulação, dentre outras (MONTENEGRO et al., 2012).

Todos os filmes em geral apresentaram boa solubilidade ($\leq 50,00\%$), provavelmente relacionada ao tipo de ligação na matriz polimérica. Crizel et al. (2018), ao adicionar pó da casca do mamão em filmes de gelatina obtiveram solubilidade mais elevada, e afirmam que o aumento da adição de fibras pode resultar em pequenas fissuras que facilitam a entrada de água e conseqüentemente interferem nessa propriedade.

3.5 RESISTÊNCIA À TRAÇÃO (RT) E ELONGAÇÃO (E)

As propriedades mecânicas dos filmes de mistura (PML/GA) foram influenciadas pela adição de goma arábica (Tabela 1). Pois os filmes apresentaram alta resistência mecânica, com redução significativa no ensaio E6 ($p \leq 0,05$), possivelmente devido a ação emulsificante da GA. A adição de GA acima de 20% aumentou ($p \leq 0,05$) a alongação em relação ao filme controle (PML), tornando os filmes menos rígidos e mais elásticos. As propriedades mecânicas dos filmes biopoliméricos são extremamente importantes, pois materiais de embalagem devem ter resistência mecânica adequada para manter sua integridade durante o manuseio e armazenamento (WIHODO; MORARU, 2013). Filmes de quitosana e goma arábica com 20% de glicerol e óleos essenciais de canela e cravo (0-15%) obtiveram menores RT e E com valores de $16,53 \pm 1,6$ a $30,03 \pm 4,35$ MPa e $32,03 \pm 1,97$ a $45,04 \pm 3,87\%$, respectivamente (XU et al., 2019).

A adição de maiores concentrações de GA com redução de PML e 40% de glicerol tornou os filmes menos resistentes e mais elásticos, devido às interações intermoleculares entre as proteínas e a goma arábica e as intramoleculares do plastificante, proporcionando o aumento da mobilidade molecular.

3.6 VALORES DE TRANSPARÊNCIA E OPACIDADE DOS FILMES

Na Tabela 2 encontram-se os resultados obtidos de opacidade e transparência dos filmes controle (PML) e de mistura (PML/GA). A espessura do filme pode afetar as propriedades de transmissão de luz, transparência, propriedades mecânicas, dentre outras (KAEWPRACHU et al., 2016), parâmetros importantes para inferir na escolha do tipo de aplicação. A opacidade está relacionada à transmissão de luz visível; quanto mais opaco o material, menor a transmissão de luz e menor a transparência.

Tabela 2 – Opacidade e transparência dos filmes controle (PML) e de mistura (PML/GA).

Transmitância UV-Visível (nm)	E1 (10:0,0)	E2 (9,5:0,5)	E3 (9,0:1,0)	E4 (8,5:1,5)	E5 (8,0:2,0)	E6 (7,5:2,5)
200nm	2,8330	2,7971	2,7460	2,8656	3,2757	3,0036
280nm	2,7720	2,8099	2,4746	2,4762	3,1024	2,9024
350nm	0,3943	0,4235	0,4819	0,5750	0,8597	0,7686
400nm	0,2829	0,2980	0,3136	0,3953	0,6051	0,5499
500nm	0,2051	0,2048	0,2176	0,2871	0,4601	0,4130
600nm	0,1708	0,1736	0,2003	0,2458	0,4105	0,3734
700nm	0,1522	0,1537	0,1686	0,2251	0,3812	0,3357
800nm	0,1408	0,1438	0,1566	0,2104	0,3620	0,3125
Opacidade (A₆₀₀) (%)	4,39 ± 0,19^c	4,50 ± 0,37^c	4,73 ± 0,66^c	8,83 ± 0,28^b	10,22 ± 0,91^{a,b}	10,81 ± 0,83^a
200nm	0,0015	0,0016	0,0018	0,0014	0,0010	0,0005
280nm	0,0017	0,0016	0,0061	0,0034	0,0013	0,0008
350nm	0,4040	0,3784	0,3330	0,2661	0,1705	0,1384
400nm	0,5219	0,5042	0,4862	0,4025	0,2827	0,2483
500nm	0,6244	0,6246	0,6060	0,5163	0,3874	0,3467
600nm	0,6806	0,6712	0,6316	0,5679	0,4240	0,3886
700nm	0,7049	0,7025	0,6785	0,5955	0,4624	0,4157
800nm	0,7237	0,7186	0,6974	0,6161	0,4876	0,4345
Transparência (T₆₀₀)	4,31 ± 0,08^c	4,50 ± 0,37^c	4,67 ± 0,73^c	8,83 ± 0,28^b	10,22 ± 0,91^{a,b}	10,81 ± 0,83^a

Letras diferentes na mesma linha indicam diferenças significativas ($p \leq 0,05$).

Os filmes com maiores concentrações de goma arábica são mais opacos e menos transparentes ($p \leq 0,05$). Filmes controle (PML) e de mistura (PML/GA) com maiores concentrações de proteínas miofibrilares apresentaram aumento ($p \leq 0,05$) na transmissão da luz na região UV e visível. No entanto, todos os filmes apresentaram baixa transmissão na gama UV (200-280 nm), que, segundo Leerahawong et al. (2011), filmes de proteínas têm excelentes propriedades de barreira contra a luz ultravioleta na faixa de 200-280 nm, evitando a oxidação de lipídios em alimentos (COUPLAND; MCCLEMENTS, 1996). Provavelmente, a alta propriedade de barreira contra UV é devido ao conteúdo de aminoácidos aromáticos que absorvem a luz ultravioleta (LEERAHAWONG et al., 2011).

A menor transmissão de luz também pode ser verificada com filmes mais escuros devido à redução da luminosidade (L^*) com a adição da goma arábica (Tabela 1). A alta transparência dos filmes com maior concentração de PML pode ter sido favorecida pela solubilidade das proteínas e desnaturação causadas pelas condições ácidas e alcalinas

(BLANCO-PASCUAL et al., 2014), durante o processo de obtenção. Xu et al. (2019) observaram aumento da opacidade com a adição de até 15% de óleo de canela e cravo em filmes de quitosana, goma arábica e 20% de glicerol.

Observa-se que entre os filmes E1 e de mistura E2 e E3 não houve diferença, porém, apresentaram maior transparência quando comparados aos demais ensaios ($p \leq 0,05$). Arfat et al. (2016) ao elaborar filmes com isolado de proteínas e gelatina de peixe adicionado de nanopartículas de óxido de zinco (ZnONP) obtiveram redução na transparência ao aumentar o conteúdo de ZnONP, e afirmaram que provavelmente foi devido à opacidade desse componente.

Lopez-Torrez et al. (2015) demonstraram que o estabelecimento da ligação de hidrogênio entre o glicerol e o grupo hidroxila da goma de acácia é função do teor de açúcar, arabinose e galactose, o que pode diminuir grupos hidroxilas disponíveis na superfície do filme e a contribuição hidrofílica. Pode também promover alterações na conformação das moléculas de goma arábica, favorecendo resíduos hidrofóbicos na superfície, como o grupo acetil do ácido 4-O-Me-Glicurônico e de aminoácidos hidrofóbicos, como alanina, isoleucina, leucina, glicina, fenilalanina e valina.

3.7 ESPECTROSCOPIA FT-IR

Os espectros dos filmes controle (PML) e de mistura (PML/GA) representam a interação vibracional entre grupos funcionais das proteínas e da goma arábica (Figura 4). As alterações como deslocamento, extensão e intensidade das bandas nos espectros de FT-IR demonstram as interações dos grupos químicos a nível molecular. E essas alterações podem ser uma indicação de boa miscibilidade dos polímeros (XU et al., 2007).

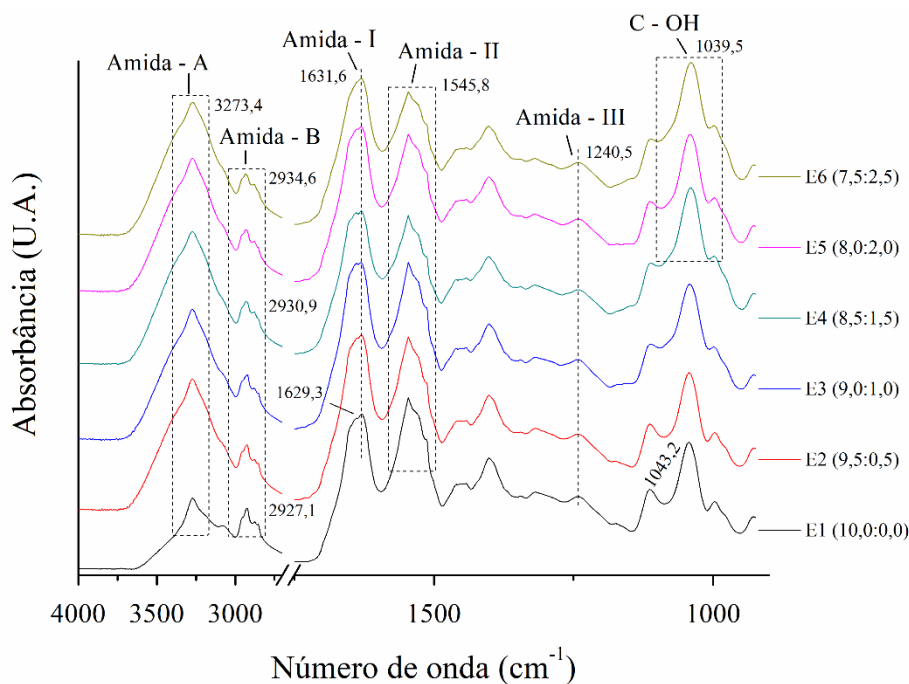
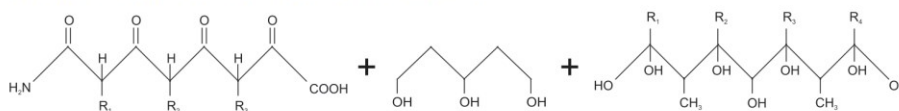


Figura 4. FT-IR de filmes controle (PML) e de mistura (PML/GA).

Padrões semelhantes dos espectros foram observados em filmes de PML contendo diferentes concentrações de goma arábica (Figura 4). Os picos de absorção dos filmes foram observados em amida A (vibração de estiramento de OH livre, estiramento assimétrico e simétrico dos grupos N-H), amida B (vibração de estiramento dos grupos C-H e NH_3^+), amida I (estiramento C-O/ligação de hidrogênio acoplado ao COO), amida II (vibração de flexão dos grupos N-H e vibração de estiramento dos grupos C-N) e amida III (vibração no plano dos grupos C-N e N-H da amida ligada, ou vibração CH_2 de grupos glicina) (KAEWPRACHU et al., 2016; NIE et al., 2017). Arfat et al. (2014) também encontraram picos em filmes de proteínas miofibrilares, amida A e B de $3270\text{-}3280\text{ cm}^{-1}$ e $2926\text{-}2928\text{ cm}^{-1}$, respectivamente; e para amida I, II e II em torno de 1633 cm^{-1} , 1536 cm^{-1} e 1238 cm^{-1} .

O pico localizado entre $1040\text{-}1043\text{ cm}^{-1}$ foi associado ao estiramento C-O (SHRINER; FUSON, 1983) e provavelmente pela presença da hidroxila (grupos OH do glicerol), correspondendo a vibração de estiramento do grupo C-OH presente nos filmes (HOQUE et al., 2011). Picos semelhantes foram obtidos para os filmes E1 a E3, enquanto amplitudes mais acentuadas foram observadas nas concentrações de GA a partir de 15 % (E4 a E6), devido a presença de grupos hidroxil localizados na estrutura (Figura 5), promovendo maiores interações vibracionais (Goodrum et al. 2000; Tiwari, 2008).

A) Cadeias de proteína, glicerol e goma arábica



B) Interações entre cadeias de proteínas, glicerol e goma arábica

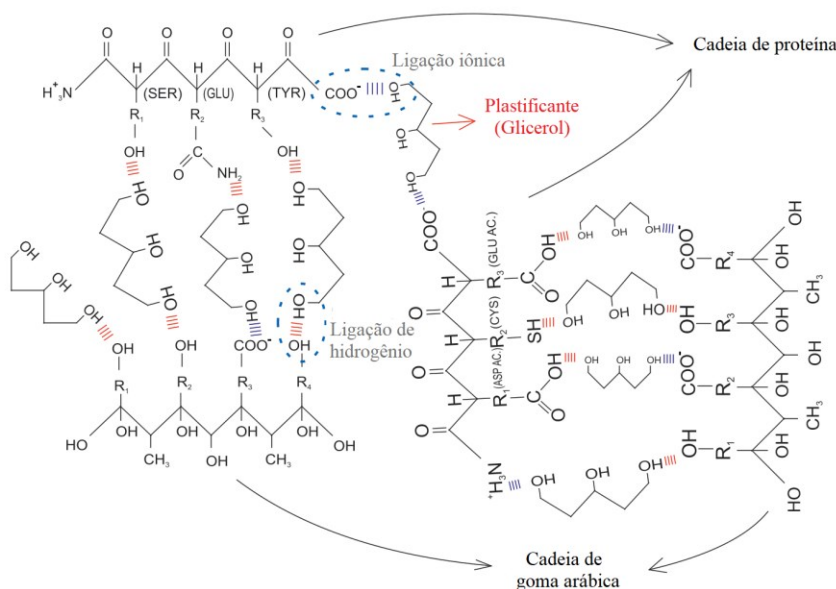


Figura 5. Representação esquemática do efeito do plastificante nas estruturas da rede de proteínas e goma arábica. (A) representa as cadeias de proteínas, glicerol e goma arábica e (B) representa as disposições e interações entre as cadeias de proteínas, glicerol e goma arábica, obtendo uma estrutura de filme mais flexível e extensível.

Esses resultados provavelmente podem estar relacionados à ligação do hidrogênio entre os grupos C-O, O-H ou C-O-C presentes na GA (Figura 5) e C-H e O-H da PML. Esse tipo de comportamento, alteração das frequências de alongamento de grupos que participam de interações como O-H e C-O, é um padrão de misturas miscíveis. A presença de ligação de hidrogênio mostra um certo grau de compatibilidade de dois polímeros (WANG et al., 2014).

Foi observado aumento na amplitude da amida A em filmes de mistura (PML/GA) quando comparado ao controle (PML), provavelmente devido a presença da goma arábica, produzindo maior vibração de estiramento de grupos OH (Figura 4). Pois, ao aumentar a concentração da GA, houve maior deslocamento dos grupos hidroxilas livres, alterando os espectros. O aumento na região da água livre, verificado nos espectros 3300-2900 cm⁻¹ (HAQ et al., 2014) é consistente com alto teor de umidade nesses filmes. Portanto, algumas ligações de hidrogênio livres nos filmes de mistura (PML/GA)

estabeleceram, provavelmente, algumas ligações hidrofílicas com a água. À medida que a ligação de hidrogênio se torna mais forte, fragmentos de O-H aparecem em frequências ainda mais baixas (WANG et al., 2014), verificados em picos menos evidentes nos filmes com mais adição de PML.

Quanto a amida B, ao aumentar a concentração de GA nos filmes, ocorreu menor vibração nos picos de estiramento C-H ($2927.1-2934.6\text{ cm}^{-1}$) com a diminuição de grupos NH_3^+ presentes nas proteínas (Figura 4). Infere-se que a adição da GA induziu algumas alterações conformacionais na matriz PML, onde, a estrutura modificada da proteína foi alinhada com a cadeia da goma arábica, diminuindo assim a exposição da banda C-H. Segundo Hoque et al. (2011), a reticulação de proteínas proporciona a uma maior difração dos filmes, o que pode afetar os espectros obtidos.

Espectros similares de todas as amostras, relacionadas as amidas I, II e III, não apresentaram deslocamento no número de onda vibracional, indicando ligações C=O, N=O e C-O formadas, exceto para amida-B, que apresentou uma leve diminuição no número de onda (Figura 4). Normalmente, a diminuição do número de onda vibracional e o alargamento das bandas de vibração OH e NH podem ser indicativos de interação de ligação de hidrogênio entre moléculas do polímero no filme (XIE et al., 2006; HOQUE et al., 2011). A diminuição da amplitude nos picos da amida II, sugere que em maiores concentrações de GA, a interação vibracional entre as moléculas de proteínas foi menor. Como resultado, a interação vibracional via ligações H entre os grupos amino das proteínas, hidroxilas e receptores H, foi reduzida. Isso foi evidenciado pela menor disponibilidade do grupo amino mostrada pelas menores amplitudes dos picos da amida A.

3.8 ESTABILIDADE TÉRMICA DOS FILMES PML E DE MISTURA PML/GA

Os termogramas TG e DTG revelam o comportamento da degradação térmica (Figura 6) e perda de massa (Δw) dos filmes em função da temperatura (Tabela 3). Resultados importantes para investigar o conteúdo volátil, estabilidade térmica, resposta à degradação, envelhecimento e vida útil, comportamento de sinterização e cinética da reação (HINDI et al., 2017).

O primeiro estágio de degradação ocorreu acima de $100\text{ }^\circ\text{C}$, demonstrando a estabilidade térmica dos filmes (Tabela 3). Pois, filmes que se decompõem a temperaturas mais baixas ($>100^\circ\text{C}$), pode ser devido à alta capacidade de solvatação com a molécula de água, mostrando a evaporação da água livre e acima de $150\text{ }^\circ\text{C}$, a perda de massa pode

ser atribuída à evaporação da água higroscópica (HINDI, 2017).

Tabela 3 - Temperatura de degradação térmica (T_d), perda de massa (Δ_w), Temperatura de transição vítrea (T_g) e temperatura de transição de fusão (T_{max}) dos filmes controle (PML) e de misturas (PML/GA).

Filmes	TG				
	$T_{d1,Onset}$ (°C)	Δ_{w1} (%)	$T_{d2,Onset}$ (°C)	Δ_{w2} (%)	Resíduo (%)
E1 (10:0,0)	118,27	0,762	130,85	91,482	7,756
E2 (9,5:0,5)	117,57	1,444	132,93	90,734	7,822
E3 (9,0:1,0)	117,90	0,189	131,64	96,971	2,840
E4 (8,5:1,5)	118,11	0,108	131,74	95,871	4,022
E5 (8,0:2,0)	115,84	0,883	133,72	96,164	2,953
E6 (7,5:2,5)	115,93	0,446	131,18	97,961	1,594

Filmes	1° Aquecimento		Curva de resfriamento	2° Aquecimento		
	T_g (°C)	T_{max} (°C)	T_g (°C)	T_{max} (°C)	T_g (°C)	T_{max} (°C)
E1 (10:0,0)	230,77	122,38	-	119,25	131,09	-
E2 (9,5:0,5)	-	121,91/203,73	-	119,69	-	122,55
E3 (9,0:1,0)	-	120,08	-	118,15	-	118,58
E4 (8,5:1,5)	-	122,31/206,54	-	122,33	-	125,83
E5 (8,0:2,0)	-	122,28	-	117,98	-	122,22
E6 (7,5:2,5)	221,72	120,56	-	117,46	-	120,73

As curvas TG (Figura 5, I) apresentaram comportamentos térmicos com pequenas diferenças para todas as amostras. Em geral, a concentração da GA provocou diminuição da estabilidade térmica, porém, nos filmes E2 e E4 (5 e 15%) apresentaram aumento da estabilidade. A estabilidade térmica foi atribuída a interação polímero-plastificante dos filmes, promovendo uma rede mais forte na matriz.

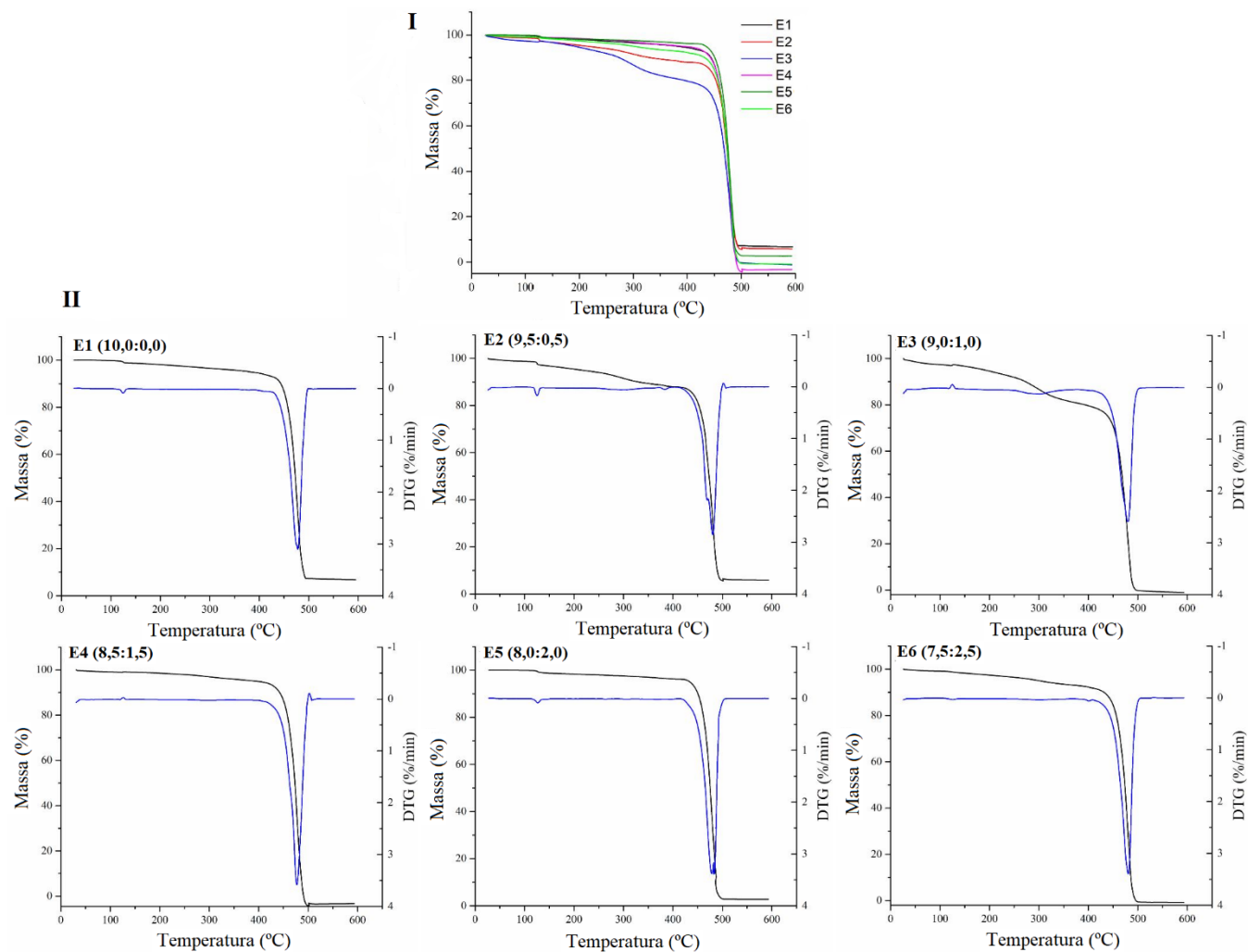


Figura 6 - Curvas de TG (I) e DTG (II) de filmes controle (PML) e de mistura (PML/GA): E1 (10,0:0), E2 (9,5:0,5), E3 (9,0:1,0), E4 (8,5:1,5), E5 (8,0:2,0) e E6 (7,5:2,5).

Filme de mistura E3 apresentou maior instabilidade térmica (Figura 5, I). No entanto, a concentração máxima de GA (filme E6), ocasionou maior perda de massa (Tabela 3), indicando instabilidade térmica. Infere-se que a adição de concentrações mais elevadas de GA produz a descontinuidade na matriz do filme, resultando em menor compatibilidade do sistema, produzindo filmes menos resistentes ao calor (NOSHIRVANI et al., 2017).

Os filmes de mistura (PML/GA) apresentaram menor quantidade de massa residual (%) a 600 °C (Tabela 3), devido a formação do complexo PML/GA/Gli, exceto o filme E2 com 5 % de GA, que apresentou resíduo proporcional ao filme controle. De acordo com Xu et al. (2018), a adição de GA pode interromper o arranjo rígido das cadeias proteicas e as ligações intramoleculares de hidrogênio.

O alto teor de resíduo (%) observado no filme controle (E1) e E2 pode ser atribuído ao número de ligações covalentes formadas na rede de proteínas (Tabela 3). A quantidade de ligação dissulfeto e interação hidrofóbica entre proteínas em condições alcalinas pode contribuir para a resistência ao calor (ARFAT et al., 2014). A diferença no teor de resíduos foi provavelmente devido ao rompimento de ligação covalente proteína-proteína, bem como a interação intra e intermolecular de hidrogênio entre os polímeros (PML e GA) e glicerol, responsáveis pela manutenção da cadeia polimérica. As fibras bioplásticas de GA não tratadas (GA-U), tratadas com irradiação de raios γ (GA- γ) e plasma (GA-P), obtiveram um aumento na massa residual de 8,74% para 16,3% e 18,6%, respectivamente, afirmando a formação de reticulação de estruturas de rede, levando a maior estabilidade térmica em comparação com fibras GA não tratadas (PADIL et al., 2019).

A adição de goma arábica e do glicerol influenciou no processo de decomposição, sendo observado filmes com duas fases (Figura 5 I, II) de degradação térmica da matéria orgânica (Figura 5, II), sugerindo interações químicas entre os componentes. A primeira fase em torno de 115-133 °C foi atribuído principalmente à perda de água livre, água ligada adsorvida nos filmes e, possivelmente, à degradação de frações proteicas de menor massa. No entanto, na primeira fase o pico diminuiu com a adição de GA (Figura 5 II, E6), indicando maior retenção de água livre e compostos orgânicos voláteis.

O segundo estágio entre 133–507 °C corresponde à degradação e/ou decomposição de frações proteicas com peso molecular mais elevado, proteínas altamente interagidas na matriz do filme, compostos de glicerol, componentes voláteis, grande massa de macromoléculas de GA e a perda de água ligada na matriz polimérica (XU et al., 2018). Reações de desidratação e descarboxilação ocorre na GA quando a temperatura

está acima de 250 °C, com formação de resíduo (COZIC et al., 2009). Filmes de goma arábica adicionados de óleo de canela e cravo (0-15%) a 20% de glicerol apresentaram 3 picos, valores de temperatura de 30–115 °C, 115- 200 °C e 200- 274 °C, respectivamente (XU et al. 2019).

3.9 PROPRIEDADES TÉRMICAS DOS FILMES

O comportamento térmico dos filmes foi analisado para avaliar a estabilidade térmica dos polímeros e os termogramas dos filmes controle (PML) e de mistura (PML/GA) encontram-se na Figura 7. Dois picos endotérmicos foram detectados para os filmes E2 e E4, o primeiro pico, pode ser atribuído à sobreposição de diferentes fenômenos, como volatilização da água adsorvida, degradação do plastificante, bem como a temperatura de fusão (T_{max}) dos polímeros. Enquanto o segundo pico, representa a decomposição térmica (dT) da estrutura e das ligações peptídicas na cadeia principal das proteínas (MARTUCCI; RUSECKAITE, 2015; NILSUWAN et al., 2018).

Na primeira varredura (Figura 7), observa-se picos endotérmicos com as seguintes características: T_{max} , ΔH e T_{pico} , apresentando variação de 126,21 °C a 208,28 °C para T_{pico} dos filmes. Os termogramas da primeira varredura mostraram que o filme controle (E1) apresentou maior temperatura de fusão (T_{max}) e entalpia (ΔH) (Tabela 3). A T_{max} do filme indica a temperatura de ruptura da interação do polímero formada durante a obtenção do filme (KAEWPRACHU et al., 2017). Infere-se que a maior T_{max} e ΔH observados no filme controle (PML) pode ser devido à maior interação intra-cadeias das proteínas, através de ligação de hidrogênio, iônica e ponte dissulfeto, requerendo entalpia mais alta para romper a rede dos filmes. Sahraee et al. (2017), ao utilizar nanopartículas de óxido de zinco (N-ZnO) em filmes à base de gelatina, observaram que essa incorporação aumentou o ponto de fusão ($108,90 \pm 0,98$ °C) comparado aos filmes adicionados de nanofibras de quitina (N-quitina) ($102,90 \pm 1,26$ °C). Filmes de PML e mistura (PML/GA) apresentaram alta estabilidade térmica (Tabela 3), provavelmente, devido à presença de certo grau de interação entre os dois tipos de polímeros (Figura 5).

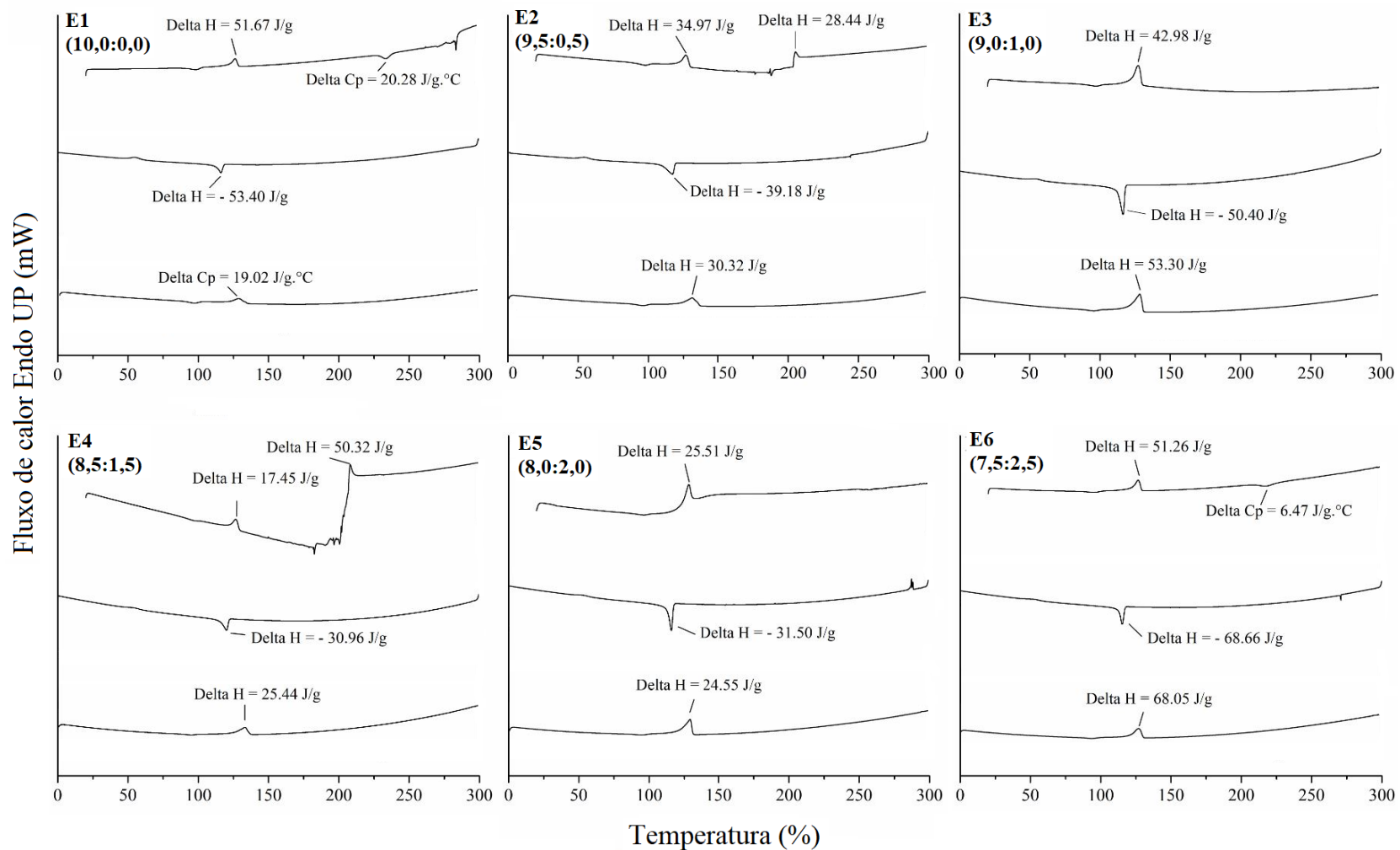


Figura 7 – Os termogramas DSC de filmes controle (PML) e de mistura (PML/GA): E1 (10:0:0), E2 (9,5:0,5), E3 (9,0:1,0), E4 (8,5:1,5), E5 (8,0:2,0) e E6 (7,5:2,5). Linhas de cima para baixo: Primeiro aquecimento, curva de resfriamento e segundo aquecimento.

Os filmes E4 e E5 apresentaram maior valor de T_{max} quando comparados aos demais filmes de mistura (PML/GA) (Tabela 3). A alta temperatura de fusão destes pode ser devido as maiores interações inter-cadeias da PML e GA. Isto ocorre devido a presença de uma ligação covalente não dissulfeto, que restringe o movimento molecular nos filmes, fortalecendo sua rede (KAEWPRACHU et al., 2017). E os filmes E3 e E6 apresentaram a menor T_{max} , associado às interações mais fracas (Tabela 3), que pode estar associado à degradação e/ou quebra da estrutura polimérica, que exige menor entalpia e/ou temperatura de fusão para quebrar as interações entre as cadeias (HOQUE et al., 2010). As temperaturas de transição vítrea (T_g) ocorreram somente para os filmes E1 e E6 (Tabela 3), sendo que o de mistura apresentou o menor valor para T_g e calor específico (C_p), caracterizando a quantidade de calor e a variação de temperatura fornecida às amostras. A goma arábica pode se localizar entre as cadeias de proteínas, ligar-se a água e interromper as interações poliméricas intermoleculares da matriz do filme, fragilizando a estrutura polimérica ((MONTENEGRO et al., 2016)). As diferenças de T_g entre os dois filmes podem ser devido ao tipo de polímero usado. Em geral, o aumento da cristalinidade, peso molecular, grau iônico e reticulação aumentam a T_g (HOQUE et al., 2010).

Em relação ao ciclo de resfriamento, verificou-se picos exotérmicos de T_{max} , ΔH e T_{pico} , apresentando variação para T_{pico} de 115,13 °C a 119,93 °C (Figura 7). A energia medida nesse processo refere-se ao rearranjo das moléculas poliméricas na fase líquida, perdendo energia e se realinhando no estado sólido, apresentando outras características evidenciadas no segundo aquecimento. Na segunda varredura, há novo pico endotérmico com T_{max} , ΔH e T_{pico} que variaram de 127,47 °C a 133,81 °C, indicando que houve transição (Figura 7). O filme E1 apresentou somente T_g , e os de mistura T_{max} e ΔH . Verificou-se que os filmes E3 e E6 obtiveram os menores valores de T_{max} , demonstrando a instabilidade térmica desses filmes comparados aos demais.

4 CONCLUSÃO

A incorporação da goma arábica nos filmes de mistura apresentou efeito importante nas propriedades tecnológicas, devido a interação com as proteínas miofibrilares e o glicerol. A estrutura formada na matriz polimérica favoreceu a compatibilidade do sistema e a distribuição uniforme da goma arábica nos filmes. Filmes com maiores concentrações de goma arábica, E5 (8,0:2,0) e E6 (7,5:2,5), apresentaram aumento nas propriedades de barreira à água, solubilidade e alongação, devido às interações mais fracas com as proteínas miofibrilares; apresentando diminuição na resistência à tração e transmissão da luz, E6 (7,5:2,5), com filmes mais opacos e menos transparentes.

As propriedades estruturais e térmicas demonstraram interações entre PML, GA e Gli, com a obtenção de novo material com características físico-químicas diferenciadas. Filmes com adições de 5, 15 e 20% de GA apresentaram melhor estabilidade térmica. O filme de mistura E4, com 8,5% PML, 1,5% GA e 40% Gli, apresentou maior compatibilidade e integração na estrutura, com baixa permeabilidade ao vapor de água, propriedade requerida para uma embalagem de alimentos.

Os resultados demonstram que materiais biodegradáveis e de baixo custo pode ser utilizados na elaboração de embalagens de alimentos ecológicas, evitando o descarte inadequado de resíduos da indústria de pesca, o que é benéfico economicamente e ambientalmente.

REFERÊNCIAS

AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS - ASTM. D882-91 (1996). **Standard Test Methods for Tensile Properties of Thin Plastic Sheeting**. Philadelphia: ASTM. (Annual Book of ASTM Standards).

ANDERSON, D. M. W.; EASTWOOD, M. A. (1989) The safety of gum arabic as a food additive and its Energy Value as an ingredient: a brief review. **Journal of Human Nutrition and Dietetics**, 2(3):137–144.

ANDERSON, D. M. W.; STODDART, J. F. (1966) Studies on uronic acid materials: Part XV. The use of molecular-sieve chromatography in studies on acacia senegal gum (gum arabic). **Carbohydrate Research**, 2(2): 104–114.

APHIBANTHAMMAKIT, C.; NIGEN, M.; GAUCEL, S.; SANCHEZ, C.; CHALIER, P. (2018) Surface properties of Acacia senegal vs Acacia seyal films and impact on specific functionalities. **Food Hydrocolloids**, 82: 519–533.

ARFAT, Y. A.; BENJAKUL, S.; PRODPRAN, T.; OSAKO, K. (2014) Development and characterisation of blend films based on fish protein isolate and fish skin gelatin. **Food Hydrocolloids**, 39: 58–67

ARFAT, Y. A.; BENJAKUL, S.; PRODPRAN, T.; SUMPAPAPOL, P.; SONGTIPYA, P. (2016) Physico-Mechanical Characterization and Antimicrobial Properties of Fish Protein Isolate/Fish Skin Gelatin-Zinc Oxide (ZnO) Nanocomposite Films. **Food and Bioprocess Technology**, 9: 101–112.

ASSIS, R. Q.; LOPES, S. M.; COSTA, T. M. H.; FLÔRES, S. H.; RIOS, A. O. (2017) Active biodegradable cassava starch films incorporated lycopene nanocapsules. **Industrial Crops and Products**, 109: 818–827.

BLANCO-PASCUAL, N.; FERNÁNDEZ-MARTÍN, F.; MONTERO, P. (2014) Jumbo squid (*Dosidicus gigas*) myofibrillar protein concentrate for edible packaging films and storage stability. **LWT - Food Science and Technology**, 55(2): 543–550.

CRIZEL, T. M.; RIOS, A. O.; ALVES, V. D.; BANDARRA, N.; MOLDÃO-MARTINS, M.; FLÔRES, S. H. (2018) Biodegradable Films Based on Gelatin and Papaya Peel Microparticles with Antioxidant Properties. **Food and Bioprocess Technology**, 11: 536–550.

CHANTAWEE, K.; RIYAJAN, S.-A. (2019) Effect of Glycerol on the Physical Properties of Carboxylated Styrene-Butadiene Rubber/Cassava Starch Blend Films. **Journal of Polymers and the Environment**, 27(1): 50–60.

COUPLAND, J. N.; MCCLEMENTS, D. J. (1996) Lipid oxidation in food emulsions. **Trends in Food Science & Technology Journal**, 7(3): 83–91.

Cozic, C.; Picton, L.; Garda, M. R.; Marlhoux, F.; Le Cerf, D. (2009) Analysis of arabic gum: Study of degradation and water desorption processes. **Food Hydrocolloids**, 23(7): 1930–1934.

- EGHBAL, N.; YARMAND, M. S.; MOUSAVI, M.; DEGRAEVE, P.; OULAHAL, N.; GHARSALLAOUI, A. (2016) Complex coacervation for the development of composite edible films based on LM pectin and sodium caseinate. **Carbohydrate Polymers**, 151: 947–956.
- ERBEN, M.; PÉREZ, A. A.; OSELLA, C. A.; ALVAREZ, V. A.; SANTIAGO, L. G. (2019) International Journal of Biological Macromolecules Impact of gum arabic and sodium alginate and their interactions with whey protein aggregates on bio-based films characteristics. **International Journal of Biological Macromolecules**, 125: 999–1007.
- GONTARD, N.; GUILBERT, S.; CUQ, J.-L. (1992) Edible Wheat Gluten Films: Influence of the Main Process Variables on Film Properties using Response Surface Methodology. **Journal of Food Science**, 57(1): 190–195.
- Goodrum, L. J., Patel, A., Leykam, J. F., & Kieliszewski, M. J. (2000). Gum arabic glycoprotein contains glycomodules of both extensin and arabinogalactan-glycoproteins. *Phytochemistry*, 54(1), 99–106.
- Guerrero, P.; Garrido, T.; Leceta, I.; Caba, K. de la. (2013) Films based on proteins and polysaccharides: Preparation and physical – chemical characterization. **European Polymer Journal**, 49(11): 3713–3721.
- GUTIÉRREZ, T. J.; MORALES, N. J.; TAPIA, M. S.; PÉREZ, E.; FAMÁ, L. (2015) Corn Starch 80:20 “Waxy”: Regular, “Native” and Phosphated, as Bio-Matrixes for Edible Films. **Procedia Materials Science**, 8: 304–310.
- HAN, J. H.; FLOROS, J. D. (1997) Casting antimicrobial packaging films and measuring their physical properties and antimicrobial activity. **Journal of Plastic Film and Sheeting**, 13(4): 287–298.
- HAQ, M. A.; HASNAIN, A.; AZAM, M. (2014) Characterization of edible gum cordia film: Effects of plasticizers. **LWT - Food Science and Technology**, 55(1): 163–169.
- HINDI, S. S. Z.; ALBUREIKAN, M. O.; AL-GHAMDI, A. A.; ALHUMMIANY, H.; ANSARI, M. S. (2017) Synthesis, Characterization and Biodegradation of Gum Arabic-based Bioplastic Membranes. **Nanoscience and Nanotechnology Research**, 4(2), 32–42.
- HINDI, S. S. Z. (2017) Suitability of Date Palm Leaflets for Sulphated Cellulose Nanocrystals Synthesis. **Nanoscience and Nanotechnology Research**, 4(1): 7–16.
- HOQUE, M. S.; BENJAKUL, S.; PRODPRAN, T. (2010) Effect of heat treatment of film-forming solution on the properties of film from cuttlefish (*Sepia pharaonis*) skin gelatin. **Journal of Food Engineering**, 96(1): 66–73.
- HOQUE, M. S.; BENJAKUL, S.; PRODPRAN, T. (2011) Effects of partial hydrolysis and plasticizer content on the properties of film from cuttlefish (*Sepia pharaonis*) skin gelatin. **Food Hydrocolloids**, 25(1): 82–90.

- JAFARI, S. M.; KHANZADI, M.; MIRZAEI, H.; DEHNAD, D.; CHEGINI, F. K.; MAGHSOUDLO, Y. (2015) International Journal of Biological Macromolecules Hydrophobicity, thermal and micro-structural properties of whey protein concentrate – pullulan – beeswax films. **International Journal of Biological Macromolecules**, 80: 506–511.
- JANGCHUD, A.; CHINNAN, M. S. (1999) Peanut protein film as affected by drying temperature and pH of film forming solution. **Journal of Food Science**, 64(1): 153–157.
- KAEWPRACHU, P.; OSAKO, K.; BENJAKUL, S.; RAWDKUEN, S. (2016) Effect of protein concentrations on the properties of fish myofibrillar protein based film compared with PVC film. **Journal of Food Science and Technology**, 53(4): 2083–2091.
- KAEWPRACHU, P.; RUNGRAENG, N.; OSAKO, K.; RAWDKUEN, S. (2017) Properties of fish myofibrillar protein film incorporated with catechin-Kradon extract. **Food Packaging and Shelf Life**, 13: 56–65.
- KHALIQ, G.; MOHAMED, M. T. M.; ALI, A., DING, P.; GHAZALI, H. M. (2015) Effect of gum arabic coating combined with calcium chloride on physico-chemical and qualitative properties of mango (*Mangifera indica L.*) fruit during low temperature storage. **Scientia Horticulturae**, 190: 187–194.
- KIELISZEWSKI, M. J.; LAMPORT, D. T. A. (1994) Extensin: Repetitive motifs, functional sites, post-translational codes, and phylogeny. **The Plant Journal**, 5(2): 157-172.
- KRISHNADEV, P.; GUNASEKARAN, K. (2017) Development of gum Arabic edible coating formulation through nanotechnological approaches and their effect on physico-chemical change in tomato (*Solanum lycopersicum L.*) fruit during storage. **International Journal of Agriculture Sciences**, 9(8): 3866–3870.
- KUMAR, R.; CHOUDHARY, V.; MISHRA, S.; VARMA, I. K.; MATTIASON, B. (2002) Adhesives and plastics based on soy protein products. **Industrial Crops and Products**, 16(3), 155–172.
- LAEMMLI, U. K. (1970) Cleavage of Structural Proteins during the Assembly of the Head of Bacteriophage T4. **Nature**, 227: 680–685.
- LEERAHAWONG, A.; ARII, R.; TANAKA, M.; OSAKO, K. (2011) Edible film from squid (*Todarodes pacificus*) mantle muscle. **Food Chemistry**, 124: 177–182.
- LOPEZ-TORREZ, L.; NIGEN, M.; WILLIAMS, P.; DOCO, T.; SANCHEZ, C. (2015) Acacia senegal vs. Acacia seyal gums - Part 1: Composition and structure of hyperbranched plant exudates. **Food Hydrocolloids**, 51: 41–53.
- Martucci, J. F.; Ruseckaite, R. A. (2015) Biodegradation behavior of three-layer sheets based on gelatin and poly (lactic acid) buried under indoor soil conditions. **Polymer Degradation and Stability**, 116: 36–44.

MCHUGH, T. H.; AVENA-BUSTILLOS, R.; KROCHTA, J. M. (1993) Hydrophilic Edible Films: Modified Procedure for Water Vapor Permeability and Explanation of Thickness Effects. **Journal of Food Science**, 58(4): 899–903.

MONTENEGRO, M. A.; BOIERO, M. L.; VALLE, L.; BORSARELLI, C. D. (2012) Gum Arabic: More Than an Edible Emulsifier. In Verbeek C. (Ed.). **Products and Applications of Biopolymers** (pp.1-26). Londre: IntechOpen.

MOTLAGH, S.; RAVINES, P.; KARAMALLAH, K. A.; MA, Q. (2006) The analysis of Acacia gums using electrophoresis. **Food Hydrocolloids**, 20: 848–854.

MURMU, S. B.; MISHRA, H. N. (2017) Optimization of the arabic gum based edible coating formulations with sodium caseinate and tulsi extract for guava. **LWT - Food Science and Technology**, 80: 271–279.

NIE, X.; ZHAO, L.; WANG, N.; MENG, X. (2017) Phenolics-protein interaction involved in silver carp myofibrillar protein films with hydrolysable and condensed tannins. **LWT - Food Science and Technology**, 81: 258–264.

NILSUWAN, K.; BENJAKUL, S.; PRODPRAN, T. (2018) Properties and antioxidative activity of fish gelatin-based film incorporated with epigallocatechin gallate. **Food Hydrocolloids**, 80: 212–221.

NOSHIRVANI, N.; GHANBARZADEH, B.; GARDRAT, C.; REZAEI, M. R.; HASHEMI, M.; LE COZ, C.; COMA, V. (2017) Cinnamon and ginger essential oils to improve antifungal, physical and mechanical properties of chitosan-carboxymethyl cellulose films. **Food Hydrocolloids**, 70:, 36–45

NUTHONG, P.; BENJAKUL, S.; PRODPRAN, T. (2009) Characterization of porcine plasma protein-based films as affected by pretreatment and cross-linking agents. **International Journal of Biological Macromolecules**, 44(2): 143–148.

OTONI, C. G.; AVENA-BUSTILLOS, R. J.; AZEREDO, H. M. C.; LOREVICE, M. V.; MOURA, M. R.; MATTOSO, L. H. C.; MCHUGH, T. H. (2017) Recent Advances on Edible Films Based on Fruits and Vegetables — A Review. **Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety**, 16(5): 1151–1169.

PADIL, V. V. T.; SENAN, C.; WACŁAWEK, S.; CERNIK, M.; AGARWAL, S.; VARMA, R. S. (2019) Bioplastic Fibers from Gum Arabic for Greener Food Wrapping Applications. **ACS Sustainable Chemistry & Engineering**, 7(6): 5900–5911.

PEREIRA, G. V. S.; PEREIRA, G. V. S.; ARAUJO, E. F.; NEVES, E. M. P. X.; JOELE, M. R. S. P.; LOURENÇO, L. F. H. (2019a) Optimized process to produce biodegradable films with myofibrillar proteins from fish byproducts. **Food Packaging and Shelf Life**, 21, 100364.

PEREIRA, G. V. S.; PEREIRA, G. V. S.; NEVES, E. M. P. X.; JOELE, M. R. S. P.; LIMA, C. L. S.; LOURENÇO, L. F. H. (2019b) Effect of adding fatty acids and surfactant on the functional properties of biodegradable films prepared with myofibrillar proteins

from acoupa weakfish (*Cynoscion acoupa*). **Food Science and Technology**, 39(1): 287–294.

PEREIRA, G. V. S.; PEREIRA, G. V. S.; NEVE, E. M. P. X.; REGO, J. A. R.; BRASIL, D. S. B.; LOURENÇO, L. F. H.; JOELE, M. R. S. P. (2020) Glycerol and fatty acid influences on the rheological and technological properties of composite films from residues of *Cynoscion acoupa*. **Food Bioscience**, 38: 100773.

PEREIRA, G. V. S., PEREIRA, G. V. S., NEVES, E. M. P. X., ALBUQUERQUE, G. A., REGO, J. A. R., CARDOSO, D. N. P., BRASIL, D. S. B., JOELE, M. R. S. P. (2021a) Effect of the Mixture of Polymers on the Rheological and Technological Properties of Composite Films of Acoupa Weakfish (*Cynoscion acoupa*) and Cassava Starch (*Manihot esculenta C.*). **Food and Bioprocess Technology**. <https://doi.org/10.1007/s11947-021-02622-1>.

PEREIRA, G. V. S.; PEREIRA, G. V. S.; NEVES, E. M. P. X.; OLIVEIRA, L. C.; PENA, R. S.; CALADO, V.; LOURENÇO, L. F. H. (2021b) Biodegradable films from fishing industry waste: Technological properties and hygroscopic behavior. **Journal of Composite Materials**, 55(28): 4169–4181.

PEREIRA, G. V. S.; PEREIRA, G. V. S.; OLIVEIRA, L. C.; CARDOSO, D. N. P.; CALADO, V.; LOURENÇO, L. F. H. (2021c) Rheological characterization and influence of different biodegradable and edible coatings on post-harvest quality of guava. **Journal of Food Processing and Preservation**, 45:e15335.

SAHRAEE, S.; GHANBARZADEH, B.; MILANI, J. M.; HAMISHEHKAR, H. (2017) Development of Gelatin Bionanocomposite Films Containing Chitin and ZnO Nanoparticles. **Food and Bioprocess Technology**, 10: 1441 – 1453.

SHAHGHOLIAN, N.; RAJABZADEH, G. (2016) Fabrication and characterization of curcumin-loaded albumin/gum arabic coacervate. **Food Hydrocolloids**, 59: 17–25.

SHIKU, Y.; HAMAGUCHI, P. Y.; BENJAKUL, S.; VISESSANGUAN, W.; TANAKA, M. (2004). Effect of surimi quality on properties of edible films based on Alaska pollack. **Food Chemistry**, 86(4): 493–499.

TIWARI, A. (2008). Synthesis and characterization of pH switching electrical conducting biopolymer hybrids for sensor applications. **Journal of Polymer Research**, 15(4): 337–342.

TONGNUANCHAN, P.; BENJAKUL, S.; PRODPRAN, T.; SONGTIPYA, P. (2011) Characteristics of film based on protein isolate from red tilapia muscle with negligible yellow discoloration. **International Journal of Biological Macromolecules**, 48(5): 758–767.

WANG, L.; SÁNCHEZ-SOTO, M.; ABT, T. (2016) Properties of bio-based gum Arabic/clay aerogels. **Industrial Crops & Products**, 91: 15–21.

WANG, S.; REN, J.; LI, W.; SUN, R.; LIU, S. (2014) Properties of polyvinyl alcohol/xylan composite films with citric acid. **Carbohydrate Polymers**, 103: 94–99.

WIHODO, M.; MORARU, C. I. (2013) Physical and chemical methods used to enhance the structure and mechanical properties of protein films: A review. **Journal of Food Engineering**, 114(3): 292–302.

XIE, Y. L.; ZHOU, H. M.; QIAN, H. F. (2006) Effect of addition of peach gum of physicochemical properties of Gletatin-based microcapsule. **Journal of Food Biochemistry**, 30(3): 302–312.

XU, T.; GAO, C. C.; YANG, Y.; SHEN, X.; HUANG, M.; LIU, S.; TANG, X. (2018) Retention and release properties of cinnamon essential oil in antimicrobial films based on chitosan and gum arabic. **Food Hydrocolloids**, 84: 84–92.

XU, T.; GAO, C.; FENG, X.; HUANG, M.; YANG, Y.; SHEN, X.; TANG, X. (2019) Cinnamon and clove essential oils to improve physical, thermal and antimicrobial properties of chitosan-gum arabic polyelectrolyte complexed films. **Carbohydrate Polymers**, 217, 116–125.

XU, X., LI, B., KENNEDY, J. F., XIE, B. J., & HUANG, M. (2007). Characterization of konjac glucomannan – gellan gum blend films and their suitability for release of nisin incorporated therein. **Carbohydrate Polymers**, 70: 192–197.

WU, J.; SUN, X.; GUO, X.; JI, M.; WANG, J.; CHENG, C.; CHEN, L.; WEN, C.; ZHANG, Q. (2018) Physicochemical, Antioxidant, In Vitro Release, and Heat Sealing Properties of Fish Gelatin Films Incorporated with β -Cyclodextrin/Curcumin Complexes for Apple Juice Preservation. **Food and Bioprocess Technology**, 11: 447–461.

ZAVAREZE, E. R.; HALAL, S. L. M.; TELLES, A. C.; PRENTICE-HERNÁNDEZ, C. (2012) Biodegradable films based on myofibrillar proteins of fish. **Brazilian Journal of Food Technology**, IV SSA, 15: 53–57.

ZAVAREZE, E. D. R.; EL HALAL, S. L. M.; SILVA, R. M. E.; DIAS, A. R. G.; PRENTICE-HERNÁNDEZ, C. (2014) Mechanical, Barrier and Morphological Properties of Biodegradable Films Based on Muscle and Waste Proteins from the W hitemouth Croaker (*Micropogonias furnieri*). **Journal of Food Processing and Preservation**, 38: 1973–1981.