



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

REBECA DESIREÉ SOUSA DA COSTA

**ELABORAÇÃO E CARACTERIZAÇÃO DE FILMES A PARTIR DE FARINHA DE
PUPUNHA (*Bactris gasipaes*), QUITOSANA E GLICEROL PELO MÉTODO DE *CASTING***

**BELÉM – PARÁ
2019**

REBECA DESIREÉ SOUSA DA COSTA

ELABORAÇÃO E CARACTERIZAÇÃO DE FILMES A PARTIR DE FARINHA DE PUPUNHA (*Bactris gasipaes*), QUITOSANA E GLICEROL PELO MÉTODO DE *CASTING*

Tese apresentada ao Programa de Pós Graduação em Ciência e Tecnologia de Alimentos da Universidade Federal do Pará para a obtenção do Título de Doutor em Ciência e Tecnologia de Alimentos.

Orientadora:

Prof^a. Dr^a. Luiza H. Meller da Silva

Co-Orientador:

Prof. Dr. Antonio Manoel da Cruz Rodrigues

BELÉM – PARÁ
2019

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)

C837e Costa, Rebeca Desireé Sousa da.

Elaboração e caracterização de filmes a partir de farinha de pupunha (*Bactris gasipaes*), quitosana e glicerol pelo método de *casting* / Rebeca Desireé Sousa da Costa. — 2019.
137 f. : il. color.

Orientador(a): Prof^a. Dra. Luiza Helena Meller da Silva Coorientador(a):
Prof. Dr. Antonio Manoel da Cruz Rodrigues Tese (Doutorado) -
Universidade Federal do Pará, Instituto de
Tecnologia, Programa de Pós-Graduação em Ciência e Tecnologia de
Alimentos, Belém, 2019.

1. *Bactris gasipaes*. 2. Filmes biodegradáveis. 3. Difração de raios-X.
4. Caracterização de FTIR. 5. Degradação em solo.
I. Título.

CDD 664.8009811

DATA: 26 de junho de 2019

CONCEITO: EXC

BANCA EXAMINADORA

Prof^ª. Dr^ª. Luiza H. Meller da Silva (PPGCTA/ITEC/UFPA – Orientadora)

Prof. Dr. Antonio Manoel da Cruz Rodrigues (PPGCTA/ITEC/UFPA – Co-Orientador)

Prof. Dr. Rosinelson da Silva Pena (PPGCTA/ITEC/UFPA – Membro)

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

Prof. Dr. João Borges Laurindo (PPGEA/EQA/UFSC – Membro)

Prof^ª. Dr^ª. Simone Hickmann Flôres (PPGCTA/ICTA/UFGRS – Membro)

Prof. Dr. Nelson Rosa Ferreira (PPGCTA/ITEC/UFPA – Suplente)

Prof^ª. Dr^ª. Carmen Maria Olivera Müller (PPGCA/CTA/UFSC – Suplente)

*Dedico este trabalho aos meus pais, João
Ferreira da Costa e Maria de Fátima de Sousa*

AGRADECIMENTOS

A realização deste trabalho só foi possível com a ajuda e apoio de muitas pessoas. As palavras são poucas para expressar tamanha gratidão a elas.

Agradeço a Deus por estar sempre do meu lado e por ter me guiado em mais essa etapa. Agradeço a minha orientadora, a Prof^a. Dr^a. Luiza Helena Meller da Silva por, aproximadamente, dez anos de confiança, paciência, incentivo e orientação.

A minha querida e amada mãe, Maria de Fátima, por ser a minha maior fonte de inspiração. Pelo seu amor, carinho, paciência, força, dedicação e incentivo em todos os momentos, sejam eles, bons ou ruins. À minha tia Maria do Carmo pela sua paciência e infinitas histórias que muitas vezes me fizeram sorrir. Ao meu pai, de alma e coração, pelo seu incentivo e orgulho. A minha querida madrastra, Maria, pela mudança que se tornou em minha vida, sou eternamente grata a você.

A Universidade Federal do Pará, ao Programa de Pós-Graduação em Ciência e Tecnologia de Alimentos pela oportunidade, e a todos os funcionários que direta ou indiretamente contribuíram para realização deste trabalho.

Ao Prof. Dr. Antonio Manoel da Cruz Rodrigues pelos seus conhecimentos em engenharia, construção de equipamentos e apoio durante todos esses anos. Aos professores doutores, Rosinelson Pena, João Laurindo, Raul Nunes pelos conhecimentos repassados, incentivo e por fazerem parte da banca avaliadora.

Agradeço em especial a Prof^a. Dr^a. Simone Flôres pela parceria e colaboração para a realização das análises de atividade antimicrobiana.

Aos colegas do PPGCTA pelo seu auxílio nas tarefas desenvolvidas durante o curso.

A CAPES pela provisão da bolsa de doutorado.

Ao Núcleo de Microscopia e Microanálise (Programa de Pós-graduação em Física/UFPA) pela utilização do MEV e Raios-X

Agradeço à minha querida e eterna amiga Ana Raiza Pastana por entender o quão difícil foi manter a nossa amiga intacta durante esses 4 anos de doutorado, muitíssimo obrigada pela sua compreensão (as vezes rs) e pelas infinitas vezes em que tive seu apoio.

Ao Fernando Pereira pelos anos de amizade, companheirismo e confidências. E aos seus pais por me tratarem tão bem, me fazendo sentir parte da família. Aos amigos Caroline Carvalho, Gyorgy Sampaio e Sâmia Ferreira, agradeço pelos momentos de descontração e de muitas risadas.

Agradeço aos colegas de laboratório (LAMEFI), de maneira geral, pela ajuda com as análises e nos momentos de descontração. Mas em particular, ao Danilo, Rutelene, Dayala, Jézica, Giselle Menezes, Samiria e Cintieley pelos anos de convivência e amizade; Giselle Melo, Wanessa, Laríssia, Danylla e Paulo que acompanharam esta jornada e compartilharam de momentos bons e ruins.

A todos os familiares, amigos e colegas pela dedicação, todos que de uma forma ou outra são responsáveis por esta vitória.

SUMÁRIO

LISTA DE FIGURAS.....	x
LISTA DE TABELAS	xii
LISTA SIGLAS E SÍMBOLOS	xiii
RESUMO.....	xiv
ABSTRACT	xv
1 INTRODUÇÃO.....	1
2 OBJETIVO.....	1
2.1 OBJETIVO GERAL	1
2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS	1
3 REVISÃO BILIOGRÁFICA	2
3.1 FORMULAÇÃO E TECNOLOGIA DE PRODUÇÃO DE FILMES E COBERTURAS À BASE DE AMIDO	2
3.2 COMPOSIÇÃO DOS FILMES	4
3.2.1 Pupunha (<i>Bactris gasipaes</i>).....	4
3.2.2 Amido.....	8
3.2.3 Quitosana.....	11
3.2.4 Plastificantes.....	12
3.3 PROPRIEDADES DOS FILMES.....	13
3.3.1 Propriedades físico-químicas	13
3.3.2 Propriedades reológicas.....	14
3.3.3 Propriedades mecânicas	16
3.3.4 Propriedades de barreira	17
3.3.5 Propriedades ópticas.....	18
3.3.6 Propriedades térmicas e estruturais.....	19
3.3.7 Atividade antioxidante.....	20
3.3.8 Biodegradabilidade.....	22
3.3.9 Ação antimicrobiana.....	23
4 MATERIAIS E MÉTODOS	25
4.1 OBTENÇÃO DA MATÉRIA-PRIMA.....	25
4.1.1 Produção e caracterização da farinha de pupunha	25
4.2 ELABORAÇÃO E SECAGEM DAS SUSPENSÕES FILMOGÊNICAS	26

4.3	COMPORTAMENTO REOLÓGICO DAS SUSPENSÕES FILMOGÊNICAS.....	26
4.4	CARACTERIZAÇÃO DOS FILMES	28
4.4.1	Umidade.....	28
4.4.2	Solubilidade em água.....	28
4.4.3	Permeabilidade ao vapor de água	28
4.4.4	Espessura do filme	29
4.4.5	Propriedades mecânicas	29
4.4.6	Cor.....	30
4.4.7	Opacidade	30
4.4.8	Microscopia eletrônica de varredura (MEV).....	30
4.4.9	Difração de raios-X (DRX).....	31
4.4.10	Espectroscopia de infravermelho de transformada de Fourier (FTIR)	31
4.4.11	Análise termogravimétrica (TG)	31
4.4.12	Biodegradabilidade dos filmes	31
4.4.13	Determinação da atividade antimicrobiana	32
4.4.14	Atividade antioxidante por radical DPPH e compostos fenólicos totais.....	33
4.5	ANÁLISE ESTATÍSTICA DOS RESULTADOS	34
5	RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	35
5.1	CARACTERIZAÇÃO DA FARINHA DE PUPUNHA	35
5.2	PROPRIEDADES REOLÓGICAS	37
5.3	CARACTERIZAÇÃO DOS FILMES.....	40
5.3.1	Umidade, solubilidade e permeabilidade ao vapor de água	40
5.3.2	Espessura e propriedades mecânicas	43
5.3.3	Parâmetros de cor, transmissão de luz e opacidade	44
5.3.4	Microscopia eletrônica de varredura (MEV).....	47
5.3.5	Difração de raios-X (DRX).....	50
5.3.6	Espectroscopia de infravermelho de transformada de Fourier (FTIR)	52
5.3.7	Análise termogravimétrica.....	54
5.3.8	Degradação dos filmes em solo	56
5.3.9	Atividade antioxidante por radical DPPH e compostos fenólicos totais.....	58
5.3.10	Atividade antimicrobiana.....	61
6	CONCLUSÃO	63
	PESQUISAS FUTURAS	64
	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	65

APÊNDICE A	93
Curva de calibração do DPPH	95
Curva padrão do ácido gálico	96
Especificações quitosana	97
APÊNDICE B.....	97
Atividades desenvolvidas durante o doutorado	97

LISTA DE FIGURAS

- Figura 1** Obtenção de filmes pelo método de *casting*: (1) formulação da suspensão (solução filmogênica) de amido; (2) solução filmogênica depositada sobre um molde ou superfície; (3) secagem e (4) remoção do filme formado.3
- Figura 2** Aplicação de suspensão (solução) filmogênica pelo método de (a) imersão e (b) pulverização.....4
- Figura 3** Pupunheira *Bactris gasipaes* Kunth (a) e pupunhas de diferentes variedades (b)5
- Figura 4** Representação esquemática do grânulo de amido..... 8
- Figura 5** Amilose (a) e amilopectina (b).....9
- Figura 6** Classificação das cadeias da amilopectina em tipo A, B e C (a), Estrutura da amilopectina formando as regiões amorfas e cristalinas (b) e Modelo da estrutura interna com a visualização dos anéis de crescimento e centro ou hilum (c). 10
- Figura 7** Estrutura química da quitosana 11
- Figura 8** Microscopia eletrônica de varredura da farinha de pupunha. Ampliação de 4 e 6 kx (10 µm), respectivamente, e com aceleração de 5,0 kV.37
- Figura 9** Efeito da temperatura na tensão de cisalhamento (a) e viscosidade (b) nas suspensões filmogênicas. Formulação 1 (■ 40°C ▼ 45°C ● 50°C), Formulação 2 (▲ 40°C ◆ 45°C ◇ 50°C) e Formulação 3 (□ 40°C ▽ 45°C ◇ 50°C).....38
- Figura 10** Curvas de ajuste para o comportamento reológico de diferentes suspensões filmogênicas, modelo de Herschel-Bulkley (■ 40°C ▼ 45°C ◆ 50°C).....38
- Figura 11** Efeito da temperatura sobre a viscosidade aparente de diferentes suspensões filmogênicas. ■ Formulação 1 (40°C, 45°C e 50°C), ● Formulação 2 (40°C, 45°C e 50°C) e ▲ Formulação 3 (40°C, 45°C e 50°C).....40
- Figura 12** Micrografias da superfície dos filmes. Formulação 1, 2 e 3: 40°C (a, b e c), 45°C (d, e e f) e 50°C (g, h e i), respectivamente48
- Figura 13** Micrografias das secções transversais dos filmes. Formulação 1, 2 e 3: 40°C (a, b e c), 45°C (d, e e f) e 50°C (g, h e i), respectivamente.....49
- Figura 14** Padrões de difração de raios-X de filmes em diferentes temperaturas de secagem: (a) 40°C, (b) 45°C e (b) 50°C. (—) Formulação 1, (—) Formulação 2 e (—) Formulação 3. 51

Figura 15 Espectro de FTIR de filmes em diferentes temperaturas de secagem: (a) 40°C, (b) 45°C e (b) 50°C. (—) Formulação 1, (- -) Formulação 2 e (···) Formulação 3.....	53
Figura 16 Curvas de análise termogravimétrica (TG e DTA) dos filmes.	54
Figura 17 Curvas de absorção de água e perda de peso dos filmes ao longo do tempo de incubação.	57
Figura 18 Atividade de eliminação do radical DPPH (a) e compostos fenólicos totais dos filmes (b)	59
Figura A1 Biodegradabilidade dos filmes antes e após 15 dias de exposição à degradação em solo.	93

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 Caracterização física de cachos de pupunha (<i>Bactris gasipaes</i> Kunth) de diferentes áreas geográficas.....	5
Tabela 2 Caracterização física dos frutos de pupunha (<i>Bactris gasipaes</i> Kunth) de diferentes áreas geográficas.....	6
Tabela 3 Composição nutricional da polpa de pupunha (<i>Bactris gasipaes</i>).....	7
Tabela 4 Concentrações dos componentes usados no preparo das suspensões filmogênicas.	26
Tabela 5 Composição físico-química da farinha de pupunha utilizada no preparo dos filmes biodegradáveis.	35
Tabela 6 Parâmetros dos modelos matemáticos de Herschel-Bulkley e Bingham para o comportamento reológico de suspensões filmogênicas.	39
Tabela 7 Teor de umidade, solubilidade em água, permeabilidade ao vapor de água, espessura, força na ruptura, resistência a tração, porcentagem de alongação e Módulo de Young dos filmes.	42
Tabela 8 Parâmetros CIELab, transmissão de luz e opacidade dos filmes incorporados com diferentes concentrações de farinha de pupunha, quitosana e glicerol	47
Tabela A1 Atividades antimicrobianas de filmes compostos de farinha de pupunha, quitosana e glicerol.	94

LISTA SIGLAS E SÍMBOLOS

- F_m - Força máxima no momento da ruptura do filme (N)
- A - Área (m^2)
- d_r - Distância no momento da ruptura (cm)
- d_i - Distância inicial de separação (cm)
- τ - Tensão de cisalhamento ($N.m^{-2}$ ou Pa)
- $\dot{\epsilon}$ - Taxa de deformação (s^{-1})
- η - Viscosidade (Pa.s)
- K - Índice de consistência do modelo Lei da potência (Pa.sn)
- n - Índice de comportamento do fluido do modelo Lei da potência (adimensional)
- A_A - Constante da equação de Arrhenius (Pa.s)
- E_a - Energia de ativação ($kJ.mol^{-1}$)
- R - Constante dos gases ideais ($8,314 J.mol^{-1}.K^{-1}$)
- T - Temperatura (K ou $^{\circ}C$)
- R^2 - Coeficiente de determinação
- χ^2 - Qui-quadrado
- $E_{I_{cm}}^{1\%}$ - Coeficiente de extinção do β -caroteno
- CT - Carotenoides totais ($\mu g.100g^{-1}$)
- DPPH - 2,2-difenil-1-picrilhidrazil
- I - Porcentagem de inibição do radical DPPH
- pH - Potencial hidrogeniônico

RESUMO

Problemas ambientais causados por embalagens produzidas a partir de fontes não biodegradáveis e renováveis ocasionaram um crescente interesse e atenção por parte da indústria e de pesquisadores no desenvolvimento de filmes e coberturas. Os filmes são geralmente obtidos a partir de polímeros como polissacarídeos, proteínas e lipídeos, utilizados para auxiliar na manutenção da qualidade e vida útil dos alimentos. Dessa forma, este trabalho teve como objetivo desenvolver filmes através da técnica de *casting* a partir de matrizes biodegradáveis, avaliar as propriedades mecânicas, de barreira, ópticas, estruturais, térmicas e analisar o comportamento reológico das diferentes suspensões filmogênicas. Os filmes foram preparados com diferentes proporções de farinha de pupunha, quitosana e glicerol. A quitosana proporcionou melhorias nas propriedades mecânicas, ópticas e morfológicas dos filmes, no entanto, não exibiu atividade antimicrobiana contra agentes patogênicos de origem alimentar como *E. coli* e *S. aureus*, no entanto, para a bactéria *L. monocytogenes* os filmes apresentam inibição antimicrobiana somente na área de contato com o ágar. O estudo reológico demonstrou que todas as suspensões filmogênicas apresentaram comportamento de fluido não-newtoniano, com características dilatantes e índice de comportamento $n > 1$. Os modelos Herschel-Bulkley e Bingham foram testados, e ambos se ajustaram satisfatoriamente aos dados reológicos, apresentando elevados valores para o fator R^2 e baixos valores para o fator χ^2 . Os filmes obtidos apresentaram uma superfície lisa e homogênea, ligeiramente solúvel, permeável ao vapor de água, coloração amarela devido ao alto conteúdo de carotenoides presentes na pupunha. Os filmes exibiram um padrão de raios-X do tipo C e os espectros de FTIR revelaram presença do grupo amida I. Após 15 dias em solo, os filmes perderam 30% em relação ao peso inicial. Portanto, os filmes obtidos apresentam características/propriedades semelhantes aos filmes convencionais com a vantagem de serem biodegradáveis, provenientes de fontes renováveis e podem substituir as embalagens atuais.

Palavras-chave: *Bactris gasipaes*; filmes biodegradáveis; difração de raios-X; caracterização de FTIR; degradação em solo.

ABSTRACT

Environmental problems caused by packaging manufactured from non-biodegradable and renewable sources have led to increased interest and attention from industry and researchers in terms of films and edible toppings development. Films are usually obtained from polymers such as polysaccharides, proteins and lipids, used to help maintain the quality and food shelf life. Thus, the aim of this study was to develop films using the *casting* technique from biodegradable sources with antimicrobial activity, in addition to evaluate the mechanical, barrier, optical, structural and thermal properties as well as to analyze the rheological behavior of the different filmogenic suspensions. The films were prepared with different ratios of peach palm flour, chitosan and glycerol. The presence of chitosan led to an improvement in the mechanical, optical and morphological properties of the films; however, they did not show antimicrobial activity against foodborne pathogens as *E. coli* and *S. aureus*. The rheological study showed that all the filmogenic suspensions presented non-Newtonian fluid behavior, with dilating characteristics. The Herschel-Bulkley and Bingham models were tested, and both fit satisfactorily to the rheological data, presenting high values for the R^2 factor and low values for the χ^2 factor. The results obtained for the fluid behavior index (n) presented values of $n > 1$ for all the samples, proving the dilator behavior of the suspensions. The films obtained presented a smooth and homogeneous surface, slightly soluble, permeable to water vapor, yellow coloration due to the high content of carotenoids present in the peach palm. FTIR spectra revealed the presence of the group amide I and the films exhibited the type C X-ray pattern. After 15 days in soil, the films lost 30% of its initial weight. Therefore, films obtained exhibit properties / properties similar to conventional films, with the advantage of being biodegradable from renewable sources and can replace the current packaging.

Keywords: *Bactris gasipaes*; biodegradable films; X-ray diffraction; FTIR characterization; degradation in soil.

1 INTRODUÇÃO

Filmes são materiais finos, flexíveis, elaborados com macromoléculas biológicas capazes de formar uma matriz contínua e contendo apenas aditivos de grau alimentício. Agem como uma barreira, protegendo o alimento dos elementos externos, como umidade, óleo, vapor orgânico e desta forma estendem sua vida de prateleira (MARTELLI et al., 2013; SCHEIBE; MORAES; LAURINDO, 2014; PAGNO et al., 2018).

Vários tipos de filmes/coberturas têm sido desenvolvidos em escala laboratorial, utilizando polissacarídeos (PESILLARI et al., 2013; FAKHOURI et al., 2015; LIU et al., 2018; LUCHESE et al., 2018), proteínas (SANTACRUZ; RIVADENEIRA; CASTRO, 2015; BATISTA et al., 2019; DA SILVA E SILVA et al., 2018) e lipídios (QUEZADA-GALLO et al., 2000; MUSAZZI et al., 2019), como biopolímero, que podem ser reciclados e completamente biodegradados em compostos naturais, como CO₂, água, metano, hidrogênio e biomassa (MARTUCCI et al., 2009; IAHNKE et al., 2016; VARGAS et al., 2017; ASSIS et al., 2018; CRIZEL et al., 2018).

Dentre os polissacarídeos utilizados para produção de filmes/coberturas, o amido é o biopolímero natural mais empregado (VERSINO et al., 2016). O uso do amido pode ser uma alternativa interessante devido ao seu fácil processamento, baixo custo, abundância, biodegradabilidade, e fácil manipulação (MALI et al., 2010; PELISSARI et al., 2013; BATISTA et al., 2019).

O amido é formado por dois tipos de polímeros da glicose: a amilose e a amilopectina (BERG, 2007) e a relação destes dois componentes varia de acordo com o tipo de amido, a forma mais comum, varia entre 8 a 30% de amilose. O amido é principal componente nos frutos da pupunha (CARVALHO et al., 2013; BEZERRA; SILVA, 2016; COSTA et al., 2019), sua característica amilácea favorece sua utilização para a produção de farinha (ROJAS-GARBANZO et al., 2012, 2011), bolos (ROSA et al., 2016; MARTÍNEZ-GIRÓN et al., 2017), compotas, geleias (PELAIS; PINHEIRO; SANTOS, 2017), bebidas alcoólicas (ANDRADE et al., 2003; GRAEFE et al., 2013) e massas alimentícias (OLIVEIRA et al., 2006; (SILVA; PIRES; SAKURAI, 2017) principalmente em função de seu teor nutritivo com elevados teores de fibras, gordura, carotenoides (ROJAS-GARBANZO et al., 2011; GRAEFE et al., 2013; COSTA et al., 2019; MATOS et al., 2019) e aminoácidos essenciais (YUYAMA et al., 2003), o que a torna em um alimento com alto valor energético (CLEMENT et al., 2004; DA SILVA,

CLEMENT, 2005; BEZERRA; SILVA, 2016; CARVALHO et al., 2013, 2009; ROJAS-GARBANZO et al., 2016; COSTA et al., 2019).

Os filmes obtidos de polissacarídeos em geral são quebradiços e necessitam de adição de outros componentes, como a quitosana, que além de ter boas propriedades formadoras de filmes, possui ação bactericida e fungicida (OUATTARA et al., 2000; CARDOSO, 2011; VERSINO; LOPEZ; ZARITZKY, 2016), e o glicerol age como plastificante reduzindo as pontes de hidrogênio ampliando os espaços intermoleculares, aumentando a flexibilidade e a permeabilidade melhorando as propriedades mecânicas dos filmes (GARCÍA et al., 2009; BATISTA et al., 2019; COLUSSI et al., 2017; NASCIMENTO; CALADO; CARVALHO, 2012).

A técnica mais utilizada para a produção de filmes à base de amido em pequena escala é o *casting* (MALI et al, 2005; MÜLLER et al, 2008; VERSINO; LOPEZ; ZARITZKY, 2016), que consiste em secar uma suspensão em placas de pequenas dimensões (placa de Petri ou placas de acrílico). Em geral, a secagem de suspensões pelo método de *casting* se dá à temperatura ambiente ou em estufas com circulação de ar forçado com temperaturas moderadas (30-40°C), o que requer tempos de secagem de 10-48 h (VERSINO et al., 2016; CRIZEL et al., 2018; DA SILVA E SILVA et al., 2018; BATISTA et al., 2019).

Devido ao grande interesse por materiais obtidos a partir de fontes renováveis, o desenvolvimento de embalagens tem recebido grande atenção dos pesquisadores, principalmente em relação à produção de filmes ou revestimentos com características comestíveis, biodegradáveis ou antimicrobianos (ASSIS et al., 2018; KANMANI; RHIM, 2014; MATTE et al., 2014; MEDINA-JARAMILLO et al., 2013; PELISSARI et al., 2013; PIÑEROS-HERNANDEZ et al., 2017). Vários autores relataram a potencial aplicação de farinhas na elaboração de filmes ou revestimentos, como farinha de amaranto (TAPIA-BLÁCIDO et al., 2007), babaçu (TAPIA-BLÁCIDO et al., 2007), quinoa (PAGNO et al., 2016, 2014), banana (PELISSARI et al., 2013) e mandioca (ASSIS et al., 2018; LUCHESE et al., 2017; MEDINA-JARAMILLO et al., 2016; PIÑEROS-HERNANDEZ et al., 2017; SOUZA et al., 2013).

Por tanto, filmes e coberturas são sistemas promissores para a melhoria da qualidade (nutricional e sensorial), da vida de prateleira, segurança e funcionalidade dos alimentos (benefícios à saúde) (AQUINO; BLANK; SANTANA, 2015; PAGNO et al., 2018). Dessa forma, este trabalho teve por objetivo desenvolver e caracterizar filmes biodegradáveis à base pupunha, quitosana e glicerol através da técnica de *casting*, e avaliar suas propriedades físicas, mecânicas e antimicrobianas, visando a aplicação do filme na indústria de alimentos.

2 OBJETIVO

2.1 OBJETIVO GERAL

O objetivo geral deste trabalho foi elaborar filmes a partir de matrizes amazônicas e avaliar as características físicas, propriedades mecânicas e de barreira, visando indicar sua aplicação em produtos alimentícios.

2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Avaliar as características físico-químicas da farinha de pupunha (*Bactris gasipaes*);
- Estudar o efeito da temperatura e concentração das suspensões filmogênicas nas propriedades reológicas, como tensão de cisalhamento e viscosidade aparente;
- Elaborar filmes a partir de diferentes concentrações de farinha de pupunha, quitosana e glicerol;
- Aplicabilidade diferentes modelos reológicos aos dados obtidos e analisar a influência da temperatura;
- Analisar as propriedades mecânicas (espessura, força de ruptura, resistência à tração, porcentagem de alongação e módulo de Young), conteúdo de umidade, solubilidade de água e permeabilidade ao vapor de água dos filmes obtidos;
- Caracterizar as propriedades ópticas (cor, transmissão de luz e opacidade), análise térmica (TGA), morfológica (Microscopia Eletrônica de Varredura), Difração de Raios-x e espectroscopia de Infravermelho de Transformada de Fourier;
- Estudar a biodegradabilidade dos filmes e a atividade antimicrobiana *in vitro*;
- E caracterizar o conteúdo de compostos fenólicos e atividade antioxidante dos filmes.

3 REVISÃO BILIOGRÁFICA

3.1 FORMULAÇÃO E TECNOLOGIA DE PRODUÇÃO DE FILMES E COBERTURAS À BASE DE AMIDO

Polímeros biodegradáveis são polímeros que sofrem biodegradação por atividade biológica de ocorrência natural, não necessariamente proveniente de fontes renováveis, no entanto, o termo biopolímero é utilizado para polímeros ou copolímeros produzidos a partir de matérias-primas renováveis (ABNT, 2008; IAHNKE et al., 2016; VARGAS et al., 2017; Assis et al., 2018). Os polímeros biodegradáveis podem ser classificados em quatro grupos de acordo com a sua origem biológica e tecnológica:

1. Polímeros naturais extraídos a partir da biomassa, como amido e derivados de celulose;
2. Polímeros microbianos, formados a partir da fermentação de substratos de origem agrícola (poli-hidroxi-alcanoatos - PHA);
3. Produtos biotecnológicos, formados por polímeros que envolvem a produção biotecnológica/fermentativa do monômero, porém, é necessário um processo de síntese ou polimerização convencional, como, por exemplo, o ácido polilático (PLA);
4. Polímeros obtidos a partir de produtos da indústria petroquímica, quimicamente sintetizados, convencionalmente, a partir de produtos de petróleo.

Os primeiros três grupos são derivados a partir de recursos renováveis, enquanto o último grupo é derivado a partir do petróleo (WIHODO; MORARU, 2013; OTHMAN, 2014). Biopolímeros são polímeros formados durante o crescimento e desenvolvimento de organismos vivos, formados no interior das células por complexos processos metabólicos. Por tanto, têm a capacidade de serem degradados ou decompostos, com liberação de subprodutos orgânicos, como: dióxido de carbono, compostos inorgânicos e água (FAKHOURI et al., 2013).

Filmes biodegradáveis são obtidos a partir de recursos renováveis, tais como: polissacarídeos (amido, quitosana), proteínas (gelatina, caseína, glúten de trigo e zeína) e lipídios (ceras), que são utilizados isoladamente ou combinados (VARGAS et al., 2008; BATISTA et al., 2019; NASCIMENTO; CALADO; CARVALHO, 2012; PELISSARI et al., 2013; VIEIRA et al., 2018).

Dentre os polissacarídeos utilizados para produção de filmes e revestimentos, o amido é o biopolímero natural mais empregado (AQUINO; BLANK; SANTANA, 2015; ASSIS et al.,

2018; BELLO-PÉREZ et al., 2006; GODBILLOT, L, DOLE, P, JOLY, C, ROGÉ, B, MATHLOUTHI, 2006; LÓPEZ; GARCÍA, 2012; LUCHESE et al., 2018; VAN SOEST; VLIEGENTHART, 1997). O uso do amido pode ser uma interessante alternativa devido ao seu fácil processamento, baixo custo, abundância, biodegradabilidade, comestibilidade e fácil manipulação (MALI et al., 2002).

Para a obtenção de um material termoplástico a base de amido, sua estrutura granular semicristalina precisa ser destruída para dar origem a uma matriz polimérica homogênea e essencialmente amorfa (VAN SOEST; VLIEGENTHART, 1997; SOUZA; ANDRADE, 2000; LIU, 2005). A microestrutura e as propriedades dos filmes de amido dependem do tipo de material utilizado para a sua produção (COLUSSI et al., 2017; GILFILLAN et al., 2012; SOUZA et al., 2013; VALENCIA et al., 2015). Quando produzidos em escala laboratorial, se formam depois de solubilização do amido em um solvente, com formação de uma solução filmogênica (LUCHESE et al., 2018; MARCOVICH et al., 2011; MOHAMMADI et al., 2018; PELISSARI et al., 2013) que, em seguida, é aplicada sobre um suporte e é seca para evaporação do solvente, técnica chamada de *casting* (BATISTA et al., 2019; COLLA; SOBRAL; MENEGALLI, 2006; LUCHESE et al., 2018; MARCOVICH et al., 2011; PAGNO et al., 2014).

Na indústria, os filmes podem ser obtidos pelos mesmos métodos utilizados para elaborar filmes plásticos flexíveis, como extrusão e co-extrusão para filmes multicamadas, laminação e, principalmente por secagem em rolos para a remoção do solvente de solução polimérica (DEBEAUFORT; QUEZADA-GALLO; VOILLEY, 1998).

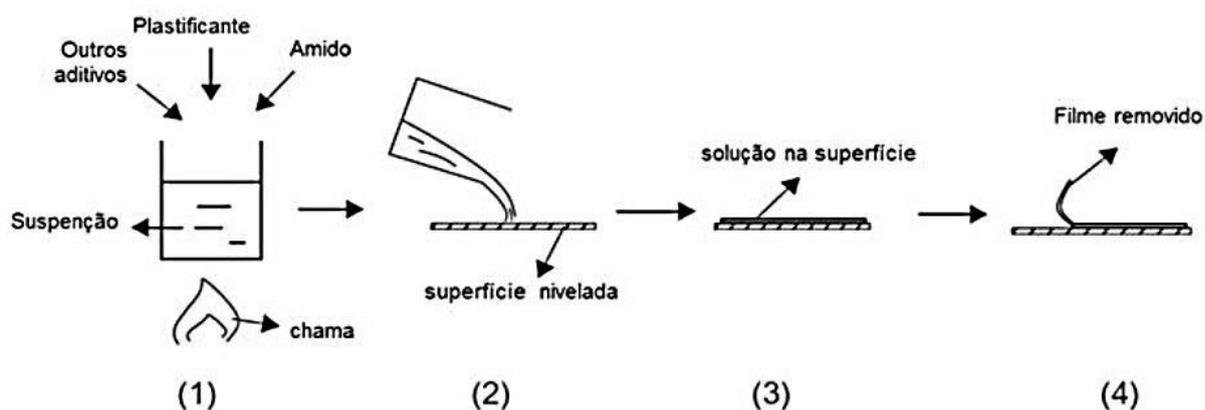


Figura 1 Obtenção de filmes pelo método de *casting*: (1) formulação da suspensão (solução filmogênica) de amido; (2) solução filmogênica depositada sobre um molde ou superfície; (3) secagem e (4) remoção do filme formado.

Coberturas podem ser aplicadas por imersão (Figura 2a), onde o alimento é imerso em um recipiente com a suspensão filmogênica, ou pela pulverização (Figura 2b) da suspensão sobre o alimento. Em ambos os casos, após o processo de aplicação da suspensão, o alimento é deixado em repouso (temperatura ambiente ou sob refrigeração) para a evaporação do solvente e para a formação da película (DAS, DUTTA; MAHANTA, 2013).

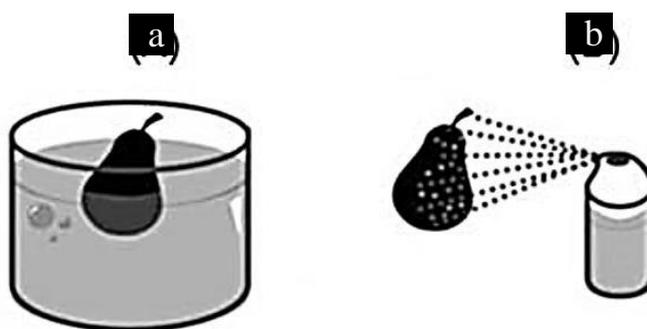


Figura 2 Aplicação de suspensão (solução) filmogênica pelo método de (a) imersão e (b) pulverização.

Fonte: Pagno (2016)

3.2 COMPOSIÇÃO DOS FILMES

3.2.1 Pupunha (*Bactris gasipaes*)

A pupunheira (Figura 3) é uma palmeira da família Arecaceae, cultivada na América tropical da Costa Rica, Bolívia e Brasil (YUYAMA et al., 2003; GRAEFE et al., 2013; BEZERRA; SILVA, 2016)). É uma palmeira ereta, com troncos cilíndricos de 10 a 25 cm de diâmetro, normalmente cobertos de espinhos, que pode atingir até 20 metros de altura na fase adulta. Apresenta-se em forma de touceira com até 20 perfilhos adultos. Produz frutos (drupa) dispostos em cachos com cores variando entre o vermelho, amarelo, laranja, branco e cores intermediárias (SILVA, 2011) e é comumente conhecida como pupunha (Brasil), chontaduro, cachipay (Colômbia), pejibaye (Costa Rica), chontaruro (Equador), pijuayo (Perú), gachipaes (Venezuela), peach palm, pewa nut (Trinidad) (CHISTÉ; FERNANDES, 2016; MATOS et al., 2019; CLEMENT, 1986).



Figura 3 Pupunheira *Bactris gasipaes* Kunth (a) e pupunhas de diferentes variedades (b).

Fonte: Clement et al. (2004).

No Brasil, ao longo dos Rios Solimões e Amazonas (Tabela 1), existem pelo menos três raças primitivas de pupunhas distintas; com diferentes tamanhos dos frutos, cores, sabores e constituintes nutricionais (Figura 3b) (BEZERRA; SILVA, 2016; NERI-NUMA et al., 2018; YUYAMA, 2011). A existência de diversas variedades de pupunha reflete uma longa história de seleção de frutos pelos Ameríndios e adaptação a diferentes condições ambientais (CLEMENTE, 1988).

Tabela 1 Caracterização física de cachos de pupunha (*Bactris gasipaes* Kunth) de diferentes áreas geográficas.

Área geográfica	Cacho (kg)	Frutos		Fruto/cacho (%)
		Massa total (kg)	Quantidade (unidade)	
Litoral Pacífico de Colombia ¹	3,3	2,9	61	87
Costa Rica ²	4,8	4,4	106	91
Rios Solimões e Amazonas ³	3,6	3,3	96	93
Bacia Amazônica ⁴	7,9	7,6	149	96

Fonte: ¹Piedrahita e Velez (1982); ²Clement (1987); ³Arkcoll e Aguiar (1984); ⁴Clement e Mora Urpí (1987).

O principal critério de classificação é a espessura da polpa, isto é, microcarpa, mesocarpa, e macrocarpa. A raça microcarpa apresenta pequenos frutos, relativamente pouca

polpa quando comparada com o volume da semente e a polpa é geralmente fibrosa e oleosa (BEZERRA; SILVA, 2016; CLEMENT; MORA URPI, 1988; DA COSTA et al., 2019). A mesocarpa e macrocarpa possuem frutos maiores, com uma maior quantidade de polpa, apresentam maiores teores de amido e menores teores de lipídios (BEZERRA; SILVA, 2016; NERI-NUMA et al., 2018). O formato dos frutos varia entre ovóide a cônico e a cor da casca é verde quando imaturos e de amarelo claro ao vermelho quando maduro (YUYAMA, 2011).

Os frutos de pupunha são compostos de semente, polpa e casca (VALENCIA et al., 2015). O peso total do fruto varia entre 20 e 100 g, dependendo da espécie. A semente pode pesar entre 3 e 4 g, e o restantes, 92%, da polpa do fruto (epicarpo e mesocarpo) corresponde à proporção de 11% para o epicarpo (cascas) e 81% para o mesocarpo (polpa) (Tabela 2) (VARGAS; ARGUELLES, 2000). Pode ser considerada uma fruta com alto valor nutricional, devido ao seu alto teor de fibra, gorduras, β -caroteno e aminoácidos essenciais (Tabela 3) (BEZERRA; SILVA, 2016; DA COSTA et al., 2019; GRAEFE et al., 2013; YUYAMA, 2003).

Tabela 2 Caracterização física dos frutos de pupunha (*Bactris gasipaes* Kunth) de diferentes áreas geográficas.

Área geográfica	Fruto (g)	Semente (g)	Mesocarpo (%)	Polpa (%)*
Litoral Pacífico de Colombia ¹	50	3,6	80,8	92,8
Costa Rica ²	42	4,6	-	88,5
Rios Solimões e Amazonas ³	35	2,9	76,1	90,3
Bacia Amazônica ⁴	58	4,1	-	91,7

* Polpa = Mesocarpo + Exocarpo

Fonte: ¹Piedrahita e Velez (1982); ²Clement (1987); ³Arkcoll e Aguiar (1984); ⁴Clement e Mora Urpí (1987).

O fruto é frequentemente cozido em água e sal, descascados e consumidos imediatamente (BEZERRA; SILVA, 2016; CHISTÉ; FERNANDES, 2016; MATOS et al., 2019), porém podem ser usados na elaboração de farinhas, óleos comestíveis, bebidas alcoólicas, bolos, compotas e geleias (QUESADA et al., 2011; ANDRADE; PANTOJA; MAEDA, 2003; MELHORANÇA FILHO; PEREIRA, 2012; ROSA et al., 2016; VALENCIA et al., 2015).

Devido à presença de fatores antinutricionais os consumidores devem ferver sempre o fruto durante pelo menos 30 min (BEZERRA; SILVA, 2016), pois de acordo com Graefe et al.

(2013) a pupunha contém a enzima peroxidase, que inibe a digestão de proteínas, e o sal oxalato de cálcio, que provoca irritação na mucosa da boca (ROJAS-GARBANZO et al., 2011).

Os frutos apresentam teor de umidade (Tabela 3), que dependendo da variedade pode chegar a 65 g de água.100g⁻¹ de fruto (CARVALHO et al., 2013). Para o consumo imediato, preferem-se variedades de pupunha que tenham, como características, frutos grandes e com 10 a 20% de lipídio na polpa (EMBRAPA, 2007).

Tabela 3 Composição nutricional da polpa de pupunha (*Bactris gasipaes*).

Componentes (g.100g ⁻¹)	<i>In natura</i>		
	Andrade, Pantoja e Maeda (2003)	Espinosa-Pardo, Martinez e Martinez-Correa (2014)	Andrade, Pantoja e Maeda (2003)
Umidade	46,0 ± 0,42	69,16	54,6 ± 0,28
Lipídios	5,93 ± 0,43	5,74	4,52 ± 0,23
Proteínas	1,30 ± 0,09	2,52	1,16 ± 0,07
Cinzas	0,72 ± 0,16	0,81	0,50 ± 0,13
Carboidratos	ND	19,81	ND
Fibras totais	0,76 ± 0,12	2,52	0,69 ± 0,12
Carotenoides (µg/g)	24,60 ± 0,31	40,00	40,74 ± 0,40

*Valores expressos em base úmida; ND Valores não determinados.

Nas determinações nutricionais já relatadas há uma grande variação entre os autores, por exemplo, lipídios (2,24 a 5,93 g.100g⁻¹), proteínas (1,16 a 1,97 g.100g⁻¹) e fibras (0,69 a 2,52 g.100g⁻¹) em base úmida. A pupunha é um fruto de excelente valor energético e elevado teor de vitamina A. Segundo Arkcoll e Aguiar (1984), análises referentes à composição proteica do mesocarpo, mostraram que todos os aminoácidos essenciais e são presentes, embora em níveis mais baixos. Arginina (7,3-9,2%) e ácido glutâmico (4,7-6,3%) são os mais abundantes (GRAEFE et al., 2013; YUYAMA et al., 2003). O mesocarpo é extremamente rico em β-caroteno e amido, embora haja grande variação entre as variedades de pupunha (MATOS et al., 2019).

3.2.2 Amido

O amido apresenta-se na forma de compostos de reserva de plantas e é responsável por cerca de 70 a 80% das calorias consumidas pelo homem (WHISTER; BEMMILER, 1997), é o único polissacarídeo produzido em pequenos agregados individuais, denominados de grânulos (WHISTLER; DANIEL, 1993), como representado na Figura 4. Os grânulos se desenvolvem ao redor do ponto de nucleação, que é denominado de hilum e a forma e o tamanho variam entre os vegetais (RIBEIRO; SERAVALLI, 2004; LIU, 2005; OTONI et al., 2017).

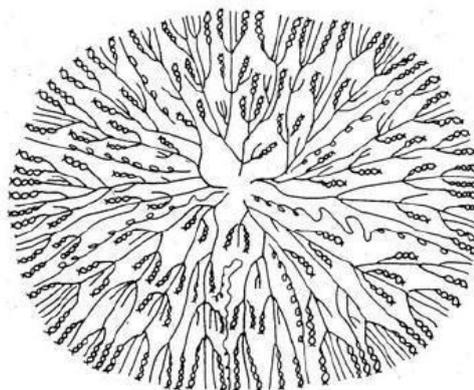


Figura 4 Representação esquemática do grânulo de amido.

Fonte: Feniman (2004).

Estruturalmente, o grânulo de amido é uma mistura de dois polissacarídeos, amilose e amilopectina (Figura 5a e 5b), em diferentes proporções, de acordo com a sua origem botânica. A amilose é formada por unidades de glicose unidas por ligações α -1, 4 D-glicose, originando uma cadeia linear, podendo apresentar pequenas ramificações (RIBEIRO; SERAVALLI, 2004; LIU, 2005). Já a amilopectina, além de ligações α -1, 4 D-glicose, possui em sua cadeia ligações do tipo α -1, 6 D-glicose formando uma estrutura ramificada (WALTER; SILVA; EMANUELLI, 2005).

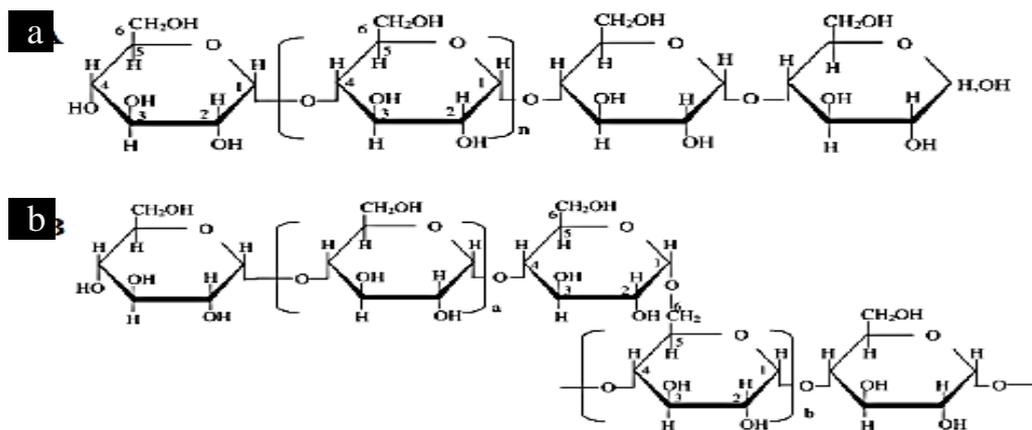


Figura 5 Amilose (a) e amilopectina (b).

Fonte: Morrison e Tester (1994).

O teor de amilose e amilopectina varia de uma fonte para outra e com o grau de maturação das plantas, o amido contém 20 a 25 % de amilose e 75 a 80 % de amilopectina (SOUZA; ANDRADE, 2000), sendo que, as diferentes proporções destes polímeros influenciam na viscosidade e gelatinização do amido (BOBBIO; BOBBIO, 1995; COLUSSI et al., 2017; ROMERO-BASTIDA et al., 2018).

Grânulos de amido nativo não são solúveis em água fria devido as suas fortes ligações de hidrogênio; no entanto, quando é aquecido em solução, a estrutura cristalina é rompida e as moléculas de água interagem com os grupos hidroxilas da amilose e amilopectina, para produzir a solubilização parcial do amido (JIMÉNEZ et al., 2012). A amilopectina absorve muita água durante a cocção do amido, sendo a grande responsável pelo inchamento do grânulo. Portanto, amidos ricos em amilopectina são mais solúveis em água a 95°C do que os que contêm muita amilose. Já durante o aquecimento do grânulo de amido em meio aquoso, a amilose contribui para a viscosidade da fase contínua da dispersão amido-água (GALLANT; BOUCHET; BALDWIN, 1997).

A amilose pode estar presente sob a forma de complexos amilose-lipídeos ou de amilose livre. Os complexos amilose-lipídeos, embora detectados no amido nativo, possivelmente sejam formados em maior extensão durante o tratamento hidrotérmico ou a gelatinização (ELIASSON, 1996; ELIASSON, 2004; TESTER et al., 2004; VANDEPUTTE; DELCOUR, 2004).

A amilopectina é estrutural e funcionalmente a mais importante das duas frações, pois sozinha é suficiente para formar o grânulo, como ocorre em mutantes que são desprovidos de amilose. Quanto à amilose, sua localização exata dentro do grânulo ainda não é clara. Acredita-

se que a amilose esteja localizada entre as cadeias da amilopectina e aleatoriamente entre as regiões amorfas e cristalinas. As moléculas de amilose maiores estão concentradas no centro do grânulo e, provavelmente, formam duplas hélices associadas com a amilopectina, enquanto as moléculas menores presentes na periferia podem ser lixiviadas para fora do grânulo. Apesar de seu papel limitado na formação de cristais, a amilose pode influenciar a organização das duplas hélices, interferindo na densidade de empacotamento das cadeias de amilopectina (OATES, 1997; TESTER et al., 2004).

No grânulo coexistem moléculas lineares (amilose) e ramificadas (amilopectina) unidas por ligações de hidrogênio, resultando em regiões cristalinas ou micelas (RIBEIRO; SERAVALLI, 2004) (Figura 6).

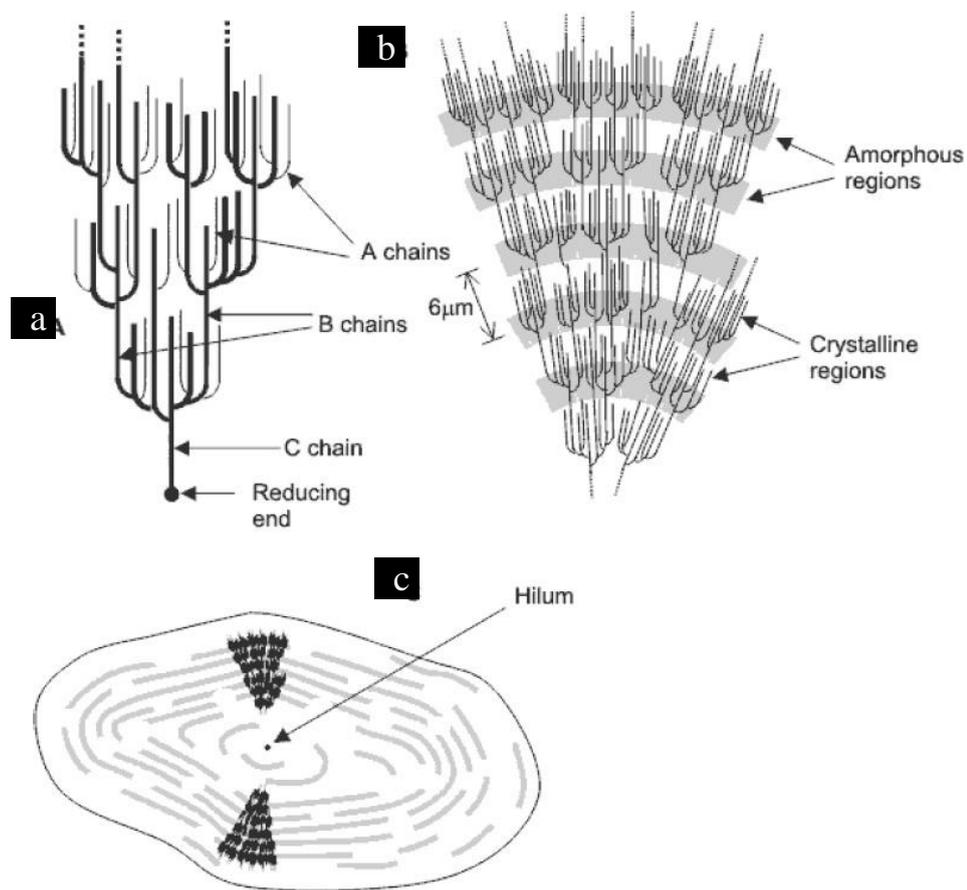


Figura 6 Classificação das cadeias da amilopectina em tipo A, B e C (a), Estrutura da amilopectina formando as regiões amorfas e cristalinas (b) e Modelo da estrutura interna com a visualização dos anéis de crescimento e centro ou hilum (c).

Fonte: Parker e Ring (2001).

O amido apresenta comportamento termoplástico, porém ele não pode ser usado puro durante o processo de fabricação de filmes, pois filmes compostos exclusivamente por amido

são quebradiços, ou seja, não apresentam boas propriedades mecânicas. Para contornar essas dificuldades, o amido pode ser usado em misturas com outros polímeros ou plastificantes, como por exemplo a quitosana e o glicerol (ARAUJO-FARRO et al., 2010).

3.2.3 Quitosana

A quitosana (Figura 7) é um polissacarídeo linear catiônico derivado da quitina, um constituinte presente nos exoesqueletos de crustáceos, como camarão, caranguejo e outros animais marinhos, composto pelas unidades monoméricas de β -(1 \rightarrow 4)-2-amino-2-desoxi-D-glicose e β -(1 \rightarrow 4)-2-acetamida-2-desoxi-D-glicose (LARANJEIRA; FÁVERE, 2009; AQUINO; BLANK; SANTANA, 2015; MARCOVICH et al., 2011; MOHAMMADI et al., 2018; VIEIRA et al., 2016), é insolúvel em meio aquoso e na maioria dos solventes orgânicos, e é o segundo polímero natural mais abundante depois da celulose (AIDER, 2010). A quitosana é obtida a partir da desacetilação da quitina fazendo com que a quitosana seja solúvel em ácidos, como ácido acético, cítrico, ascórbico, láctico, málico, oxálico, succínico, adípicos e propíonicos (BENEVIDES et al., 2017; ZHONG; SONG; LI, 2011).

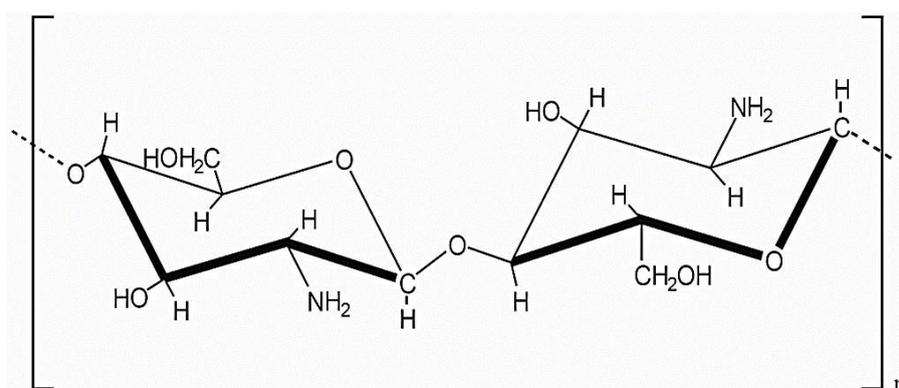


Figura 7 Estrutura química da quitosana.

Fonte: Laranjeira e Fávere (2009).

A quitosana pode ser utilizada como biopolímero em função da sua capacidade de formar filmes apresentando propriedades de barreira ao oxigênio e boas propriedades de barreira ao dióxido de carbono, além de apresentarem alta permeabilidade ao vapor de água, devido à sua natureza hidrofílica (CRIZEL et al., 2018; MOHAMMADI et al., 2018; YU et al., 2014; SANCHEZ-GONZALEZ et al., 2010). Segundo Benevides et al. (2017) a quitosana possui ação bactericida e fungicida contra vários microrganismos, e são amplamente estudadas como conservantes de alimentos (KROCHTA; DeMULDER-JOHNSTON, 1997; BONILLA et al., 2013). Esta ação é devida a sua capacidade de ligar-se às moléculas de água, inativar as

enzimas microbianas e absorver os nutrientes usados pelos microrganismos (OUATTARA et al., 2000; CARDOSO, 2011).

Segundo Corrales, Fernández e Han (2014), a atividade antimicrobiana da quitosana aumenta com a diminuição do pH, porém depende da força iônica e alguns fatores intrínsecos, como peso molecular ou grau de desacetilação. Uma alternativa para melhorar as propriedades físicas dos filmes é a preparação de blendas poliméricas, através do uso combinado de dois ou mais polímeros em conjunto com um plastificante e um solvente (AQUINO; BLANK; SANTANA, 2015; BATISTA et al., 2019; MARCOVICH et al., 2011). A mistura pode, em alguns casos, exibir propriedades superiores quando comparadas às propriedades individuais de cada polímero, o que permite ampliar sua aplicação (CAMPOS, 2014).

3.2.4 Plastificantes

Outro parâmetro discutido, é o teor de plastificante empregado nos filmes à base de amido. Os efeitos que estes causam nas propriedades funcionais dos filmes depende não só da sua concentração, mas também do tipo de plastificante empregado (KROCHTA, 1994; CUQ et al., 1995; McHUGH; MALI et al., 2005; OTONI et al., 2017).

Plastificante é definido como uma substância que é incorporada a um material com finalidade de melhorar a sua flexibilidade e funcionalidade, reduzindo a sua tensão de deformação, dureza e viscosidade. Ou seja, o plastificante aumenta a flexibilidade da cadeia do polímero e aumenta a resistência a fratura (HORN, 2012), porém modifica, sensivelmente, outras propriedades, como a permeabilidade aos vapores de água e gases (DICK, et al., 2015).

Os filmes compostos de polissacarídeos são geralmente quebradiços e para melhorar as suas propriedades mecânicas é comum à adição de um agente plastificante, que reduz as forças intermoleculares e aumenta a mobilidade das cadeias dos polímeros, melhorando a flexibilidade dos filmes (GARCÍA et al., 2009). Um estudo com diferentes plastificantes em filmes de alginato reticulados com cálcio revelou que o glicerol é o mais vantajoso em termos de compromisso entre bom aspecto visual, propriedades mecânicas e baixa solubilidade em água (OTONI et al., 2017; SANTANA; KIECKBUSCH, 2013) devido a sua eficiência plastificante. Porém, filmes elaborados à base de pectina e sorbitol apresentaram-se mais densos, mais resistentes e menos flexíveis (OTONI et al., 2017).

McHugh e Krochta (1996) avaliaram o efeito do glicerol e sorbitol em filmes à base de proteína isolada de soro e constataram que esses plastificantes reduziam as pontes de hidrogênio internas, aumentando, assim, a flexibilidade e permeabilidade ao vapor de água. Na mesma

condição de concentração de plastificante e umidade relativa, os filmes com sorbitol apresentaram menor permeabilidade ao vapor de água do que os com glicerol.

Outros plastificantes de qualidade alimentar também podem ser usados para a produção de filmes, incluindo açúcares de baixo peso molecular (xaropes de frutose-glicose e mel), outros polióis (derivados glicerilados e propilenoglicóis), lípidos e derivados (incluindo fosfolipídios, ácidos graxos, lecitina, óleos e ceras), e água (OTONI et al., 2017).

Dependendo da concentração em que são empregados, os plastificantes podem causar um efeito chamado antiplastificante, isto é, ao invés de aumentar a flexibilidade e hidrofiliçidade, podem causar um efeito contrário (GAUDIN et al., 1999, 2000). Geralmente, isto ocorre quando são empregadas pequenas concentrações de plastificante (abaixo de 20 g/100 amido). O plastificante interage com a matriz polimérica, mas não em quantidade suficiente para aumentar a mobilidade molecular, apenas aumenta o grau de interações e a rigidez desta matriz; fenômeno este fortemente dependente das condições de armazenamento (MALI et al., 2005; SHIMAZU; MALI; GROSSMANN, 2007; CHANG; KARIM; SEOW, 2006).

3.3 PROPRIEDADES DOS FILMES

A utilização de filmes e coberturas tem como principal objetivo proteger o alimento e prolongar a sua vida de prateleira (AQUINO; BLANK; SANTANA, 2015; PAGNO et al., 2018). Porém, o uso de filmes e coberturas para diferentes finalidades depende de suas características como: propriedades de barreira à umidade, aos gases e solutos, solubilidade em água; propriedades mecânicas, térmicas e estruturais; propriedades sensoriais, químicas e microbiológicas aceitáveis; e ausência de substâncias tóxicas (DEBEAUFORT; QUEZADA-GALLO; VOILLEY, 1998; PAGNO, 2016).

Portanto, é necessária uma avaliação das propriedades dos filmes e coberturas desenvolvidos afim de potencializar sua aplicação e seus possíveis efeitos sobre os alimentos (PAGNO, 2016).

3.3.1 Propriedades físico-químicas

As propriedades físico-químicas têm grande influência sobre a funcionalidade dos filmes e aplicação como embalagem alimentícia (SOTHORNVIT; KROCHTA, 2000). A avaliação da eficácia do filme pode ser realizada através da medição de parâmetros no produto revestido ou no próprio filme, como por exemplo:

- a. Avaliação no produto revestido: perda de água, taxa de respiração, textura, cor, avaliação microbiológica, pH, acidez total, conteúdo de sólidos solúveis, entre outras.
- b. Avaliação no filme produzido: propriedades mecânicas, térmicas, de barreira, umidade, solubilidade, *swelling*, espessura, aderência do filme, morfologia, opacidade, etc.

Dentre as propriedades físico-químicas mencionadas a cima, a espessura, umidade e solubilidade em água são de extrema importância para a determinar a aplicabilidade dos filmes. A espessura pode afetar outras propriedades, como permeabilidade ao vapor de água, propriedades mecânicas e opacidade. O controle da espessura dos filmes é uma etapa que exige atenção e é, ainda, um parâmetro pouco estudado (BATISTA et al., 2019). De acordo com Carvalho (1997), Sobral (2000a, 2000b), Mali et al. (2004a) e Galdeano (2007), este parâmetro influencia largamente as propriedades mecânicas, principalmente a força da perfuração e a permeabilidade ao vapor de água. Quanto maiores as espessuras, mais resistentes à perfuração são os filmes e maior a sua permeabilidade ao vapor de água.

Segundo Iahnke (2015), a espessura dos filmes elaborados através da técnica de *casting*, a partir de uma mesma formulação, dependerá da concentração (g.cm^{-2}) de suspensão filogênica que será depositada no recipiente, e também poderá ser afetada pelo tempo e temperatura de secagem utilizados. O conteúdo de umidade está relacionado com o volume vazio total ocupado por moléculas de água na rede microestrutural do filme, enquanto a solubilidade é relacionada com a hidrofobicidade do material (JIANG et al., 2010). Dependendo da aplicabilidade, o filme pode requerer insolubilidade em água com finalidade de aumentar a integridade do produto. Porém, em outros casos, a solubilidade é desejável e benéfica ao produto revestido (AQUINO; BLANK; SANTANA, 2015; PAGNO et al., 2018; VERSINO et al., 2016; VIEIRA et al., 2016).

3.3.2 Propriedades reológicas

O termo reologia vem do grego *rheo* (fluxo) e *logos* (ciência) e foi sugerido por Bingham e Crawford para descrever as deformações de sólidos e a fluidez de líquidos (VANDRESEN, 2007). A reologia pode ser vista como a ciência da deformação e do escoamento da matéria, ou seja, é o estudo da maneira como os materiais respondem à aplicação de uma determinada tensão ou deformação (TONELI; MURR; PARK, 2005).

Na indústria alimentícia, a reologia também possui fundamental importância. Medidas reológicas de fluxo sob variações de temperatura, pressão e concentração influem diretamente

no dimensionamento de bombas, tubulações, bem como na otimização de todo o processo (SANTOS, 2013).

Os fluidos podem ser divididos em dois grandes grupos: fluidos newtonianos e fluidos não-newtonianos. Os fluidos não-newtonianos, por sua vez, são divididos em subclasses:

- a. Fluidos independentes do tempo: fluidos pseudoplásticos, dilatantes, plásticos de Bingham e pseudoplásticos com tensão crítica;
- b. Fluidos dependentes do tempo: tixotrópicos e reopéticos;
- c. Fluidos viscoelásticos.

Quando o fluido apresenta característica Newtoniano obtém-se o valor de n igual a 1, se n for menor que 1 tem-se um fluido pseudoplástico, que acontece quando ocorre a redução da viscosidade aparente em função do aumento da taxa de deformação, comportamento oposto acontece para fluido dilatante onde n é maior que 1, devido ao aumento da viscosidade aparente mesmo quando se aumenta a taxa deformação (TREVISAN, 2011).

Entretanto, muitos fenômenos não podem ser descritos apenas em função da viscosidade e o comportamento elástico deve ser levado em consideração. Materiais com essas características são chamados materiais viscoelásticos (STEFFE, 1992). Os polímeros apresentam comportamento viscoelástico devido às suas fracas forças de atração intermolecular e da flexibilidade das cadeias poliméricas o que, por sua vez, influenciam no seu desempenho mecânico (CARREAU; LAVOIE; YZIQUEL, 1999; COUTINHO; CABELLO, 2005; MAKMOON; FOUNGFUCHAT; JIRATUMNUKUL, 2013; RAO, 1999; MA et al., 2017; ROMERO-BASTIDA et al., 2018).

De acordo com Sobral (2000b), quando se produz filmes, o controle da espessura depende largamente da viscosidade da solução filmogênica. No caso de soluções muito viscosas, que se comportam como fluídos de Bingham, a solução deve ser espalhada com um equipamento conveniente, mantendo-se uma espessura da solução no suporte que permitirá o conhecimento da espessura do filme depois de seco. Quando se trabalha com soluções diluídas, o controle da espessura ocorre através do conhecimento da densidade do material obtido. Esta técnica exige um controle rigoroso da forma do suporte e do nível da estufa, para evitar diferenças na espessura provocadas por desníveis durante a secagem (BATISTA et al., 2019).

Os modelos mais comumente utilizados para caracterização reológica dos fluidos são: Ostwald de Waele, Hershel-Bulkley e Casson (BATISTA et al., 2019; MATHIAS et al., 2013). A escolha do modelo a ser utilizado para descrição do comportamento do fluido deve ser baseada no ajuste aos dados experimentais.

O modelo de Ostwald é amplamente utilizado para líquidos não-newtonianos (MARCOTTE; HOSHAHILI; RAMASWAMY, 2001), e descreve as propriedades do fluido através do índice de consistência (n). Partindo do modelo proposto por Ostwald, o modelo de Herschel-Bulkley difere pela existência de uma tensão residual sendo que, se a tensão aplicada ao fluido ultrapassar o valor da tensão residual, o material passa a se comportar de acordo com o modelo da Lei da Potência (TONELI MURR, PARK, 2005). A tensão inicial descrita pelo modelo de Herschel-Bulkley representa a tensão necessária para o fluido começar a escoar ou fluir, por exemplo, quando em sistema de bombeamento (BRANCO, 2011).

Assim como o modelo de Herschel-Bulkley, a equação de Casson é útil para resolver problemas relacionados ao processamento de alimentos, devido ao amplo intervalo de taxas de cisalhamento. Em alimentos, este modelo tem sido usado para estimar o coeficiente de consistência inicial (K_{oc}) durante o escoamento de uma suspensão (IZIDORO, 2007). O modelo proposto por Casson surgiu em 1959, onde relacionou a tensão de cisalhamento à taxa de corte sofrida para suspensões de tintas de forma que pôde definir para a estrutura de sua suspensão sua força coesiva definitiva (BLAIR, 1966).

A temperatura exerce forte influência na resistência ao fluxo exibida por um fluido. Com isso, é extremamente importante que a temperatura seja mantida constante em testes reológicos (TOLEDO, 1994).

De acordo com Rao (1999), os alimentos fluidos passam por diversas mudanças de temperatura nos momentos de industrialização e armazenamento. Com isso, os efeitos da temperatura nas propriedades reológicas do alimento necessitam ser analisada.

Com o aumento da temperatura, o espaçamento entre as partículas suspensas cresce devido ao aumento de mobilidade, favorecendo a diminuição da viscosidade. A quantificação do efeito da temperatura sobre a viscosidade aparente ou sobre o índice de consistência de um fluido newtoniano ou não-newtoniano é frequentemente realizada através da linearização da equação de Arrhenius (IBARZ et al., 1989; RAO, 1999; VANDRESEN, 2007).

3.3.3 Propriedades mecânicas

O desenvolvimento de filmes e coberturas são planejados a fim de otimizar as propriedades mecânica e de barreira e, assim, permitir que o alimento mantenha a sua integridade e proteção durante o manuseio e transporte contra impactos físicos /mecânicos, reações químicas e invasão de microrganismos (SENGUPTA; HAN, 2014; IAHNKE, 2015).

Dois métodos podem ser empregados para avaliação das propriedades mecânicas dos filmes, o teste de perfuração e o teste de tração. Nos testes de perfuração, uma sonda cilíndrica desce, perpendicularmente, à superfície do filme, que está fixada sobre um suporte, até que ocorra o rompimento da amostra para medir a força e deformação na ruptura através dos gráficos de força versus deslocamento. As propriedades de tração são as mais relatadas na literatura e expressam a resistência do material ao alongamento e ao rompimento, quando submetido à tração (ASSIS et al., 2018; BATISTA et al., 2019; DA SILVA E SILVA et al., 2018; IAHNKE et al., 2016; VARGAS et al., 2017; VIEIRA et al., 2018).

Os filmes normalmente devem ser resistentes à quebra e abrasão, para protegerem a estrutura de um alimento, e flexíveis, para se adaptarem à possível deformação do alimento sem se romperem (GUILBERT; GONTARD; GORRIS, 1996). As metodologias de análise das propriedades mecânicas de filmes se baseiam, principalmente, na norma da ASTM (American Society for Testing and Materials) (ASTM D882-12), que se aplica à determinação das propriedades de tração de embalagens com espessura inferior a 1 mm (DICK, 2015). As propriedades mecânicas avaliadas nos testes mecânicos de tensão/deformação são:

- a. Tensão de ruptura (comumente expressa em MPa), refere-se à tensão máxima suportada pelo filme, sob as condições de ensaio, que depende da velocidade de deformação aplicada.
- b. Alongamento na ruptura (expresso em %), é a relação percentual entre o alongamento do corpo-de-prova no teste e seu comprimento inicial. Informa sobre a capacidade de alongamento do filme.
- c. Módulo de elasticidade ou Módulo de Young (comumente expresso em MPa), é a relação entre a resistência à tração e a deformação na região elástica, e diz respeito à rigidez do filme, sendo calculada pelo coeficiente angular da porção linear da curva de tensão-deformação.

3.3.4 Propriedades de barreira

As propriedades de barreira dependem da composição química e estrutural dos polímeros. Filmes elaborados a partir de polissacarídeos ou proteínas apresentam boas propriedades mecânicas e de barreira aos gases, porém, podem ser sensíveis à umidade e baixa barreira ao vapor de água (BATISTA et al., 2019; DA SILVA E SILVA et al., 2018; VIEIRA et al., 2018). As propriedades de barreira a gases como oxigênio, dióxido de carbono, etileno e

voláteis são necessárias, a fim de, reduzir a taxa de respiração de produtos frescos e prevenir a perda de aromas para o ambiente (LIN; ZHAO, 2007; PAGNO et al., 2018).

Segundo Mali, Grossmann e Yamashita (2010), o processo de permeação aos gases e vapores de água por meio dos filmes ocorre através dos espaços intermoleculares da matriz polimérica, e considera-se que acontece em diferentes etapas, primeiramente, a sorção e solubilização do permeante na superfície do material, seguindo de uma difusão do permeante através do material devido à ação de gradiente de concentração, e por fim, a desorção e evaporação do permeante na outra face do material.

A barreira a gases é avaliada em termos de taxa de permeabilidade a gases, ou seja, pela quantidade de gás que passa através de uma unidade de área superficial do material de embalagem por unidade de tempo, à determinada temperatura e sob certo gradiente de pressão parcial do gás teste e à determinada umidade relativa (Da CRUZ, 2013). Um material muito permeável, como é o caso dos filmes de amido, poderá ser indicado para embalagem de vegetais frescos, enquanto que um filme pouco permeável poderá ser indicado para produtos desidratados, por exemplo (PAGNO et al., 2018).

Todas as propriedades de barreira dos filmes e coberturas são afetadas pela composição e pelas condições ambientais, como umidade relativa e temperatura (MA et al., 2017; PELISSARI et al., 2013; VERSINO et al., 2016). A permeabilidade ao oxigênio também é muito sensível à umidade relativa do ambiente; em condições elevadas de umidade relativa, a permeabilidade ao oxigênio aumenta, portanto, é muito importante manter o ambiente com baixa umidade para maximizar a eficácia de filmes e coberturas como barreiras de gás (HAN, 2014).

3.3.5 Propriedades ópticas

As propriedades óticas de filmes estão relacionadas à opacidade (transparência), cor e brilho. A cor é um importante parâmetro para a caracterização de filmes, pois está relacionada com a matéria-prima utilizada em uma elaboração (ASSIS et al., 2018; BATISTA et al., 2019; COLLA; SOBRAL; MENEGALLI, 2006; PELISSARI et al., 2013; VARGAS et al., 2017). A opacidade também desempenha um papel muito importante, uma vez que determinados produtos, principalmente alimentícios, estão suscetíveis à fotodegradação ou fotoxidação, o que faz da embalagem uma importante ferramenta de barreira à ação da radiação ultravioleta (SOUSA, 2012).

A transparência ou opacidade de filmes é medida através da sua transmitância interna. Quanto maior o valor de transmitância, mais transparente é o filme e maior a ação da luz sobre a oxidação e degradação de compostos nutricionais do alimento revestido (BATISTA et al., 2019; CRIZEL et al., 2018; LIU et al., 2018; MANIGLIA et al., 2017; MOHAMMADI et al., 2018; PAGNO et al., 2016; PELISSARI et al., 2013). A opacidade da matriz polimérica é inversamente proporcional à sua transparência e depende de sua homogeneidade. A presença de heterogeneidades estruturais nos filmes com diferentes índices de refração promove espelhamento de luz e conseqüente maior opacidade (PASTOR et al., 2013).

3.3.6 Propriedades térmicas e estruturais

Uma das características únicas dos polímeros à base de amido são as propriedades resultantes do seu tratamento térmico, que são muito mais complexas do que em polímeros convencionais, desde múltiplas reações, químicas e físicas, que podem ocorrer durante o processamento, como a difusão da água, a expansão granular, a gelatinização, a decomposição, a fusão e a cristalização (LIU et al., 2005).

A maioria dos processos de produção de filmes à base de polímeros envolve etapas de aquecimento e/ou resfriamento e por esse motivo os conhecimentos das propriedades térmicas são importantes (SEBASTIÃO; CANEVAROLO, 2004). Entre as técnicas mais comuns para avaliar as propriedades estruturas de filmes e cobertura são: microscopia de luz, microscopia eletrônica de varredura (MEV), microscopia eletrônica de transmissão (TEM), difração de raios-X, calorimetria diferencial de varredura (DSC), análise termogravimétrica (TGA), espectroscopia de Infravermelho por transformada de Fourier (FTIR) análise termomecânica (TMA), análise dinâmico-mecânica (DMA) (GARCÍA et al., 2009; HAN, 2014a; DELGADO et al., 2018; MA et al., 2017).

A técnica mais empregada para a caracterização de materiais é a microscopia eletrônica de varredura (MEV), pois permite o estudo da microestrutura e da interação dos componentes do filme fornecendo informações a respeito das possíveis relações entre as diferentes propriedades físicas (IAHNKE et al., 2016; KANMANI; RHIM, 2014; MA et al., 2017; VALENCIA et al., 2015). Segundo Wan, Kim e Lee (2005) a presença de grandes poros dentro da estrutura de filmes resulta em elevada barreira ao vapor de água, enquanto defeitos como buracos pontuais e rachaduras podem destruir a capacidade barreira do filme.

Para a estabilidade térmica a análise calorimétrica diferencial exploratória (DSC) avalia as quantidades de calor envolvidas nas transformações sofridas pelo material durante seu

aquecimento/resfriamento. As transições de primeira ordem apresentam variação de entalpia (endotérmica ou exotérmica) e dão origem à formação de picos. As transições de segunda ordem caracterizam-se pela variação de capacidade calorífica, porém sem variações de entalpia, apresentando um deslocamento na linha de base sem gerar picos (SKOOG; HOLLER; NIEMAN, 2002).

A análise termogravimétrica (TG) é uma das técnicas mais utilizadas, pois permite avaliar a mudança de massa da amostra, resultante de uma transformação física (sublimação, evaporação, condensação) ou química (degradação, decomposição, oxidação), em função da temperatura. É comum realizar essa análise a partir da temperatura ambiente até alcançar em torno de 600-650 °C, e os dados são apresentados em forma de gráfico para relacionar perda de massa (%) × temperatura (°C) (IAHNKE et al., 2016; KANMANI; RHIM, 2014; MA et al., 2017; VALENCIA et al., 2015).

De acordo com Iahnke (2015) e Pagno (2016), para filmes ou coberturas de biopolímeros, é comum observar a ocorrência de três estágios de perda de massa: o primeiro estágio está relacionado com a perda de água livre (até aproximadamente 150°C); o segundo está associado com a perda de glicerol ou outro agente plastificante, componente de menor peso molecular e água ligada (em torno de 180-240°C); enquanto no terceiro estágio ocorre a perda de compostos de maior peso molecular (acima de 300°C).

3.3.7 Atividade antioxidante

A eficiência da atividade antioxidante dos filmes biodegradáveis tem sido testada através de diferentes métodos, como de: radical 2,2-difenil-1-picril-hidrazila (DPPH), radical N-dietil-pfenilenodiamina (DPD), poder redutor de íons ferro (FRAP), radical 2,2'-azinobis (3-etilbenzotiazolino-6-ácido sulfônico) (ABTS) e compostos fenólicos totais (IAHNKE et al., 2016; LUCHESE et al., 2018; MARCOVICH et al., 2011; VIEIRA et al., 2016). Métodos de captura de radical são comumente empregados, como DPPH, DPD, FRAP e ABTS, e determinam a capacidade de um agente antioxidante presente na matriz polimérica do filme em interceptar radicais livres. Outros métodos envolvem a quantificação de compostos específicos com atividade antioxidante reconhecida, como no caso da determinação dos compostos fenólicos totais (BONILLA et al., 2012).

Os métodos químicos para determinação da capacidade antioxidante estão divididos em dois grupos principais: os que envolvem transferência de elétrons e os que envolvem transferência de átomos de hidrogênio. Os métodos que envolvem transferência de elétrons

baseiam-se na redução do substrato por ação dos componentes antioxidante presentes na amostra, em que tal substrato apresenta comportamento espectral distinto no estado oxidado e reduzido (BECKER; NISSEN; SHIBSTED, 2004, HUANG; OU; PRIOR, 2005).

Diversos estudos têm reportado a habilidade da atividade antioxidante da pupunha. Seraglio et al. (2015) investigaram o conteúdo total de compostos fenólicos e avaliaram a atividade antioxidante *in vitro* em duas variedades de pupunha comercializadas no estado de Santa Catarina e analisaram o melhor solvente para extração de compostos bioativos. Os autores concluíram que para a determinação de compostos fenólicos totais e atividade antioxidante *in vitro* pelo método FRAP pode-se indicar como o sistema de extração mais eficiente sendo em acetona 80% por 30 minutos em geladeira, porém, para se obter os maiores valores de atividade antioxidante pelo método DPPH, o sistema mais eficiente foi em acetona 80% por 1 hora em ultrassom. Portanto, a escolha do sistema de extração de compostos bioativos a ser adotado, irá depender do tipo de análise que se deseja realizar.

Rojas-Garbanzo et al. (2016) ao estudarem a composição físico-química e antioxidante de diferentes variedades de pupunhas (*Bactris gasipaes* Kunth) *in natura* constaram que apesar das diferenças significativas nos carotenoides totais, conteúdo total de polifenóis e capacidade antioxidante encontrados entre os lotes, os resultados mostraram que os frutos de pupunha comercialmente disponíveis na Costa Rica foram uma boa fonte de compostos antioxidantes.

Shahidi, Kamil e Jeon (2002) e Darmadji e Izumimoto (1994), verificaram que a adição de quitosana mostrou-se eficiente como agente de controle da oxidação lipídica em bacalhau (*Gadus morhua*) e carne moída, respectivamente. Rao, Chander e Sharma (2006), reportaram um aumento da capacidade antioxidante da quitosana como resultado da sua exposição à radiação, o que pode ser devido à reação entre os radicais livres e os resíduos amino, formando macromoléculas estáveis.

Filmes de gelatina de pele de peixe adicionados de óleos essenciais cítricos foram investigados por DPPH, ABTS e FRAP em um estudo realizado por Tongnuanchan, Benjakul e Prodran (2012), que concluíram que a adição de óleo essencial de limão originou o filme com maior efeito antioxidante. A adição de extratos naturais, como de bagaço de uva, em filmes de quitosana resultou em filmes com atividade antioxidante constatada por diferentes métodos, como ABTS, DPPH e FRAP (FERREIRA et al. 2014).

De acordo com Iahnke (2015), os métodos DPPH, FRAP e ABTS avaliam a atividade antioxidante dos filmes em si. Entretanto, outras metodologias podem ser empregadas em conjunto a fim de aprofundar o entendimento da ação dos filmes ativos em proteger o alimento de interesse, em que o filme é aplicado e fica em contato com alimentos que tendem a sofrer o

processo de oxidação. Nesse caso, a ação antioxidante dos filmes é averiguada através de testes executados no próprio alimento, a fim de avaliar sua qualidade e vida de prateleira e se a embalagem teve efeito em proteger o alimento da oxidação. A determinação do índice de peróxidos é um dos métodos mais empregados na avaliação da qualidade de óleos vegetais, e sua medida indica o estágio de oxidação primária do óleo, que pode facilmente levar para outros estágios de rancificação (PIZARRO et al., 2013; YANG et al., 2014).

Segundo Wolfe e Liu (2007), apesar da importância da realização de ensaios químicos *in vitro* para avaliar atividade antioxidante, esse tipo de estudo apresenta como ponto negativo o fato de não considerar os fatores de biodisponibilidade, absorção e metabolismo dos compostos antioxidantes. Dessa forma, ensaios clínicos com animais e humanos se fazem necessários. No entanto, apresentam a inconveniência de demandarem um custo elevado e ainda um período mais extenso de estudo. Com base nesse contexto, uma alternativa pode ser encontrada na utilização de culturas de células para avaliar a atividade antioxidante, uma vez que os resultados podem ser obtidos em um curto espaço de tempo e ainda englobam uma abordagem sobre absorção, distribuição e metabolismo dos antioxidantes. Além disso, podem ser utilizados como rastreio inicial da ação antioxidante em alimentos.

3.3.8 Biodegradabilidade

Plásticos derivados do petróleo podem levar até 100 anos para degradar se expostos à atmosfera, e ainda mais tempo se dispensados em aterros. É importante ressaltar que a degradação é um processo que ocorre em todos os materiais e resulta na desintegração mecânica do material em pedaços muito pequenos, podendo fazer com que o polímero não seja mais visível, o que não significa que o mesmo foi biologicamente degradado (MARCOVICH et al., 2011; MARTUCCI; RUSECKAITE, 2009, 2015). Já a biodegradação, é o processo em que microrganismos, como bactérias, fungos e algas, consomem a substância como fonte alimentar, fazendo com que a sua forma original desapareça completamente e seja convertida em água, gás carbônico e biomassa (ASSIS et al., 2018; IAHNKE et al., 2016; MA et al., 2017; ORTIZ et al., 2017; OTONI et al., 2017; VARGAS et al., 2017).

Segundo Robertson (2013), para uma embalagem ser certificada como compostável, além de ter que passar por métodos padrão, como D5338 ou ISO 14855, deve satisfazer outros requerimentos como testes de desintegração, ter metais pesados abaixo de limites especificados e passar no teste de ecotoxicidade. Porém, outras técnicas podem ser empregadas para estimar a biodegradabilidade de filmes, como o enterramento do filme no solo, onde é exposto à

microflora mista naturalmente presente no solo. Em geral, os experimentos são conduzidos em recipientes adicionados do solo, de forma a simular o processo de biodegradação em ambientes naturais (MARAN et al., 2014).

Martucci e Ruseckaite (2009) investigaram o processo de biodegradação de filmes elaborados a partir de gelatina, que é uma proteína suscetível à ação de enzimas presentes em uma variedade de microrganismos. Os filmes foram classificados como materiais que biodegradam rapidamente nas condições estudadas e que serão possivelmente degradados em ambientes naturais e aterros.

Iahnke et al. (2016) avaliaram a biodegradabilidade de filmes elaborados a partir de cápsulas de gelatina e resíduos de raízes de beterraba minimamente processados, após 15 dias de degradação, os filmes apresentaram perda de peso de 76% em relação a massa inicial. Portanto, com base nos resultados, os filmes desenvolvidos foram rapidamente desintegrados e podem ser considerados biodegradáveis materiais.

3.3.9 Ação antimicrobiana

Filmes e coberturas podem apresentar função de embalagens ativas, como por exemplo, as embalagens antimicrobianas. A aplicação de filmes antimicrobianas está diretamente relacionada com a segurança alimentar, bem como a extensão da vida útil, para impedir o crescimento e desenvolvimento de microrganismos (HAN, 2014). Os agentes antimicrobianos controlam a contaminação mediante três mecanismos: redução da taxa de crescimento dos microrganismos, aumento da fase lag ou inativação por contato (VERSIN et al., 2016).

As substâncias antimicrobianas podem ser adicionadas aos polímeros por fusão, ou por solubilização do composto dentro da matriz. Devido essas substâncias antimicrobiana ser sensível ao calor, o método por solubilização é o mais indicado para incorporá-las na matriz do biopolímero (APPENDINI; HOTCHKISS, 2002).

Um exemplo de substância antimicrobiana adicionada às embalagens comestíveis é a quitosana, porque além de apresentar boas propriedades formadoras de filmes, possui ação bactericida e fungicida. Esta ação é devida a sua capacidade de ligar-se às moléculas de água, inativar as enzimas microbianas e absorver os nutrientes usados pelos microrganismos (ROBERTSON, 1993).

Segundo Muzzarelli et al. (1990), a atividade antimicrobiana da quitosana sobre bactérias é devida à natureza policatiónica da molécula de quitosana, que permite a interação e

formação de complexos polieletrólitos com os polímeros ácidos produzidos na superfície da bactéria (lipopolissacarídeos, ácido teicóico e teicurônico).

El Ghaouth et al. (1992) mostraram que revestimentos à base de 1 e 2% de quitosana reduziram no tomate a incidência de deterioração, principalmente a causada por *Botrytis cinerea*. Depois de 28 dias de estocagem a 200°C, a porcentagem de contaminação nos tomates revestidos com 2% de quitosana foi de 3,1%, enquanto nos não-revestidos foi de 28,1%. Em tomates revestidos com quitosana, a porcentagem de deterioração foi significativamente menor ($P < 0,05$).

Sua atividade antimicrobiana aumenta com a diminuição do pH, mas, também depende da força iônica e alguns fatores intrínsecos, tais como seu peso molecular ou o grau de desacetilação. Quitosana de baixo peso molecular é mais solúvel, sendo mais reativa com as membranas celular microbiana (CORRALES; FERNÁNDEZ; HAN, 2014).

Alguns estudos são encontrados na literatura e relatam a adição de óleos essenciais no desenvolvimento de embalagens com atividade antimicrobiana; como os filmes comestíveis de caseinato de sódio e caseinato de cálcio preparados com adição de *carvacrol*, o maior constituinte do óleo essencial de orégano (*Origanum vulgare*), os quais demonstraram efeito inibidor contra o crescimento de *Escherichia coli* e *Staphylococcus aureus* (ARRIETA et al., 2014).

Em outro trabalho, diferentes filmes elaborados a partir de farinha de amaranto, quitosana e amido de milho, demonstraram atividade antifúngica, pela inibição do crescimento dos fungos *Aspergillus niger* e *Penicillium digitatum*, quando adicionados com óleos essenciais de capim-limão (*Cymbopogon citratus*), canela (*Cinnamomum verum*) e orégano mexicano (*Lippia berlandieri*). De acordo com estes autores, melhores resultados foram observados para os filmes de quitosana, devido ao fato da mesma apresentar, naturalmente, atividade antimicrobiana, e que filmes comestíveis de quitosana incorporados com óleo essencial pode melhorar a qualidade de alimentos através da ação dos compostos antimicrobianos presentes nos óleos essenciais (AVILA-SOSA et al., 2012).

4 MATERIAIS E MÉTODOS

Os experimentos foram realizados nos Laboratórios de Análise de Alimentos, do Programa de Pós-Graduação em Ciência, Tecnologia e Engenharia de Alimentos (PPGCTEA), do Instituto de Tecnologia (ITEC) nos Laboratórios de Nanomanipulação, e Física Experimental e Computacional do Programa de Pós-Graduação em Física e no Laboratório de Nanotecnologia Farmacêutica do Instituto de Ciências da Saúde da Universidade Federal do Pará (UFPA). As análises de atividade antimicrobiana foram realizadas nos Laboratórios de Compostos Bioativos e Laboratório de Enzimologia do Instituto de Ciência e Tecnologia de Alimentos (ICTA) da Universidade Federal do Rio Grande do Sul (UFRGS).

4.1 OBTENÇÃO DA MATÉRIA-PRIMA

As coletas dos frutos de pupunha (*Bactris gasipaes*) *in natura* foram realizadas na feira do Ver-o-Peso (Belém, Pará). A quitosana foi adquirida da empresa Polymar (Fortaleza, Brasil) com grau de desacetilação acima de 85%, peso médio de 190-310 kDa e viscosidade < 200 cPs e glicerol com grau de pureza acima de 99,5% (Vetec Sigma-Aldrich, Brasil).

4.1.1 Produção e caracterização da farinha de pupunha

As etapas de seleção e classificação dos frutos foram realizadas manualmente. Os frutos foram lavados (água corrente), higienizados (solução de hipoclorito de sódio a 200 ppm por 15 minutos), descascados, retirada a semente e a polpa cortada em quatro partes. Em seguida, a polpa foi submetida à secagem em estufa com circulação de ar a 55°C por 42 horas (400-2ND, ETHIK TECHNOLOGY). A polpa seca foi moída em um moinho de martelo (MAR – GIRIUS CONTINENTAL), em seguida peneirada em uma malha de 60 mesh, para a melhor distribuição das partículas, e a farinha resultante foi embalada à vácuo (F200 Flash, Fostvac, Brasil) e armazenada em temperatura ambiente até a realização das análises. Todas as análises referentes à composição físico-química da farinha foram realizadas de acordo com os métodos oficiais da AOAC (1997): Umidade (nº 925.10), lipídios (nº 926.06), proteínas (nº 920.87), cinzas (nº 923.03), fibras totais e insolúveis (nº 985.29) Análise de amido total de acordo com o método de Cereda (2001), amilose e amilopectina de acordo com Williams, Kuzina e Hlinka (1970). A análise de carotenoides totais foi realizada segundo o método descrito por Godoy e Rodriguez-

Amaya (1999). A cor foi determinada em colorímetro (CR- 400; Minolta, Co., Ltd., Japão). Todas as análises foram realizadas em triplicata, e os resultados expressos em grama por 100 g de amostra em matéria seca.

4.2 ELABORAÇÃO E SECAGEM DAS SUSPENSÕES FILMOGÊNICAS

Para definir as concentrações de farinha de pupunha, quitosana e glicerol que foram estudadas, foram testadas diferentes quantidades desses compostos visando obter uma suspensão filmogênica homogênea. Para a elaboração das suspensões preparou-se uma solução de quitosana (Tabela 4) em ácido acético a 1% e ajuste do pH para $3,0 \pm 0,2$ (para obter máxima solubilização) durante 30 minutos, utilizando agitador magnético digital (DiagTeach, modelo ST3120H). À solução de quitosana foram adicionados o glicerol e a farinha de pupunha nas proporções definidas e a mistura foi homogeneizada com auxílio de um agitador mecânico Turratec (TE-102, TECNAL, Brasil) a 10.000 rpm em temperatura ambiente durante 5 minutos. Após a homogeneização a suspensão foi aquecida em banho-maria (MA 127, MARCONI, Brasil) a 90°C por 15 minutos para promover a gelatinização do amido. Em seguida, 100 mL de suspensão filmogênica foi distribuída sobre um suporte de silicone de 17,5 cm de diâmetro e secas em estufa com circulação de ar (400-2ND, ETHIK TECHNOLOGY). O processo de secagem foi estudado nas temperaturas de 40, 45 e 50°C. Ao final do processo de secagem os filmes foram embalados à vácuo (F200 FLASH, FOSTVAC, Brasil) até a realização das análises.

Tabela 4 Concentrações dos componentes usados no preparo das suspensões filmogênicas.

Formulações	Solução ácido acético 1% (g)	Farinha de pupunha (g)	Quitosana (g)	Glicerol (g)
Formulação 1	100	2	0,30	0,40
Formulação 2	100	3	0,45	0,60
Formulação 3	100	4	0,60	0,80

4.3 COMPORTAMENTO REOLÓGICO DAS SUSPENSÕES FILMOGÊNICAS

As propriedades reológicas das três suspensões filmogênicas foram determinadas utilizando-se viscosímetro Brookfield (Brookfield Engineering Laboratories, EUA: modelo LV DV-II). Foram utilizados: um Spindle, DIN-85 (0 a 258 s⁻¹) e DIN adaptador (Brookfield Engineering Laboratories, EUA) para 20 mL. O controle de temperatura, foi realizado de um

banho termostático Haake B3 (HAAKE, Karlsruhe, Alemanha) e as medidas foram realizadas nas mesmas temperaturas de secagem das suspensões filmogênicas (40, 45 e 50°C). Os dados de viscosidade aparente, tensão de cisalhamento, e taxa de cisalhamento, foram obtidos utilizando o *software* WinGather® (versão V1.1, Brookfield Engineering Laboratories, EUA). Foram realizados dois ensaios para cada temperatura estudada, utilizando duas amostras da mesma suspensão.

Os modelos de Herschel-Bulkley (Equação 1) e Bingham (Equação 2) foram aplicados aos dados reológicos das suspensões filmogênicas, visando verificar o melhor modelo representativo utilizando os softwares Excel 2013 (Microsoft Corporation, Redmond-WA, USA) e Origin 8.0 (OriginLab, Northampton-MA, USA), utilizando como critério de seleção os valores de coeficiente de determinação (R^2) e qui-quadrado (χ^2).

$$\tau = \tau_0 + K\dot{\gamma}^n \quad (\text{Equação 1})$$

$$\tau = \tau_0 + \eta\dot{\gamma} \quad (\text{Equação 2})$$

Onde, τ é a tensão de cisalhamento (Pa); τ_0 limite de escoamento; $\dot{\gamma}$ é a taxa de cisalhamento (s^{-1}); η é a viscosidade (Pa.s); K índice de consistência (Pa.sⁿ); n é o índice de comportamento.

O efeito da temperatura sobre a viscosidade das amostras foi determinado através da equação linearizada de Arrhenius (Equação 3), para taxa de deformação de 100 s^{-1} .

A partir do coeficiente angular da regressão linear de μ versus $1/T$ (Equação 4), foi obtido o valor da energia de ativação (E_a) nas diferentes temperaturas estudadas.

$$\eta_p = A e^{\left(\frac{E_a}{RT}\right)} \quad (\text{Equação 3})$$

$$\ln \eta_p = \ln A - \frac{E_a}{R} \cdot \frac{1}{T} \quad (\text{Equação 4})$$

Onde, η_p é a viscosidade aparente (Pa.s); A constante de Arrhenius; E_a energia de ativação (kJ/mol); R é a constante dos gases ideais (8,314 J/mol.K) e T é a temperatura (K).

4.4 CARACTERIZAÇÃO DOS FILMES

4.4.1 Umidade

O teor de umidade dos filmes foi determinado de acordo com a AOAC (1997), através do método gravimétrico. Discos com 2 cm de diâmetro foram pesados em recipientes previamente calibrados e inseridos em estufa com circulação de ar (400-2ND, ETHIK TECHNOLOGY) a 105°C, até atingirem peso constante.

4.4.2 Solubilidade em água

A análise de solubilidade foi realizada nas amostras após a determinação da umidade pela adição de 50 mL de água destilada e agitadas por 24 horas (150 rpm, MA 832, MARCONI) a 25°C. Após 24 horas, as amostras foram filtradas e secadas novamente a temperatura de 105°C até peso constante. A solubilidade foi calculada através da Equação 5 (PAGNO et al., 2015).

$$\text{Solubilidade\%} = 100x \left[\frac{(w_i - w_f)}{w_i} \right] \quad (\text{Equação 5})$$

Onde w_i é o peso seco inicial da amostra (g) e w_f peso seco final da amostra (g).

4.4.3 Permeabilidade ao vapor de água

A avaliação da permeabilidade ao vapor de água (PVA) dos filmes foi baseada nos métodos oficiais propostos pela *American Society for Testing and Materials* (ASTM E96, 1980) (a) e no método descrito por Pagno et al. (2015). Os filmes foram fixados com adesivo de silicone na abertura circular de um recipiente de vidro (diâmetro interno: 4,5 cm; altura: 7,5 cm) contendo 10 g de sílica gel. Os recipientes de permeação foram colocados em dessecador de vidro com solução saturada de cloreto de sódio a temperatura de 25°C (Estufa Incubadora NT705, Novatecnica), a fim de alcançar um gradiente de umidade relativa de 75%. O ganho de massa das amostras foi monitorado durante 24 horas por pesagem das células de permeação em uma balança analítica (AY220, Shimadzu) em intervalos de tempo de 1 h, 2 h, 12 h, e 24 h. A permeabilidade ao vapor de água (PVA) dos filmes foi determinada em triplicata utilizando a Equação 6.

$$PVA = \frac{w.L}{A.t.\Delta P} \quad (\text{Equação 6})$$

Onde w é o peso da água permeado através do filme (g), L é a espessura do filme (mm), A é a área de permeação (m^2), t é o tempo de permeação (h), ΔP é a diferença de pressão de vapor de água entre os dois lados do filme (3,1675 kPa a 25°C). O valor de PVA é expresso em $g \cdot mm^{-1} \cdot h^{-1} \cdot kPa^{-1}$.

4.4.4 Espessura do filme

A espessura do filme foi medida utilizando um micrômetro digital com escala de 0-25 mm e resolução de 0,001 mm (IP54, Insize, Brasil). Foram realizadas oito medidas em locais aleatórios em torno de cada filme obedecendo o afastamento da borda do filme de 60 mm para a determinação da espessura.

4.4.5 Propriedades mecânicas

A resistência à tração e a porcentagem de alongação na ruptura dos filmes foram determinadas utilizando um texturômetro Texture Analyzer (QTS-25, Brookfield) e o programa Texture Pro, de acordo com o método padrão ASTM D-882 (1980)(b). As amostras dos filmes foram cortadas nas dimensões de 100 mm de comprimento e 25 mm de largura. A distância inicial de separação das garras e a velocidade de realização do teste foram fixadas em 50 mm e $2 \text{ mm} \cdot s^{-1}$. A resistência à tração (Equação 7) foi calculada através da seguinte equação:

$$\text{Resistência a tração} = \frac{F_m}{A} \quad (\text{Equação 7})$$

Onde *Resistência a tração* em MPa, F_m força máxima no momento da ruptura do filme (N) e A é área da secção transversal do filme (m^2).

A alongação na ruptura foi determinada Equação 8.

$$\text{Alongação na ruptura } (\%) = \left(\frac{d_r - d_i}{d_i} \right) \times 100 \quad (\text{Equação 8})$$

Onde d_r é a distância no momento da ruptura (cm) e d_i distância inicial de separação (5 cm).

4.4.6 Cor

A cor dos filmes foi determinada através de colorímetro (CHROMA METER Cr- 400, KONICA MINOLTA). Os parâmetros de cor CIELab foram utilizados, onde L^* (luminosidade), as coordenadas cromáticas a^* (componente vermelho-verde) e b^* (componente amarelo-azul), e os valores de C^* (croma) e h° (ângulo de Hue). Os filmes foram colocados em uma placa negra usada como padrão de fundo. A diferença total de cor foi calculada através da Equação 9.

$$\Delta E = \sqrt{(\Delta L^*)^2 + (\Delta a^*)^2 + (\Delta b^*)^2} \quad (\text{Equação 9})$$

Onde, $\Delta L^* = L^* - L^*_0$, $\Delta a^* = a^* - a^*_0$, $\Delta b^* = b^* - b^*_0$, onde L^* , a^* e b^* são valores de cor das suspensões filmogênicas, e L^*_0 , a^*_0 e b^*_0 são valores de cor dos filmes.

4.4.7 Opacidade

Pedaços retangulares (4 cm × 1 cm) de filme foram recortados e a “varredura” foi medida através de espectrofotômetro, em comprimentos de onda entre 200 (região UV) e 800 (região visível) nm a fim de avaliar a transmitância de luz (%) (FANG et al., 2002). A transmitância a 600 nm foi utilizada para o cálculo da opacidade, de acordo com a Equação 9 (HAN; FLOROS, 1997):

$$\text{Opacidade (AA/mm)} = \frac{-\log T_{600}}{x} \quad (\text{Equação 10})$$

Onde T_{600} é a transmitância fracional a 600 nm, e x é a espessura do filme (mm).

4.4.8 Microscopia eletrônica de varredura (MEV)

As microestruturas dos filmes foram determinadas utilizando microscópio eletrônico de varredura (VEGA 3, Tescan) com corrente do feixe de elétrons de 85-90 μA , voltagem de aceleração de 15 kV e com magnitudes entre 2 a 5 kX. Para a visualização, os filmes foram metalizados com ouro (5mA) para permitir condutividade elétrica necessária no processo de formação das imagens.

4.4.9 Difração de raios-X (DRX)

As medidas de DRX foram em difratômetro D8 Advance (Bruker), através da geometria Bragg-Brentano e detector LynxEye. Radiação Cu ($K\alpha_1=1,540598 \text{ \AA}$) com voltagem de 40 kV, corrente de 40 mA fenda divergente de 0,6 mm, fenda Soller de $2,5^\circ$ e filtro de $K\beta$ de níquel. Os padrões de difração foram obtidos na faixa ângulo 2θ de 5° a 40° , com passo angular de $0,02^\circ \text{ s}^{-1}$. A aquisição de dados foi feita com o *software* X'Pert Data Collector, e o tratamento dos dados com o *software* Origin 8.0.

4.4.10 Espectroscopia de infravermelho de transformada de Fourier (FTIR)

Para a análise de espectroscopia de infravermelho de transformada de Fourier pesou-se 1 mg da amostra e misturou ao sal brometo de potássio (KBr) para compressão e formação de uma pastilha, que foi utilizada na leitura na região do infravermelho. O aparelho utilizado para análise das pastilhas foi o infravermelho com transformada de Fourier (FTIR) (IRPrestige-21®, Shimadzu). Os parâmetros utilizados foram faixa de absorção de número de ondas de $400 - 4000 \text{ cm}^{-1}$, com resolução de 4 cm^{-1} e número de varredura de 32 *scans*.

4.4.11 Análise termogravimétrica (TG)

As curvas foram obtidas a partir de 4 mg de amostra utilizando cadinho de alumina e submetendo-os a uma faixa de temperatura entre 25°C e 300°C sob atmosfera dinâmica (fluxo de $50 \text{ mL}\cdot\text{min}^{-1}$), taxa de aquecimento $10^\circ\text{C}\cdot\text{min}^{-1}$ em um analisador térmico Shimadzu TGA-50 de acordo com a metodologia proposta por Muniz et al. (2015).

4.4.12 Biodegradabilidade dos filmes

A avaliação da biodegradabilidade do filme foi realizada de acordo com metodologia descrita por Martucci e Ruseckaite (2009) com adaptações. Esse método é baseado na avaliação da biodegradação dos filmes quando os mesmos são enterrados e expostos à microflora natural encontrada no solo. Para isso, caixas de acrílico ($7 \text{ cm} \times 7 \text{ cm} \times 6 \text{ cm}$) contendo 118 g de solo orgânico natural (pH~6,0) foram utilizadas como meio para a avaliação da degradação dos filmes.

Os filmes foram cortados em retângulos de $2 \times 3 \text{ cm}$ e secos a 60°C em estufa (400-2ND, ETHIK TECHNOLOGY) até peso constante (m_0). Em seguida, foram acondicionados em malhas

de alumínio teladas (previamente secas e pesadas) a fim de garantir o contato entre o filme e o solo e facilitar a sua retirada após o período de estudo. As malhas contendo as amostras foram dobradas, inseridas a uma profundidade de 3,5 cm a partir da superfície do recipiente, e recobertas com solo para mantê-las enterradas. Água destilada foi adicionada ao solo a cada dois dias para manter a umidade em cerca de 40% e temperatura de $25 \pm 2^\circ\text{C}$. A quantidade de água adicionada ao solo foi determinada através de balanço de massa e o teor de umidade foi determinado gravimetricamente de acordo com AOAC (1997).

O experimento foi conduzido em duplicata e os filmes foram avaliados em intervalos de tempo específicos (t): antes de serem enterrados e após 5, 10 e 15 dias. Em cada intervalo de tempo estabelecido, o conjunto malha+filme foi retirado e o filme separado com o auxílio de uma pinça. A malha e os filmes foram cuidadosamente lavados com água destilada, para a retirada de resquícios de terra, e superficialmente secos com auxílio de papel absorvente e pesados (m_h). A absorção em água foi quantificada através da Equação 11.

$$\text{Absorção em água} = \left[\frac{(m_h - m_t)}{m_0} \right] \times 100 \quad (\text{Equação 11})$$

Onde m_0 e m_t é a massa inicial e residual dos filmes (secos) no tempo t , respectivamente, e m_h é a massa úmida dos filmes após a secagem previa em papel absorvente.

Após a determinação da absorção de água, os filmes foram submetidos à secagem a 60°C em estufa com circulação de ar (400-2ND, ETHIK TECHNOLOGY) até peso constante (m_t). O grau de biodegradação do filme foi determinado como a perda de peso, através da Equação 12.

$$\text{Perda de peso (\%)} = \left[\frac{(m_t - m_0)}{m_0} \right] \times 100 \quad (\text{Equação 12})$$

Onde m_0 é a massa inicial e m_t é a massa (após a secagem) remanescente após o tempo de incubação, t (dias).

4.4.13 Determinação da atividade antimicrobiana

A atividade antibacteriana foi determinada de acordo com Motta e Brandelli (2002), com modificações. As cepas indicadoras testadas foram *Staphylococcus aureus* ATCC 1901, *Salmonella enterica* subsp. *enterica* ATCC 13076, *Escherichia coli* ATCC 8739 e *Listeria monocytogenes* ATCC 7644. Os microrganismos testados foram inoculados com *swab* em

placas com água BHI na concentração de 10^8 UFC/mL em solução salina (NaCl a 0,85%, p/v). Os filmes foram cortados em dimensões de 1x1 cm e teste de cultura foi preparado, as placas foram incubadas na temperatura ótima de microrganismo teste. Posteriormente, as zonas de inibição do crescimento (representadas por halos claros) foram medidas e apresentadas como diâmetros de inibição (mm). Para determinar a atividade antifúngica, o fungo filamentososo *Aspergillus flavus* foi utilizado como indicador. Este fungo foi cultivado em placas Batata Dextrose Ágar (BDA) por 5 dias a 30°C. Suspensões de conídios dos fungos filamentosos foram preparadas e adicionadas ao BDA a 50°C em volume suficiente para fornecer uma concentração final de 10^6 conídios/mL. As placas foram incubadas a 30°C por 48 horas e posteriormente observadas quanto à atividade inibitória contra o indicador fúngico.

4.4.14 Atividade antioxidante por radical DPPH e compostos fenólicos totais

Os teores de compostos fenólicos totais dos filmes foram determinados utilizando o método colorimétrico de Folin Ciocalteau (SINGLETON et al., 1999), em espectrofotômetro UV - visível a 750 nm.

A extração dos compostos fenólicos dos filmes foi realizada com solução aquosa de metanol 80% (v/v). Em seguida, os filmes foram deixados sob agitação magnética por 30 minutos (na ausência de luz). O extrato obtido foi filtrado e, posteriormente, diluído em água destilada a fim de corrigir a concentração de metanol para 8%. Uma alíquota de 0,5 mL dos diferentes extratos foi submetida à reação com 2,5 mL de Folin-Ciocalteau e, após 2 minutos de repouso em temperatura ambiente, foram adicionados 2,0 mL de solução aquosa de carbonato de sódio (Na_2CO_3) 7,5% (m/v). A mistura foi levada ao banho-maria a 50°C por 15 minutos e, em seguida, ao banho de gelo por 15 segundos. Para o branco, a alíquota de extrato foi substituída pela mesma quantidade de metanol 8%. A quantificação foi feita por leitura espectrofotométrica a 750 nm. O ácido gálico foi utilizado para obtenção da curva padrão e teor de compostos fenólicos totais foi expresso em mg de ácido gálico equivalente. 100 g^{-1} .

A capacidade de eliminação de radicais DPPH foi calculada a partir da Equação 13 de acordo com Vargas et al. (2017).

$$I(\%) = [(A_b - A_f) \div A_b] \quad (\text{Equação 13})$$

Onde I é a porcentagem de inibição do radical DPPH, A_b é a absorbância do branco e A_f é a absorbância do filme.

4.5 ANÁLISE ESTATÍSTICA DOS RESULTADOS

Os resultados das análises de composição centesimal, propriedades físicas e mecânicas foram submetidos à análise de variância (ANOVA) e teste complementar de Tukey para comparação das médias (em nível de significância de 0,05), utilizando o *software* STATISTICA (StatSoft Inc., 2006, Tulsa, OK, USA). A Análise de Componentes Principais (PCA) foi utilizada para explorar como as propriedades físico-químicas dos filmes são afetadas pelas diferenças na concentração do material e temperatura de secagem, utilizando o *software* Matlab 7.0 (MathWorks Inc., 2017, Natick, Mass., USA). Para o PCA, umidade, solubilidade, permeabilidade ao vapor de água, espessura, propriedades mecânicas, cor, opacidade e atividade antioxidante foram utilizadas como variáveis ativas na derivação dos componentes principais baseado na matriz de covariância.

Os parâmetros dos modelos matemáticos do comportamento reológico foram obtidos por regressão-não linear utilizando o *software* Origin 8.0 (OriginLab, Middleboro-MA, USA). Os valores de R^2 e χ^2 foram obtidos para avaliar a adequação do ajuste aos resultados experimentais dos modelos reológicos.

5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

5.1 CARACTERIZAÇÃO DA FARINHA DE PUPUNHA

Os resultados de composição centesimal e cor instrumental da farinha estão apresentados na Tabela 5.

Tabela 5 Composição físico-química da farinha de pupunha utilizada no preparo dos filmes biodegradáveis.

Composição (g.100g ⁻¹ , em base seca)	Farinha de pupunha
Umidade	8,69 ± 0,25
Lipídios	5,02 ± 0,12
Proteínas	7,47 ± 0,25
Cinzas	1,73 ± 0,03
Fibras totais	8,30 ± 0,20
Fibras insolúveis	7,88 ± 0,45
Fibras solúveis	0,38 ± 0,29
Amido total	73,19 ± 0,031
Amilose	1,74 ± 0,03
Amilopectina	70,39 ± 0,01
T _p (°C)	89,83±0,03
Carotenoides (µg/100g)	29,63 ± 0,24
Cor instrumental	
L*	81,61 ± 0,13
a*	1,12 ± 0,16
b*	27,59 ± 0,40
C	3,83 ± 0,06
H°	92,32 ± 0,34

Média ± desvio padrão (n = 3). T_p, temperatura de gelatinização do amido de pupunha.

Segundo a Resolução CNNPA N° 12 da ANVISA (BRASIL, 1978), que regulamenta os parâmetros de qualidade da farinha de trigo, a umidade deve estar abaixo de 15%. Logo, a farinha de pupunha está abaixo do limite estabelecido pela legislação. No entanto, o teor de cinzas se encontra dentro dos limites estabelecido ($1,73 \text{ g} \cdot 100 \text{ g}^{-1}$), onde a legislação preconiza para farinha de mandioca valores entre 1,50 e 2,0 ($\text{g} \cdot 100 \text{ g}^{-1}$) (BRASIL, 1978). Fatores como a variedade do fruto da pupunha, local de produção das palmeiras, condições climáticas e as condições pré-determinadas de secagem (binômio tempo/temperatura) utilizadas para obtenção da farinha influenciam de maneira evidente na sua composição físico-química.

A análise físico-química evidenciou que a farinha de pupunha representa uma rica fonte em amido ($73,19 \text{ g} \cdot 100 \text{ g}^{-1}$), apresentando conteúdo considerável de fibras e proteínas. Estes valores estão próximos aos reportados por Yuyama (2003), Ferreira e Pena (2003) e Rojas-Garbanzo et al. (2016). Vargas et al. (2018) ao estudarem filmes obtidos a partir de farinha e amido de banana, apresentando considerável conteúdo de amido ($80,20 \text{ g} \cdot 100 \text{ g}^{-1}$), no entanto, baixos valores de fibras, lipídios e cinzas. Maniglia et al. (2017) também encontraram valores consideráveis de amido ($84,57 \text{ g} \cdot 100 \text{ g}^{-1}$) ao estudarem filmes bioativos à base de farinha do mesocarpo e amido do babaçu.

A farinha de pupunha apresentou alto valor de amilopectina ($70,39 \text{ g} \cdot 100 \text{ g}^{-1}$) e baixos valores de amilose ($1,74 \text{ g} \cdot 100 \text{ g}^{-1}$), caracterizando o amido de pupunha como ceroso. Amidos cerosos são considerados raros e têm aplicações variadas, tanto na indústria de alimentos, têxtil, farmacêutica e cosmética, utilizado como ligante, no melhoramento da textura, gelatinizante, anti-cristalinizante, agente complexante, regulador de acidez, formador de filmes, criopreservante (FREITAS et al., 2003).

A Figura 8 apresenta a morfologia da farinha de pupunha, onde observa-se uma grande quantidade de grânulos de amido bem definidos e distribuídos de maneira uniforme. Indicando que o processamento de moagem utilizado não alterou a estrutura do amido de pupunha. Observar-se que as superfícies dos grânulos são lisas, apresentando poucas irregularidades e sem porosidade superficial, características observadas por Jorge et al. (2018), ao estudarem as propriedades físico-químicas da farinha de pinhão como fonte de adjuvante na produção de cerveja. Por tanto, de acordo com os resultados das propriedades físico-químicas e morfológica, a farinha de pupunha evidencia o seu potencial para produção de filmes.

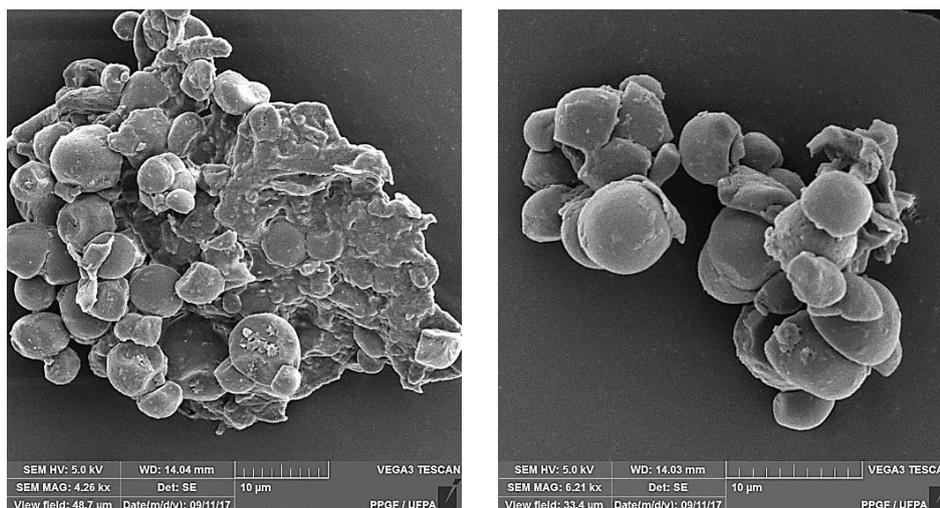


Figura 8 Microscopia eletrônica de varredura da farinha de pupunha. Ampliação de 4 e 6 kx (10 µm), respectivamente, e com aceleração de 5,0 kV.

5.2 PROPRIEDADES REOLÓGICAS

As curvas de fluxo (tensão *versus* taxa de cisalhamento) e de viscosidade *versus* taxa de cisalhamento obtidas para as temperaturas de 40°C, 45°C e 50°C estão apresentadas nas Figuras 9a e b, onde observa-se o efeito da concentração e da temperatura sobre o comportamento reológico das suspensões filmogênicas.

O aumento da concentração de sólidos influenciou de forma mais pronunciada o comportamento reológico do produto, seguido pelo aumento da temperatura. Os valores de tensão de cisalhamento apresentaram valores maiores com o da temperatura e da concentração de sólidos solúveis, comportamento típico de fluidos dilatantes (não-newtonianos).

O comportamento não-newtoniano das suspensões é confirmado através das curvas de viscosidade (Figura 9b) e dos valores de índice de comportamento (n) (Tabela 6), onde observase uama diminuição da viscosidade aparente com o aumento na taxa de deformação, até atingir a estabilidade (SANTOS, 2013). Tecante e Doublier (1999), Zimeri e Kokini (2003) e Gencelep et al. (2015) observaram comportamento de fluido pseudoplástico para produtos (gel reticulado de amido de milho e amido de milho ceroso, respectivamente) com amido na composição. Segundo Lopez e García (2012), valores mais altos de viscosidade sugerem um efeito de reforço da rede pela amilopectina; e a maior taxa de intumescimento do amido com menores teores de amilose é outro possível fator que contribui para a alta viscosidade da suspensão.

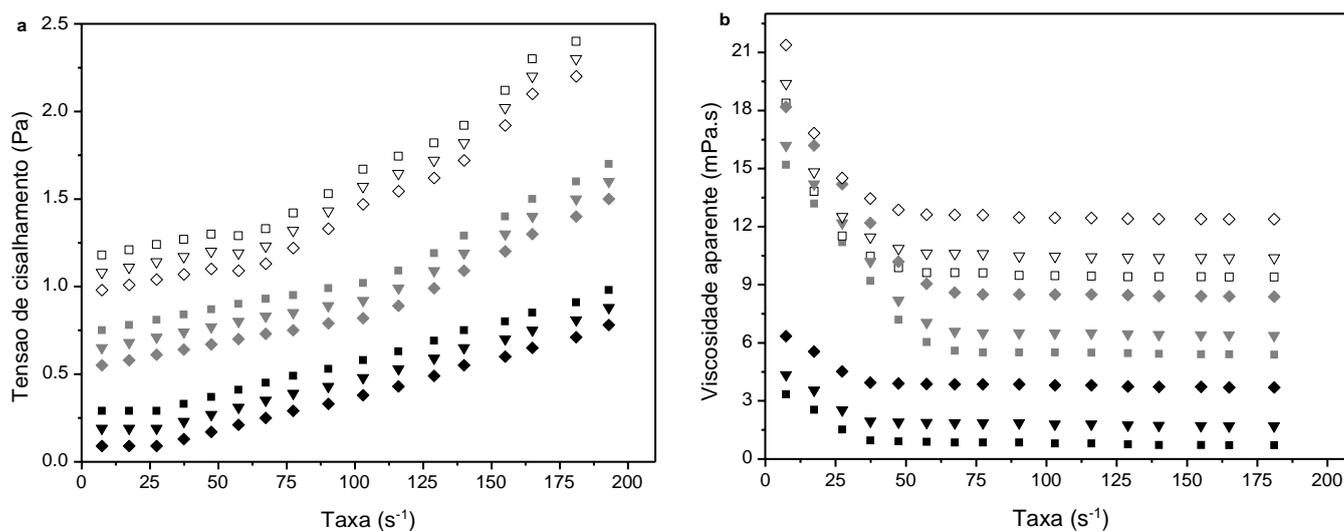


Figura 9 Efeito da temperatura na tensão de cisalhamento (a) e viscosidade (b) nas suspensões filmogênicas. Formulação 1 (■ 40°C ▼ 45°C ◆ 50°C), Formulação 2 (□ 40°C ◻ 45°C ◊ 50°C) e Formulação 3 (◻ 40°C ◻ 45°C ◻ 50°C).

Os modelos de Herschel-Bulkley e Bingham, (Figura 10 e Tabela 6) conseguiram representar o comportamento reológico dos dados experimentais para as suspensões filmogênicas, com valores de R^2 superiores a 0,93, e os valores de χ^2 , próximos a zero.

Formulação 2 (■ 40°C ▼ 45°C ◆ 50°C) e Formulação 3 (◻ 40°C ◻ 45°C ◻ 50°C). ◊

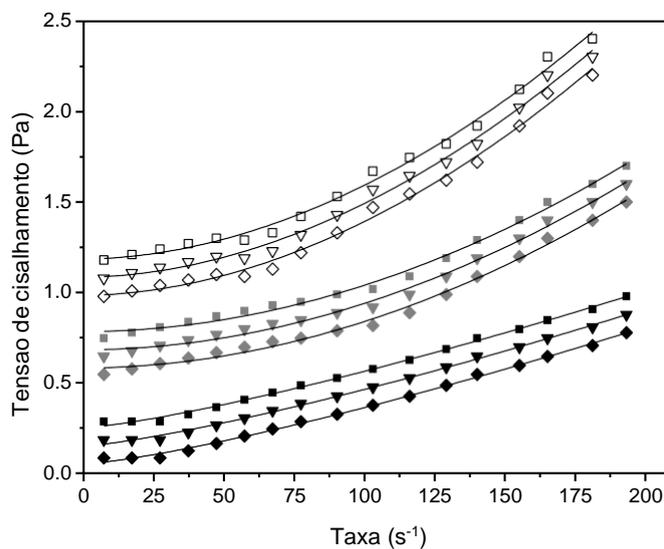


Figura 10 Curvas de ajuste para o comportamento reológico de diferentes suspensões filmogênicas, modelo de Herschel-Bulkley (■ 40°C ▼ 45°C ◆ 50°C).

O valor do índice de consistência (K) do modelo de Herschel-Bulkley aumentou apenas para o aumento da temperatura, no entanto, não houve mudança nos valores de K para o

aumento da concentração. De acordo com Zainal et al. (2000), um aumento do valor do índice de consistência diminuirá a taxa de fluxo devido à menor resistência. Os valores do índice de comportamento do fluido (n) obtidos para o modelo Herschel-Bulkley confirmam que as suspensões apresentaram comportamento de fluido dilatante ($n > 1$), sendo mais evidente para o aumento da temperatura.

Tabela 6 Parâmetros dos modelos matemáticos de Herschel-Bulkley e Bingham para o comportamento reológico de suspensões filmogênicas.

Suspensão	T(°C)	Herschel-Bulkley					Bingham			
		τ_0	K	N	R ²	$\chi^2(10^{-4})$	η_p	τ_0	R ²	χ^2
Formulação 1	40	0.255	0.871	1.277	0.997	1.37	0.198	0.003	0.990	5.22x10 ⁻⁴
	45	0.786	0.316	1.954	0.993	6.13	0.625	0.004	0.939	5.49x10 ⁻³
	50	1.863	0.665	1.893	0.992	1.23	0.977	0.007	0.938	1.00x10 ⁻²
Formulação 2	40	0.155	0.872	1.277	0.997	1.37	0.098	0.003	0.990	5.22x10 ⁻⁴
	45	0.686	0.316	1.954	0.993	6.13	0.525	0.004	0.939	5.49x10 ⁻³
	50	1.086	0.665	1.893	0.992	1.23	0.877	0.007	0.938	1.00x10 ⁻²
Formulação 3	40	0.055	0.872	1.277	0.997	1.37	0.003	0.003	0.990	5.22x10 ⁻⁴
	45	0.585	0.316	1.954	0.993	6.13	0.425	0.004	0.939	5.49x10 ⁻³
	50	0.986	0.665	1.893	0.992	1.23	0.777	0.007	0.938	1.00x10 ⁻²

η_p = viscosidade (Pa.s); K = índice de consistência (Pa.sⁿ); n = índice de comportamento (adimensional); τ_0 = limite de escoamento; R² = coeficiente de determinação e χ^2 = qui-quadrado.

A equação linearizada de Arrhenius representou bem o efeito da temperatura sobre a viscosidade aparente para os dados reológicos obtidos (R² > 0,95) (Figura 11). Os valores de energia de ativação (Ea) foram: 131,11, 36,63 e 23,14 kJ/mol para as suspensões Formulação 1, 2 e 3, respectivamente. Coutinho e Cabello (2005) encontraram valor de Ea de 19,48 kJ.mol⁻¹ para gel contendo 10% de amido de mandioca. Segundo Rao (1999), géis de polissacarídeos podem apresentar valores de Ea entre 10 e 273 kJ.mol⁻¹. A Ea indica a sensibilidade da viscosidade em função da temperatura, quanto maior o valor de Ea significa que o produto é mais sensível as alterações reológicas (STEFFE, 1996). A viscosidade da suspensão filmogênica com as menores concentrações de farinha, quitosana e glicerol foi a que sofreu maior efeito da temperatura.

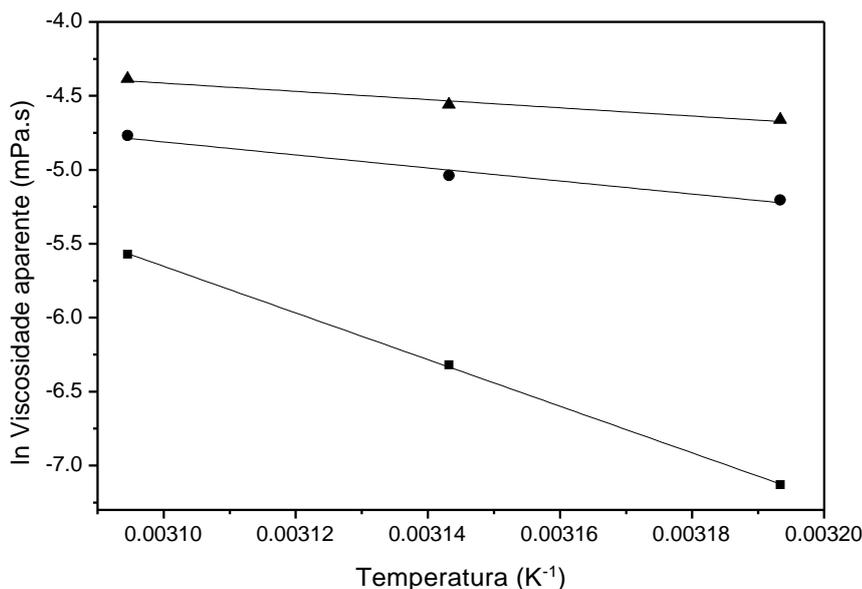


Figura 11 Efeito da temperatura sobre a viscosidade aparente de diferentes suspensões filmogênicas. ■ Formulação 1 (40°C, 45°C e 50°C), ● Formulação 2 (40°C, 45°C e 50°C) e ▲ Formulação 3 (40°C, 45°C e 50°C).

5.3 CARACTERIZAÇÃO DOS FILMES

5.3.1 Umidade, solubilidade e permeabilidade ao vapor de água

A Tabela 7 apresentada os resultados de teor de umidade, solubilidade e permeabilidade ao vapor de água (PVA) para os diferentes filmes estudados. Filmes e revestimentos devem manter os níveis de umidade dentro do produto embalado, portanto, o conhecimento da solubilidade e umidade é altamente importante para aplicações de embalagem de alimentos (PAGNO et al., 2016).

Segundo Jiang, Li, Chai e Leng (2010), o teor de umidade é um parâmetro relacionado ao volume vazio total ocupado por moléculas de água na microestrutura da rede do filme, enquanto a solubilidade está relacionada à hidrofobicidade do material. Está informação está de acordo com o tipo de microestrutura observada através da análise de microscopia eletrônica de varredura (Figuras 14 e 15), que revelou uma estrutura mais aberta e porosa para os filmes com menores concentrações de farinha.

Além disso, o teor de umidade tem um grande efeito na qualidade dos alimentos, portanto, é necessário selecionar um material de embalagem com permeabilidade à umidade apropriada para proteger a qualidade dos alimentos durante o armazenamento (MAJZOBI et al., 2015; NOURADDINI; ESMAILI; MOHTARAMI, 2018).

Após as 24 horas imersos em água e sob agitação constante, os filmes com maiores concentrações de farinha de pupunha e quitosana apresentaram maiores valores de solubilidade em água. De acordo com Oliveira et al. (2016), esse efeito pode estar relacionado com as perdas de nutrientes inevitavelmente associadas com a lixiviação como resultado da solubilidade desses componentes em água.

Resultados similares de solubilidade em água foram encontrados para filmes elaborados a partir de farinha e amido de arroz (21 a 24% de solubilidade) (VARGAS et al., 2017) e filmes de farinha e amido de banana (21 a 27% de solubilidade) (PELISSARI et al., 2013). A solubilidade dos filmes pode estar relacionada com as interações amilose-amilose, amilose-amilopectina e amilopectina-amilopectina durante o processo e secagem dos filmes (ASSIS et al., 2018). Um efeito contrário foi observado por Tapia-Blacido et al. (2007) em seu estudo das interações da fração lipídica com as propriedades de filmes de farinha de amaranto. Os autores observaram que a presença de lipídios nos filmes de farinha aumentou sua hidrofobicidade e diminuiu sua solubilidade.

A solubilidade de filmes é um dos fatores que está relacionada com o tipo de material usado para formar a matriz polimérica, o tipo de interação que ocorre na matriz, o plastificante usado e as condições do processo para a obtenção do filme (PELISSARI et al., 2013).

Pagno et al., (2016) encontraram valores de solubilidade para filmes de farinha de quinoa incorporados com difentes proporções de óleo de orégano e tomilho que variaram de 36,5 a 43,1% e 37,0 a 43,1%, respectivamente. Segundo os autores, valores altos de solubilidade, são consequências da hidrofobicidade da adição dos óleos aos filmes.

Assis et al., (2018) não encontraram diferença significativa para os resultados de solubilidade em filmes de amido de mandioca biodegradáveis com e sem adição de β -caroteno ou nanocapsulas de β -caroteno (17,63 a 21,48%). Em filmes de amido de mandioca adicionados de nanocapsulas bixina os resultados foram de 16,44 a 29,27%, indicando a aplicação dos filmes como embalagens de frutas *in natura*.

De acordo com Gontard et al. (1994), Wihodo e Moraru (2013), quanto menor o parâmetro de permeabilidade ao vapor de água menor a transferência de umidade entre o alimento e ambiente. Os valores de PVA encontrados neste estudo foram superiores aos encontrados por Iahnke et al. (2016) (0,566 a 0,437 g mm h⁻¹ m⁻² kPa⁻¹), para filmes elaborados a partir de resíduo de beterraba e cápsulas de gelatinha. Os resíduos de cápsulas diminuíram os valores de permeabilidade ao vapor de água e melhoraram as propriedades de barreira, porém não houve diferença significativa quando houve uma maior incorporação dos resíduos de fibras.

Tabela 7 Teor de umidade, solubilidade em água, permeabilidade ao vapor de água, espessura, força na ruptura, resistência a tração, porcentagem de alongação e Módulo de Young dos filmes.

Determinações	40°C			45°C			50°C		
	Formulação 1	Formulação 2	Formulação 2	Formulação 1	Formulação 2	Formulação 2	Formulação 1	Formulação 2	Formulação 2
Umidade (%)	15,82 ± 0,82 ^{aBC}	15,94 ± 0,18 ^{aBC}	17,12 ± 0,18 ^a	15,17 ± 0,78 ^{bC}	15,68 ± 0,12 ^{aBC}	16,89 ± 0,72 ^{aB}	10,90 ± 0,40 ^d	14,92 ± 0,8 ^e	15,40 ± 0,22 ^{aBC}
Solubilidade em água (%)	21,82 ± 0,72 ^{bc}	23,23 ± 0,39 ^{aB}	24,91 ± 0,93 ^a	13,19 ± 0,78 ^e	14,85 ± 0,78 ^e	17,11 ± 0,28 ^d	18,71 ± 0,2 ^{cD}	18,54 ± 0,19 ^{cD}	19,46 ± 0,39 ^c
PVA (g mm h ⁻¹ m ⁻² kPa ⁻¹)	1,32 ± 0,07 ^c	1,70 ± 0,01 ^b	1,95 ± 0,06 ^a	1,35 ± 0,07 ^c	1,33 ± 0,05 ^c	1,66 ± 0,16 ^b	0,82 ± 0,10 ^d	0,80 ± 0,03 ^d	0,85 ± 0,10 ^d
Espessura (mm)	0,107 ± 0,002 ^g	0,125 ± 0,003 ^e	0,191 ± 0,004 ^{aB}	0,110 ± 0,002 ^{fG}	0,137 ± 0,002 ^d	0,189 ± 0,006 ^b	0,117 ± 0,008 ^{eF}	0,169 ± 0,001 ^c	0,200 ± 0,004 ^a
Força de ruptura (N)	19,37 ± 0,57 ^a	9,60 ± 0,82 ^b	5,48 ± 0,63 ^e	8,77 ± 0,65 ^{bC}	7,35 ± 0,41 ^{cD}	4,43 ± 0,86 ^{eF}	10,41 ± 0,65 ^b	5,80 ± 0,20 ^{dE}	2,74 ± 0,33 ^f
Resistencia a tração (MPa)	2,05 ± 0,24 ^{bc}	2,52 ± 0,47 ^{aB}	3,07 ± 0,26 ^a	2,52 ± 0,42 ^{aB}	2,14 ± 0,12 ^{bC}	1,57 ± 0,31 ^{cD}	2,45 ± 0,22 ^{aB}	1,37 ± 0,05 ^{cD}	0,94 ± 0,11 ^d
Porcentagem de Alongação (%)	175,88 ± 0,21 ^a	165,88 ± 0,77 ^b	146,43 ± 0,80 ^d	166,36 ± 0,70 ^b	165,23 ± 0,28 ^b	135,26 ± 0,47 ^f	150,38 ± 0,49 ^c	150,33 ± 0,70 ^c	143,49 ± 0,87 ^e
Módulo de Young (MPa)	0,56 ± 0,07 ^f	0,80 ± 0,06 ^{eF}	1,68 ± 0,16 ^{bC}	0,93 ± 0,21 ^{dEF}	1,38 ± 0,15 ^{cDE}	1,86 ± 0,32 ^{bC}	1,42 ± 0,17 ^{bCD}	1,98 ± 0,21 ^b	2,51 ± 0,33 ^a

Média ± desvio padrão (n = 3). As médias com as mesmas letras sobrescrito (maiúscula e minúscula) na mesma linha não apresentam diferença estatística ($p < 0,5$) de acordo com o teste de Tukey.

Pereda et al. (2011), Pelissari et al. (2013) e Pagno et al. (2015 e 2016) encontraram baixos valores de PVA para filmes de quitosana-gelatinha; de farinha e amido de banana; de quinoa e amido com nanopartículas de ouro; e de farinha de quinoa com óleo essencial.

Valores maiores de PVA são correlacionados com a adição de quitosana, que apresenta alto grau de hidrofiliabilidade. Segundo Kim; Ustunol (2001), os polímeros hidrofílicos contêm grupos polares que permitem a formação de pontes de hidrogênio, favorecendo uma alta sorção de água, provocando uma taxa maior de permeação. Essa propriedade da quitosana é atribuída aos grupos desacetilados presentes em sua cadeia polimérica, que predominantemente são grupos amino caracterizados por ligações covalentes (N-H), onde a eletronegatividade das ligações gera sítios de alta polaridade, tornando favorável o rearranjo das moléculas de água em torno desses sítios. Essa característica estrutural, associada aos grupos acetamido, que também são polares e estão presentes na cadeia polimérica, caracterizam um material com alto grau de afinidade e retenção de água.

Segundo Crizel et al. (2016), é essencial conhecer os valores do PVA antes de aplicar o filme a alguns alimentos, pois esses valores determinam o tipo de produto que pode ser embalado no filme (por exemplo, alimentos frescos ou desidratados). Por tanto, vários fatores podem influenciar a permeabilidade ao vapor de água dos filmes, tais como o coeficiente de solubilidade, integridade da matriz do filme, razão entre a região cristalina e amorfa, espessura, interação entre os grupos funcionais e a mobilidade da cadeia polimérica (Iahnke et al., 2015).

5.3.2 Espessura e propriedades mecânicas

A concentração crescente de farinha resultou em maiores valores de espessura e, conseqüentemente, um aumento no conteúdo de sólidos na concentração (Tabela 7). Segundo Garcia e Sobral (2005) a espessura do filme é dependente da sua composição e dos parâmetros de processamento do filme, onde maiores concentrações de matérias-primas utilizadas nas formulações induzem o aumento de sólidos na matriz polimérica formada após a secagem da suspensão filmogênica e conseqüentemente produzindo filmes mais espessos. Segundo Debandi, Bernal e Francois (2016), a quitosana é uma macromolécula hidrofílica linear que produz filmes estruturados em camadas e o glicerol tende a aumentar o espaçamento entre as macromoléculas de quitosana, com isso, os agentes plastificantes que estão ao entorno do polímero, interagem por ligações de hidrogênio em local específico (-OH, NH₂).

Segundo Mali et al, (2002) o controle da espessura dos filmes durante o processo de secagem é difícil, inclusive nos processos de produção do tipo *casting*, onde os filmes são secos

em suportes e exige controle rigoroso da forma do suporte e do nível da mesa da estufa, para evitar diferenças de espessura provocadas por desnível.

A espessura do filme está correlacionada com as propriedades de barreiras dos filmes, como a permeabilidade ao vapor de água, por tanto, maiores valores de espessura maior será a permeabilidade aos gases. Antala et al. (2015) ao estudar filme de baixa densidade (PEBD) com espessuras de 0,025 e 0,050 mm utilizados em embalagens de goiaba, verificaram menores concentrações de O₂ e CO₂ em filmes mais finos. Neves, Rodrigues e Vieites (2002) estudaram o efeito de embalagens de polietileno de baixa densidade (PEBD) de diferentes espessuras em figos 'Roxo de Valinhos', verificou-se que, nas condições de armazenagem, as frutas embaladas em PEBD de 0,022mm apresentaram melhor qualidade ao final do armazenamento quando comparadas aos demais tratamentos, enquanto as frutas do tratamento controle, ao final de quatro dias de armazenamento, estavam impróprias para comercialização

Os filmes com maiores concentrações e secos a temperatura de 50°C apresentou valores mais baixos de força na ruptura, resistência à tração e módulo de Young que filmes com menores concentrações e secos a 40°C. Filmes com menores concentrações são mais flexíveis; já filmes com concentrações maiores são mais rígidos e resistentes.

Segundo Sobral et al. (2001), Delville et al. (2002) e Godbillot et al. (2006), além da composição da matéria-prima, o teor de umidade também influencia nas propriedades mecânicas. Os filmes de farinha de pupunha, quitosana e glicerol com maiores teores de umidade exerceram um efeito plastificante, o que reduzindo a resistência mecânica e aumentando a flexibilidade do polímero.

Resultados semelhantes foram observados por Iahnke et al. (2015) que desenvolveram filmes à base de gelatina e fibra de resíduos de cenoura, observaram que, a adição da fibra nos filmes aumentou o módulo de Young e diminuiu a porcentagem de alongação. Segundo Gilfillan et al. (2012), o aumento da concentração de fibras aumenta os valores de resistência a tração, porém, o efeito oposto pode ocorrer quando as interações entre a fibra e a matriz são fracas e dificultam a transferência de tensão da fibra para a matriz.

5.3.3 Parâmetros de cor, transmissão de luz e opacidade

Os parâmetros de cor dos filmes são apresentados na Tabela 8. Não foram observadas diferenças significativas na cor entre as diferentes concentrações de filmes e temperaturas de secagem. Todos os filmes apresentaram-se uma coloração mais escura, uniforme e amarelada comparados aos filmes biodegradáveis à base de amido de mandioca contendo nanocápsulas de

bixina obtidos por Pagno et al. (2016). Os valores do parâmetro a^* são negativos e indicam presença de pigmentos com características de tons de cor vermelha, por tanto esses resultados refletem a cor característica de suas matérias-primas.

A cor dos filmes apresentou aumento significativo ($P < 0,05$) para os valores de ΔE com concentração crescente de farinha de pupunha, associados à cor característica que os carotenóides são capazes de conferir (Assis et al., 2018). Segundo Rotta et al. (2009), valores mais altos de ΔE indicam filmes com maior intensidade de cor.

A transmissão de luz e opacidade dos filmes são apresentados na Tabela 8. Todas as formulações de filme estudadas exibiram transmissão de luz muito baixa, possivelmente devido a pigmentos naturais e ao conteúdo de carotenoides, encontrados na farinha de pupunha, disponíveis para atuar como uma excelente barreira UV. Segundo Nouraddini, Esmaili e Mohtarami (2018) e Dick et al. (2016), esta propriedade está relacionada ao seu potencial efeito preventivo na oxidação induzido pela luz UV.

Na faixa do UV-visível, a transmissão de luz para os filmes com menores proporções de farinha de pupunha foi superior a 50% para comprimento de onda de 600 nm, enquanto os filmes com proporções maiores apresentaram maiores valores de opacidade.

Os resultados de opacidade foram próximos aos encontrados por Pelissari et al., (2013), onde verificaram que os filmes de farinha de banana foram mais opacos que os de amido de banana. Segundo os autores, os valores de opacidade estão relacionados a composição da matéria-prima, como, as fibras, os lipídios e as proteínas.

Tapia-Blácido et al., (2007) também associaram a presença de proteína e lipídios com uma maior opacidade em filmes ao estudarem a contribuição desses componentes nas propriedades térmicas, físicas e estruturais de filmes de farinha de amaranto (*Amaranthus caudatus*).

Crizel et al. (2018) verificaram que a opacidade dos filmes aumentou proporcionalmente com o aumento das concentrações de farinha (1,77 a 2,03) e micropartículas (3,51 a 6,03) de bagaço de azeitona em relação ao controle, por tanto, filmes menos transparentes e, conseqüentemente, mais eficientes na barreira fotoelétrica. Segundo os autores, isso ocorre devido as micropartículas solubilizaram-se melhor na matriz do filme, resultando em uma estrutura mais homogênea.

Tabela 8 Parâmetros CIELab, transmissão de luz e opacidade dos filmes incorporados com diferentes concentrações de farinha de pupunha, quitosana e glicerol.

Determinações	40°C			45°C			50°C		
	Formulação 1	Formulação 2	Formulação 2	Formulação 1	Formulação 2	Formulação 2	Formulação 1	Formulação 2	Formulação 2
Parâmetros de cor									
L^*	39,21 ± 0,12 ^a	38,40 ± 0,18 ^{bc}	37,43 ± 0,23 ^d	38,02 ± 0,52 ^{bcD}	38,66 ± 0,40 ^{ab}	36,39 ± 0,24 ^e	37,35 ± 0,38 ^d	38,33 ± 0,10 ^{bc}	37,82 ± 0,17 ^{cd}
a^*	-2,61 ± 0,29 ^c	-2,58 ± 0,31 ^c	-2,03 ± 0,11 ^b	-2,66 ± 0,22 ^c	-2,24 ± 0,05 ^{cd}	-1,32 ± 0,17 ^a	-2,47 ± 0,04 ^c	-2,41 ± 0,07 ^{cd}	-1,45 ± 0,07 ^a
b^*	12,49 ± 0,74 ^c	14,03 ± 0,81 ^{bd}	16,68 ± 0,34 ^a	13,10 ± 0,60 ^{cd}	14,23 ± 0,10 ^b	15,88 ± 0,33 ^a	13,24 ± 0,30 ^{bcd}	14,08 ± 0,25 ^b	15,67 ± 0,06 ^a
C^*	19,81 ± 0,18 ^a	12,71 ± 0,90 ^e	16,33 ± 0,43 ^b	13,26 ± 0,66 ^e	14,46 ± 0,14 ^{cd}	15,96 ± 0,32 ^b	13,47 ± 0,60 ^{dE}	14,23 ± 0,10 ^d	15,74 ± 0,50 ^{bc}
h°	100,45 ± 0,18 ^{ab}	100,68 ± 0,22 ^a	100,84 ± 0,26 ^a	100,21 ± 0,32 ^{ab}	99,79 ± 0,47 ^d	94,78 ± 0,64 ^c	100,55 ± 0,60 ^a	99,74 ± 0,10 ^{bd}	95,28 ± 0,27 ^a
ΔE	2,48 ± 0,15 ^{bc}	2,06 ± 0,29 ^{bc}	5,31 ± 0,14 ^a	2,45 ± 0,32 ^{bc}	1,89 ± 0,32 ^{bc}	6,47 ± 0,01 ^a	2,93 ± 0,19 ^b	1,63 ± 0,33 ^c	5,97 ± 0,56 ^a
Transmissão de luz (%) em diferentes comprimentos de onda (nm)									
200	0,46	0,23	0,19	0,28	0,15	0,10	0,04	0,02	0,01
280	0,24	0,15	0,10	0,21	0,10	0,08	0,03	0,01	0,01
350	7,80	6,15	5,10	2,70	1,55	1,13	0,69	0,38	0,31
400	21,19	17,31	15,90	19,44	16,21	14,88	15,20	13,27	11,76
500	31,70	29,10	25,60	28,90	25,83	21,99	20,74	18,28	16,13
600	56,70	38,20	38,20	55,90	35,50	36,70	48,10	34,14	34,72
700	60,03	59,81	57,87	62,72	40,97	45,83	47,64	45,32	42,88
800	82,68	80,03	77,93	61,30	60,15	58,51	54,93	53,44	51,27
Opacidade T600	1,31 ± 0,05 ^e	3,12 ± 0,19 ^{cd}	3,80 ± 0,24 ^{ab}	1,34 ± 0,02 ^e	3,36 ± 0,27 ^b	3,96 ± 0,08 ^a	1,70 ± 0,07 ^e	2,91 ± 0,09 ^{dc}	3,74 ± 0,18 ^{ab}

Média ± desvio padrão (n = 3). As médias com as mesmas letras sobrescrito (maiúscula e minúscula) na mesma linha não apresentam diferença estatística ($p < 0,5$) de acordo com o teste de Tukey.

5.3.4 Microscopia eletrônica de varredura (MEV)

As micrografias da superfície e da seção transversal dos filmes podem ser visualizadas nas Figuras 12 e 13, respectivamente.

A microscopia eletrônica de varredura (MEV) dos filmes apresentam uma estrutura não homogênea; isto é, com superfície irregular e com imperfeições, devido a presença de partículas insolúveis provenientes da farinha de pupunha, porém sem rachaduras ou bolhas. Crizel et al. (2016) também relataram em seus estudos a presença de pequenas partículas insolúveis, que podem ser derivadas da gelatina não dissolvida completamente na solução filmogénica ou de partículas de óleo provenientes dos resíduos de cápsulas que foram suspensas.

Costa et al. (2019) ao estudarem a obtenção de um produto desidratado com características de filme através do método por Refractance Window encontraram estruturas similares as obtidas no estudo, irregulares e com imperfeições. De acordo com Pelissari et al. (2013), as irregularidades nas superfícies dos filmes podem estar relacionadas à presença de mais de uma macromolécula na matriz polimérica (amido, proteína, lipídios e fibra), ou interações entre esses componentes (amido-proteína e amido-celulose). Na farinha de pupunha, os teores de proteínas, lipídios e fibras superiores a 5%, portanto, esses componentes desempenham um papel importante na estrutura final dos filmes.

As temperaturas secagem estudadas alteraram a estrutura morfológica dos filmes (Figuras 13g, h e i), produzindo filmes densos e compactos. As micrografias reforçam o comportamento encontrado para as propriedades mecânicas, indicando uma estrutura forte, compacta e resistente responsável pelos valores baixos de solubilidade. Debandi, Bernal e Francois (2016) encontraram estruturas mais densa foi observada para filmes com maiores concentrações de glicerol, devido a presença do plastificante reduzir o número de rupturas estruturais, como rachaduras e poros.

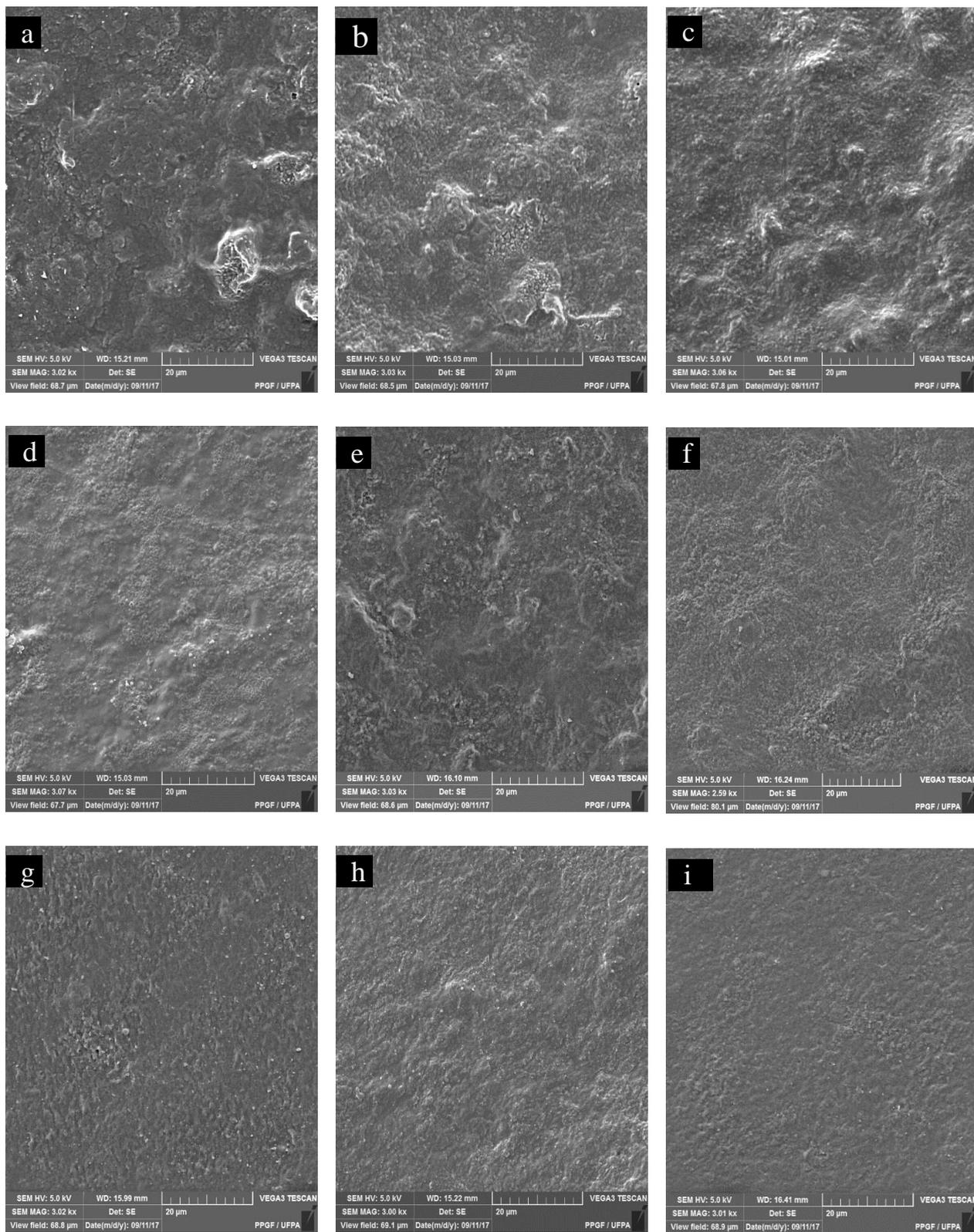


Figura 12 Micrografias da superfície dos filmes. Formulação 1, 2 e 3: 40°C (a, b e c), 45°C (d, e e f) e 50°C (g, h e i), respectivamente.

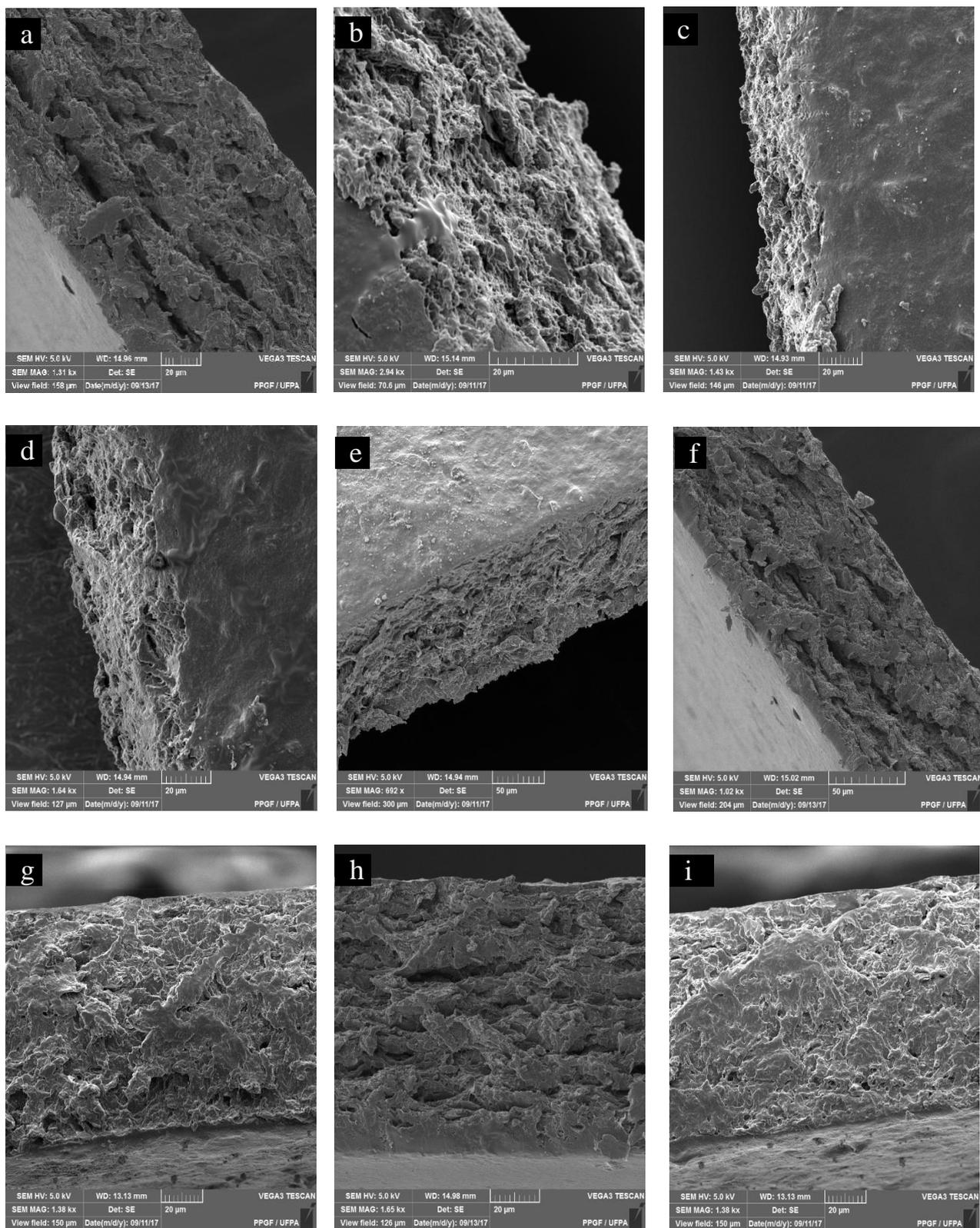


Figura 13 Micrografias das secções transversais dos filmes. Formulação 1, 2 e 3: 40°C (a, b e c), 45°C (d, e e f) e 50°C (g, h e i), respectivamente.

5.3.5 Difração de raios-X (DRX)

Nos difratogramas de raios-X (Figura 14) observou-se a presença de 4 picos principais entorno dos ângulos de difração de 6, 10, 12, e 20°, picos característicos de grânulos de amido de estrutura do tipo C (combinação de A e B), presença de amilose e amilopectina. O pico detectado a 12° é característico de estrutura do tipo A e o pico de 6° só pode ser encontrado em amidos do tipo B, por tanto, se pode confirmar que os filmes estudados incluem uma mistura dos dois polimorfos. Pelissari et al. (2013) encontraram valores de ângulos de 5,6, 12, 19 e 22° em filmes e farinha de amido de banana (*Musa paradisiaca*).

Os filmes também revelam a presença de um cristal de tipo VH (PELISSARI et al., 2013), como indicado pelos picos 12 e 20°. O VH é uma cristalinidade induzida por processamento, causada pela recristalização rápida de estruturas de amilose de uma única hélice durante o resfriamento após o processamento (VAN SOEST; VLIEGENTHART, 1997).

De acordo com Van Soest, Hullemann, De Wit e Vliegenthart (1996), a estrutura do VH é formada a uma temperatura abaixo de 180°C e é frequentemente encontrada em filmes à base de amido elaborados com mais de 10% de água.

Os filmes elaborados com de farinha de pupunha, quitosana e glicerol apresentaram larguras de pico um pouco maiores e intensidade mais alta, o que mostra uma tendência de estruturas não cristalinas. A ausência de cristalinidade residual nos filmes, indica que, durante o processamento, os cristais nativos foram completamente fundidos, uma que a temperatura de gelatinização do amido de pupunha (90°C) foi superada e promoveu a ruptura dos grânulos das suspensões filmogênicas.

Na Figura 14, filmes com menores proporções de farinha de pupunha, quitosana e glicerol, um amplo pico foi observado, indicando miscibilidade molecular e interação entre os componentes, consistente com os baixos valores de permeabilidade ao vapor de água e boas propriedades mecânicas. Zhong e Xia (2008) ao estudarem as propriedades de filmes de quitosana/mandioca/gelatina e glicerol observaram que, ao substituir parcialmente amido de mandioca por quitosana dois picos DRX foram encontrados (11,2 e 15,6°), indicando que a estrutura de quitosana foi levemente influenciada pela adição de uma pequena fração de massa de fécula de mandioca. No entanto, para os filmes elaborados com uma porcentagem maior de amido de mandioca (100%), um amplo pico amorfo também foi encontrado confirmando que a mistura desses componentes foi capaz de formar uma única fase.

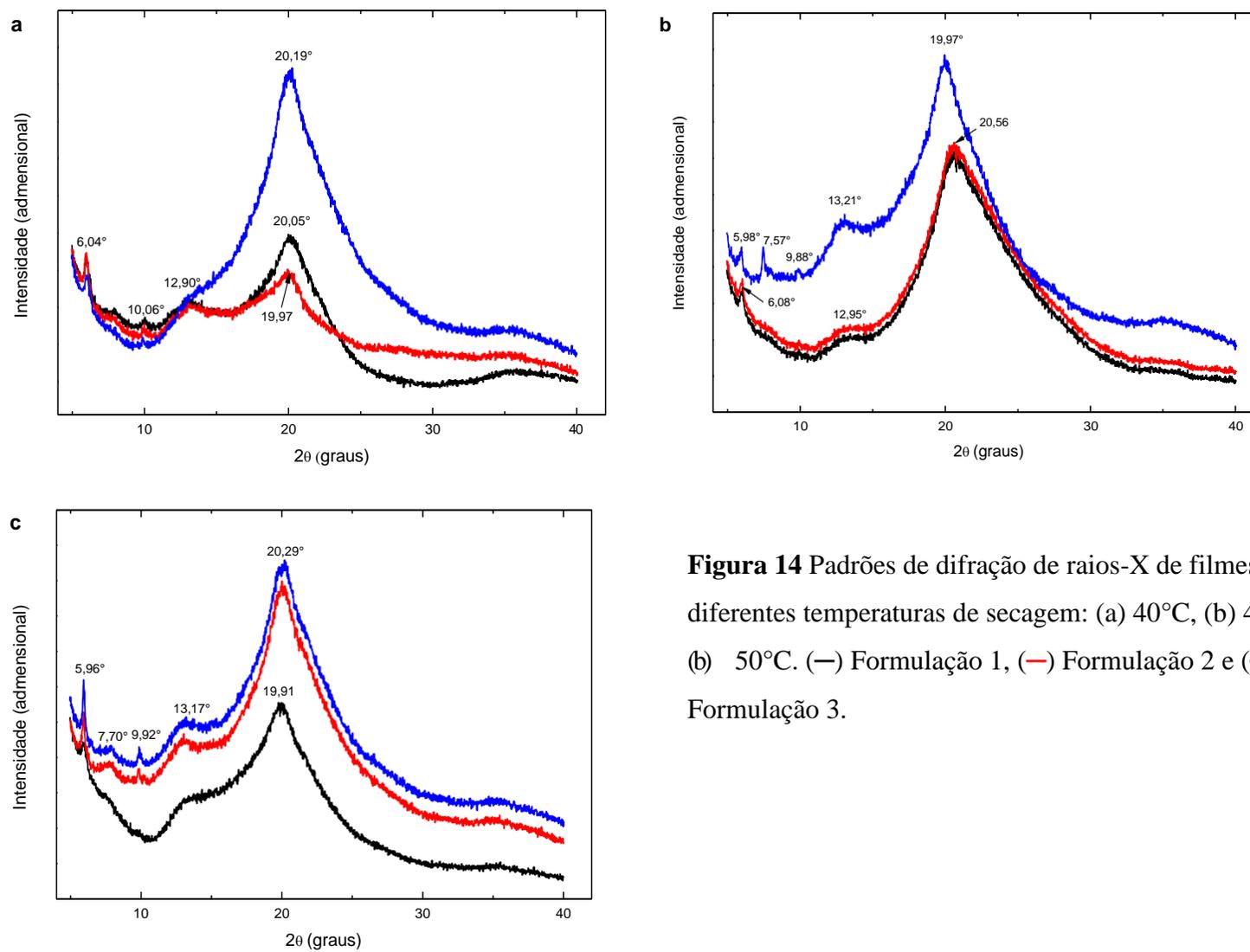


Figura 14 Padrões de difração de raios-X de filmes em diferentes temperaturas de secagem: (a) 40°C, (b) 45°C e (c) 50°C. (—) Formulação 1, (—) Formulação 2 e (—) Formulação 3.

Bergo et al. (2008) encontraram características amorfas em filmes elaborados com 0 e 15g de glicerol/100 g de amido, no entanto, filmes com 30 e 45g de glicerol/100 g de amido apresentaram picos com tendência cristalina, $2\theta \approx 20^\circ$. Segundo os autores, filmes de amido podem ter caráter amorfo, pois o tratamento térmico da suspensão formadora de filme pode provocar a gelatinização do amido, causando uma ruptura das conformações da dupla hélice do amido.

5.3.6 Espectroscopia de infravermelho de transformada de Fourier (FTIR)

A Figura 15 apresenta os espectros de infravermelho obtidos para os filmes estudados. Observa-se a presença de bandas em 3369 cm^{-1} que correspondem as ligações de hidrogênio formadas a partir de grupamentos hidroxila do amido e do glicerol (SOLOMONS; FRYHLE, 2001).

Os espectros encontrados no estudo foram semelhantes aos relatados por Zhong e Xia (2008) para filmes de gelatina, amido de mandioca e quitosana com bandas de $3384\text{--}3422\text{ cm}^{-1}$, caracterizado pelo alongamento de OH e/ou NH. Xu et al. (2005) também reportaram que o espectro de filme de quitosana possui uma banda a 3351 cm^{-1} , referente ao estiramento OH, ao qual se sobrepõe o estiramento NH, na mesma região.

O estiramento de filmes com maiores proporções de componentes apresentou proximidade nos comprimentos de onda e menor intensidade para as três temperaturas estudadas. Segundo Neves et al. (2014), a maior intensidade das bandas para as amostras pode estar relacionada com o conteúdo de umidade, por tanto, a quantidade de grupos OH da água ligada aos polímeros é maior.

Nos três gráficos é possível observar bandas de 2956, no espectro da quitosana, esse comportamento é atribuído a deformação axial C-H (Neves et al., 2014). A absorção da banda em $1643\text{ e }1024\text{ cm}^{-1}$ está associada ao grupo amina e ao estiramento C-O, respectivamente. Zhong e Xia (2008) encontraram bandas entre $2930\text{ e }2939\text{ cm}^{-1}$, $1630\text{--}1660$ e $1540\text{--}1570\text{ cm}^{-1}$ associadas ao alongamento de C-H, C=O e N-H (amida II), respectivamente

As vibrações nas faixas de $1415\text{ a }1267\text{ cm}^{-1}$ pode ser devida aos grupos amina protonados e ao grupo carboxílico da molécula de ácido acético. E o perfil típico de polissacarídeo é mantido em 1024 cm^{-1} , característico de estiramento C-O-C.

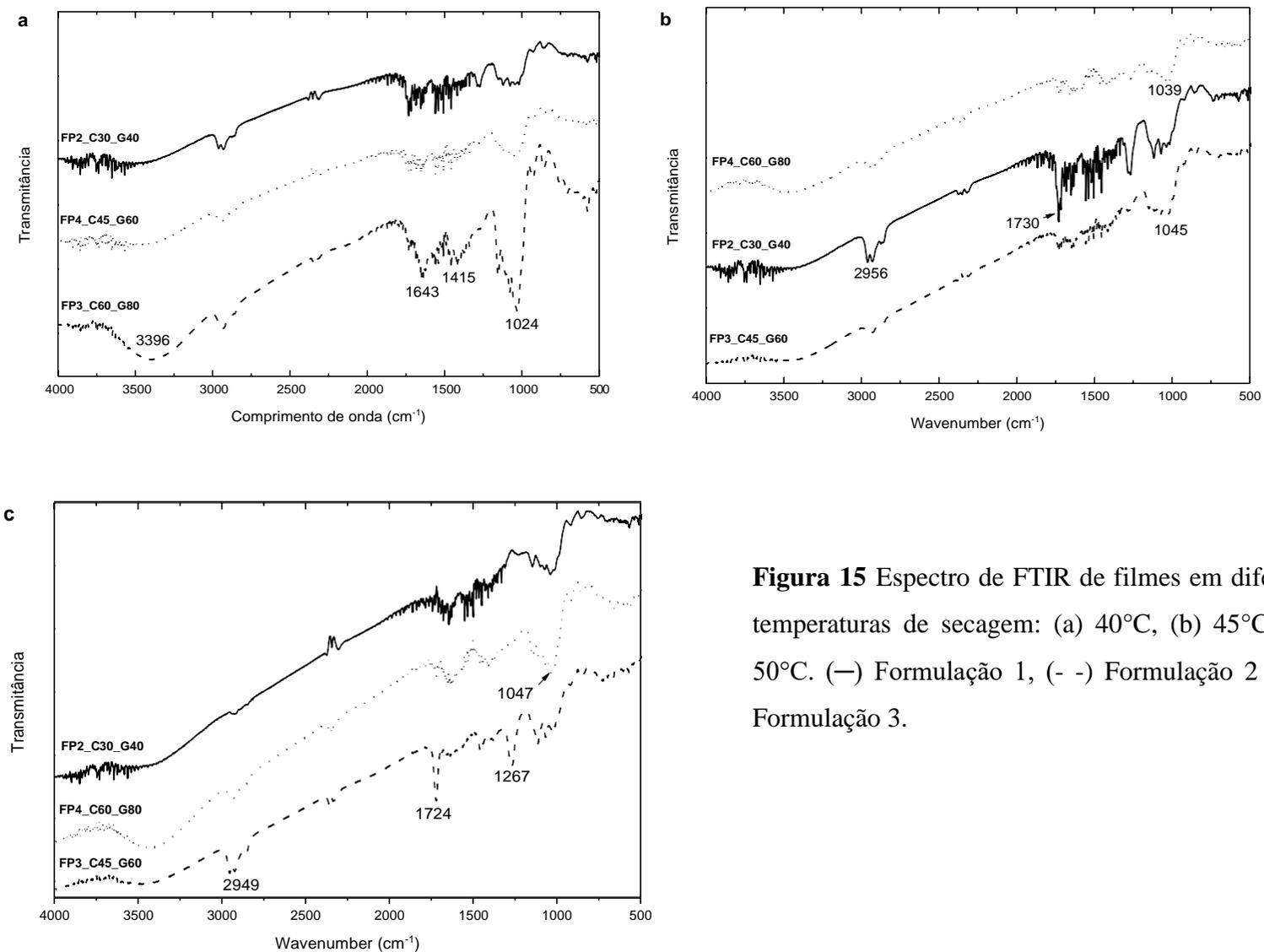


Figura 15 Espectro de FTIR de filmes em diferentes temperaturas de secagem: (a) 40°C, (b) 45°C e (b) 50°C. (—) Formulação 1, (- -) Formulação 2 e (···) Formulação 3.

Zhong e Xia (2008) encontraram picos próximos a 1740 cm^{-1} devido a presença de um grupo carbonila nos filmes de amido e quitosana. Segundo os autores, as interações químicas são refletidas por mudanças nos picos de espectros após a mistura física de duas ou mais substâncias.

Shankar e Rhim (2018) ao estudarem a incorporação de nanopartículas de quitosana em filmes, encontraram faixas de absorção $3450\text{-}3200\text{ cm}^{-1}$, 1633 cm^{-1} e 1539 cm^{-1} atribuídas ao alongamento de C-H, do grupo acetil (amida I) e do NH (amida II), respectivamente. E um pico de menor intensidade (1255 cm^{-1}) foi atribuído ao estiramento do C-O-C.

5.3.7 Análise termogravimétrica

As curvas termogravimétricas (TG) e suas derivadas (DTA) são apresentadas na Figura 16. A perda de peso dos filmes durante a análise termogravimétrica (TG) apresentou 3 etapas principais, descritos na literatura para a estabilidade térmica de filmes de amido com adição de glicerol como plastificante (ASSIS et al., 2018).

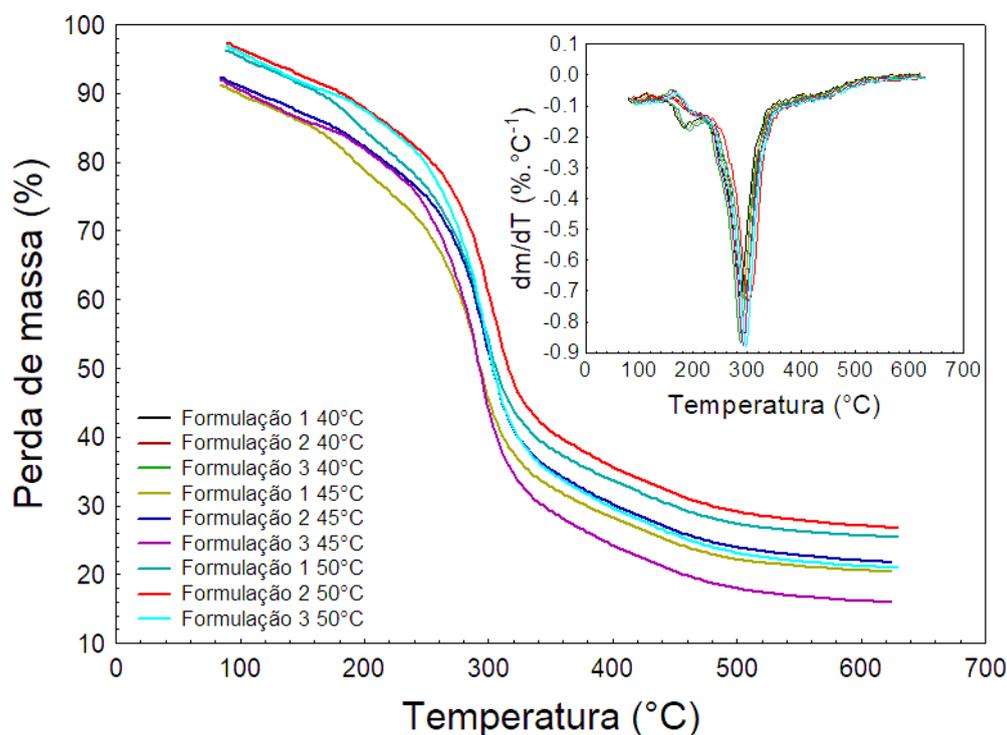


Figura 16 Curvas de análise termogravimétrica (TG e DTA) dos filmes.

O primeiro estágio de degradação térmica ocorreu até 150°C , relacionado à perda de água ou compostos voláteis ligados à matriz polimérica; a quantidade estimada de água desorvida foi de aproximadamente 10%. Segundo Liu et al. (2009), a porcentagem de perda

de massa nesta fase depende do teor de umidade presente na amostra. Debandi, Bernal e Francois (2016) relataram que as primeiras mudanças relacionadas à área estão ligadas às variações físicas e moleculares produzidas pelas interações entre os materiais utilizados para a obtenção dos filmes.

A segunda etapa foi caracterizada principalmente pela perda de glicerol, frações de água e proteína estruturalmente ligadas de menor tamanho. De acordo com Piñeros-Hernandez et al. (2017), Medina- Jaramillo et al. (2017) e Pagno et al. (2016), a segunda etapa que se inicia em 150°C e finaliza em 250°C, é caracterizada pela perda de peso através da decomposição do glicerol e início da decomposição parcial do amido. A terceira etapa ocorreu entre 250°C a 350°C, o que segundo Assis et al. (2018), corresponde à seqüência de degradação do amido iniciado na etapa anterior e à dessorção da fase orgânica (55% - 60%).

O resíduo final foi de aproximadamente 20%, segundo Iahnke et al. (2016) este resultado pode ser devido à presença de fibras e suas interações com os componentes da matriz biopolimérica via ligação covalente e não covalente, que causou um aumento no teor de resíduos de carbono.

Lozano-Navarro et al. (2018) ao estudarem as propriedades físicas, químicas, morfológicas e térmicas de filmes de quitosana e amido com extratos naturais evidenciaram varias perdas de peso em temperaturas de 135°C, 320°C, 400°C e 600°C, associadas à remoção de umidade (materiais voláteis e degradação dos antioxidantes), decomposição das unidades amina da quitosana (plastificação do amido e decomposição do glicerol), do grupo CH₂OH e degradação total da quitosana.

Debandi, Bernal e Francois (2016) relataram que, para filmes elaborados com e sem adição de glicerol, o primeiro evento térmico produziu um peso de perda de até 120°C como consequência da remoção da água inicial absorvida. Segundo os autores, a perda de peso na primeira etapa depende do conteúdo de glicerol nos filmes. Nas etapas seguintes as temperaturas de decomposição de 183°C a 200°C e 300°C estão associadas ao processo termo-oxidativo de grupos amina pertencentes a macromoléculas de quitosana.

De acordo com Debandi, Bernal e Francois (2016), os resultados experimentais confirmaram a influência dos agentes plastificantes na absorção de água dos filmes associados aos resultados de termogravimetria (TGA), devido à tendência para formar pontes de hidrogênio entre as duas moléculas. Desta maneira, o conhecimento da temperatura inicial de decomposição térmica é importante, uma vez que indicam o limite máximo de temperatura no processo de obtenção de filmes, bem como, em quais condições de temperatura eles podem ser aplicados sem comprometer sua funcionalidade.

5.3.8 Degradação dos filmes em solo

Os experimentos foram conduzidos por um período de 15 dias e os resultados de absorção e perda de peso podem ser observados na Figura 17.

Os resultados (Figura 17) apresentaram similaridade nos valores de absorção de água entre os diferentes filmes analisados. Durante a incubação no solo, todos os filmes foram absorvidos, perdendo sua forma inicial, sua integridade estrutural indicando que a degradação foi claramente pronunciada, por tanto, classificando os filmes como materiais rapidamente biodegradáveis.

Os valores médios, que representam as perdas de peso dos filmes enterrados no solo, provavelmente foram subestimados como detritos de solo e os filmes remanescentes após os dias de incubação foram difícil de remover sem danificar a amostras, essa mesma dificuldade foi relatada por diversos autores como, Gohen e Wool (2001), Di Franco (2004) e Alvarez, Ruseckaite e Vazquez (2006), e Martucci e Ruseckaite (2009).

Após o período de 15 dias nas condições de degradação os filmes com maiores concentrações de farinha de pupunha perderam aproximadamente 30% do seu peso inicial (Figura 17 a e c). A rápida biodegradabilidade pode estar relacionada à hidrofília e à solubilidade em água (aproximadamente 20% de solubilidade) auxiliando em uma maior absorção e atividade de água, no crescimento de microrganismos e na desintegração da matriz durante o processo de biodegradação (ASSIS et al., 2018). Segundo Torres et al. (2011), os microrganismos presentes naturalmente no solo degradam o material, resultando na quebra das ligações da estrutura do amido, e à lixiviação do glicerol provoca à perda de peso e a mudanças visíveis na matriz dos filmes.

Iahnke et al. (2016), ao estudarem filmes com propriedades antioxidantes elaborados a partir de cápsulas de gelatina e resíduo da raiz de beterraba, encontraram perda de peso de 76% em relação a massa inicial, enquanto o filme controle perdeu 88%. Segundo Azwa et al. (2013), produtos elaborados a partir de fibras naturais são mais facilmente degradados, no entanto, o processo de biodegradação depende dos seus componentes individuais e da perda de força interfacial entre a fibra e a matriz polimérica.

Martucci e Ruseckaite, (2009) encontraram maiores taxas de degração (40%) para o filme controle (gelatina bovina), enquanto os filmes Ge-10DAS (amido, gelatina bovina e glicerol) foram mais resistentes ao ataque microbiano (30%), classificando os filmes como materiais rapidamente biodegradáveis. Segundo os autores, esse comportamento pode ser atribuído ao efeito dificultador da rede química na degradação enzimática da matriz de gelatina.

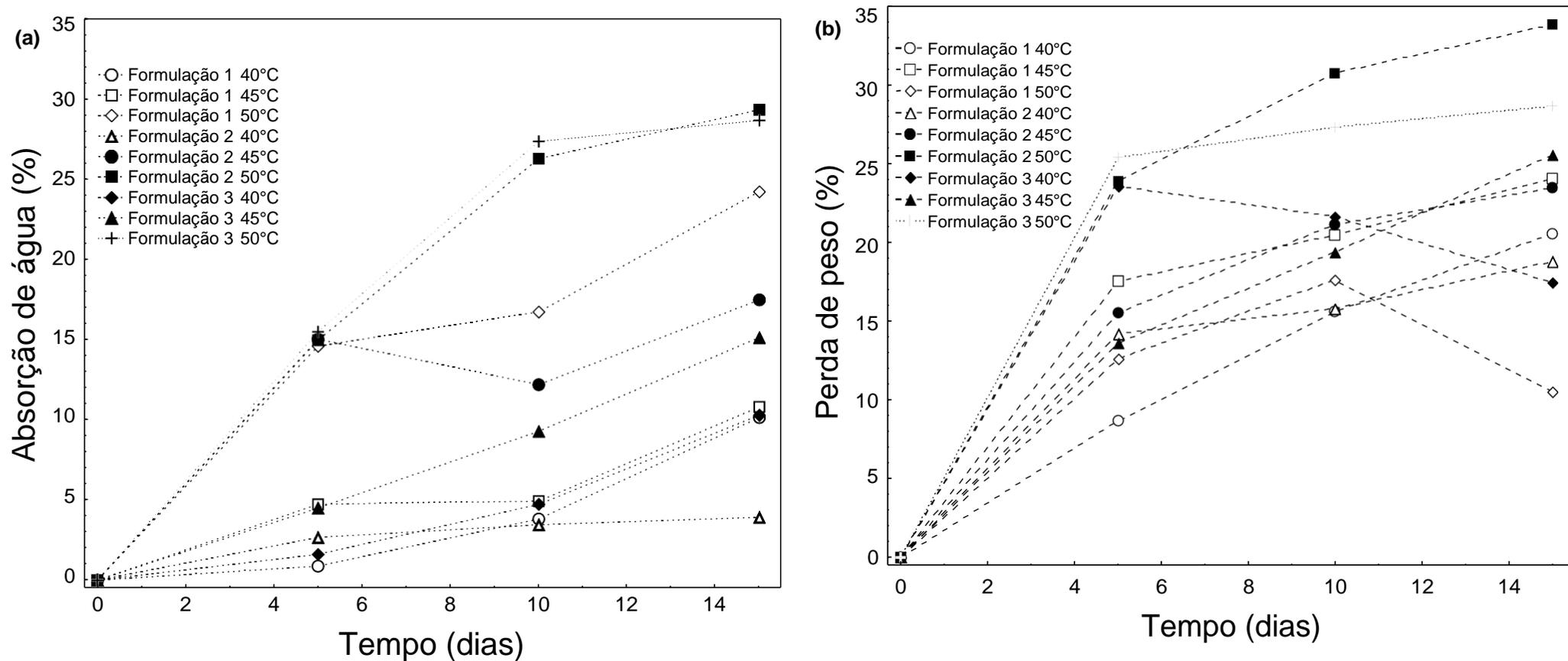


Figura 17 Curvas de absorção de água e perda de peso dos filmes ao longo do tempo de incubação.

Follmann et al. (2017) avaliaram a degradação de sacolas de polietileno tradicional, biodegradável, oxibiodegradável e reciclada em condições laboratoriais. Os autores não obtiveram uma degradação significativa para as sacolas estudadas em um período de incubação de 180 dias, indicam que as sacolas oxibiodegradáveis não degradaram mais rapidamente do que as de polietileno tradicional.

Nowak et al. (2016) ao avaliarem o grau de degradação de embalagens de PVC/rPLA, obtiveram perda de peso de aproximadamente 25% para filmes de rPLA, enquanto filmes de PVC não excederam de 5% após a incubação em solo rico em biossurfactantes.

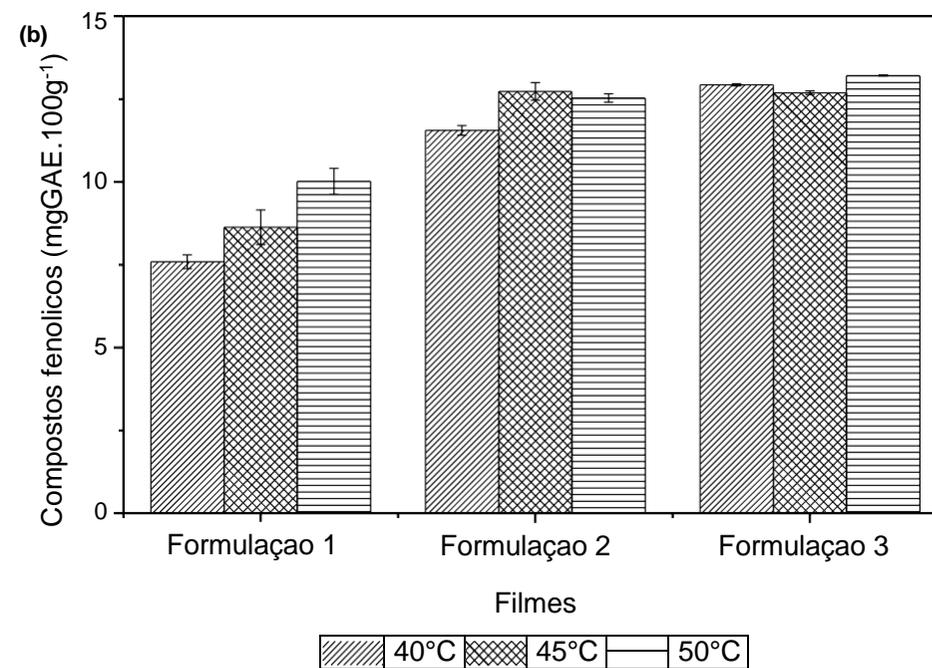
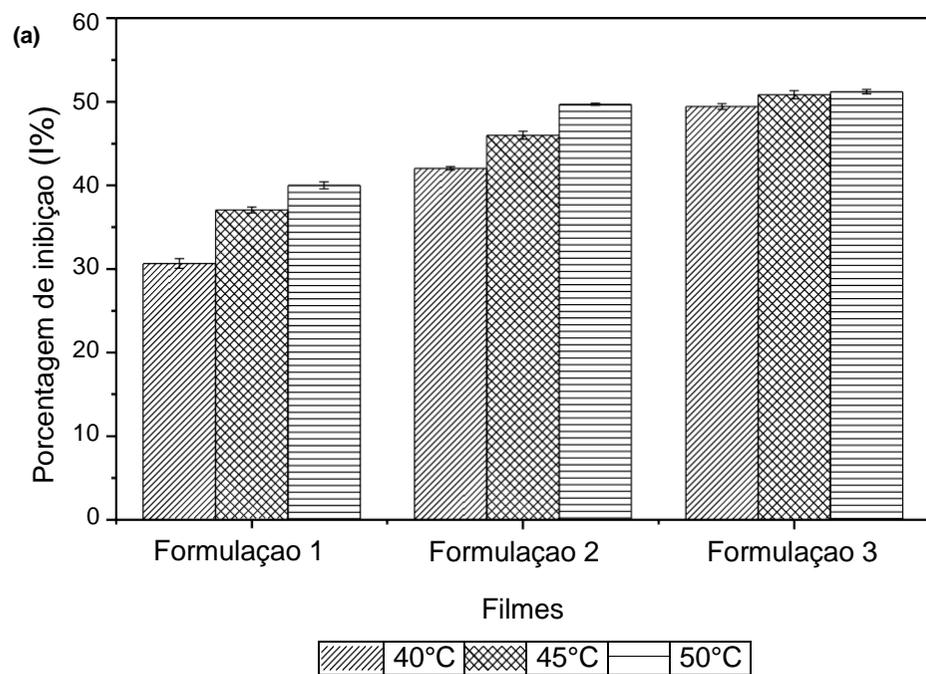
De acordo com Assis et al. (2018) e Torres et al. (2011), o processo de biodegradação é afetado por diferentes fatores, como a natureza do polímero, a espessura e a solubilidade em água dos filmes, e pelas condições do solo, como umidade, pH, microrganismos e temperatura.

Por tanto, os resultados da biodegradabilidade no solo são decisivos quando se pensa em uma embalagem ambientalmente correta (MEDINA-JARAMILLO et al., 2017). Nesse sentido, ambos os filmes desenvolvidos no presente estudo são promissores para serem utilizados como materiais ecologicamente corretos na indústria alimentícia.

5.3.9 Atividade antioxidante por radical DPPH e compostos fenólicos totais

A atividade antioxidante e o conteúdo de compostos fenólicos totais de todos os filmes estudados são apresentados na Figura 18.

Os filmes com maiores concentrações de FP em suas formulações apresentaram capacidade de remoção de radicais DPPH de aproximadamente 50%, enquanto que os com menores concentrações de FP a atividade de eliminação foi abaixo de 40%. Esses valores de atividade antioxidante podem ser relacionados ao conteúdo de carotenoides presente na farinha de pupunha, especialmente o β -caroteno. Por possuírem na sua estrutura molecular duplas ligações conjugadas, os carotenoides tornam-se poderosos agentes antioxidantes (JATUNOV et al., 2010), atuam na desativação de radicais livres e oxigênios reativos presentes no organismo humano formados naturalmente por processos fisiológicos, o que contribui no fortalecimento do sistema imunológico, reduzindo riscos de enfermidades (SERRANO; UMAÑA; SÁENZ, 2011; CARVALHO et al., 2013).



A ação da quitosana pode ser outro fator atribuído aos percentuais de inibição dos filmes. Segundo Kamil, Jeon e Shahidi (2002) a atividade antioxidante da quitosana é devida à sua capacidade de quelar íons metálicos, que agem como catalisador da reação, razão pela qual a torna também um promissor agente de controle do escurecimento enzimático em frutos e vegetais, visto que a polifenoloxidase, enzima responsável por este fenômeno, possui cobre no seu centro ativo e funciona como oxidase de função mista, atuando na hidroxilação de monofenóis para diidroxifenóis e em seguida oxidando estes últimos para o-quinonas.

Qin et al. (2013) utilizaram filmes de quitosana incorporados com polifenóis como proteção de salsichas de porco cozidas contra a oxidação, e relataram que a aplicação dos filmes ativos aumentou a estabilidade da cor vermelha e evitou a descoloração da carne.

Valores próximos foram encontrados no estudo realizado por Iahke et al. (2016), onde os autores encontraram valor máximo de 40% de I (%) DPPH em filmes produzidos à base de resíduos de capsúlas de gelatinas e raízes de beterrabas (*Beta vulgaris* L. var. Conditiva) minimamente processadas. O filme controle apresentou baixa porcentagem de inibição (6,3%). Os autores atribuíram esses valores de inibição ao conteúdo de betalaína e compostos fenólicos presentes nos resíduos de beterraba. Segundo os autores, o DPPH é uma molécula não biológica, e esta análise pode indicar a presença de compostos bioativos que estão presentes na matriz do biopolímero e podem atuar com propriedades antioxidantes.

Vargas et al. (2017) ao estudar as propriedades de filmes à base de farinha e amido de arroz vermelho (*Oryza glaberrima*) encontrou valores acima de 90% para a capacidade de remoção de radicais de DPPH em filmes elaborados a partir de farinha de arroz vermelho e 6,43% para filmes obtidos a partir da extração de amido. Segundo os autores, foi possível atribuir a capacidade de remoção do DPPH aos compostos fenólicos presentes nos grãos de arroz.

Crizel et al., (2017) relataram o efeito protetor filmes de quitosana combinados com resíduos de oliva contra a formação de peróxido em nozes durante 31 dias de armazenamento, diferindo ($p < 0,05$) das amostras embaladas com controle de quitosana sem resíduos de oliva. Segundo os autores, o efeito protetor está diretamente relacionado à quantidade de resíduo adicionado à formulação. Filmes com 30% de farinha ou 30% de micropartículas apresentaram os maiores valores de porcentagem de inibição, 39,45% e 42,56%, respectivamente.

Filmes com fibra e extrato de bagaço de mirtilo não apresentaram diferença significativa para os valores de atividade antioxidante durante um período de 35 dias, e a estabilidade foi maior nos filmes com concentração de fibra de 0,05 e 0,10 g.mL⁻¹ (CRIZEL et al., 2016).

Esturk, Ayhan e Gokkurt (2013) encontram valores de compostos fenólicos ($9,7 \text{ mgGAE.100g}^{-1}$) próximos ao estudo para a produção e aplicação de filmes. De acordo com os autores, o conteúdo fenólico total manteve-se relativamente constante durante o armazenamento de brócolos embalados com (*Brassica oleracea* L. var. Italica) com filmes ativos por um período de 20 dias.

5.3.10 Atividade antimicrobiana

A atividade antimicrobiana dos filmes foi avaliada contra bactérias Gram-positivas (*L. monocytogenes* e *S. aureus*) e Gram-negativas (*E. coli* e *Salmonella entérica* subsp. *Enterica*) de origem alimentar de origem alimentar, utilizando o método de halo de inibição (Tabela A1).

Os resultados indicaram que, apesar dos filmes possuírem potencial antimicrobiano para a *L. monocytogenes*, apresentaram ação limitada, observado por meio do diâmetro dos halos que foi diretamente proporcional ao aumento da concentração de quitosana, no entanto, não houve diferença significativa entre as amostras em nível de significância de $p < 0.05$. Segundo Melo et al. (2005) a ação antimicrobiana da quitosana é limitada, indicando a necessidade da realização de estudos visando conhecer a tecnologia de barreiras ou alterar as condições do meio onde a quitosana poderá atuar.

Benevides et al. (2017) et al. também encontram valores baixos para atividade antimicrobiana (0.77 a 1.13 cm de diâmetro de halo de inibição) de filmes de quitosana incorporados com diferentes concentrações de nisina. Os autores relatam que para o microrganismo *L. monocytogenes* os diâmetros dos halos foram maiores quando comparados aos obtidos para *S. aureus*, indicando maior efeito antimicrobiano da nisina sobre essa bactéria. Pranoto et al. (2005) também constataram o efeito antimicrobiano da quitosana em relação a sua concentração sobre *Escherichia coli*, *S. aureus*, *L. monocytogenes*, *Salmonella typhimurium* e *Bacillus cereus*, indicando que há um limite de difusão do antimicrobiano no filme.

Leceta et al. (2013) avaliaram a atividade antimicrobiana de filmes à base de quitosana e também constataram que não houve formação de zona de inibição com o ágar, independentemente do peso molecular da quitosana utilizada, do conteúdo de glicerol, do tipo de amostra (revestimento ou filme) e das condições de secagem das amostras (temperatura ambiente ou estufa). Segundo os autores o filme sofreu hidratação devido à umidade contida no ágar, causando intumescimento, e formação de uma barreira de difusão com consequente redução da liberação do composto ativo.

O mesmo comportamento foi observado por Baumgartner et al. (2005) e Yadav et al. (2011) para filmes de quitosana incorporados com nisina sobre o desenvolvimento de bactérias *S. aureus* e *L. monocytogenes*. De acordo com os autores, a umidade mais elevada do meio de cultura pode ter hidratado o biopolímero, resultando em dilatação e redução da capacidade de retenção da atividade antimicrobiana.

Santos et al. (2003), ao estudarem os feitos da quitosana, Sigma –Aldrich e Polymar, na inativação fotodinâmica de *Escherichia coli*, observaram uma tendência de deslocamento da viabilidade celular na faixa de pH 3.0-5.0 em que é possível avaliar que o meio ácido de solubilização da quitosana atuou na inibição do crescimento microbiano. Os autores relataram que em pH neutro, a quitosana não atua como agente antibacteriano devido ao crescimento celular em toda a placa. Os autores também analisaram a inativação de microrganismos, que se mostrou satisfatório para ambas as marcas. Assim, diante das técnicas de caracterização, os autores puderam concluir que, a quitosana da Sigma-Aldrich por ter maior porcentagem de desacetilação é tecnicamente mais estável do que a quitosana da Polymar.

Embora o mecanismo exato de ação antimicrobiana da quitosana ainda não tenha sido totalmente elucidado, certos mecanismos para o modo de ação contra bactérias têm sido propostos relacionados à presença de grupos amínicos que, em contato com os fluidos fisiológicos, provavelmente são protonados e se ligam a grupos aniônicos dos microrganismos, resultando na aglutinação das células microbianas e na inibição do crescimento (Silva et al, 2006; Schneider et al., 2011; Shankar e Rhim, 2018).

Por tanto, segundo Pagno et al. (2016), vários mecanismos estão envolvidos na inibição de microrganismos, que dependem da fonte e concentração dos compostos ativos nos biopolímeros, extratos vegetais e na composição do filme.

6 CONCLUSÃO

Os resultados evidenciados no decorrer deste trabalho, sugerem que a incorporação de uma maior concentração de farinha de pupunha, quitosana e glicerol no filme influenciou as propriedades dos filmes, como teor de umidade, solubilidade em água, permeabilidade ao vapor de água, resistência à tração e a porcentagem de alongação. Filmes com maiores concentrações de farinha apresentaram uma superfície mais lisa, homogênea e compacta, além de maior resistência mecânica. O teste de degradação evidenciou claramente que os filmes são biodegradáveis. A utilização dessas matérias-primas representa uma ótima opção para a produção de embalagens biodegradáveis e ativas, principalmente porque a adição de farinha de pupunha melhorou as propriedades de barreira UV, diminuindo significativamente a transmissão de luz dos filmes e aumentando a atividade antioxidante associada com a capacidade de desativar o radical DPPH. A presença da quitosana levou a uma melhoria nas propriedades mecânicas dos filmes, no entanto, não exibiram atividade antimicrobiana contra agentes patogênicos de origem alimentar contra *E. coli* e *S. aureus*, porém, para a bactéria *L. monocytogenes* os filmes apresentam inibição antimicrobiana somente na área de contato com o ágar. A porcentagem de inibição dos filmes foi satisfatória devido aos compostos fenólicos presentes na farinha de pupunha e quitosana. Dessa forma, os filmes biodegradáveis de farinha de pupunha obtidos podem atuar como proteção de alimentos quando a atividade da água é alta ou evitar a exsudação de produtos frescos ou congelados, pois podem aumentar a vida útil dos alimentos sem aumentar a poluição ambiental causada pelos polímeros não degradáveis normalmente utilizados em embalagens de alimentos. Portanto, o estudo evidencia o potencial da produção de filmes, com valor agregado e características de biodegradabilidade e sustentabilidade.

PESPEQUITIVAS FUTURAS

Novos estudos, com o objetivo de testar a eficácia dessas embalagens na vida de prateleira de frutas e hortaliças através do monitoramento dos parâmetros de qualidade, como cor, textura, perda de massa, pH, sólidos solúveis totais, teor de carotenoides, atividade antioxidante e fenólicos totais. E avaliar as mudanças da composição dos gases no interior das embalagens utilizando um analisador Dansensor CheckPoint O₂/CO₂.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AIDER, M. Chitosan application for active bio-based films production and potential in the food industry: A Review. **Lwt - Food Science and Technology**, v. 43, n. 6, p. 837-842, 2010.

ALVAREZ, V. A.; RUSECKAITE, R. A.; VAZQUEZ, A. Degradation of sisal fibre/mater Bi-Y biocomposites buried in soil. **Polymer Degradation and Stability**, v. 91, p. 3156–3162, 2006.

ANDERSON, R. A.; CONWAY, H. F.; PFEIFER, V. F.; GRIFFIN JUNIOR, E. L. Gelatinization of corn grits by roll-and extrusion-cooking. **Cereal Science Today**, Minneapolis, v. 14, n. 1, p. 44-11, 1969.

ANDRADE, J. S.; PANTOJA, L.; MAEDA, R. N. Melhoria do rendimento e do processo de obtenção da bebida alcoólica de pupunha (*Bactris gasipaes* Kunth). **Ciência e Tecnologia de Alimentos**, Campinas, v. 23, p. 34-38, 2003. Suplemento

ANDRADE-MAHECHA, M. M.; TAPIA-BLACIDO, D. R.; MENEGALLI, F. C. Development and optimization of biodegradable films based on achira flour. **Carbohydrate Polymers**, v. 88, n. 2, p. 449-458, 2012.

AOAC. **Association of Official Analytical Chemists**. Official methods of analysis (16th ed.). Gaithersburg, Maryland: A.O.A.C. INTERNATIONAL., 1997.

APPENDINI, P.; HOTCHKISS, J. H. Review of anti-microbial food packaging. **Innovative Food Science and Emerging Technologies**, v. 3, p. 113–126, 2002.

AQUINO, A. B.; BLANK, F. A.; SANTANA, L. C. L. DE A. 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**, v. 171, p. 108–116, 2015.

ARKCOLL, D.B.; AGUIAR, J.P.L.; Peach palm (*Bactris gasipaes* H.B.K.), a new source of vegetable oil from the wet tropics. **Journal Science of Food and Agriculture**, v. 35, n. 5, p. 520-526, 1984.

ARRIETA, M. P.; PELTZER, M. A.; LÓPEZ, J.; GARRIGÓS, M. Del C.; VALENTE, A. J. M.; JIMÉNEZ, A. Functional properties of sodium and calcium caseinate antimicrobial active films containing *carvacrol*. **Journal of Food Engineering**, v. 121, p. 94-101, 2014.

ASSIS, R. Q.; PAGNO, C. H.; COSTA, T. M. H.; FLÔRES, S. H.; RIOS, A. O. Synthesis of biodegradable films based on cassava starch containing free and nanoencapsulated β -carotene. **Packaging Technology and Science**, v. 31, n. 3, p. 157–166, 2018.

ASTM (American Society for Testing and Materials)a. Method E 96: Standard test methods for water vapor transmission of materials. **Annual book of ASTM standards**. Conshohocken, PA, 1980.

ASTM (American Society for Testing and Materials)b. Method D 882-83: Standard test methods for tensile properties of thin plastic sheeting. **Annual book of ASTM standards**. Conshohocken, PA, 1980.

AVILA-ROSA, R.; PALOU, H.; MUNGUÍA, M. T. J.; NEVÁREZ-MOORILLÓN, G. V.; CRUZ, N. A. R.; LÓPEZ-MALO, A. Antifungal activity by vapor contact of essential oils added to amaranth, chitosan, or starch edible films. **International Journal of Food Microbiology**, v. 153, n. 1–2, p. 66-72, 2012.

AZWA, Z. N.; YOUSIF, B. F.; MANALO, A. C.; KARUNASENA, W. MATER. A review on the degradability of polymeric composites based on natural fibres. **Materials and Design**, v. 47, p. 424-442, 2013.

BATISTA, J. T. S.; ARAÚJO, C. S.; JOELE, M. R. S. P., JÚNIOR, J. O. C. S.; LOURENÇO, L. F. H 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**, v. 20, p. 10036, 2019.

BAUMGARTNER, J.; LAHAJNAR, S.; SEPE, G.; KRISTIL, A. Quantitative evaluation of polymer concentration profile during swelling of hydrophilic matrix tablets using ^1H NMR and MRI methods. **European Journal of Pharmaceutics and Biopharmaceutics**, v. 59, p. 299–306, 2005.

BECKER, E. M.; NISSEN, L. R.; SKIBSTED, L. H. Antioxidant evaluation protocols: Food quality or health effects review. **European Food Research and Technology**, v. 219, p. 561-571, 2004.

BELLO-PÉREZ, L. A. et al. Isolation and characterization of starch from seeds of *Araucaria brasiliensis*: A novel starch for application in food industry. **Starch - Starke**, v. 58, n. 6, p. 283-291, 2006.

BENEVIDES, M. K.; BORGES, S. D.; BASTOS, M. F.; SOUSA, M. S. R.; SILVA, C. R. V.; MARTINS, S. M. F.; CHAGAS, C. M.; BARROSO, B. S. Atividade antimicrobiana de filme e revestimento de quitosana incorporados de nisina sobre bactérias patogênicas. **Embrapa**, Fortaleza, CE, 2017.

BENJAKUL, S.; VISESSANGUAN, W.; PHATCHRAT, S. TANAKA, M. Chitosan affects transglutaminase-induced surimi gelation. **Journal of Food Biochemistry**, v. 27, n. 1, p. 53-66, 2003.

BERG, J. M. **Biochemistry**. 6. ed. New York: W.H. Freeman, 2007.

BERG, J. M. **Biochemistry**. 6. ed. New York: W.H. Freeman, 2007.

BERGO, P. V. A.; CARVALHO, R. A.; SOBRAL, P. J. A.; SANTOS, R. M. C.; SILVA, F. B. R.; PRISON, J. M. J.; SOLORZA-FERIA, J.; HABITANTE, A. M. Q. B. Physical properties of edible films based on cassava starch as affected by the plasticizer concentration. **Packaging Technology and Science**, v. 21, n. 2, p. 85-89, 2008.

BEZERRA, C. V.; SILVA, L. H. M. Pupunha (*Bactris gasipaes*): general and consumption aspects. In: **Traditional Foods**. New York: [s.n.]. p. 399-405.

BIERHALZ, A. C. K. **Confecção e caracterização de biofilmes ativos à base de pectina BTM e de pectina BTM / alginato reticulados com cálcio**. Dissertação de Mestrado, Engenharia Química – UNICAMP, Campinas – SP, 2010.

BIERHALZ, A. C. K.; SILVA, M. A.; SOUSA, H. C.; BRAGA, M. E. M.; KIECKBUSCH, T. G. Influence of natamycin loading methods on the physical characteristics of alginate active films. **The Journal of Supercritical Fluids**, v. 76, p. 74-82, 2013.

BLAIR, G. W. S. The sucesso of Casson's equation. **Rheological Acta**. v. 5, n. 3, p. 184-187, 1966.

BOBBIO, F.O.; BOBBIO, P.A. **Introdução à Química dos Alimentos**. 2ed. São Paulo: Varela, p. 223, 1995.

BONILLA, J.; ATARES, L.; VARGAS, M.; CHIRALT, A. Edible films and coatings to prevent the detrimental effect of oxygen on food quality: Possibilities and limitations. **Journal of Food Engineering**, v. 110, n. 2, p. 208- 213, 2012.

BONILLA, J.; TALÓN, E.; ATARÉS, L.; VARGAS, M.; CHIRALT, A., Effect of the incorporation of antioxidants on physicochemical and antioxidant properties of wheat starch–chitosan films. **Journal of Food Engineering**, v. 118, n. 3, p. 271-278, 2013.

BRASIL, Resolução CNNPA N° 12, de 24/ 07/ 1978. **Regulamento técnico sobre padrões de identidade e qualidade da farinha de trigo**. Diário oficial. Brasília, DF.

BRODY, A. L. Active and intelligent packaging: the saga continues. **Food Technology**, Chicago, v. 56, n. 12, p. 65-66, 2002.

BRUNAUER, S.; EMMET, P. H.; TELLER, E. Adsorption of gases in multimolecular layers. **Journal of the American Chemical Society**, v. 60, n. 2, p. 309-319, 1938.

CARDOSO, G. P. Atividade antimicrobiana de óleo essencial de folhas frescas de pimenta da jamaica (*Pimenta dióica*). In: SEMANA ACADÊMICA INTEGRADA, 3.; SIMPÓSIO DE FORMAÇÃO PROFISSIONAL INICIAL E CONTINUADA, 1., 2011, Viçosa, MG. **Anais...** Viçosa, MG: UFV, 2011.

CARREAU, P. .; LAVOIE, P. .; YZIQUEL, F. Rheological properties of concentrated suspensions. *Rheology Series*, v. 8, n. 1, p. 1299–1345, 1999.

CARVALHO, A.; BECKMAN, J.; MACIEL, R.; FARIAS NETO, J. Características físicas e químicas de Frutos de pupunheira no estado do Pará. **Revista Brasileira de Fruticultura**, v.35, p. 763–768, 2013.

CARVALHO, A. V. et al. Production of third generation snacks by extrusion-cooking of pupunha and cassava flour mixtures. *Brazilian Journal of Food and Technology*, v. 12, n. 4, p. 277–284, 2009.

CARVALHO, R. M. **Desenvolvimento e caracterização de biofilmes à base de gelatina**. Campinas. 128p. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Alimentos) – Universidade de Campinas. Campinas, 1997.

CEREDA, M. P. **Propriedades gerais do amido**. (Série: Culturas de tuberosas amiláceas Latino-americanas, v. 1), Fundação Cargill, São Paulo, 2001, v. 1. Cap. 8. 221p.

CEREDA, M. P.; CATÂNEO, A. Avaliação de parâmetros de qualidade da fécula fermentada de mandioca. **Revista Brasileira de Mandioca**, Cruz das Almas, v. 5, n. 2, p. 55-62, 1986.

CHANG, Y. P.; KARIM, A. A.; SEOW, C. C. Interactive plasticizing-antiplasticizing effects of water and glycerol on the tensile properties on tapioca starch films. **Food Hydrocolloids**, Oxford, v. 20, n. 1, p.1-8, 2006.

CHIN, N. L.; CHAN, S. M.; YUSOF, Y. A.; CHUAH, A. L.; TALIB, R. A. Modelling of rheological behaviour of pummelo juice concentrates using master-curve. **Journal of Food Engineering**, v. 93, n. 2, p.134-140, 2009.

CHIRIFE, J.; IGLESIAS, H. A. Equations for fitting water sorption isotherms of foods: Part 1 e a review. **Journal Food Technology**, v. 13, n. 3, 159-174, 1978.

CHISTÉ, R. .; FERNANDES, E. Bioactive compounds from Amazonian fruits and their antioxidant properties. In L. R. Silva, B. M. Silva (Eds.). natural bioactive compounds from fruits and vegetables as health promoters. United Arab Emirates: Bentham Science Publishers, v. Part I, p. 244–264, 2016.

CLEMENT, C. .; MORA URPI, J. Phenotypic variation of peach palm observed in the Amazon basin. Manaus: In: Clement, C.R.; Coradin, L. (eds.). Final report (revised): Peach palm (*Bactris gasipaes* H.B.K.) germplasm bank. U.S. Agency for International Development (grant number DAN-5542-G-SS-2093). Instituto Nacional de Pesquisas da Amazônia, Centro Nacional d, 1988.

CLEMENT, C. R. **Descritores mínimos para el pejibaye (*Bactris gasipaes* H.B.K.) y sus implicaciones filogenéticas**. Tese de Mestrado, Escuela de Biología, Universidad de Costa Rica, San José, Costa Rica. p. 216, 1986.

CLEMENT, C.R.; MORA-URPÍ, J. The pejobaye (*Bactris gasipaes* H.B.K., Arecaceae): multi-use potential for the lowland humid tropics {A pupunha: potencial multi-uso para os trópicos úmidos baixos}. **Economic Botany**, v. 41 n. 2, p. 302-311, 1987

CLEMENT, J. C.; WEBER, C.; VAN LEEUWEN, D. M.; ASTORGA, L. A.; COLE, H. A.; AGUELLO, H. Why extensive research and development did not promote use of peach palm fruit in Latin America. **Agroforestry Systems**, v. 61, p. 195–206, 2004.

CLEMENTE, C. R. Pupunha uma árvore domesticada. **Ciência Hoje**, v. 5, n. 29, 1987.

CLEMENTE, C. R.; ARKOLL.; D. B. The *Bactris gasipaes* H. B. K. (*Palmae*) as an oil producing crop: potential and priorities of investigation. In: **Informe del Seminario – Taller sobre Oleaginosas Promisorias** L., E. Forero P. (Ed). Bogotá (Colombia): Programa Interciencias de Recursos Biologicos (Spanish), 1985.

COLLA, E.; SOBRAL, P. J. DO A.; MENEGALLI, F. C. Amaranthus cruentus flour edible films: influence of stearic acid addition, emulsification stirring speed and plasticizer concentration in amaranth flour based film forming solutions on barrier and mechanical properties of its films. **J Agric Food Chem**, v. 54, p. 6645–6653, 2006.

COLUSSI, R.; PINTO, V. Z.; HALAL, S. L. M.; BIDUSKI, B.; PRIETTO, L.; CASTILHOS, D. D.; ZAVAREZE, E. R.; DIAS, A. R. G. Acetylated rice starches films with different levels of amylose: Mechanical, water vapor barrier, thermal, and biodegradability properties. **Food Chemistry**, v. 221, p. 1614–1620, 2017.

CORRALES, M.; FERNÁNDEZ, A.; HAN, J. H. Chapter 7 - Antimicrobial Packaging Systems. In: HAN, J. H. (Ed.). **Innovations in Food Packaging (Second Edition)**. San Diego: Academic Press, p. 133-170, 2014.

COSTA, R. D. S.; RODRIGUES, A. M. C.; LAURINDO, J. B.; SILVA, L. H. M. Development of dehydrated products from peach palm – tucupi blends with edible film characteristics using refractance window. **Journal of Food Science and Technology**, v. 56, p. 560–570, 2019.

COUTINHO, A. P. C.; CABELLO, C. Rheological characterization of cassava starch. **Revista Raízes e Amidos Tropicais**. Botucatu, v. 1, n. 40-48, 2005.

- CRIZEL, T. M.; COSTA, T. M.; RIOS, A. O.; FLÔRES S. H. Valorization of food-grade industrial waste in the obtaining active biodegradable films for packaging. *Industrial Crops and Products*, v. 87, p. 218-228, 2016.
- CRIZEL, T. M.; RIOS, A. O.; ALVES, V. D.; BANDARRA, N.; MOLDÃO-MARTINS, M.; FLÔRES, S. H. Active food packaging prepared with chitosan and olive pomace. *Food Hydrocolloids*, v. 74, p. 139-150, 2018.
- CRUZ, R. Y EL DASH, A. A.; Isolamento e caracterização de amido de chuchu. *Revista Ceres* v.31, n. 175, p. 173-188, 1984.
- CUQ, B.; GONTARD, N.; GUILBERT, S. Edible films and coatings as active layers. In: ROONEY, M. L (Ed.). **Active Food Packaging**. London (UK): Chapman & Hall, p. 111-142, 1995.
- DA SILVA E SILVA, N.; HERÁNDEZ, E. J. G. P.; ARAÚJO, C. S.; JOELE, M. S. P.; LOURENÇO, L. F.H. Development and optimization of biodegradable fish gelatin composite film added with buriti oil. *CYTA - Journal of Food*, v. 16, n. 1, p. 340–349, 2018.
- DA SILVA, J. B.; CLEMENT, C. H. Wild pejibaye (*Bactris gasiapes* Kunth var. *chichagui*) in southeastern Amazonia. *Acta Botanica Brasilica*, v. 19, n. 2, p. 281–284, 2005.
- DAIUTO, E. R.; CEREDA, M. P. Processos de produção de fécula de mandioca: comparação Tailândia e China. In CEREDA, M. P.; VILPOUX, O. **Tecnologia, usos e potencialidades de tuberosas amiláceas latino- americanas**, São Paulo: Fundação Cargill, (Série: Culturas de Tuberosas Amiláceas Latino-americanas, v. 3, p. 178, 2004.
- DARMADJI, P.; IZUMIMOTO, M. Effect of chitosan in meat preservation. *Meat Science*, v. 38, p. 243-254, 1994.
- DAS, D. K.; DUTTA, H.; MAHANTA, C. L. Development of a rice starch-based coating with antioxidant and microbe-barrier properties and study of its effect on tomatoes stored at room temperature. *Lwt - Food Science and Technology*, v. 50, n. 1, p. 272-278, 2013.
- DEBANDI, M. V.; BERNAL, C.; FRANCOIS, N. J. Development of biodegradable films based on chitosan/glycerol blends suitable for biomedical applications. *Journal of Tissue Science & Engineering*, v. 7, n. 3, p. 1000187, 2016.

DEBEAUFORT, F.; QUEZADA-GALLO, J. A.; VOILLEY, A., Edible Films and Coatings: Tomorrow Packaging. A Review: **Critical Reviews in Food Science**, v. 38, p. 299-313, 1998.

DELGADO, J. F. et al. Characterization of thermal, mechanical and hydration properties of novel films based on *Saccharomyces cerevisiae* biomass. *Innovative Food Science and Emerging Technologies*, v. 48, n. June, p. 240–247, 2018.

Di FRANCO, C. R.; CYRAS, V. P.; BUSALMEN, J. P.; RUSECKAITE, R. A.; VAZQUEZ, A. Degradation of polycaprolactone/starch blends and composites with sisal fibre. **Polymer Degradation and Stability**, v. 86, p. 95–103, 2004.

DICK, M.; PAGNO, C. H.; COSTA, T. M. H.; GOMAA, A.; SUBIRADE, M.; RIOS, A. O.; FLÔRES, S. H. Edible film production from chia seed mucilage: Effect of glycerol concentration on its physicochemical and mechanical properties. **Carbohydrate Polymers**, v. 130, p. 198-205, 2015.

EL GHAOUTH, A.; PONNAMPALAM, R.; CASTAIGNE, E.; ARUL, J. Chitosan Coating to Extend the Storage Life of Tomatoes. **HortScience**, v.27, n. 9, p. 101648, 1992.

ELIASSON, A.C. **Carbohydrates in food**. New York : Marcel Dekker, 1996. 561p.

ELIASSON, A.C. **Starch in food – Structure, function and applications**. New York: Boca Raton, CRC, 2004. 605p.

EMBRAPA. **Manual de métodos de análise de solo 2ª Edição**. Centro Nacional de Pesquisa de Solos. Rio de Janeiro, p. 7-8, 1997.

ESTURK, O.; AYHAN, Z.; GOKKURT, T. Production and Application of Active Packaging Film with Ethylene Adsorber to Increase the Shelf Life of Broccoli (*Brassica oleracea* L. var. Italica). **Packaging Technology and Science**, v. 27, n. 3, p. 179-191, 2014.

FAIRLEY, P.; KROCHTA, J. M.; GERMAN, J. B. Interfacial interactions in edible emulsion films from whey protein isolate. **Food Hydrocolloids**, v. 11, n. 3, p. 245–252, 1997.

FAKHOURI, F. M.; COSTA, D.; YAMASHITA, F.; MARTELLI, S. M.; JESUS, R. C.; ALGANER, K.; COLLARES-QUEIROZ, F. P.; INNOCENTINI-MEI, L. H. Comparative study of processing methods for starch/gelatin films. **Carbohydrate Polymers**, v. 95, n. 2, p. 681-689, 2013.

- FAKHOURI, F. M.; MARTELLI, S. M.; CAON, T.; VELASCO, J. I.; MEI, L. H. I. Edible films and coatings based on starch/gelatin: Film properties and effect of coatings on quality of refrigerated Red Crimson grapes. **Postharvest Biology and Technology**, v. 109, p. 57–64, 2015.
- FANG, Y.; TUNG, M. A.; BRITT, I. J.; YADA, S.; DALGLEISH, D. G. Tensile and Barrier Properties of Edible Films Made from Whey Proteins. **Journal of Food Science**, v. 67, p. 188-193, 2002.
- FENIMAN, C. M. **Caracterização de raízes de mandioca (*Manihot esculenta* Crantz) do cultivar IAC 576-70 quanto à cocção, composição química e propriedades do amido em duas épocas de colheita**. Dissertação de mestrado Ciência e Tecnologia de Alimentos. Escola Superior de Agricultura —Luiz de Queiroz, 2004.
- FERNANDEZ-SAIZ, P.; LAGARIN, J. M.; OCIO, M. J. Optimization of the biocide properties of chitosan for its application in the design of active films of interest in the food area. **Food Hydrocolloids**, v. 23, p. 913-921, 2009.
- FERREIRA, A. S.; NUNES, C.; CASTRO, A.; FERREIRA, P.; COIMBRA, M. A. Influence of grape pomace extract incorporation on chitosan films properties. **Carbohydrate Polymers**, v. 113, p. 490-499, 2014.
- FERRIRA, C.D.; PENA, R.S.; Comportamento higroscópico da farinha de pupunha (*Bactris gasipaes*). **Ciência e Tecnologia de Alimentos**, v. 23, n. 2, p. 251-255, 2003.
- FIGUEIRA, G. M.; PARK, K. J.; BROD, F. P. R.; HONÓRIO, S. L. Evaluation of desorption isotherms, drying rates and inulin concentration of chicory roots (*Cichoriumintybus* L.) with and without enzymatic inactivation. **Journal of Food Engineering**, v. 63, n. 3, 273-280, 2004.
- FOLLMANN, A. J.; RODRIGUES, A. C.; Camargo, M.; FOLLMANN, D. N.; SOUZA, V. Q.; GRAEPIN, C. Degradação de sacolas plásticas convencionais e oxibiodegradáveis. **Ciência e Natura**, v. 39, n. 1, p. 187 – 192, 2017.
- FREITAS R. A.; PAULA, R. C.; FEITOSA, J. P. A.; ROCHA, S.; SIERAKOWSKI M.R., A rheological description of mixtures of a galactoxiloglucan with high amylose and waxy corn starches. **Carbohydrate polymers**, v. 51, p. 25-32, 2003.

GALDEANO, M. C. **Filmes e laminados biodegradáveis de amido de aveia com diferentes plastificantes, produzidos por casting e extrusão**. Tese (Doutorado em Ciência de Alimentos) – Universidade Estadual de Londrina. Londrina, 2007.

GALLANT, D. J.; BOUCHET, B.; BALDWIN, M. Microscopy of starch:evidence of a new level of granule organization. **Carbohydrate Polymers**, v.32, n 3-4, p. 177-191, 1997.

GALLIARD, J.; BOWLER, P. Morphology and composition of starch. In: GALLARD, D. T., ed. **Starch properties and potencial**. Chichester: Willey, p. 55-78, 1987.

GARCIA, M. A. **Desarrollo de recubrimientos de matriz amilósica para vegetales**. Tese (Doutorado) – Departamento de Química, Facultad de Ciência Exactas, Universidad Nacional de La Plata, Argentina, 1999.

GARCÍA, M. A.; PINOTTI, A.; MARTINO, M. N.; ZARITZKY, N. E. Characterization of starch and composite edible films and coatings. **Edible Films and Coatings for Food Applications**, p.169-210. New York: Springer, 2009.

GAUDIN, S.; LOURDIN, D.; FORSSEL, P. M.; COLONNA, P. Antiplasticisation and oxygen permeability of starch-sorbitol films. **Carbohydrate Polymers**, v. 43, n. 1, p. 33-37, 2000.

GAUDIN, S.; LOURDIN, D.; LE BOTLAN, D.; ILARI, J. L.; COLLONA, P. Plasticisation and mobility in starch-sorbitol films. **Journal of Cereal Science**, v. 29, p. 273-284, 1999.

GILFILLAN, W. N.; NGUYEN, D. M. T.; SOPADE, P. A.; DOHERTY, W. O. S. Preparation and characterization of composites from starch and sugar cane fibre. **Industrial Crops and Products**, v. 40, p. 45-54, 2012.

GODBILLOT, L.; DOLE, P.; JOLY, C.; ROGÉ, B.; MATHLOUTHI, M. Analysis of water binding in starch plasticized films. **Food Chemistry**, v. 96, n. 3, p. 380-386, 2006.

GOHEN A. M.; WOOL, R. P. Degradation of polyethylene–starch blends in soil. **Journal of Applied Polymer Science**, v. 42; p. 2691–701, 1991.

GONTARD, N.; DUCHEZ, C.; CUQ, J.-L.; GUILBERT, S. Edible composite films of wheat gluten and lipids: water vapour permeability and other physical properties. **International Journal of Food Science and Technology**, v. 29, n. 1, p. 39-50, 1994.

GRAEFE, S.; DUFOUR, D.; ZONNEVELD, M.; RODRIGUEZ, F.; GONZALEZ, A. Peach palm (*Bactris gasipaes*) in tropical Latin America: implications for biodiversity conservation, natural resource management and human nutrition. **Biodiversity Conservation**, v. 22, p. 269–300, 2013.

HAN, J. H.; FLOROS, J. D. Casting antimicrobial packaging films and measuring their physical properties and antimicrobial activity. **Journal of Plastic Film and Sheeting**, v. 13, p. 287-298, 1997.

HORN, M. M. **Blendas e filmes de quitosa/amido: estudo da influência da adição de polióis, oxidação do amido e razão amilose/amilopectina nas suas propriedades**. Tese (Doutorado em Química) – Instituto de Química de São Carlos – Universidade de São Paulo – São Carlos, 2012.

HUANG, D.; OU, B.; PRIOR, R. L. The chemistry behind antioxidant capacity assays-review. **Journal Agriculture and Food Chemistry**, v. 53, p. 1841-1856, 2005.

IAHNKE, A. O. e S.; COSTA, T. M. H.; OLIVEIRA RIOS, A. L.; FLÔRES, S. H. Antioxidant films based on gelatin capsules and minimally processed beet root (*Beta vulgaris* L. var. Conditiva) residues. **Journal Applied Polymer Science**, v. 113, 43094, 2016.

IAHNKE, A. O. S. **Filmes biodegradáveis com propriedades funcionais produzidos a partir de resíduos industriais**. (Mestre em Ciência e Tecnologia de Alimentos). Departamento de Ciência e Tecnologia de Alimentos, Universidade Federal Do Rio Grande Do Sul, Porto Alegre - Brasil, 2015.

IBARZ, A. et al. Rheological properties of clarified pear juices concentrates. **Journal of Food Engineering**, v. 10, n. 1, p.57-63, 1989.

IZIDORO, D. R. **Influência da polpa de banana (*musa cavendishii*) verde no comportamento reológico, sensorial e físico-químico de emulsão**. Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2007.

JATUNOV, S.; QUESADA, S.; DÍAZ, C.; MURILLO, E. Carotenoid composition and antioxidant activity of the raw and boiled fruit mesocarp of six varieties of *Bactris gasipaes*. **Archivos Latinoamericanos de Nutrición**, v. 60, p. 99-104, 2010.

JIANG, Y.; LI, Y.; CHAI, Z.; LENG, X; Study of the physical properties of whey protein isolate and gelatin composite films. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, v. 58, n. 8, p. 5100-5108, 2010.

JORGE, T. et al. Physicochemical study of pinhão flour as source of adjunct in beer production. **Journal of the Institute of Brewing**, n. June, 2018.

KAMIL, J.Y.V.A.; JEON, Y.J., SHAHIDI, F. Antioxidative activity of chitosans of different viscosity in cooked comminuted flesh of herring (*Clupea harengus*). **Food Chemistry**, v. 79, p. 69-77, 2002.

KANMANI, P.; RHIM, J. W. Physicochemical properties of gelatin/silver nanoparticle antimicrobial composite films. **Food Chemistry**, v. 148, p. 162–169, 2014.

KIM, S-J.; USTUNOL, Z. Solubility and moisture sorption isotherms of wheyprotein- based edible films as influenced by lipid and plasticizer incorporation. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, v. 49, n. 9, p. 4388-4391, 2001.

KKESTER, J. J.; FENNEMA, O. R. Edible films and coatings: A Review. **Food Technology**, v. 40, n. 12, p. 47-59, 1986.

KROCHTA, J.; DEMULDER-JOHNSTON C. Edible and biodegradable polymer films: challengers and opportunities. **Food Technology**, v. 51, n. 2, p. 61-74, 1997.

LARANJEIRA, M. C. M.; FÁVERE, V. T. Quitosana: biopolímero funcional com potencial industrial biomédico. **Química Nova**, v. 32, n. 3, p. 672-678, 2009.

LECETA, I.; GUERRERO, P.; IBARBURU, I.; DUEÑAS, M. T, CABA, K. D. Characterization and antimicrobial analysis of chitosan-based films. **Journal of Food Engineering**, v. 116, p. 889–899, 2013.

LETERME, M. F.; GARCÍA, A.; LONDOÑO, M.; ROJAS, A.; BULDGEN, W. Souffrant Chemical composition and nutritive value of peach palm (*Bactris gasipaes* Kunth) in rats. **Journal of the Science and Food Agriculture**, v. 85, p. 1505–1512, 2005.

LIAO, J.; ANCHUN, M.; ZHU, Z.; QUAN, Y. Antibacterial titanium plate deposited by silver nanoparticles exhibits cell compatibility. **International journal of nanomedicine**, 5, 337-342, 2010.

LIU, H.; XIE, F.; YU, L.; CHEN, L.; LI, L. Thermal processing of starch-based polymers.

Progress in Polymer Science, v. 34, n. 12, p. 1348-1368, dez. 2009.

LIU, Q. Understanding starches and their role in foods. In: CUI, S. W. (ed). **Food Carbohydrates: Chemistry, Physical Properties and Applications**. Boca Raton : CRC Press, p. 309-305, 2005.

LIU, Q.-R.; WANG, W.; QI, J.; HUANG, Q.; XIAO, J. Oregano essential oil loaded soybean polysaccharide films: Effect of Pickering type immobilization on physical and antimicrobial properties. **Food Hydrocolloids**, v. 87, p. 165–172, 2018.

LOPEZ, O. V.; GARCÍA, M. A. Starch films from a novel (*Pachyrhizus ahipa*) and conventional sources: Development and characterization. **Material Science and Engineering**, v. 32, p. 1931–1940, 2012.

LÓPEZ-CABALLERO, M. E.; GÓMEZ-GUILLÉN, M. C.; PÉREZ-MATEOS, M., MONTERO, P. A. Chitosan-gelatin blend as a coating for fish patties. **Food Hydrocolloids**, v. 19, p. 303-311, 2005.

LOZANO-NAVARRO, J. I.; DÍAZ-ZAVALA, N. P.; VELASCO-SANTOS, C.; MELO-BANDA, J. A.; PÁRAMO-GARCÍA, U.; PARAGUAY-DELGADO, F.; GARCÍA-ALAMILLA, R.; MARTÍNEZ-HERNÁNDEZ, A. L.; ZAPIÉN-CASTILLO, S. Chitosan-starch films with natural extracts: physical, chemical, morphological and thermal properties. **Materials**, v. 11, p. 1-20, 2018.

LUCHESE, C. L. et al. Development and characterization of cassava starch films incorporated with blueberry pomace. **International Journal of Biological Macromolecules**, v. 106, p. 834–839, 2018.

LUCHESE, C. L.; SPADA, J. C.; TESSARO, I. C. Development and characterization of cassava starch films incorporated with blueberry pomace. **International Journal of Biological Macromolecules**, v. 106, p. 834–839, 2018.

LUCHESE, C. L.; SPADA, J. C.; TESSARO, I. C. Starch content and effects physicochemical properties of corn and cassava starch-based films. **Industrial Crops & Products**, v. 109, p. 619–626, 2017.

- MA, Q. et al. Rheology of film-forming solutions and physical properties of tara gum film reinforced with polyvinyl alcohol (PVA). **Food Hydrocolloids**, v. 63, p. 677–684, 2017.
- MAKMOON, T.; FOUNGFUCHAT, A.; JIRATUMNUKUL, N. Modified tapioca starch as a rheology modifier in acrylic dispersion system. *Progress in Organic Coatings*, v. 76, p. 959–962, 2013.
- MALI, S., GROSSMANN, M. V. E., GARCÍA, M. A., MARTINO, M. M.; ZARITZKY, N. E. Mechanical and thermal properties of yam starch films. **Food Hydrocolloids**, Oxford, v. 19, n. 1, p. 157-164, 2005.
- MALI, S.; GROSSMANN, M. V. E.; GARCÍA, M. A.; MARTINO, M. M.; ZARITZKY, N. E. Barrier, mechanical and optical properties of plasticized yam starch films. **Carbohydrate Polymers, Barking**, v. 56, n. 2, p. 129-135, 2004.
- MALI, S.; GROSSMANN, M. V. E.; GARCÍA, M. A.; MARTINO, M. N.; ZARITZKY, N. E., Microstructural characterization of yam starch films. **Carbohydrate Polymers**, v. 50, p. 379-386, 2002.
- MALI, S.; GROSSMANN, M. V. E.; YAMASHITA, F. Filmes de amido: produção, propriedades e potencial de utilização. **Semina: Ciências Agrárias**, v. 31, n. 1, p. 137-156, 2010.
- MANIGLIA, B. C.; DOMINGOS, J. R.; PAULA, R. L. de; D.R. TAPIA-BLÁCIDO, D. R. Development of bioactive edible film from turmeric dye solvent extraction residue. **LWT - Food Science and Technology**, v.56, p.270, 2014.
- MANIGLIA, B. C.; TESSARO, L. LUCAS, A. A.; TAPIA-BLÁCIDO, D. R. Bioactive films based on babassu mesocarp flour and starch. **Food Hydrocolloids**, v. 70, p. 383-391, 2017.
- MARCOTTE, M.; HOSHAHLI, A. R. T.; RAMASWAMY H. S. Rheological properties of selected hydrocolloids as a function of concentration and temperature. **Food Research International**. v. 34, p. 695–703, 2001.
- MARCOVICH, N. E. et al. Chitosan-gelatin composites and bi-layer films with potential antimicrobial activity. *Food Hydrocolloids*, v. 25, n. 5, p. 1372–1381, 2011.

MAROULIS, Z.B.; TSAMI, E.; ARINOS-KOURIS, D.; SARAVACOS, G.D. Application of the GAB model to the sorption isotherms for dried fruits. **Journal of Food Engineering**, v.7, n.1, p.63-70, 1988.

MARTELLI, M. R., BARROS, T. T.; MOURA, M. R., MATTOSO, L. H. C.; ASSIS, O. B. G. Effect of Chitosan Nanoparticles and Pectin Content on Mechanical Properties and Water Vapor Permeability of Banana Puree Films. **Journal of Food Science**, v. 78, n. 1, p. 98-104, 2013.

MARTUCCI, J. F.; RUSECKAITE, R. A. Biodegradation behavior of three-layer sheets based on gelatin and poly (lactic acid) buried under indoor soil conditions. **Polymer Degradation and Stability**, v. 116, p. 36–44, 2015.

MARTUCCI, J. F.; RUSECKAITE, R. A. Biodegradation of three-layer laminate films based on gelatin under indoor soil conditions. **Polymer Degradation and Stability**, v. 94, p. 1307–1313, 2009.

MATHIAS, T. R. S.; ANDRADE, K. C. S.; ROSA, C. L. S.; SILVA, B. A. Avaliação do comportamento reológico de diferentes iogurtes comerciais. **Brasilian Journal of Food and Technology**. v. 16, n. 1, p. 12-20, 2013.

MATOS, K. A. N. et al. Peels of tucumã (*Astrocaryum vulgare*) and peach palm (*Bactris gasipaes*) are by-products classified as very high carotenoid sources. **Food Chemistry**, v. 272, p. 216–221, 2019.

McHUGH, T. H.; KROCHTA, J. M.; Sorbitol – vc glycerol-plasticized whey protein edible filmes: integrated oxygen permeability and tensile property evaluation. **Jornal of Agricultural and Food Chemistry**, v. 42, n. 4, p. 841-845, 1994.

MEDINA-JARAMILLO, C, GUTIÉRREZ, T.J, GOYANES, S, BERNAL, C, FAMÁ, L. Biodegradability and plasticizing effect of yerba mate extract on cassava starch edible films. **Carbohydrate Polymers**, v. 151, p. 150-159, 2016.

MEDINA-JARAMILLO, C.; GUTIÉRREZ, T. J.; GOYANES S.; BERNAL, C.; FAMÁ. L. Biodegradability and plasticizing effect of yerba mate extract on cassava starch edible films. **Carbohydrate Polymers**, v. 151, p. 150-159, 2016.

MEDINA-JARAMILLO, C.; OCHOA-YEPES, O.; BERNAL, C.; FAMÁ, L. Active and smart biodegradable packaging based on starch and natural extracts. **Carbohydrate Polymers**, v. 176, p. 187-194, 2017.

MEI, J, YUAN, Y, WU, Y, LI, Y. Characterization of edible starch–chitosan film and its application in the storage of Mongolian cheese. **International Journal of Biological Macromolecules**, v. 57, p. 17–21, 2013.

MELHORANÇA FILHO, A. L.; PEREIRA, M. R. R. Atividade antimicrobiana de óleos extraídos de açaí e de pupunha sobre o desenvolvimento de *Pseudomonas aeruginosa* e *Staphylococcus aureus*. **Bioscience Journal**, v. 28, n. 4, p. 598–604, 2012.

MELO, M. P. J.; SOARES, N. R.; GONÇALVES, N. F. F. Nisina: um conservante natural para alimentos. **Revista Ceres**, v. 52, p. 921–938, 2005.

MINISTÉRIO DA SAÚDE. Agência Nacional de Vigilância Sanitária (ANVISA). **Diário Oficial da União. Portaria nº 554, de 30 de agosto de 1995. Norma de identidade, qualidade, apresentação, embalagem, armazenamento e transporte da farinha de mandioca.** Brasília, DF. Agosto, 1995.

MOHAMMADI, R. et al. Physico-mechanical and structural properties of eggshell membrane gelatin- chitosan blend edible film. **International Journal of Biological Macromolecules**, v. 107, n. Part A, p. 406–412, 2018.

MORA-URPI, J.; WEBER, J.C.; CLEMENT, C.R. Peach palm. *Bactris gasipaes* Kunth. Promoting the conservation and use of underutilized and neglected crops.20. **Institute of Plant Genetics and Crop Plant Research, Gatersleben/ International Plant Genetic Resources Institute**, Rome, Italy, p. 83, 1997.

MORRISON, W. R.; TESTER, R. F. Properties of damage starch granules. II. Crystallinity, molecular order and gelatinisation of ball-milled starches. **Journal of Cereal Science**, v. 19, n. 2, p. 209-217, 1994.

MOTTA, A. S.; BRANDELLI, A. Characterization of an antibacterial peptide produced by *Brevibacterium linens*. **Journal of Applied Microbiology**, v. 92, p. 63-71, 2002.

MÜLLER, C. M. O.; LAURINDO, J. B.; YAMASHITA, F. Effect of cellulose fibers addition on the mechanical properties and water vapor barrier of starch-based films. **Food Hydrocolloids**, v.23, n.5, p. 1328-1333, 2009.

MÜLLER, C.; YAMASHITA, F.; LAURINDO, J. B. Evaluation of effects of glycerol and sorbitol concentration and water activity on the water barrier properties of cassava starch films through a solubility approach. **Carbohydrate Polymer**, v. 72, n. 1, p. 82-87, 2008.

MUNIZ, M. A. P.; SANTOS, M. N. F.; COSTA, C. E. F.; MORAES, L.; LAMARÃO, M. L. N.; RIBEIRO-COSTA, R. M.; SILVA, J. O. C. Physicochemical characterization, fatty acid composition, and thermal analysis of *Bertholletia excelsa* HBK oil. **Pharmacognosy Magazine**, v. 11, p. 147-151, 2015.

MUZZARELLI, R. A. A.; Natural Chelating Polymers, Pergamon: Oxford, p. 1-254, 1973.

MUZZARELLI, R.; TARSI, R.; FILLIPPINI, O.; GIOVANETTI, E.; BIAGINI, G.; VARALDO, P. R. Antimicrobial properties of N-carboxybutyl chitosan. **Antimicrobial Agents Chemotherapy**, p. 2019-23, 1990.

NASCIMENTO, T. A.; CALADO, V.; CARVALHO, C. W. P. Development and characterization of flexible film based on starch and passion fruit mesocarp flour with nanoparticles. **Food Research International**, v. 49, n. 1, p. 588–595, 2012.

NERI-NUMA, I. A. et al. Small Brazilian wild fruits: Nutrients, bioactive compounds, health-promotion properties and commercial interest. **Food Research International**, v. 103, p. 345–360, 2018.

NEVES, A. L. P.; MILIOLI, C. C.; MÜLLER, L.; RIELLA, H. G.; KUHNEN, N. C.; STULZER, H. K., Factorial design as tool in chitosan nanoparticles development by ionic gelation technique. **Colloids and Surfaces. A: Physicochemical and Engineering Aspects**, v. 445, p. 34-39, 2014.

Norma ABNT NBR 15448-1. Embalagens plásticas degradáveis e/ou de fontes renováveis Parte 1: Terminologia. 2008.

NOURADDINI, M.; ESMAILI, M.; MOHTARAMI, F. Development and characterization of edible films based on eggplant flour and corn starch. **International Journal of Biological Macromolecules**, v. 120, p. 1639-1645, 2018.

NOWAK, B.; RUSINOWSKI, S.; CHMIELNICKI, B.; KAMIŃSKA-BACH, G.; BORTEL, K. Degradation of PVC/rPLA Thick Films in Soil Burial Experiment. **Earth and Environmental Science**, v. 44, p. 052029, 2016.

OATES, C.G. Towards and understanding of starch granule structure and hydrolysis. **Trends in Food Science & Technology**, v.8, p.375-382, 1997.

ORTIZ, C. M. et al. Scale-up of the production of soy (*Glycine max L.*) protein films using tape casting: Formulation of film-forming suspension and drying conditions. **Food Hydrocolloids**, v. 66, p. 110–117, 2017.

OTHMAN, S. H. Bio-nanocomposite Materials for Food Packaging Applications: Types of Biopolymer and Nano-sized Filler. **2nd International Conference on Agricultural and Food Engineering (Cafe 2014) - New Trends Forward**, v. 2, p. 296-303, 2014.

OTONI, C. G. et al. Recent Advances on Edible Films Based on Fruits and Vegetables — A Review. **Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety**, v. 16, p. 1151–1169, 2017.

OUATTARA, B.; SIMARD, R.; PIETTE, G.; BÉGIN, A.; HOLLEY R.A. Inhibition of surface spoilage bacteria in processed meats by application of antimicrobial films prepared with chitosan. **International Journal of Food microbiology**, v. 62, p. 139-148, 2000.

PAGNO, C. H. **Efeito da adição de nanoestruturas, óleos essenciais e quitosana no desenvolvimento de filmes e coberturas biodegradáveis com propriedades antioxidantes e antimicrobianas**. Tese de Doutorado – Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre (RS), 2016.

PAGNO, C. H.; CASTAGNA, A.; TRIVELLINI, A.; MENSUALI-SODI, A.; RANIERI, A.; FERREIRA, E. A.; RIOS, A. O.; FLÔRES, S. H. The nutraceutical quality of tomato fruit during domestic storage is affected by chitosan coating. **Journal of Processing and Preservation**, p. 2017;e13326, 2018.

- PAGNO, C. H.; COSTA, T. M. H.; DE MENEZES, E. W.; BENVENUTTI, E. V.; HERTZ, P. F.; MATTE, C. R.; TOSATI, J. V.; MONTEIRO, A. R.; RIOS, A. O.; FLORES, S. H. Development of active biofilms of quinoa (*Chenopodium quinoa* W.) starch containing gold nanoparticles and evaluation of antimicrobial activity. **Food Chemistry**, v. 173, 755-762, 2015.
- PAGNO, C. H.; KLUG, T. V.; COSTA, T. M. H.; RIOS, A. O.; FLÔRES, S. H. Physical and antimicrobial properties of quinoa flour-based films incorporated with essential oil. **Journal of Applied Polymer Science**. v. 1, p. 1-9, 2016.
- PARDO, F. A. E.; MARTINEZ, J.; CORREA, H. A. M. Extraction of bioactive compounds from peach palm pulp (*Bactris gasipaes*) using supercritical CO₂. **The Journal of Supercritical Fluids**, v. 93, p. 2-6, 2014.
- PARKER, R.; RING, S.G. Aspects of the physical chemistry of starch. **Journal of Cereal Science**, v.34, p.1-17, 2001.
- PELAIS, A. C. PINHEIRO, B. P.; SANTOS, I. N. S. **Processo de elaboração da pupunha (*Bactris gasipaes* Kunt) em conserva**. Brasil, 2017.
- PELLISSARI, F. M.; ANDRADE-MAHECHA, M. M.; SOBRAL, P. J. A.; MENEGALLI, F. C. Comparative study on the properties of flour and starch films of plantain bananas (*Musa paradisiaca*). **Food Hydrocolloids**, v. 30, p. 681- 690, 2013.
- PEREDA, M.; PONCE, A. G.; MARCOVICH, N. E.; RUSECKAITE, R. A.; MARTUCCI, J. F. Chitosan-gelatin composites and bi-layer films with potential antimicrobial activity. **Food Hydrocolloids**, v. 25, p. 1372-1381, 2011.
- PESCE, C. Oleaginosas da Amazônia. 1. ed. Belém: Museu Paraense Emílio Goeldi: Ministério do Desenvolvimento Agrário, 2009.
- PIEDRAHITA, C.A.; VELEZ, P.C.A. **Metodos de producción y conservación de la harina obtenida del fruto del chontaduro**. Informe de Investigación, Departamento de Procesos Químicos y Biológicos, Sección Alimentos, Universidad de Valle, Cali, Colombia, 1982.
- PIÑEROS-HERNANDEZ, D.; MEDINA-JARAMILLO, C.; LÓPEZ-CÓRDOBA, A.; GOYANES, S. Edible cassava starch films carrying rosemary antioxidant extracts for potential use as active food packaging. **Food Hydrocolloids**, v. 63, p. 488-495, 2017.

PIZARRO, C.; ESTEBAN-DÍEZ, I.; RODRÍGUEZ-TECEDOR, S.; JOSÉ-MARÍA GONZÁLEZ-SÁIZ. Determination of the peroxide value in extra virgin olive oils through the application of the stepwise orthogonalisation of predictors to mid-infrared spectra. **Food Control**, v. 34, n. 1, p. 158-167, 2013.

PONCE, A. G.; ROURA, S. I.; DEL VALLE, C. E.; MOREIRA, M. R. Antimicrobial and antioxidant activities of edible coatings enriched with natural plant extracts: *In vitro* and *in vivo* studies. **Postharvest Biology and Technology**, v. 49, p. 294-300, 2008.

PRANOTO, V.; RAKSHIT, T.; SALOKHE, S. K. Enhancing antimicrobial activity of chitosan films by incorporating garlic oil, potassium sorbate and nisin, **Leben und Technologie**, v. 38, p. 859–865, 2005.

QUESADA, S.; AZOFEIFA, G.; JATUNOV, S.; JIMÉNEZ, G.; NAVARRO, L.; GÓMEZ, G. Carotenoids composition, antioxidant activity and glycemic index of two varieties of *Bactris gasipaes*. **Emirates Journal of Food and Agriculture**, v. 23, n. 6, p. 482–489, 2011.

QUEZADA-GALLO, J. A.; DEBEAUFORT, F.; CALLEGARIN, F.; VOILLEY, A., Lipid hydrophobicity, physical state and distribution effects on the properties of emulsion-based edible films. **Journal of Membrane Science**, v. 180, p. 37-46, 2000a.

QUEZADA-GALLO, JESÙS-ALBERTO. Q.; DEBEAUFORT, F.; CALLEGARIN, F.; VOILLEY, A. Lipid hydrophobicity, physical state and distribution effects on the properties of emulsion-based edible films. **Journal of Membrane Science**, v. 180, n. 1, p. 37–46, 2000b.

RAO, A. M. **Rheology of fluid and semisolid fluids: principles and applications**, 1. ed. Maryland: An Aspen Publication, 1999. 433 p.

RAO, M.S.; CHANDER, R.; SHARMA, A. Radiation processed chitosan a potent antioxidant. **Barc Newsletter**, v. 273, p. 188-194, 2006.

RHIM, J. W.; WANG, L. F.; HONG, S. I. Preparation and characterization of agar/silver nanoparticles composite films with antimicrobial activity. **Food Hydrocolloids**, v. 33, n.2, p. 327–335, 2013.

RIBEIRO, E. P.; SERAVALLI, E. A. G. **Química dos Alimentos**. São Paulo: Edgard Blücher, 2004.

- RINDLAV-WESTLING, A.; STADING, M.; HERMANSSON, A.; GATENHOLM, P. Structure, mechanical and barrier properties of amylose and amylopectin films. **Carbohydrate Polymers, Barking**, v. 36, n. 2/3, p. 217-224, 1998.
- ROBERTSON, G. L. (2013). Edible, biobased and biodegradable food packaging materials. In G. L. Robertson (Ed.). **Food packaging - Principles and practice** (pp. 49–90). Boca Raton: CRC press.
- RODRIGUEZ-AMAYA, D. B. **A Guide to Carotenoid Analysis in Foods**. Washington DC: International Life Sciences Institute (ILSI) Press, p. 64, 1999.
- ROJAS-GARBANZO, C.; PÉRE, A. M.; BUSTOS-CARMONA, J.; VAILLANT, F. Identification and quantification of carotenoids by HPLC-DAD during the process of peach palm (*Bactris gasipaes* H.B.K.) flour. **Food Research International**, v. 44, n. 7, p. 2377-2384, 2011.
- ROJAS-GARBANZO, C.; PÉREZ, A. M.; VAILLANT, A. M.; PINEDA-CASTRO, M. L. Physicochemical and antioxidant composition of fresh peach palm (*Bactris gasipaes* Kunth) fruits in Costa Rica. **Brazilian Journal of Food Technology**, v. 19, e2015097, 2016.
- ROMERO-BASTIDA, C. et al. Rheological properties of nanocomposite-forming solutions and film based on montmorillonite and corn starch with different amylose content. **Carbohydrate Polymers**, v. 188, n. October 2017, p. 121–127, 2018.
- ROSA, A. M. B. et al. Pré-mix para bolo com farinha de pupunha. XXV Congresso Brasileiro de Ciência e Tecnologia de Alimentos, n. 91, p. 1–6, 2016.
- SANCHEZ-GONZALEZ, L.; CHÁFER, M.; CHIRALT, A.; GONZÁLEZ-MARTÍNEZ, C. Physical properties of edible chitosan films containing bergamot essential oil and their inhibitory action on *Penicillium italicum*. **Carbohydrate Polymers**, v. 82, n. 2, p. 277-283, 2010.
- SANTACRUZ, S.; RIVADENEIRA, C.; CASTRO, M. Edible films based on starch and chitosan. Effect of starch source and concentration, plasticizer, surfactant's hydrophobic tail and mechanical treatment. **Food Hydrocolloids**, v. 49, p. 89–94, 2015.

SANTANA, A. A.; KIECKBUSCH, T. G. Physical evaluation of biodegradable films of calcium alginate plasticized with polyols. **Brazilian Journal of Chemical Engineering**, v. 30, n. 4, p. 835-845, 2013.

SANTOS, J. E.; SOARES, J. P.; DOCKAL, E. R.; CAMPANA FILHO, S.; CAVALHEIRO, E. T. Caracterização de quitosanas comerciais de diferentes origens. **Polímeros Ciência e Tecnologia**, v. 13, p. 242-249, 2003.

SANTOS, P. H. **Influência da temperatura e da concentração de sólidos solúveis no comportamento reológico de polpas de jambo-vermelho com casca, cupuaçu e suas misturas**. Dissertação de Mestrado – UFSC, Florianópolis, 2013.

SARANTÓPOULOS, C. I. G. L.; OLIVEIRA, L. M.; PADULA, M.; COLTRO, L.; ALVES, R. M. V.; GARCIA, E. E. C.; Embalagens Plásticas Flexíveis-Principais Polímeros e Avaliação de Propriedades. 1. Ed. Campinas: CETEA/ITAL; p. 262, 2002.

SCHEIBE, A. S.; MORAES, J. O.; LAURINDO, J. B. Production and Characterization of Bags from Biocomposite Films of Starch-Vegetal Fibers Prepared by Tape Casting. **Journal of Food Process Engineering**, v. 37, 2014.

SEBASTIÃO, V.; CANEVAROLO, J. Técnicas de Caracterização de Polímeros. São Paulo Artliber Editora, 2004.

SERAGLIO, S. K. T.; GONZAGA, L. V.; HELM, C. V.; NEHRING, P.; OLIVO, I. S.; FETT, R. Avaliação da capacidade antioxidante in vitro e determinação de compostos fenólicos em diferentes sistemas de extração em frutos de pupunha. **Revista CSBEA**, v. 1, n. 1, 2015.

SERRANO, M.; UMAÑA, G.; SÁENZ, M. V. Fisiología poscosecha, composición química y capacidad antioxidante de frutas de pejibaye (*Bactris gasipaes* Kunth) cv. taira dari én cosechadas a tres diferentes edades. **Agronomía Costarricense**, v. 35, p. 75-87, 2011.

SHAHIDI, F.; KAMIL, J.; JEON, Y. J. Antioxidant role of chitosan in a cooked cod (*Gadus morhua*) model system. **Journal of Food Lipids**, v. 9, n. 1, p. 57–64, 2002.

SHIMAZU, A. A.; MALI, S.; GROSSMANN, M. V. E. Efeitos plastificante e antiplastificante do glicerol e do sorbitol em filmes biodegradáveis de amido de mandioca. **Semina Ciências Agrárias**, Londrina, v. 28, n. 1, p. 79 – 88, 2007.

- SILVA, H. S. R. C.; SANTOS, K. S. C. R.; FERREIRA, E. Quitosana: derivados hidrossolúveis, aplicações farmacêuticas e avanços. **Química Nova**, v. 29, 776–785, 2006.
- SILVA, L. H.; PIRES, M.; SAKURAI, Y. C. Massa alimentícia elaborada com farinhas mistas contendo farinha de pupunha, objetivando substituição total à farinha de trigo Brasil, 2017.
- SILVA, L. H.; PIRES, M.; SAKURAI, Y. C. **Massa alimentícia elaborada com farinhas mistas contendo farinha de pupunha, objetivando substituição total à farinha de trigo**. Brasil, 2017.
- SILVA, M. A.; BIERHALZ, A. C. K.; KIECKBUSCH, T. G. Modelling natamycin release from alginate/chitosan active films. **International Journal of Food Science and Technology**, v. 47, p. 740–746, 2012.
- SILVA, M. G. C. P. C. Cultivo da pupunheira. 2011. Disponível em: <<http://www.ceplac.gov.br/radar/CULTIVO%20DA%20PUPUNHEIRA.pdf>>. Acesso em: 20/02/2016.
- SINGLETON, V. L.; ORTHOFER, R.; LAMUELA-RAVENTO's, R. M. Jr. Analysis of total phenols and other oxidation substrates and antioxidants by means of Folin-Ciocalteau reagent. **Methods of Enzymology**, 299, 152–178, 1999.
- SOBRAL, P. J. A. Influência da espessura de biofilmes feitos à base de proteínas miofibrilares sobre suas propriedades funcionais. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 35, n. 6, p. 1-14, 2000a.
- SOBRAL, P. J. A.; MENEGALLI, F. C.; HUBINGER, M. D.; ROQUES, M. A. Mechanical, water vapor barrier and thermal properties of gelatin based edible films. **Food Hydrocolloids**, v. 15, p. 423-432, 2001.
- SOBRAL, P. J. A.; OCUNO, D. Permeabilidade ao Vapor de Água de Biofilmes à Base de Proteínas Miofibrilares de Carne. **Brazilian Journal of Food Technology**, v. 3 p.11-16, 2000.
- SOBRAL, P. J. **Proteínas de origem animal na tecnologia de biofilmes**. p. 156. Tese (Tese de Livre Docência) – Universidade de São Paulo. Pirassununga, 2000b.
- SOLOMONS, G.; FRYHLE, C. **Química Orgânica, volume 1**. 7ª edição. Rio de Janeiro: LTC Editora, 2001.

SOUZA, A. C, GOTO, G.E.O, MAINARDI, J.A, COELHO, A.C.V, TADINI, C. Cassava starch composite films incorporated with cinnamon essential oil: Antimicrobial activity, microstructure, mechanical and barrier properties. **LWT – Food Science and Technology**, v. 54, n. 2, p. 346–352, 2013.

SOUZA, R. C. R.; ANDRADE, C. T. Investigação dos processos de gelatinização e extrusão de amido de milho. **Polímeros: Ciência e Tecnologia**, São Paulo, v. 10, n. 1, p. 24-30, 2000.

STEFFE, J. F. **Rheological Methods in Food Process Engineering**. 2 nd ed. East Lansing - Freeman Press. p. 412, 1996.

STEFFE, J. F. Viscoelasticity. In: **Rheological Methods in Food Processing Engineering**, Freeman Press, p. 294-348, 1992.

TAPIA-BLÁCIDO, D. R.; MAURI, A. N.; MENEGALLI, F. C.; SOBRAL, P. J. A., Añón, M. C. Contribution of the starch, protein, and lipid fractions to the physical, thermal, and structural properties of amaranth (*Amaranthus caudatus*) flour films. **Journal of Food Science**, v. 72, n. 5, p. 293-300, 2007.

TECANTE, A.; DOUBLIER, J. L. Steady flow and viscoelastic behavior of crosslinked waxy corn starch-k-carrageenan pastes and gels. **Carbohydrate Polymers**, v. 40, n. 3, p. 221- 231, 1999.

TESTER, R.F.; KARKALAS, J.; QI, X. Starch – composition, fine structure and architecture. **Journal of Cereal Science**, v.39, n. 2, p.151-165, 2004.

TOLEDO, R. T. **Fundamentals of food process engineering**. 2. ed. Chapman & Hall, New York, 1994. 602 p.

TONELI, J. T. C. L.; MURR, F. E. X.; PARK, K. J. Estudo da reologia de polissacarídeos utilizados na indústria de alimentos. **Revista Brasileira de Produtos Agroindustriais**. v.7, n.2, p.181-204, 2005.

TONGNUANCHAN, P.; BENJAKUL, S.; PRODPRAN, T. Properties and antioxidant activity of fish skin gelatin film incorporated with citrus essential oils. **Food Chemistry**, v. 134, n. 3, p. 1571-1579, 2012.

- TORRES, F. G.; TRONCOSO, O. P.; TORRES, C.; DÍAZ, D. A.; AMAYA, E. Biodegradability and mechanical properties of starch films from Andean crops. **International Journal of Biological Macromolecules**, v. 48, n. 4, p. 603-606, 2011.
- TREVISAN, B. P. **Avaliação da tensão superficial, parâmetros reológicos e atenuação acústica de suspensões de açaí**. Dissertação (Mestrado) – Universidade de São Paulo, São Carlos, 2011.
- VALENCIA, A.; MORAES, I. C. F.; LOURENÇO, R. V.; BITTANTE, A. M. Q. B.; SOBRAL, P. J. A. Physicochemical, morphological, and functional properties of flour and starch from peach palm (*Bactris gasipaes* K.) fruit. **Starch/Stärke**, v. 67, p. 163–173, 2015.
- VAN SOEST, J. J. G.; HULLEMAN, S. H. D.; DE WIT, D.; VLIEGENTHART, J. F. G. Crystallinity in starch bioplastics. **Industrial Crops and Products**, v. 5, p. 11-22, 1996.
- VAN SOEST, J. J. G.; VLIEGENTHART, J. F. G. Crystallinity in starch plastics: consequences for material properties. **Trends in Biotechnology**, v. 15, p. 208-213, 1997.
- VAN SOEST, J.; VLIEGENTHART, J. Crystallinity in starch plastics: Consequences for material properties. **Trends in Biotechnology**, v. 15, n. 6, p. 208–213, 1997.
- VANDEPUTTE, G. E.; DELCOUR, J. A. From sucrose to starch granule to starch physical behavior: a focus on rice starch. **Carbohydrate Polymers**, v.58, p.245-266, 2004.
- VANDRESEN, S et al. Temperature effect on the rheological behavior of carrot juices. **Journal of Food Engineering**, v. 92, n. 3, p. 269-274, 2009.
- VARGAS, A. G.; ARGUELLES, C. J. Razas de palma de chontaduro (*Bactris gasipaes* H.B.K.) de acuerdo con las propiedades físico-químicas y bromatología del fruto. **Instituto Amazónico de Investigaciones Científicas**, SINCHI. v. 19, 2000.
- VARGAS, C. G.; COSTA, T. M. H.; RIOS, A. O.; FLÔRES, S. H. Comparative study on the properties of films based on red rice (*Oryza glaberrima*) flour and starch. **Food Hydrocolloids**, v. 64, p. 96-106, 2017.
- VARGAS, M.; PASTOR, C.; CHIRALT, A.; McCLEMENTS, DJ.; GONZÁLEZ-MARTÍNEZ, C. Recent advances in edible coatings for fresh and minimally processed fruits. **Critical Reviews in Food Science and Nutrition**, v. 48, n. 6, p. 496-511, 2008.

VERSINO, F.; LOPEZ, O. V.; GARCIA, M. A.; ZARITZKY. Starch-based films and food coatings : An overview. **Starch/Staerke**, v. 68, p. 1026–1037, 2016.

VIEIRA, J. M. et al. Postharvest biology and technology effect of chitosan – aloe vera coating on postharvest quality of blueberry (*Vaccinium corymbosum*) fruit. **Postharvest Biology and Technology**, v. 116, p. 88–97, 2016.

VIEIRA, L. L. et al. Emulsified films produced with proteins extracted from whitemouth croaker byproducts: Development and characterization. **Boletim do Instituto de Pesca**, v. 44, n. 3, p. e360, 2018.

VILPOUX, O.; AVEROUS, L. Culturas de tuberosas amiláceas latino americanas. In: CEREDA, M. P.; VILPOUX, O. (Coord.). **Tecnologia, usos e potencialidades de tuberosas amiláceas Latino Americanas**. São Paulo: Cargill, v.3. p. 500-530, 2003.

WALTER, M; SILVA, L. P.; EMANUELLI T. Amido resistente: características físico químicas, propriedades fisiológicas e metodologias de quantificação. **Ciência Rural**, Santa Maria, v.35, n.4, p.974-980, jul-ago, 2005.

WHISTLER, R. L.; BEMILLER, J. N. **Carbohydrate chemistry for food scientists**. San Diego: Academia Press, p. 214, 1997.

WHISTLER, R. L.; DANIEL, J. R. Carboidratos, **In: FENNEMA O. R. Química de los alimentos**. Zaragoza, Acribia, p-81-156, 1993.

WIHODO, M.; MORARU, C. I. Physical and chemical methods used to enhance the structure

WILLIAMS, P. C.; KUZINA, F. D.; HLYNKA, I. A., Rapid colorimetric procedure for estimating the amylase content of starch on fluors. **Cereal Chemistry**, v. 47. n. 4. p. 412-420, 1970.

WOLFE, K. L.; LIU, R. H. Cellular antioxidant activity (CAA) assay for assessing antioxidants, foods, and dietary supplements. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, v.55, p. 8896–8907, 2007.

XU, Y. X.; KIM, K. M.; HANNA, M. A., Nag, D. Chitosan–starch composite film: preparation and characterization. **Industrial Crops and Products**, v. 21, p. 185-192, 2005.

YADAV, H.; JOSHI, H. K. S.; SINGH, G. B.; SHIVAKUMAR, M. N. Naturally occurring chitosan and chitosan derivatives: A Review. **Current Drug Therapy**, v. 6, n. 1, p. 2-11, 2011

YAMASHITA, F., NAKAGAWA, A., VEIGA, G. F., MALI, S., GROSSMANN, M. V. E. Filmes biodegradáveis para aplicação em frutas e hortaliças minimamente processadas. **Brazilian Journal of Food Technology (ITAL)**, Campinas, v. 8, n. 3, p. 335-343, 2005.

YAMASHITA, F., NAKAGAWA, A., VEIGA, G. F., MALI, S., GROSSMANN, M. V. E. Embalagem ativa para frutos de acerola. **Brazilian Journal of Food Technology (ITAL)**, Campinas, v. 9, n. 4, p. 95-100, 2006.

YANG, Y.; LI, Q.; YU, X.; CHEN, X.; WANG, Y. A novel method for determining peroxide value of edible oils using electrical conductivity. **Food Control**, v. 39, n. 1, p. 198-203, 2014.

YU, C. et al. Physicochemical, mechanical and thermal properties of chitosan films with and without sorbitol. **International Journal of Biological Macromolecules**, v. 70, p. 340–346, 2014.

YUYAMA, L. K. O. Uso de frutos da pupunheira para alimentação humana. p. 1–4, 2003.

YUYAMA, L.K.O. Uso de frutos da pupunheira para alimentação humana. 2011. Disponível em:

<<http://www.ceplac.gov.br/paginas/pupunheira/download/CDTrabalhos/palestras/Lucia%20K%20O%20Yuyama%20-%20Uso%20de%20frutos%20da%20pupunheira%20para%20alimenta%C3%A7%C3%A3o%20humana.pdf>> Acesso em: 20/02/2016

YUYAMA, V.; AGUIAR, J.; YUYAMA, K.; CLEMENT, C.; MACEDO, S.; FAVARO, D.; AFONSO, C.; VASCONCELLOS, M.; PIMENTEL, S.; BADOLATO, E.; VANNUNCCHI, H. Chemical composition of the fruit mesocarp of three peach palm (*Bactris gasipaes*) populations grown in Central Amazonia, Brazil. **International Journal of Food Science and Nutrition**, v. 54, n. 1, p. 49–56, 2003.

ZAINAL, B. S.; RAHMAN, R. A.; ARIFF, A.; SAARI, B. N.; ASBI, B. A. Effects of temperature on the physical properties of pink guava juice at two different concentrations. **Journal of Food Engineering**, v. 43, n. 1, p.55-59, 2000.

ZHONG, Q. P.; XIA, W. S. Physicochemical properties of edible and preservative films from chitosan/cassava starch/gelatin blend plasticized with glycerol. **Food Technology and Biotechnology**, v. 46, n. 3, p. 262–269, 2008.

ZHONG, Y.; SONG, X. Y.; LI, Y. F. Antimicrobial, physical and mechanical properties of kudzu starch-chitosan composite films as a function of acid solvent types. **Carbohydrate Polymers**, v. 84, n. 1, p. 335-342, 2011.

ZIMERI, J. E.; KOKINI, J. I. Rheological properties of inulin-waxy maize starch systems. **Carbohydrate Polymers**, v. 52, n.1, p. 67-85, 2003.

APÊNDICE A

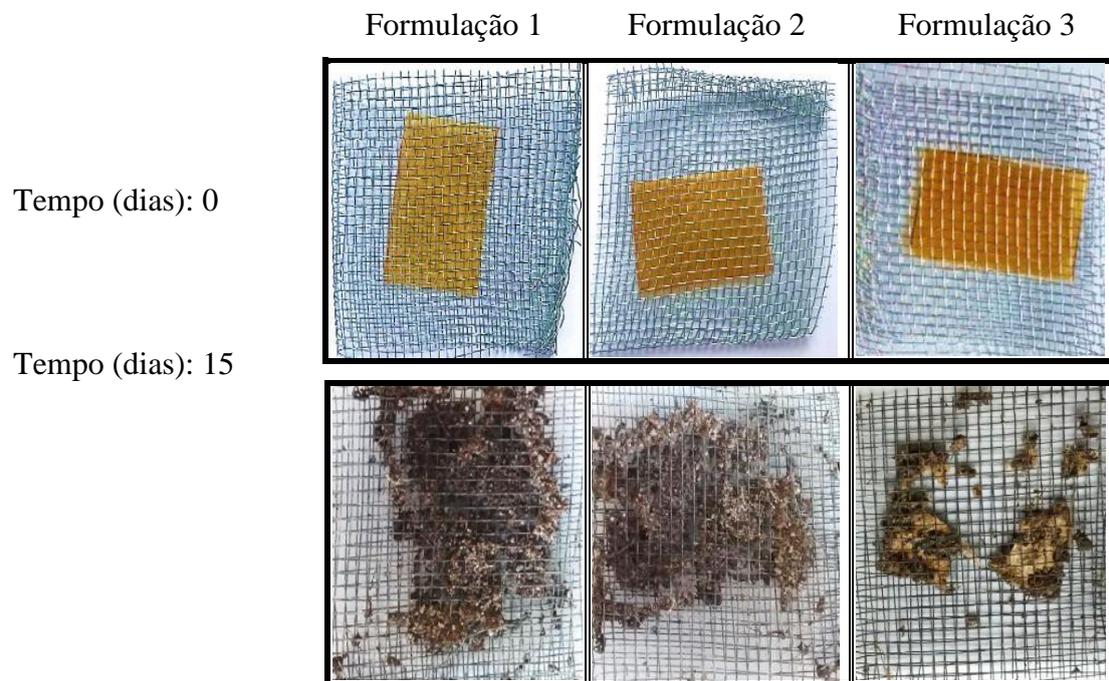


Figura A1 Biodegradabilidade dos filmes antes e após 15 dias de exposição à degradação em solo.

Tabela A1 Atividades antimicrobianas de filmes compostos de farinha de pupunha, quitosana e glicerol.

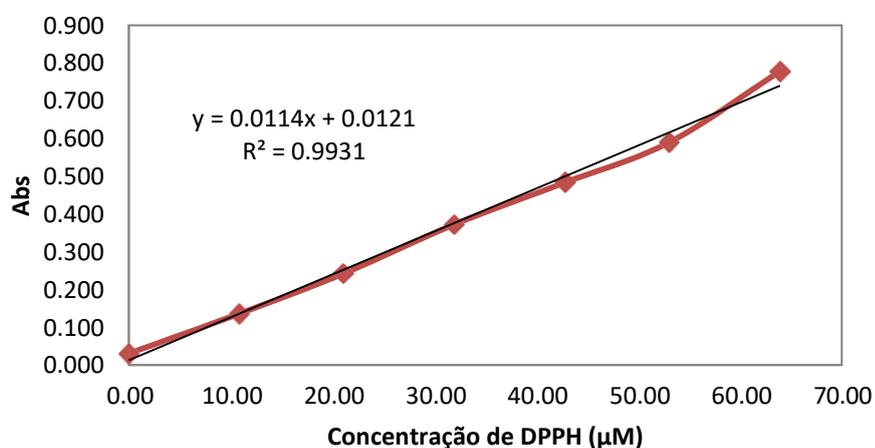
Filme	Diâmetro do halo de inibição (cm)			
	<i>Listeria monocytogenes</i>	<i>Staphylococcus aureus</i>	<i>Salmonella enterica</i> subsp. <i>Enterica</i>	<i>Escherichia coli</i>
40°C				
Formulação 1	0.3 ± 0.2 ^a	-	-	-
Formulação 2	0.3 ± 0.2 ^a	-	-	-
Formulação 3	0.6 ± 0.6 ^a	-	-	-
45°C				
Formulação 1	0.1 ± 0.2 ^a	-	-	-
Formulação 2	0.3 ± 0.4 ^a	-	-	-
Formulação 3	0.3 ± 0.5 ^a	-	-	-
50°C				
Formulação 1	0.2 ± 0.8 ^a	-	-	-
Formulação 2	0.5 ± 0.6 ^a	-	-	-
Formulação 3	0.5 ± 0.8 ^a	-	-	-

Valores de médias ± desvios-padrão de três experimentos independentes. As médias com as mesmas letras na linha não apresentam diferença estatística ($p < 0.05$) de acordo com o teste de Tukey - Não apresentaram atividade antimicrobiana. Nenhuma das formulações inibiu *E. coli*, *S. aureus* e *Salmonella entérica subsp. Enterica*.

Curva de calibração do DPPH

Preparo da solução de DPPH 6 μM			
Massa de DPPH (g)	0.0063	6.3	mg
Volume Total (mL)	250	0.25	L
Concentração da solução padrão de DPPH (g/L)	0.0252		
Número de mol do DPPH	0.0000160		
Concentração da solução padrão de DPPH (mol/L)	0.0000639	63.91072787	μM
Massa Molar do DPPH	394.3		

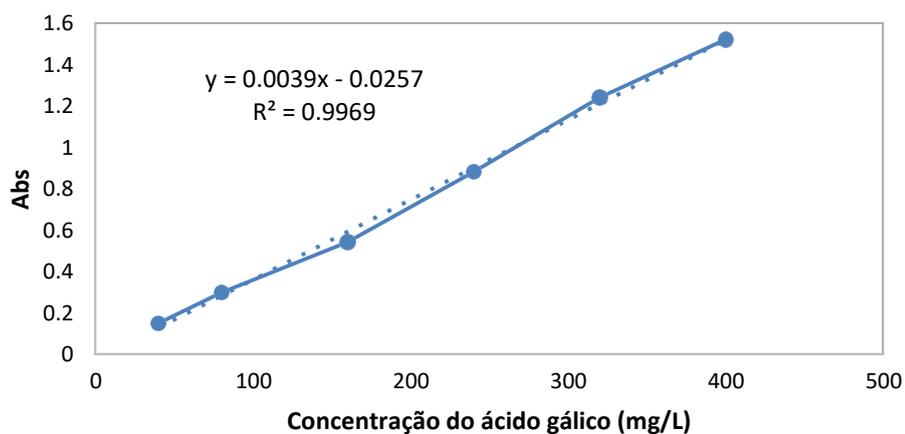
Curva de calibração							
Volume de Solução de DPPH (mL)	Volume de Álcool Metílico (mL)	Volume Final (mL)	Concentração final (μM)	Abs 1	Abs2	Abs3	Média
0.0	10.0	10.0	0.00	0.030	0.031	0.030	0.030
1.7	8.3	10.0	10.86	0.136	0.136	0.136	0.136
3.3	6.7	10.0	21.09	0.244	0.235	0.248	0.242
5.0	5.0	10.0	31.96	0.372	0.372	0.373	0.372
6.7	3.3	10.0	42.82	0.492	0.482	0.476	0.483
8.3	1.7	10.0	53.05	0.592	0.590	0.587	0.590
10.0	0.0	10.0	63.91	0.776	0.778	0.779	0.778

Curva Padrão do DPPH

Curva padrão do ácido gálico

<i>Preparo da solução de ácido gálico</i>		
<i>Massa ácido gálico</i>	<i>0.02</i>	<i>g</i>
<i>Volume total</i>	<i>100</i>	<i>mL</i>
<i>Concentração solução mãe</i>	<i>0.2</i>	<i>mg/L</i>

Curva de calibração							
Pontos	Volume solução mãe (mL)	Volume final (mL)	Conc ác. gálico (mg/L)	Abs1	Abs2	Abs3	Abs média
20	2.0	10	0.000	0.150	0.153	0.150	0.151
40	4.0	10	0.000	0.292	0.301	0.300	0.298
60	8.0	10	0.000	0.537	0.536	0.552	0.542
80	12.0	10	0.000	0.897	0.895	0.881	0.891
100	16.0	10	0.000	1.236	1.241	1.240	1.239
120	20.0	10	0.000	1.455	1.447	1.521	1.474

Curva Padrão do á. gálico

Especificações quitosana



POLYMAR INDÚSTRIA E COMÉRCIO LTDA
CNPJ 01.602.217/0001-34
 Endereço: Rua Manoel Arruda 980.
 Bairro: Barroso
 Tel./Fax (85) 3474 4001
 CNPJ 01.602.217/0001-34
 CEP 60863-300 – Fortaleza – Ceará – Brasil

CERTIFICADO DE ANÁLISES

Controle de Qualidade – Produto acabado	
PRODUTO ACABADO	: QUITOSANA EM PÓ
FABRICANTE	: POLYMAR
LOTE	: QP12615
DATA FABRICAÇÃO	: DEZ/15
DATA VALIDADE	: DEZ/18

Armazenamento: Armazenar a temperatura ambiente de 20 - 30°C, em recipiente perfeitamente fechado, protegido da luz e umidade.

	TESTE	ESPECIFICAÇÃO	RESULTADOS
01	Identificação	Conforme prescrito	De acordo
02	Aparência	Pó de cor creme e odor característico	De acordo
03	Aspecto da solução em ac. acético a 1%	Cor variando de amarelo a creme	De acordo
04	Densidade aparente	Informativo	0,25 g/ml
05	Granulometria	95,0% passa em 80 mesh	De acordo
06	Perda por dessecação	10,0 % máx	9,2 %
07	Cinzas totais	2,0 % máx	1,89 %
08	pH	7,0 – 9,0	8,7
09	Viscosidade	< 200 cPs	176 cPs a 20°C, LVt 31, torque de 11,7 %
10	Grau de desacetilação	85,0 % min	87,4%

Controle químico

15/01/2016

APÊNDICE B

Atividades desenvolvidas durante o doutorado

O doutorado teve início no primeiro semestre de 2015. Durante esse tempo, várias atividades foram realizadas, como o desenvolvimento de projetos de pesquisa visando estudar

“Efeito da secagem em leito de jorro sobre as características morfológicas, funcionais e nutricionais da farinha de pupunha (*Bactris gasipaes*) e tucupi” (2015-2016, Rebeca Desireé Sousa da Costa - Integrante / Luiza H. Meller da Silva - Coordenador / Paulo Sergio Nunes Chada – Integrante), “Desenvolvimento e caracterização de filme comestível à base de pupunha (*Bactris gasipaes*), quitosana e glicerol através do método de *Casting*” (2016-2017, Rebeca Desireé Sousa da Costa - Integrante / Luiza H. Meller da Silva - Coordenador / Werbeth Pereira Pires – Integrante), “Desenvolvimento e caracterização de filmes com diferentes concentrações de farinha de pupunha, quitosana e glicerol obtidos através do método de *Casting*” (2017-2018, Rebeca Desireé Sousa da Costa - Integrante / Luiza H. Meller da Silva - Coordenador / Fernanda Sales Rabello – Integrante) e “Estudo das propriedades tecnológicas e das características de secagem de blends pupunha e tucupi utilizando a técnica de Refractance Window” (2018-Atual, Rebeca Desireé Sousa da Costa - Integrante / Luiza H. Meller da Silva - Coordenador / Alessandra Estevam Marques – Integrante).

Trabalhos completos publicados em anais de congresso, como “Aplicação de Planejamento Experimental na Avaliação das Características Físico-Químicas e Sensoriais do Suco de Acerola Pasteurizado” e “Cinética de secagem de pupunha (*Bactris gasipaes*) em leito fixo e por pulsos de vácuo” no XXI Congresso Brasileiro de Engenharia Química, 2016, Fortaleza. “Caracterização Físico-química e Capacidade Antioxidante de Cutite (*Pouteria Macrophylla*) e Jacaiacá (*Antrocaryon Amazonicum*) Nativos da Amazônia”, Revista Higiene Alimentar, v. 31, p. 1410-1414, 2017. “Secagem de Pupunha (*Bactris gasipaes*) por Diferentes Métodos”, Revista Higiene Alimentar, v. 31, p. 4513, 2017. “Avaliação da cinética de secagem e ajuste dos modelos matemáticos aos dados experimentais de blends obtidos por refractance window” no XXVI Congresso Brasileiro de Ciência e Tecnologia de Alimentos, 2018, Belém. E participação em bancas de Trabalho de Conclusão de Curso de Caroline Corrêa Carvalho dos Santos intulado de “Aplicação do método Newton-Raphson na determinação de parâmetros de transferência de calor em um trocador tubular”, ano de 2015 e de Dayala Albuquerque da Silva e Layra Lyz Rabelo intitulado “Montagem de um sistema por refractance window visando aplicações acadêmicas no curso de graduação em engenharia de alimentos”, ano de 2016.

Pelas atividades do projeto de doutorado, publicou-se o artigo “Development of dehydrated products from peach palm–tucupi blends with edible film characteristics using refractance window” (10.1007/s13197-018-3454-x) no Journal of Food Science and Technology. As análises realizadas no doutorado deram origem a mais dois manuscritos, intitulados de “Desenvolvimento de filmes biodegradáveis de farinha de pupunha: Efeito do tratamento térmico sobre as propriedades estruturais, de barreiras e mecânicas” e “Propriedades

antimicrobianas, mecânicas e de barreira de filmes à base de farinha de pupunha (*Bactris gasipaes*) – quitosana e comportamento reológico das suspensões formadoras de filmes” que serão submetidos no ano de 2019.

The fruit of peach palm (*Bactris gasipaes*) and its technological potential: an overview

Rebeca Desireé Souza da COSTA¹, Antônio Manoel da Cruz RODRIGUES¹, Luiza Helena Meller da SILVA^{1*} 

Abstract

The Amazon hosts numerous fruit species, which are consumed by the local population and distributed by the local economy in the commerce markets, but most of them are unknown to the general population. Therefore, for a better understanding of the Amazon biome, the main objective of this review was to describe the physicochemical, nutritional and biological characteristics of the peach palm, highlighting its antioxidant potential. The peach palm tree is considered a polyvalent palm native to tropical Latin America, predominantly cultivated by small farmers in agroforestry systems, its fruits present high potential for functional food production because of the presence of bioactive compounds in its composition, and high nutritive value with considerable amounts of carbohydrates and lipids, as well as it provides an important source of vitamin A. Thus, an approach has been taken on the main topics for further studies that may benefit the industry and improve the local economy where these fruits are found. In view of this, the dissemination of works already performed with this fruit, strategically relevant, can stimulate new lines of research to consolidate this field for food, pharmaceutical and cosmetic industries.

Keywords: *Bactris gasipaes*; carotenoids; fatty acids; nutritional composition; palm peach.

Practical Application: The review on the properties of the peach palm fruit gathers important information to expand knowledge and future valuation of the fruit, including all genotypes (microcarp, mesocarp and macrocarp).

1 Introduction

The peach palm tree (*Bactris gasipaes*) is a tropical plant, native from Americas that presents wide genetic diversity in its wild and domesticated population (Carvalho et al., 2013a). According to studies, there are approximately 73 species spread in South Mexico, the Caribbean, Brazil and Paraguay. The cultivated peach palm is widely distributed from Honduras to the Central region of Bolivia and Eastern Pará (Brazil) (Bezerra & Silva, 2016; Graefe et al., 2013).

The peach palm tree can be cultivated with different purposes: for palm heart and fruit (popularly known as peach palm) (Bezerra & Silva, 2016; Matos et al., 2019). In the Brazilian Amazon, the peach palm tree is almost exclusively cultivated for fruit purpose, which is consumed after its cooking in water and salt (Carvalho et al., 2013a; Chisté & Fernandes, 2016).

The peach palm presents high nutritional value, rich in fat, fiber, starch and total carotenoids, among them the β -carotene that attributes to its pulp an intense yellowish color, besides its significant functional appeal (Table 1).

The presence of bioactive compounds in peach palm makes its consumption attractive due to the association with lower incidence of certain types of cancer and cardiovascular diseases. The antioxidant compounds act in the protection of molecules as lipids, DNA and proteins, against the oxidative attack (Pérez-Mateos et al., 2005).

The high content of carotenoids present in the peach palm fruits are mentioned as the main responsible for the antioxidant action (Espinosa-Pardo et al., 2014; Jatunov et al., 2010), contributing

to the ingestion of antioxidant compounds in the human diet (Carvalho et al., 2013b). As the carotenoids present a molecular structure of conjugated double bonds, they become powerful agents with antioxidant action (Jatunov et al., 2010) contributing to the strengthening of the immune system and reducing risks of diseases (Carvalho et al., 2013b; Serrano et al., 2011).

In addition to direct consumption, the fruit can be used as raw material to produce many products, especially peach palm flour, oils and fermented drink, for example. The peach palm in the form of flour is an alternative to avoid the market saturation of fresh fruits and to diversify its demand. High-starch mesocarp species are the most appropriate because when starch is heated, it tends to generate technological properties of interest for certain types of products, such as breads, cakes, soups, creams, sauces and porridge (Bezerra & Silva, 2016).

The objective of this work is to present an overview of the published literature related to pupunha, from the physical and genetic characteristics of the fruits to their commercial use, with an emphasis on physical-chemical, nutritional, biological and technological characterization as well as in the elaboration and commercialization of new products.

2 Peach palm (*Bactris gasipaes*)

In Brazil, there are different types of soil and climate resulting in great diversity of fruit species distributed around the six biomes (Amazon Forest, Caatinga, Cerrado, Atlantic Forest, Pantanal and Pampa) (Neri-Numa et al., 2018). The Amazon

Received 02 Sept., 2021

Accepted 05 Sept., 2021

¹Programa de Pós Graduação em Ciência e Tecnologia de Alimentos, Laboratório de Medidas Física, Universidade Federal do Pará, Belém, PA, Brasil

*Corresponding author: lhmeller@ufpa.br

Table 1. Physical characterization, nutritional composition, and amino acids of the protein in the mesocarp of peach palm (*Bactris gasipaes*) fruits (*in natura*) with comparisons to FAO/WHO recommendations and the literature.

Biometric analysis of peach palm fruit										
Genotype	Seed	Peel color	Weight (g)	Size (cm)	Diameter (cm)	Reference				
Macrocarpa	Presence	Red-green	45.45 ± 8.18	3.97 ± 0.30	4.93 ± 0.43	(Pires et al., 2019)				
Microcarpa	Absence	Green	21.20 ± 3.56	1.99 ± 0.15	2.95 ± 0.20	(Costa et al., 2019)				
Mesocarpa	Presence	Yellow-green	30.05 ± 2.15	3.14 ± 0.22	3.03 ± 0.13					
Macrocarpa	Presence	Red-green	52.30 ± 1.98	4.68 ± 0.10	5.63 ± 0.32					
Macrocarpa	Presence	Yellow-red	58	-	-	(Clement et al., 1998)				
Nutritional composition macrocarpa (g 100 g ⁻¹)										
Moisture	Lipids	Proteins	Ashes	Total fiber	Starch	Reference				
44.3	23.0	6.9	1.3	9.3	59.5	(Arkcoll & Aguiar, 1984)				
46 ± 0.42	5.93 ± 0.43	1.30 ± 0.09	0.72 ± 0.31	0.76 ± 0.12	44.32 ± 0.32	(Andrade et al., 2003)				
68.5	1.9	2.4	0.5	1.6	-	(Ferreira & Pena, 2003)				
47.0 ± 3.5	7.7 ± 3.2	2.3 ± 0.4	0.6 ± 0.1	6.6 ± 1.5	-	(Yuyama et al., 2003)				
43.90-65.39	8.25-40.83	4.20-6.47	1.08-2.54	0.87-3.40	-	(Carvalho et al., 2013b)				
50.69-57.76	2.24-5.50	1.39-2.54	1.15-1.37	-	-	(Costa et al., 2019)				
47.98-63.96	2.62-6.88	2.00-3.90	0.80-2.74	-	-	(Pires et al., 2019)				
Essential minerals composition macrocarpa (100 g ⁻¹)										
Ca (mg)	K (mg)	Na (mg)	Mg (mg)	Cl (µg)	Mn (µg)	Zn (µg)	Se (µg)	Iron (µg)	Cr (µg)	Reference
21.8 ± 2.4	206.4 ± 3.3	12.6 ± 2.0	17.6 ± 1.0	30.7 ± 3.7	82.6 ± 8.7	278.3 ± 30.4	11.4 ± 0.7	739.3 ± 130.5	13.9 ± 0.9	(Yuyama et al., 2003)
800	2000	500	350	2.0-5.0 (mg)	15	70	10	50-200	8.2 ± 0.4	RDA
2%	12%	1%	5%	2%	5%	2%	9%	6%	9%	Mean contribution
Non-essential minerals composition macrocarpa (100 g ⁻¹)										
Au (ng)	Ba (µg)	Br (µg)	Ce (µg)	Se (ng)	Pa (µg)	Sb (ng)	La (ng)	Rb (µg)	Reference	
57.8 ± 2.2	103.9 ± 2.6	143.5 ± 8.7	2.1 ± 0.4	10.4 ± 2.6	60.9 ± 21.7	56.5 ± 17.4	521.8 ± 87	491.4 ± 39.1	(Yuyama et al., 2003)	
Fatty acids composition macrocarpa (g 100 g ⁻¹)										
				Clement et al. (1998)	Yuyama et al. (2003)	Osorio et al. (2012)				
Lauric 12:0				-	-	0.014-0.015				
Myristic 14:0				0.42-0.52	-	0.105-0.147				
Palmitic 16:0				26.6-47.4	24.1-42.3	34.0-39.9				
Palmitoleic 16:1				5.09-6.72	3.9-7.4	7.9-10.8				
Stearic 18:0				1.84-3.27	0.8-3.5	1.0-1.6				
Oleic 18:1				37.0-49.9	42.8-60.8	38-51.9				
Linoleic 18:2				1.19-1.73	2.5-5.4	2.4-8.6				
Linolenic 18:3				2.10-6.35	0.0-1.4	0.2-1.5				
Σ Saturated fatty acids (SFA)				28.86-51.19	24.9-46.0	36.1-41.7				
Σ Monounsaturated fatty acids (MFA)				42.09-56.62	46.7-68.2	45.9-62.7				
Σ Polyunsaturated fatty acids (PFA)				3.39-8.08	2.5-6.8	6.2-10.1				
Ratio PFA/SFA				0.12-0.16	0.05-0.27	0.06-0.25				
Amino acids composition (% g N)										
Essential										
Phenylalanine	Histidine	Isoleucine	Leucine	Lysine	Methionine	Threonine	Tryptophan	Valine	Reference	
2.4 ± 0.02	-	1.70 ± 0.05	3.14 ± 0.03	1.67 ± 0.06	0.80 ± 0.01	2.71 ± 0.08	0.45 ± 0.02	2.83 ± 0.09	(Yuyama et al., 2003)	
6.0	-	4.0	7.0	3.5	5.5	4.0	1.0	5.0	(FAO/WHO, 1973)	
Non-essential										
Aspartic acid	Glutamic acid		Alanine	Cysteine	Glycine	Prolamine	Serine	Reference		
4.43 ± 0.19	4.98 ± 0.33		-	3.51 ± 0.21	2.87 ± 0.06	2.57 ± 0.08	2.72 ± 0.31	(Yuyama et al., 2003)		

*Mean values of three repetitions ± standard deviation; At least one letter on the line does not represent a significant 95% difference. Results expressed in dry basis. RDA based on the recommended daily allowances for adult men in the 25-50 age range (NAS/NRC, 1989). - Values not cited by the authors.

biome is predominantly covered by a rain forest, characterized by a hot and humid climate and heavy rains, which are often incident throughout the year (Chisté & Fernandes, 2016). Due to this particular environment, the Amazon hosts several fruit species that are widely consumed by the local population, found

in markets and local fairs (Matos et al., 2019) that are still little explored and represent economic potential to contribute to the food, pharmaceutical and agro industrial fields.

Among the species, the peach palm (pupunha: Brazil; chontaduro, cachipay: Colombia; pejiyabe: Costa Rica; chontaruro:

Equador; pijuayo: Perú; gachipaes: Venezuela) is a palm tree belonging to the *Arecaceae* family, native representative from Americas, fully domesticated in the Amazon region, with a great variety of races and ecotypes (Bezerra & Silva, 2016; Bolanho et al., 2014).

The peach palm (Figure 1) is a caespitose palm (multicaule) that can reach up to 20 m in height. The stem diameter ranges from 15 to 30 cm and the internodes length from 2 to 30 cm. The internodes are armed with numerous rigid spines from black to dark brown. However, the species commonly used for palm heart production include those that do not cultivate spikes in the peduncle, which facilitates their handling, cultivation and process (Bezerra & Silva, 2016).

The species commonly used for palm heart production include those which are cultivated without spines on the peduncle and it facilitates the handling, processing and higher yield of the fruits (Morera, 1988; Moro, 1993). The peduncle supports a crown of 15 to 25 pinnate leaves, with the leaflets inserted at different angles. The unopened tender leaves, located in the center of the crown,

form the palm heart, an important economic product. The palm heart is removed from the top of the stem corresponding to the central part, with pleasant taste, smooth and low calorie (Bezerra & Silva, 2016). The monoic inflorescence appears in the armpits of the senescent leaves. After pollination, the bunches may contain between 50 and 1000 single seed fruits, and weigh from 1 to 25 kg. Several factors, such as nutrition or poor pollination, drought, competition, insect attacks and diseases can cause decrease in fruit production and contribute to the low average weight of the bunch. The individual fruits weigh between 10 and 250 g (3 to 4 cm in diameter) (Arkcoll & Aguiar, 1984; Clement & Mora-Urpí, 1988), with epicarp and mesocarp ranging from yellow to orange (Chisté & Fernandes, 2016).

The multiple origin of peach palm and the segregation of its hybrids increased the high genetic diversity (Figure 2) (Clement, 1986; Clement & Mora-Urpí, 1988), therefore, there is visible variability in the fruit shape, color, fibrosis, oil content, starch content, among others. Thus, there are no definite varieties of peach palm, distinguished by “primitive races” or ecotype,



Figure 1. Thorny peach palm tree and smooth peach palm tree (Graefe et al., 2013).

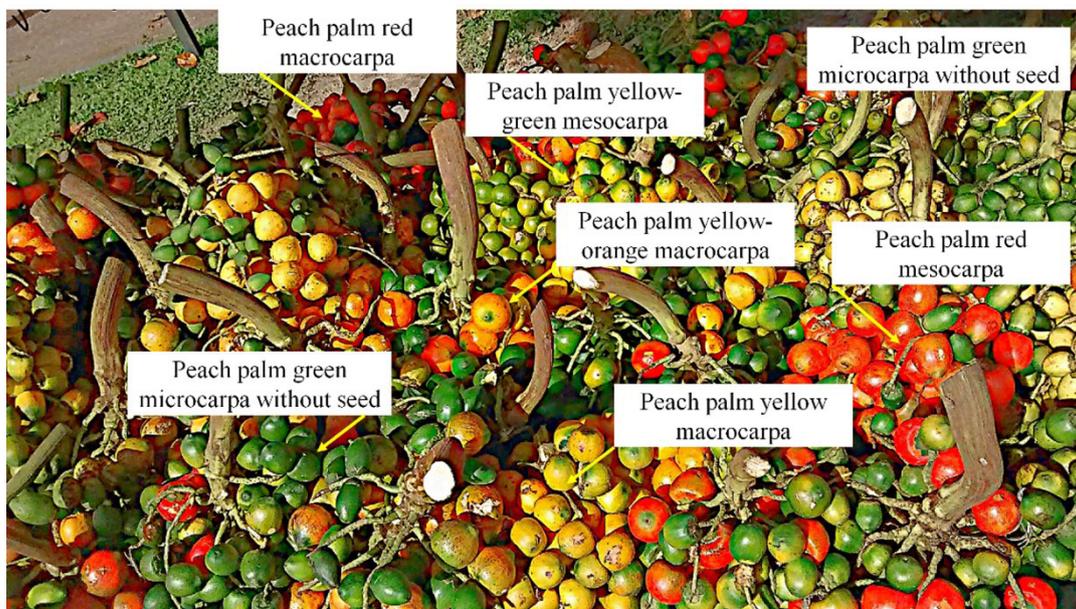


Figure 2. Bunches of peach palm marketed in the metropolitan area of Belém (Pará).

which are sets of populations of distinct origin, selected and cultivated by a distinct ethnic (Clement & Mora-Urpí, 1988). In some studies, there are at least three distinct peach palm races, with different colors, flavors, and nutritional constituents (Clement et al., 2004; Costa et al., 2019). The main criterion for classification of fruits is through the thickness of the pulp, separating the peach palm groups in microcarpa, mesocarpa, and macrocarpa. The microcarpa race has small fruits, relatively little pulp compared to seed volume and the pulp is generally fibrous and oily. The mesocarpa and macrocarpa progressively have larger fruits, with a higher pulp percentage in relation to microcarpa, higher starch content and lower lipids (Costa et al., 2019; Mora-Urpí et al., 1997). Studies that correlate physical characterization and chemical composition data show that generally smaller fruits tend to be more fibrous and oily, while larger fruits tend to be rich in starch, with these two major components (starch and lipid) in an inversely proportional ratio (Bezerra & Silva, 2016; Costa et al., 2019; Leterme et al., 2005). The observed variation demonstrates the importance of determining the chemical composition within each race and/or population of interest to the consumers or the agroindustry, aiming the quality of the fruits.

3 Physicochemical composition

The peach palm fruit presents high levels of dietary fiber, lipids, carotenoids (β -carotene, γ -carotene, lycopene), minerals, essential amino acids (Table 1) and low levels of sodium and sugars (Rosso & Mercadante, 2007; Espinosa-Pardo et al., 2014; Rojas-Garbanzo et al., 2011). In the Amapá state, through the government program of sustainable development, the peach palm was included in the school menus due to its nutritional composition. The fruits were used in the preparation of porridges or mixed with savory dishes, presented good preference (Brasil, 2015).

In a study by Yuyama et al. (2003), investigating the chemical composition of the mesocarp of three peach palm trees located in Central Amazonia, it was concluded that, in terms of the recommended daily consumption for an adult male in the 25-50 years age group (National Academy of Sciences/National Research Council, 1989), the average contribution of peach palm fruits for mineral elements was low (Table 1). The biological importance of non-essential minerals present in peach palm is unknown, however, traces can be found in animal and plant tissues (Jane et al., 1992).

Due to its nutritional content, the peach palm is considered a fruit of excellent energy value. The absence of gluten and starch richness make this raw material interesting for the development of new products in patients with celiac disease (Bezerra & Silva, 2016). Nevertheless, it must be assumed that the fruit cannot be consumed fresh due to the presence of anti-nutritional factors (calcium oxalate salts, lectins, some polyphenols, saponins and inhibitors of amylase and trypsin) (Bezerra & Silva, 2016; Rojas-Garbanzo et al., 2011). The ingestion of small doses is sufficient to cause intense burning sensation in the mouth and throat, swelling of the airways and suffocation, and if ingested in large doses, it may be fatal. Recovery from poisoning by large doses of calcium oxalate is possible, however the liver and kidneys are permanently affected.

Traditionally, the peach palm fruit is consumed in a unique way in the majority of countries where it is cultivated. After separated from the bunch, the fruits are boiled in salt water at times ranging from 30 to 60 minutes, depending on the variety of the fruit, they are peeled and split lengthwise, then the seeds are extracted and ready for consumption (Chisté & Fernandes, 2016; Mandel, 1996).

Carrera (1999) studied the chemical and physical properties of isolated starches from six Phenotypes of peach palm, and the starch found represented most of the nutritional composition, suggesting that the fruit is an excellent source of starch in the Amazon region. Jane et al. (1992) studied the isolated starch of peach palm from different parts of Costa Rica and its gelling and thermal properties, the authors found that the concentration of amylose varied from 8 to 19% and the phosphorus content from 0.049 to 0.054%. Amylopectin branch chain lengths determined by the fraction peak showed degrees of polymerization of 18 and 30 for short and long chain, respectively. The authors attributed variations in physical properties mainly to differences in amylose content and amylopectin structure (Jane et al., 1992).

The peach palm nutritional composition varies depending on the ecotype and geographic region due to the conditions of cultivation, climate and soil of the region, that present great influence on the growth and development of the fruits (Blanco et al., 1990).

Rojas-Garbanzo et al. (2016) in their studies found a significant difference ($p < 0.05$) in the moisture content of three lots of peach palm harvested in Pérez Zeledón (Costa Rica); however, no variability was found between the Tucurrique (Costa Rica) lots. Among the components analyzed, only the starch content did not present significant differences ($p > 0.05$) between lots from the same area and between regions. This result is extremely important, since the types of products that can be developed from the peach palm fruits are subject to the content of starch (puree, biscuits, bread, cake), therefore, the standardization of the physicochemical characteristics of raw material allows the standardization of the final product quality.

Yuyama et al. (2003) reported peach palm fruits as source of eight essential and non-essential amino acids (Table 1), such as tryptophan and methionine. Although its amino acid content is lower than the minimum daily intake recommended by the Food and Drugs Agency (2018), it is important to consider the peach palm as a source of daily protein requirements for adults and children. It was reported that the protein content of peach palm fruits is not affected by cooking (30 min in boiling water), with a final protein content of 5.0 ± 1.1 g 100 g⁻¹ (wet basis) in cooked peach palm pulp (Rojas-Garbanzo et al., 2012).

Cysteine was the non-essential amino acid found with the highest amount among flours, being relatively higher in peach palm fruit flours that were not cooked (2.32 to 2.64%), for samples without shell and with shell, respectively, and 2.48% for the flours that have undergone the cooking).

From a nutritional point of view, the protein of the peach palm fruit is of low biological value, a common occurrence in products of plant origin, with methionine and lysine being the most limiting amino acids.

The most important mineral elements found in the peach palm are potassium, selenium and chromium (Yuyama et al., 2003). Fiber is another component present in peach palm, with a concentration varying from 2 to 10 g 100 g⁻¹ of fruit. Due to the functional properties of the fibers, the interest for the production of products with higher percentage of nondigestible fractions increases, because they are not initially digested by organisms, they are fermented by microorganisms in the intestines, producing compounds (butyrate, ethyl and propionate) that can exert a positive action on the individual's health (Bezerra & Silva, 2016).

Quesada et al. (2011) reported a low glycemic index of 35 mg dL⁻¹ in pejobay compared to white bread. Foods with low glycemic index are considered to be beneficial for patients with diabetes and coronary heart disease because the released sugars are absorbed more slowly (Graefe et al., 2013).

Studies involving the proximate composition show carbohydrate values ranging from 50 to 80%, represented mainly in the form of starch (Bezerra & Silva, 2016; Fernández-Piedra et al., 1995; Quesada et al., 2011).

In addition to direct consumption, peach palm can be used as a raw material for the production of various products, especially in the form of flour (Pires et al., 2019; Valencia et al., 2015), oil (Melhorança & Pereira, 2012), pasta (Oliveira et al., 2006; Sakurai et al., 2019), edible film (Costa et al., 2019), fermented beverage (Andrade et al., 2003), bacterial substrate for amylase production (Oliveira et al., 2007) and functional food products (Rojas-Garbanzo et al., 2012).

Information on peach palm fruit starch in the literature is still scarce. However, in the study reported by Valencia et al. (2015), the starch content found in peach palm (84.5%) was compared with the content of cassava starch and starch isolated from a non-conventional source such as the "Cavendish" banana variety. Regarding the structure of the peach palm starch, they are presented in different forms, such as spherical and oval, with predominance of truncated form on one side, as this form is observed in tapioca starch granules and modified tapioca starch (Liu, 2005; Makmoon et al., 2013; Valencia et al., 2015).

The high amylose content found in peach palm starch (19.3%) indicates that this type of starch can be used as raw material for the preparation of films and coatings to be used in food products (Valencia et al., 2015).

A previous study reported that the peach palm oil contains omega-3 (linolenic acid), omega-6 (linoleic), and omega-9 (oleic acid) fatty acids, commonly associated with decreasing in Low Density Lipoprotein (LDL) levels and risk of cardiovascular diseases (Bezerra & Silva, 2016). However, the fruits present high variability between the bunches and the harvest season (Arkcoll & Aguiar, 1984; Graefe et al., 2013). Carvalho et al. (2013b) reported that Wistar rats supplemented with red peach palm before and after lactation showed increasing in High Density Lipoprotein (HDL)-cholesterol, as well as reduction of body weight, total cholesterol and triglycerides. In this sense, peach palm pulp oil can be considered a good option for human consumption (Clement et al., 1998; Osorio et al., 2012).

Regarding to the saturated fatty acids (Table 1), palmitic acid was the one with the highest concentrations in the peach palm pulp, but in the seed, the predominant fatty acids are the lauric and myristic ones. According to Carvalho et al. (2013a), the moisture content, lipids and carotenoids are the components that best represent the genetic diversity of the peach palm. The B02-P30 matrix had the highest lipid content, with values between 8.25 and 40.83%. Ferreira and Pena (2003), in a study on the hygroscopic behavior of the peach palm flour, observed a lipid content ranging from 6.1% to 9.8%. However, Oliveira et al. (2006) and Carvalho et al. (2009) reported values of 11.56% and 10.3% lipids, respectively, in peach palm flour studies.

Due to the high concentration of oleic fatty acid the peach palm oil has a high nutritional value, liquid at room temperature and less suspect to oxidation compared to oils with a higher proportion of linoleic acid (Santos et al., 2017).

Another property that can be observed for peach palm is the antimicrobial activity of the oil extracted from the bark of two species (Table 2). Significant levels of carotenoids are found in peach palm (Bereau et al., 2003). Vitamin A deficiency is a serious public health problem and mainly affects children, causing clinical manifestations known as night blindness (Bereau et al., 2003). Peach palm is considered a good strategy to prevent or remedy vitamin A deficiencies. Since, once added in the diet, it increases the hepatic content (Bezerra & Silva, 2016; Yuyama et al., 1991; Yuyama & Cozzolino, 1996).

In order to deepen researches on genetic improvement of peach palm tree species, cultivated in the Northern Brazil, the peach palm pulp total carotenoid content ranged from 0.8 to 12.4 mg 100 g⁻¹, among 21 genotypes developed by the Brazilian Agricultural Research Corporation, and demonstrated wide variation among fruits of the same species, grown in the same region (Carvalho et al., 2013b).

Furtado et al. (2004) studied the concentration of carotene, trans- β -carotene, cis- β -carotene, and carotenoids in vegetables and fruits commercialized in Costa Rica, reporting values for peach palm of 4.2, 59.1, 93.2, 20.5 and 63.7 $\mu\text{g g}^{-1}$ for α -carotene, trans- β -carotene, cis- β -carotene, trans-lycopene and cis-lycopene, respectively.

Blanco & Muñoz (1992) found similar carotenoid contents in fresh and cooked peach palm, and determined that the retention of nutrients after cooking is greater than 85%. Rosso & Mercadante (2007) quantified carotenoids in six Amazonian fruit species and found that peach palm is a good source of provitamin A, with a total carotenoid content of 19.80 mg 100 g⁻¹. Rojas-Garbanzo et al. (2011) identified nine carotenoids in fresh peach palm from Costa Rica, the most predominant as the β -carotene.

Costa et al. (2019) found values of total carotenoids of 57.0, 95.6 and 79.8 $\mu\text{g g}^{-1}$, for micro, meso and macrocarpa peach palm ecotypes, respectively.

In a study performed by Matos et al. (2019), it was verified a high peach palm peel potential for carotenoid prospecting as a strategy for valorization of the product with no current commercial value. The content of carotenoids in the peel was ten times higher

Table 2. Peach palm fruits biological activity.

Peach palm (<i>Bactris gasipaes</i>)	Peel color	Source	Effect	Reference
	Red-green		Antioxidant activity Glycemic index In lactation metabolic index in rats Absence of gluten and richness of starch	Increased carotenoid availability after cooking Lower glycemic index levels in wistar rats Body weight reduction, total cholesterol Development of products for patients with celiac disease
	Green			
	Yellow-green			
	Yellow-red			
	Yellow			
	Orange		Antimicrobial activity Antioxidant activity Total soluble and insoluble fibers	Inhibitory effect against <i>S. aureus</i> , not effective against <i>P. aeruginosa</i> Higher antioxidant activity in peel than pulp Development of bakery products for people with celiac disease
	Red			

(33.69 mg 100 g⁻¹) than in the pulp (3.18 mg 100 g⁻¹). Besides the pro-vitamin A activity of some carotenoids, the consumption of foods rich in this compound is associated with increased immune response and reduced risk of degenerative diseases such as cancer, macular degeneration, cataracts and cardiovascular diseases (Table 2). Carotenoids can also undergo changes due to degradation during the process of prolonged cooking of the food and its storage through the action of enzymes, light and oxygen. Thus, vegetable and fruit dehydration can reduce the biological activity of carotenoids (Sentanin & Amaya, 2007).

In the study performed by Rojas-Garbanzo et al. (2012), the authors reported that the content of total carotenoids was influenced by the cooking and drying of peach palm, where the samples presented an increase of 17% in carotenoids in the fresh peach palm. The cooking process softens both cell walls and macromolecules, such as fatty acids and proteins that encapsulate carotenoids, making them more available.

The peach palm gas chromatography analysis revealed the existence of several δ -5-sterols, cholesterol, campesterol, stigmasterol, β -sitosterol and δ -5-avenasterol). A High Performance Liquid Chromatography (HPLC) study of tocopherols and tocotrienols showed that α -tocopherol predominates in the bands standards (Lubrano & Robin, 1997). Bereau et al. (2003) reported low levels of vitamin E in peach palm samples; however, the results of antioxidant activity were more similar to the olive oil than palm oil. Tocopherols have a chemical structure similar to cholesterol, with a bactericidal, fungicidal and anti-inflammatory action. Studies have shown that these compounds play an important role in reducing blood cholesterol by blocking its absorption (Tango et al., 2004; Ye et al., 2010).

4 Marketing and consumption

Products made from the peach palm or peach palm tree as palm heart (Table 3), are considered great economic potentials for the national and international markets (Godoy et al., 2007; Graefe et al., 2013).

Some evidence suggests that red and lower lipid content peach palm are preferred for the production of canned fruits and jellies (Graefe et al., 2013). Since damaged or deformed fruits can be used in the elaboration of flour (Godoy et al., 2007).

In Cali (Colombia), peach palm has reached a visible presence in large supermarkets and malls, where fruits are sold fresh and more limited quantities of processed fruits are available on the shelves. The processed fruits are vacuum packed or canned in brine or processed into marmalade. In the city of Popayán (Colombia), the peach palm chips are sold in small packages. Despite just entering in major markets, it is believed that the chips have great potential (Graefe et al., 2013).

In Brazil, more specifically in the Amazon, the peach palm fruits are marketed in nuns or supermarkets, and fruits with oily characteristics are the most sought by the population (Bezerra & Silva, 2016). In order to know if the fruit has this characteristic, consumers traditionally grind a piece of raw peach palm between the fingers and rub it to identify the oily aspect (Godoy et al., 2007).

In a study performed for the preparation of canned peach palm, the sensorial analysis presented excellent results demonstrating that there were no significant differences between the flavor of the canned fruit and the cooked one (Pelais et al., 2017).

Tracy (1987) determined that 10% peach flour could serve as a substitute for wheat flour in the baking industry, producing an excellent baking quality.

The peach palm was also studied for possible use in mass production from a mixture of 15% peach palm flour and 85% wheat flour. In the cooking tests of spaghetti and spiked pasta, the addition of peach palm flour to the dough did not significantly change its quality and texture (Oliveira et al., 2006).

However, in a later study, the addition of cassava starch, peach palm flour and gilded linseed allowed the production of well-structured dry pasta. In addition, the mass had a good rate of acceptance and intention of purchase by the tasters (Sakurai et al., 2019).

Rosa et al. (2016) developed a pre-mix for cake with peach palm (*Bactris gasipaes* Kunth) flour, free of gluten. It is important that the market offers bakery products containing the same sensory and nutritional quality as products that present gluten to people with celiac disease (Tracy, 1987).

Martínez-Girón et al. (2017) developed cakes with different proportions of peach palm flour, and the authors found in their studies that the peel flour can be considered as a natural food coloring alternative for cooked products, in order to replace artificial food coloring, besides increasing the biological properties of cakes.

The indigenous peoples of the Amazon use peach palm fruits to produce *caçuma* or *cachiri*, a fermented alcoholic beverage similar to beer (Andrade et al., 2003; Graefe et al., 2013).

The peach palm in the form of flour is an alternative to avoid saturation of the fresh fruit market and to diversify its demand (Bezerra & Silva, 2016). Peach palm flour was used in the production of extruded maize products and may be considered an interesting ingredient to improve the carotenoid content, since the extrusion process did not decrease the carotenoid content in the product (Basto et al., 2016).

Table 3. Main products made from peach palm found in the literature.

Peach palm variety	Product	Reference
Micro, meso and macrocarpa	Edible films	(Costa et al., 2019)
Mesocarpa	Fermented drink	(Mora-Urpí et al., 1997)
	Pickled	(Pelais et al., 2017)
Microcarpa	Oil	(Arkolli & Aguiar, 1984; Ordoñez-Santos et al., 2019)
Micro, meso and macrocarpa	Peach palm flour and starch	(Pires et al., 2019)
-	Cake mix	(Martínez-Girón et al., 2017)
-	Snacks	(Carvalho et al., 2009)
Microcarpa	Pasta	(Oliveira et al., 2006; Sakurai et al., 2019)

Rojas-Garbanzo et al. (2011) studying the identification and quantification of carotenoids in peach palm flour concluded that more research is needed to control the effects that processing and storage have on carotenoids and their bioavailability.

In a later study, Rojas-Garbanzo et al. (2012) found that peach palm flour can also be used as an ingredient rich in bioactive compounds for the formulation of functional foods.

The peach palm flour was also used for the elaboration of ice cream cone and they presented high content of carotenoids in comparison to the traditional cones. In addition, the peach palm flour showed similar texture to the cones made with wheat flour (Sakurai et al., 2019). It is noteworthy that the peach palm ice cream cone does not contain gluten, providing consumption by new markets, such as the celiac disease one (Santos et al., 2017). Therefore, the possibility of developing gluten-free products such as peach palm flour may increase the supply of food products to individuals with celiac disease and contribute to a more diversified diet for this population group.

For the first time, the potential use of the peach palm peel, which is considered agro industrial residue in Brazil, was investigated for the quantification and identification of carotenoids and it can be concluded that the peach palm peel has a high potential to be used as a source of carotenoids by food, cosmetic and pharmaceutical industries as bioactive colorants and/or ingredients (Matos et al., 2019).

A dehydrated product with film characteristics based on peach palm and *tucupi* was studied by Costa et al. (2019) and they obtained a product with superior technological quality, considered as a good source of energy value and carotene. And depending on the characteristic of the variety used, the product can be applied as a separator of components, as in pizzas, which the dough has low moisture and the filling has high moisture, to replace the algae in sushi, as protection of foods with high activity of water or to prevent the exudation of fresh or frozen products.

5 Conclusion

The peach palm fruit, fresh, cooked or dried, may be considered as a source of bioactive compounds with significant antioxidant capacity, and its carotenoid content is higher than that found for other tropical fruits such as banana, mango, melon and papaya. Despite its low protein content, peach palm contains all essential amino acids, with methionine and lysine present at levels below those recommended. Peach palm provides few essential minerals, with an emphasis on potassium, selenium and chromium, which are present in amounts corresponding to 12, 9 and 9% of the recommended daily rates, respectively. Flour is the main form of processing and conservation of peach palm fruit and can be used as an ingredient for the formulation of functional foods, considered an excellent source of carbohydrates (59%) and energy (417 kcal 100 g⁻¹). The addition of the peach palm peel increases the content of carotenoids, fatty acids and dietary fibers. This review suggests that the processing and marketing of peach palm have a significant potential to increase food security and fruit yields. To perform these potential gains, participatory research is needed that directly engages stakeholders

and addresses multiple challenges in the different stages of industrialization and marketing.

Conflict of interest

The authors declare no financial interests or personal relationships to influence the present study.

Acknowledgements

The authors would like to thank PROPESP/UFPA (Provost's Office for Research and Graduate Studies of the Federal University of Pará), CNPq (National Research and Development Council, processes 308021/2015-0 and 477013/2013-282 9), and CAPES (Coordination for the Improvement of Higher Education Personnel) for funding the study (Financial Code 001).

References

- Andrade, J. S., Pantoja, L., & Maeda, R. N. (2003). Improvement on beverage volume yield and on process of alcoholic beverage production from pejobaye (*Bactris gasipaes* Kunth). *Food Science and Technology*, 23, 34-38.
- Arkol, D., & Aguiar, J. P. (1984). Peach palm (*Bactris gasipaes* H.B.K.), a new source of vegetable oil from the wet tropics. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 35(5), 520-526. <http://dx.doi.org/10.1002/jsfa.2740350508>.
- Basto, G. J., Carvalho, W. P., Soares, A. G., Costa, H. T. G. B., Chávez, D. W. H., Godoy, R. L. O., & Pacheco, S. (2016). Physicochemical properties and carotenoid content of extruded and non-extruded corn and peach palm (*Bactris gasipaes*, Kunth). *Lebensmittel-Wissenschaft + Technologie*, 69, 312-318. <http://dx.doi.org/10.1016/j.lwt.2015.12.065>.
- Bereau, D., Benjelloun-Mlayah, B., Banoub, J., & Bravo, R. (2003). FA and unsaponifiable composition of five Amazonian palm kernel oils. *Journal of the American Oil Chemists' Society*, 80(1), 49-53. <http://dx.doi.org/10.1007/s11746-003-0649-5>.
- Bezerra, C. V., & Silva, L. H. M. (2016). Pupunha (*Bactris gasipaes*): general and consumption aspects. In K. Kristbergsson & J. Oliveira (Eds.), *Traditional foods* (pp. 399-405). New York: Springer.
- Blanco, A., & Muñoz, L. (1992). Content and bioavailability of carotenoids from peach palm fruit (*Bactris gasipaes*) as a source of vitamin A. *Archivos Latinoamericanos de Nutricion*, 42, 146-154. PMID:1341854.
- Blanco, A., Lowery, M., Montero, M., Mora-Urpí, J., & Rojas, M. (1990). *El pejobaye: su uso en la alimentación humana*. San José: Instituto Costarricense de Investigación y Enseñanza en Nutrición y Salud.
- Bolanho, B., Danesi, E., & Beléia, A. (2014). Characterization of flours made from peach palm (*Bactris gasipaes* Kunth) by-products as a new food ingredient. *Journal of Food and Nutrition Research*, 53, 51-59.
- Brasil, Ministério da Saúde. (2015). *Alimentos regionais brasileiros* (2. ed.). Brasília: Ministério da Saúde.
- Carrera, L. (1999). Isolation and characterisation of pejobaye starch. *Journal of Applied Botany and Food Quality*, 73, 122-127.
- Carvalho, A. V., Vasconcelos, M. A. M., Silva, P. A., & Ascheri, J. L. R. (2009). Production of third generation snacks by extrusion-cooking of pupunha and cassava flour mixtures. *Brazilian Journal of Food Technology*, 12, 277-284.
- Carvalho, A., Beckman, J., Maciel, R., & Farias, T. No. (2013a). Características físicas e químicas de frutos de pupunheira no Estado

- do Pará. *Revista Brasileira de Fruticultura*, 15, 763-768. <http://dx.doi.org/10.1590/S0100-29452013000300013>.
- Carvalho, R. P., Lemos, J. R. G., Sales, R. A. A., Martins, M. G., Nascimento, C. H., Bayona, M., Marcon, J. L., & Monteiro, J. B. (2013b). The consumption of red pupunha (*Bactris gasipaes* Kunth) increases HDL cholesterol and reduces weight gain of lactating and post-lactating Wistar. *The Journal of Aging Research & Clinical Practice*, 2(3), 257-260. PMID:25580386.
- Chisté, R., & Fernandes, E. (2016). Bioactive compounds from Amazonian fruits and their antioxidant properties. In L. R. Silva & B. M. Silva (Eds.), *Natural bioactive compounds from fruits and vegetables as health promoters: part I* (p. 244-264). Sharjah: Bentham Science. <http://dx.doi.org/10.2174/9781681082394116010011>.
- Clement, C. (1986). The pejobaye palm (*Bactris gasipaes* H.B.K.) as an agroforestry component. *Agroforestry Systems*, 4(3), 205-219. <http://dx.doi.org/10.1007/BF02028355>.
- Clement, C., & Mora-Urpí, J. (1988). Phenotypic variation of peach palm observed in the Amazon basin. In C. R. Clement & L. Coradin (Eds.), *Final report (revised): Peach palm (Bactris gasipaes H.B.K.) germplasm bank - U.S. Agency for International Development (grant number DAN-5542-G-SS-2093)*. Manaus: Instituto Nacional de Pesquisas da Amazônia, Centro Nacional de Manaus.
- Clement, C., Aguiar, J. P., & Arkcoll, D. (1998). Composição química do mesocarpo e do óleo de três populações de pupunha (*Bactris gasipaes*) do Rio Solimões, Amazonas, Brasil. *Revista Brasileira de Fruticultura*, 20, 115-118.
- Clement, J., Weber, C., Van Leeuwen, D., Domian, C. A., Cole, D. M., Lopez, L. A. A., & Agüello, H. (2004). Why extensive research and development did not promote use of peach palm fruit in Latin America. *Agroforestry Systems*, 61(1-3), 195-206. <http://dx.doi.org/10.1023/B:AGFO.0000028999.84655.17>.
- Costa, R. D. S., Rodrigues, A. M. C., Laurindo, J. B., & Silva, L. H. M. (2019). Development of dehydrated products from peach palm – tucupi blends with edible film characteristics using refractance window. *Journal of Food Science and Technology*, 56(2), 560-570. <http://dx.doi.org/10.1007/s13197-018-3454-x>. PMID:30906013.
- Espinosa-Pardo, F. A., Martinez, J., and Martinez-Correa, H. A. (2014). Extraction of bioactive compounds from peach palm pulp (*Bactris gasipaes*) using supercritical CO₂. *J. Supercrit. Fluids*, 93, 2-6. <https://doi.org/10.1016/j.supflu.2014.05.010>.
- Food and Agriculture Organization - FAO/WHO. (1973). *Report of a Joint Committee: Energy and protein requirements. Technical Report Series*. Rome: World Health Organization.
- Fernández-Piedra, M., Blanco-Metzler, A., & Mora-Urpí, J. (1995). Contenido de ácidos grasos en cuatro poblaciones de pejobaye, *Bactris gasipaes* (Palmae). *Revista de Biología Tropical*, 43(1-3), 61-66. PMID:8728758.
- Ferreira, C. D., & Pena, R. S. (2003). Hygroscopic behavior of the pupunha flour (*Bactris gasipaes*). *Food Science and Technology*, 23(2), 251-255. <http://dx.doi.org/10.1590/S0101-20612003000200025>.
- Food and Drugs Agency - FDA. (2018). *Nutrition labeling of food*. Retrieved from <https://www.accessdata.fda.gov/scripts/cdrh/cfdocs/cfcfr/CFRSearch.cfm?fr=101.9>
- Furtado, J., Siles, X., & Campos, H. (2004). Carotenoid concentrations in vegetables and fruits common to the Costa Rican diet. *International Journal of Food Sciences and Nutrition*, 55(2), 101-113. <http://dx.doi.org/10.1080/09637480410001666522>. PMID:14985182.
- Godoy, S., Pencue, L., Ruiz, A., & Montilla, D. (2007). Clasificación automática de chontaduro (*Bactris gasipaes*) para su aplicación en conserva, mermelada y harinas. *Facultad de Ciencias Agropecuarias*, 5, 137-146.
- Graefe, S., Dufour, D., Van Zonneveld, M., Rodriguez, F., & Gonzalez, A. (2013). Implications for biodiversity conservation, natural. *Biodiversity and Conservation*, 22(2), 269-300. <http://dx.doi.org/10.1007/s10531-012-0402-3>.
- Jane, J., Shen, L., Chen, J., Lim, S., Kasemsuwan, T., & Nip, W. K. (1992). Physical and chemical studies of taro starches and flours. *Cereal Chemistry*, 69, 528-535.
- Jatunov, S., Quesada, S., Díaz, C., & Murillo, E. (2010). Carotenoid composition and antioxidant activity of the raw and boiled fruit mesocarp of six varieties of *Bactris gasipaes*. *Archivos Latinoamericanos de Nutricion*, 60(1), 99-104. PMID:21090177.
- Leterme, P., García, M., Londôno, A., Rojas, M., Buldgen, A., & Souffrant, W. (2005). Chemical composition and nutritive value of peach palm (*Bactris gasipaes* Kunth) in rats. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 85(9), 1505-1512. <http://dx.doi.org/10.1002/jsfa.2146>.
- Liu, Q. (2005). Understanding starches and their role in foods. In S. Cui (Ed.), *Food carbohydrates: chemistry, physical properties, and applications* (pp. 309-355). Boca Raton: Taylor & Francis.
- Lubrano, C., & Robin, J. (1997). Étude des composés majeurs d'huiles de pulpe de fruits de six espèces de palmiers de Guyane. *Acta Botanica Gallica*, 144, 495-499. <http://dx.doi.org/10.1080/12538078.1997.10515792>.
- Makmoon, T., Fongfuchat, A., & Jiratumnukul, N. (2013). Modified tapioca starch as a rheology modifier in acrylic dispersion system. *Progress in Organic Coatings*, 76(6), 959-962. <http://dx.doi.org/10.1016/j.porgcoat.2012.10.021>.
- Mandel, N. (1996). Mechanism of stone formation. *Seminars in Nephrology*, 16(5), 364-374. PMID:8890393.
- Martínez-Girón, J., Figueroa-Molano, A., & Ordóñez-Santos, L. (2017). Effect of the addition of peach palm (*Bactris gasipaes*) peel flour on the color and sensory properties of cakes. *Food Science and Technology (Campinas)*, 37(3), 418-424. <http://dx.doi.org/10.1590/1678-457x.14916>.
- Matos, K. A. N., Barbosa, A. P. P., Lima, D. P., Mercadante, A. Z., & Chisté, R. C. (2019). Peels of tucumã (*Astrocaryum vulgare*) and peach palm (*Bactris gasipaes*) are by-products classified as very high carotenoid sources. *Food Chemistry*, 272, 216-221. <http://dx.doi.org/10.1016/j.foodchem.2018.08.053>. PMID:30309535.
- Melhorança, A. L. Fo., & Pereira, M. R. R. (2012). Atividade antimicrobiana de óleos extraídos de açaí e de pupunha sobre o desenvolvimento de *Pseudomonas aeruginosa* e *Staphylococcus aureus*. *Bioscience Journal*, 28, 598-604.
- Mora-Urpí, J., Weber, J., & Clement, C. (1997). *Peach palm, Bactris gasipaes Kunth*. Rome: IPGRI.
- Morera, J. (1988). Caracterización de los estípites de pejobaye (*Bactris gasipaes*) en base a las espinas. *Agronomía Costarricense*, 13, 111-114.
- Moro, J. (1993). A breeding program for *Bactris gasipaes* (Pejobaye Palm). *Acta Horticulturae*, (360), 135-139. <http://dx.doi.org/10.17660/ActaHortic.1994.360.17>.
- National Academy of Sciences/National Research Council - NAS/NRC. (1989). *Recommended dietary allowances* (10th ed.). Washington: National Academy Press.
- Neri-Numa, I. A., Sancho, R. A. S., Pereira, P. A., & Pastore, G. M. (2018). Small Brazilian wild fruits: nutrients, bioactive compounds, health-promotion properties and commercial interest. *Food Research International*, 103, 345-360. <http://dx.doi.org/10.1016/j.foodres.2017.10.053>. PMID:29389624.
- Oliveira, A. N., Oliveira, L. A., Andrade, J. S., & Chagas, A. F. Jr. (2007). Produção de amilase por rizóbios, usando farinha de pupunha como

- substrato. *Food Science and Technology*, 27, 61-66. <http://dx.doi.org/10.1590/S0101-20612007000100011>.
- Oliveira, M. K., Martinez-Flores, H., Andrade, J., Garnica-Romo, M., & Chang, Y. (2006). Original article use of peijibaye flour (*Bactris gasipaes* Kunth) in the production of food pastas. *International Journal of Food Science & Technology*, 41(8), 933-937. <http://dx.doi.org/10.1111/j.1365-2621.2005.01145.x>.
- Ordóñez-Santos, L. E., Martínez-Girón, J., and Rodríguez-Rodríguez, D. X. (2019). Extraction of total carotenoids from peach palm fruit (*Bactris gasipaes*) peel by means of ultrasound application and vegetable oil. *Dyna*, 86, 98–103.
- Osorio, J. R., Vinasco, L. E., & Estupiñán, J. A. (2012). Estudio Comparativo del contenido de ácidos grasos en 4 variedades de chontaduro (*Bactris gasipaes*) de la región del Pacífico Colombiano. *Revista de Ciencias*, 16, 123-129. <http://dx.doi.org/10.25100/rc.v16i0.508>.
- Pelais, A. C., Pinheiro, B. P., & Santos, I. N. S. (2017). Processo de elaboração da pupunha (*Bactris gasipaes* Kunt) em conserva. BR1020170266311.
- Pérez-Mateos, M., Bravo, L., Goya, L., Gómez-Guillén, C., & Montero, P. (2005). Quercetin properties as a functional ingredient in omega-3-enriched fish gels fed to rats. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 85(10), 1651-1659. <http://dx.doi.org/10.1002/jsfa.2164>.
- Pires, M. B., Amante, E. R., Lopes, A. S., Rodrigues, A. M. C., & Silva, L. H. M. (2019). Peach palm flour (*Bactris gasipae* KUNTH): potential application in the food industry. *Food Science and Technology (Campinas)*, 39(3), 613-619. <http://dx.doi.org/10.1590/fst.34617>.
- Quesada, S., Azofeifa, G., Jatunov, S., Jiménez, G., & Gó, G. (2011). Carotenoids composition, antioxidant activity and glycemic index of two varieties of *Bactris gasipaes*. *Emirates Journal of Food and Agriculture*, 23, 482-489.
- Rojas-Garbanzo, C., Pérez, A. M., Bustos-Carmona, J., & Vaillant, F. (2011). Identification and quantification of carotenoids by HPLC-DAD during the process of peach palm (*Bactris gasipaes* H.B.K.) flour. *Food Research International*, 44(7), 2377-2384. <http://dx.doi.org/10.1016/j.foodres.2011.02.045>.
- Rojas-Garbanzo, C., Pérez, A. M., Pineda Castro, M., & Vaillant, F. (2012). Major physicochemical and antioxidant changes during peach-palm (*Bactris gasipaes* H.B.K.) flour processing. *Fruits*, 67(6), 415-427. <http://dx.doi.org/10.1051/fruits/2012035>.
- Rojas-Garbanzo, C., Pérez, A. M., Vaillant, F., & Pineda-Castro, M. (2016). Physicochemical and antioxidant composition of fresh peach palm (*Bactris gasipaes* Kunth) fruits in Costa Rica. *Brazilian Journal of Food Technology*, 19(0), e2015097. <http://dx.doi.org/10.1590/1981-6723.9715>.
- Rosa, A. M. B., Negrão, B., Ribeiro, S. C., & Mattioto, R. (2016, October 24-27). Pré-mix para bolo com farinha de pupunha. In *XXV Congresso Brasileiro de Ciência e Tecnologia de Alimentos* (pp. 1–6). Rio Grande do Sul: FAURGS
- Rosso, V. V., & Mercadante, A. (2007). Identification and quantification of carotenoids, by HPLC-PDA-MS/MS, from Amazonian fruits. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 55(13), 5062-5072. <http://dx.doi.org/10.1021/jf0705421>. PMID:17530774.
- Sakurai, Y. C., Rodrigues, A. M. C., Pires, M., & Silva, L. H. M. (2019). Quality of pasta made of cassava, peach palm and golden linseed flours. *Food Science and Technology (Campinas)*, 2061, 1-7.
- Santos, M. F., Alves, R., Brito, E., Silva, S., & Silveira, R. M. (2017). Scientific communication quality characteristics of fruits and oils of palms native to the Brazilian Amazon. *Revista Brasileira de Fruticultura*, 39(spe), e-305. <http://dx.doi.org/10.1590/0100-29452017305>.
- Sentanin, M., & Amaya, D. B. R. (2007). Teores de carotenóides em mamão e pêssego determinados por cromatografia líquida de alta eficiência. *Food Science and Technology*, 27(1), 13-19. <http://dx.doi.org/10.1590/S0101-20612007000100003>.
- Serrano, M., Umaña, G., & Sáenz, M. (2011). Fisiología poscosecha, composición química y capacidad antioxidante de frutas de peijibaye (*Bactris gasipaes* Kunth) cv. tuiara dari én cosechadas a tres diferentes edades. *Agronomia Costarricense*, 35(2), 3575-3587.
- Tango, J., Carvalho, C. R., & Soares, N. (2004). Caracterização física e química de frutos de abacate visando a seu potencial para extração de óleo. *Revista Brasileira de Fruticultura*, 26(1), 17-23. <http://dx.doi.org/10.1590/S0100-29452004000100007>.
- Tracy, M. (1987). Utilización de harina de peijibaye (*Bactris gasipaes* H.B.K.) en la elaboración de pan. *Archivos Latinoamericanos de Nutricion*, 37, 122-131. PMID:3454612.
- Valencia, G. A., Moraes, I. C. F., Lourenço, R. V., Bittante, A. M. Q. B., & Sobral, P. J. D. A. (2015). Physicochemical, morphological, and functional properties of flour and starch from peach palm (*Bactris gasipaes* k.) fruit. *Starch*, 67(1-2), 163-173. <http://dx.doi.org/10.1002/star.201400097>.
- Ye, J., Chang, W., Hsieh, D. J., & Hsiao, M. (2010). Extraction and analysis of β -Sitosterol in herbal medicines. *Journal of Medicinal Plants Research*, 47, 522-527.
- Yuyama, L. K., & Cozzolino, S. M. (1996). Efeito da suplementação com pupunha como fonte de vitamina A em dieta: estudo em ratos. *Revista de Saude Publica*, 30, 61-66. <http://dx.doi.org/10.1590/S0034-89101996000100008>. PMID:9008923.
- Yuyama, L. K., Aguiar, J. P., Yuyama, K., Clement, C. R., Macedo, S. H., Fávaro, D. I., Afonso, C., Vasconcellos, M. B., Pimentel, S. A., Badolato, E. S., & Vannucchi, H. (2003). Chemical composition of the fruit mesocarp of three peach palm (*Bactris gasipaes*) populations grown in Central Amazonia, Brazil. *International Journal of Food Sciences and Nutrition*, 54(1), 49-56. PMID:12701237.
- Yuyama, L. K., Aguiar, J. P., Yuyama, K., Macedo, S. H., Fávaro, D. I., Afonso, C., & Vasconcellos, M. B. (1991). Determinação de elementos essenciais e não essenciais de pupunheira. *Horticultura Brasileira*, 17(2), 91-95. <http://dx.doi.org/10.1590/S0102-05361999000200003>.

Development of dehydrated products from peach palm–tucupi blends with edible film characteristics using refractive window

Rebeca Desireé Sousa da Costa¹ · Antonio Manoel da Cruz Rodrigues¹ ·
João Borges Laurindo² · Luiza Helena Meller da Silva¹

Revised: 27 September 2018 / Accepted: 2 October 2018 / Published online: 25 January 2019
© Association of Food Scientists & Technologists (India) 2019

Abstract This study aimed to obtain a dehydrated product with film characteristics with superior functional and technological quality, prepared from different varieties of peach palm (*Bactris gasipaes*) using the refractance window drying (RW) process. The experiments were carried out at 70 °C and drying was fully performed at an increasing rate. The physicochemical characteristics and mechanical, technological, and morphological properties were determined and the moisture and water activity curves of the different peach palm varieties were assessed. The dehydrated product by refractance window have good visual appearance and bright yellowish color due to the carotenoid content found in the samples used as raw material. All dehydrated products had non-homogenous microstructure, however, the products had low tensile strength, percent elongation, hygroscopicity, and water absorption and solubility, desired properties to obtain a food product. The presence of components such as proteins, lipids, and fibers had important effects on the mechanical properties of the products because the mechanical resistance of the biopolymers is influenced by the cohesion of the constituents of the polymer matrix. The production of a dehydrated product with film characteristics through the RW technique presented some advantages over conventional casting drying as such as short drying

times, lower costs and without addition of plasticizers or non-food grade components. In general, the products dehydrated by RW are promising and can be consumed immediately after production as snacks or in the substitution of other ingredients, such as algae in sushi.

Keywords Refractance window · Film · *Bactris gasipaes* · Tucupi · Technological properties

Introduction

Edible films are defined as a thin layer, consisting of natural polymers, used to partially or completely replace synthetic polymers. Films have achieved considerable importance due to their use as food coatings or as a barrier between food and the surrounding environment, avoiding losses of moisture and aromas, as well as due to their environmental benefits (Bakshi et al. 2010). In addition, they can be used as a film-forming medication when high antimicrobial activity against pathogens microorganisms or infections is required (Bakshi et al. 2010).

Polysaccharides (starch, pectin, cellulose, alginate, and carrageenan), proteins (gelatin, casein, wheat gluten, and zein) and lipids (stearic acid, waxes, and fatty acid esters), or the combination of these compounds, are the main materials used for the preparation of edible films (Bakshi et al. 2011). Starch is the most widely used polysaccharide in the manufacture of edible films because of its low cost, relatively easy handling, fully biodegradability, and availability in large quantities from various plant sources such as cereals, roots and, tubers (Kaur et al. 2013; Pelissari et al. 2013; Andrade et al. 2016; Dehghani et al. 2018).

Film information is limited in films for packaging or food coatings. Whereas several studies have determined the

✉ Luiza Helena Meller da Silva
lhmeller@ufpa.br

¹ Graduate Program in Food Science and Technology, Laboratory of Physical Measurements, Federal University of Pará, Rua Augusto Corrêa, Guamá, Belém, Pará 66075-900, Brazil

² Department of Chemical Engineering and Food Engineering, Technology Center, Federal University of Santa Catarina, Florianópolis, SC 88040-901, Brazil

effects of film formulations on the properties of the resulting materials, few have focused on obtaining a product that could be consumed immediately (Bakshi et al. 2011; Kaur et al. 2013; Dehghani et al. 2018).

Biodegradable and edible films are generally prepared via the classical casting technique, where a polymeric solution or suspension is poured on a plate surface such as a Petri plate. This technique does not allow for the preparation of large dimension films and requires long drying times in ovens with air circulating at 40–60 °C (Moraes et al. 2015). The technique of drying by RW allows for the spreading a film-forming suspension on large supports and on continuous carrying belts and allows for the control of the film thickness (suspension thickness) (Moraes et al. 2015). The drying by RW which involves applying a thin layer of the product onto a transparent sheet of thermally stable, heat- and deformation-resistant plastic (Zotarelli et al. 2015). Under the plastic sheet, hot water circulates to transport thermal energy through conduction and convection into the product (Nindo and Tang 2007). The technique of drying by RW to obtain dehydrated products with characteristics similar to the films shows the ability to produce biodegradable films since products resulting from drying can be consumed and do not generate waste.

Refractance window is used to concentrate and dry solutions and pastes that allow obtaining films and flakes at relatively moderate (40–60 °C) or high (70–90 °C) processing temperatures over short drying times at reasonable cost (Nindo et al. 2003), besides good sensory properties and low nutritional losses (Abonyi et al. 2002; Nindo and Tang 2007). For the same drying capacity, an RW device requires 50–70% less capital and 50% less energy than the lyophilization process (Nindo and Tang 2007).

The North region of Brazil features at least three landraces of peach palm (*Bactris gasipaes*) with different fruit sizes, colors, and flavors and nutritional constituents (Clement et al. 2004; Yuyama 2011). The main classification criterion to differentiate the landraces, i.e., microcarpa, mesocarpa, and macrocarpa, is pulp thickness. The microcarpa landrace has small fruits with a relatively large pit compared to the pulp, which is usually fibrous and oily. The fruits of mesocarpa and macrocarpa landraces are progressively larger with more pulp, which contains more starch and less lipids (Mora-urpí et al. 1997). Peach palm fruits are a source of food because of their high nutritional value and high fiber, fat, carotenoid, essential amino acid contents (Clement et al. 2004; Rojas-Gardanzo et al. 2011) and gelatinization temperature similar to that of traditional sources of starch, such as cassava starch and corn (Melo Neto et al. 2017). According to Valencia et al. (2015) and Melo Neto et al. (2017), the amylose content in peach palm starch indicates that this could be used as a raw material for

films and coatings in food products due to their capacity to form films.

Another widely consumed delicacy in the state of Pará is tucupi, a partially fermented liquid condiment obtained from cassava (*Manihot esculenta* Crantz) roots. After being washed, peeled, ground, and pressed, cassava releases a liquid, known as cassava wastewater or *manipueira*, that is stored for 3 days at room temperature (Chisté and Cohen 2011). Over this period, the starch precipitates and is then removed. After the fermentation step, the cassava wastewater is cooked to obtain tucupi. These products easily spoil, which hinders the commercialization *in natura* of the entire production during the harvest season, therefore industrialization represents an important alternative for the remaining volumes (Mora-Urpí et al. 1997; Carvalho et al. 2010).

Thus, given the limited information on films without the addition of reagents and plasticizers, and the importance of peach palm and tucupi in the Brazilian Amazon, this research aimed to study and analyze the RW drying process of three peach palm varieties to create technological alternatives that add value to these products by developing an dehydrated product with film characteristics with superior functional and technological quality.

Materials and methods

Material

The peach palm fruits used in the study were collected from several street markets in the Belém metropolitan area. The fruits were identified according to Mora-Urpí et al. (1997) as microcarpa, mesocarpa, or macrocarpa. Tucupi was purchased from the family agriculture established in the municipality of Acará (Pará, Brazil) (01°57'39" S and 48°11'48" W).

To prepare the blends, the microcarpa, mesocarpa, and macrocarpa peach palm fruits were peeled, cut, added with tucupi, and ground in a bench food processor. In order to ensure the composition of the peach palm/tucupi blends remained constant, the value of 12.5°Brix (AOAC no. 932.12). Figure 1 shows the procedure employed in all drying processes.

Refractance window drying

The device used for the RW drying experiments was built at the Laboratory of Physical Measurements (UFPA) using the principles of commercial equipment, with the difference of working in a batch-feeding regime (Zotarelli et al. 2015).

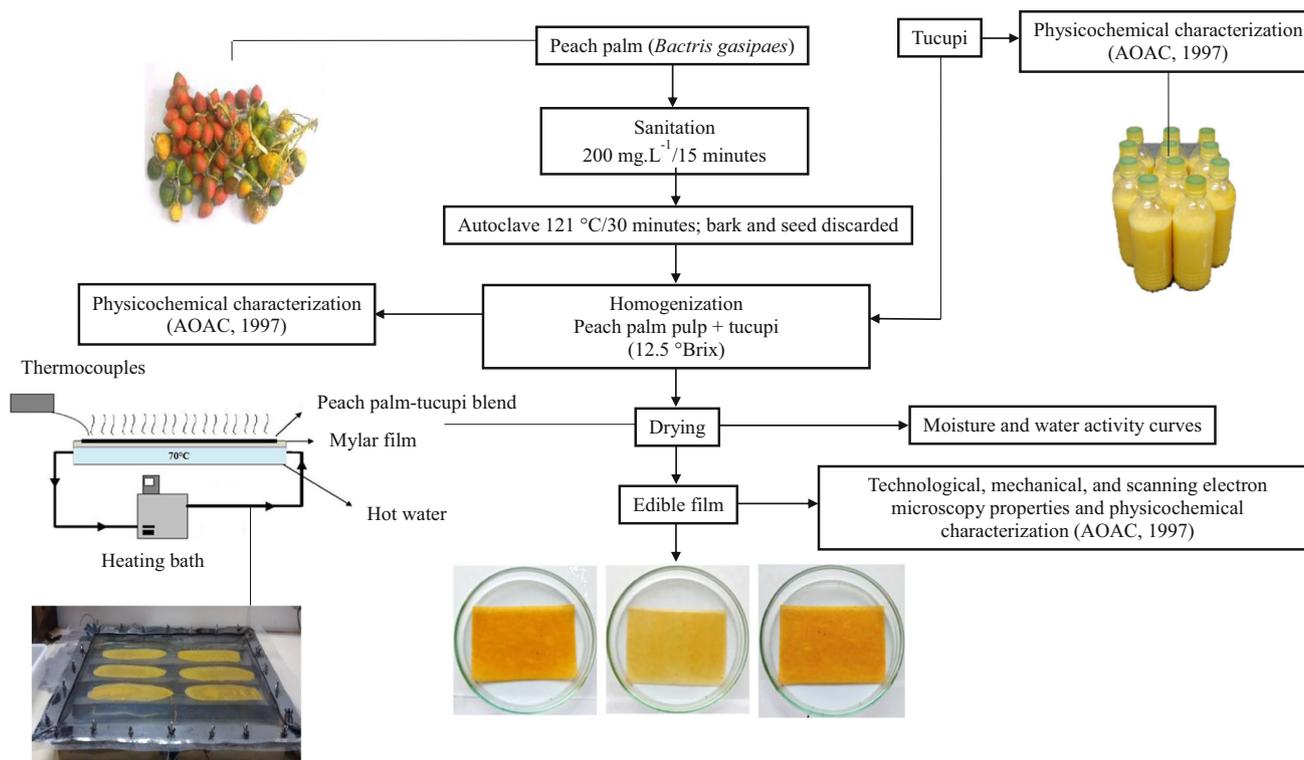


Fig. 1 Flow chart for obtaining edible films for different peach palm landraces (microcarpa, mesocarpa and macrocarpa, respectively) and tucupi

The experiments using different peach palm and tucupi blends were performed with heating water at 70 ± 1 °C and 0.5 mm spreading thickness. The dehydrated product obtained in the drying process were stored in polyethylene bags and vacuum sealed. These bags remained sealed until the analyses.

The moisture content was determined by following the sample weight at pre-established time intervals (Zotarelli et al. 2015). Each peach palm and tucupi blend was spread onto the Mylar film and, every 5 min., samples were taken from the initial, central, and final portion of the spread. In each sample extraction, approximately 4 g of the blend were taken with the use of a spatula, weighed on an analytical balance (Gehaka, BG 4000), transferred to a crucible, dried in an air-circulation oven at 105 °C (Ethik Technology, 400-2ND 200 °C), and weighed again to determine moisture (AOAC 1997) at each time interval. Water activity was determined in a Decagon AquaLab Series 3TE thermohygrometer with sensitivity of 0.0001.

Methods

Composition: raw materials, blends and dehydrated products

The methods recommended by the AOAC (1997) were adopted to determine the contents of moisture (no. 925.10),

ash (no. 923.03), lipids (no. 926.06), and total proteins (no. 920.87) (with a conversion factor of nitrogen into protein of 6.25). Carbohydrates and caloric value were determined according to Brasil (2003).

Colour parameter

The color parameter was analyzed in a Minolta CR310 colorimeter using the CIELAB system. The values obtained in the colorimeter, i.e., L^* (luminosity), coordinate a^* (red–green component), coordinate b^* (yellow–blue component), C^* (chroma) h° (hue angle), and ΔE (difference in coloration), were assessed according to Eq. (1):

$$\Delta E = \sqrt{(\Delta L^*)^2 + (\Delta a^*)^2 + (\Delta b^*)^2} \quad (1)$$

where L_i^* , a_i^* , and b_i^* are the color parameters of the product and L_0^* , a_0^* , and b_0^* are the color parameters of the control sample (peach palm and tucupi blends).

Total carotenoids: raw materials, blends and dehydrated products

Total carotenoids were determined according to the method described by Godoy and Rodriguez-Amaya (1994). 10 g of the sample were weighed (Shimadzu, AY220) and 20 mL

cold acetone were added. The material was vacuum filtered in a Büchner funnel with filter paper containing Celite and the sample was rinsed with acetone until the extract was colorless. The extract obtained was transferred to a 500 mL separatory funnel containing 50 mL of petroleum ether. The acetone was removed through slow addition of water to prevent emulsion formation. The bottom phase was discarded and the procedure was repeated four times to fully remove the acetone. The top extract was transferred to a 250 mL Erlenmeyer flask containing anhydrous sodium sulfate, transferred again to a 250 mL volumetric flask, and the volume was completed with petroleum ether. Reading was performed in a spectrophotometer between 20 and 500 nm using petroleum ether as blank. Carotenoid content was determined by Eq. (2).

$$CT(\mu\text{g/g}) = \frac{A \times V_{(\text{mL})} \times 10^4}{E_{1\text{cm}}^{1\%} \times m_{(\text{g})}} \quad (2)$$

where V is the volume of the volumetric flask used in the dilution, in mL, A is the absorbance at the highest peak detected, $E_{1\text{cm}}^{1\%}$ is the extinction coefficient of β -carotene (2592), and m is the sample mass, in g.

Technological and mechanical properties of the dehydrated products

To determine the water absorption index (WAI) in the dry product, 2.5 g of the sample were weighed in a previously tared centrifuge tube (with cap) and 30 mL of water at 25 °C were added. Next, the tubes were agitated for 30 min in a vortex mixer (Cole Parmer, 04726-01) and centrifuged (Thermo Fisher, Multifuge X1R) at 1046 g for 10 min. After centrifugation, a 10 mL aliquot of the supernatant was collected and transferred to a tared porcelain crucible, which was then placed in an oven at 105 °C (Ethik Technology, 400-2ND 200 °C) for 8 h. The tube with the remaining gel was weighed and the WAI was calculated (Anderson et al. 1969) according to Eq. (3):

$$WAI = \frac{CRW \times 100}{SW - ERW} \quad (3)$$

where CRW is the centrifugation residue weight (g), SW is the sample weight (dry basis), and ERW is the evaporation residue weight (g).

The water solubility index (WSI) was determined following the methodology proposed by Anderson et al. (1969), in which the WSI was calculated from the ratio between the ERW and the SW, according to Eq. (4):

$$WSI = \frac{ERW}{SW} \quad (4)$$

Hygroscopicity of the dry product was determined according to the methodology proposed by Cai and Corke

(2000) with some modifications. About 1 g of each sample was placed into an airtight container with a saturated NaCl solution (75.29% relative humidity) at 25 °C and, after a week, the samples were weighed and hygroscopicity was expressed as g of absorbed moisture per 100 g of the sample ($\text{g } 100 \text{ g}^{-1}$).

The mean thickness (mm) required to calculate the cross-sectional area was determined using five measurements taken along the film with a digital micrometer (3103-25, Insize) with ± 0.002 mm precision. The mechanical properties were analyzed according to the methodology proposed by Costa et al. (2015). Tensile strength and percent elongation at break of the films were determined using a texture analyzer (QTS-25, Brookfield) and the software Texture Pro following the standard ASTM D-882 (1980) method. The film samples were cut into pieces 100 mm long and 25 mm wide. The initial distance between the grips and the test speed were set to 50 mm and 2 mm/s, respectively.

Scanning electron microscopy of the dehydrated products

Scanning electron microscopy (SEM) was carried out in a ZEISS (DSM 940 A, Oberkochen, Germany) scanning electron microscope at 80 mA and 5 kV. The samples were fixated to aluminum cylinders with double-sided tape and coated with a gold layer (Bal-Tec SCD 050).

Statistical analysis

The software Statistica 7.0® (Statsoft Inc., 2006, Tulsa, OK, USA) was used for the statistical analyses of the results. All values are expressed as mean \pm standard deviation ($n = 3$) and the results obtained were submitted to analysis of variance (ANOVA) using Tukey's test at 95% significance ($p < 0.05$).

Results and discussion

Composition total carotenoids and color parameters

The composition and color parameters of the samples, before and after the RW drying process are presented in Table 1. RW drying process reduced by approximately 89% the water present in the blends (11 g $\text{H}_2\text{O} \cdot 100 \text{ g}^{-1}$ dry matter) of different peach palm varieties and tucupi. Higher moisture values (17 g $\text{H}_2\text{O} \cdot 100 \text{ g}^{-1}$ dry matter) were observed by Caparino et al. (2012), when compared to the present study, for mango powders obtained by the refractance window drying process at $95 \pm 2^\circ \text{C}$ and for other types of dryers (freeze-drying, spray-dryer and drum dryer). However, Topuz et al. (2009) found lower moisture

Table 1 Parameters and properties of peach palm, tucupi, and their blends and edible films

Properties	<i>In natura</i>					Blends		
	Microcarpa	Mesocarpa	Macrocarpa	Tucupi	Microcarpa	Mesocarpa	Macrocarpa	
	Microcarpa	Mesocarpa	Macrocarpa	Tucupi	Microcarpa	Mesocarpa	Macrocarpa	
Component (g 100 g ⁻¹ dry base)								
Moisture	50.76 ± 0.23 ^c	52.76 ± 0.14 ^b	50.69 ± 0.14 ^c	96.13 ± 0.01 ^a	75.48 ± 0.33 ^c	79.37 ± 0.12 ^a	78.38 ± 0.17 ^b	
Lipids	11.18 ± 0.21 ^a	9.14 ± 0.21 ^b	4.54 ± 0.20 ^c	0.21 ± 0.04 ^d	10.16 ± 0.21 ^a	5.71 ± 0.22 ^b	4.60 ± 0.47 ^c	
Proteins	2.83 ± 0.03 ^a	2.54 ± 0.10 ^b	1.91 ± 0.07 ^c	0.31 ± 0.04 ^d	2.57 ± 0.01 ^b	2.87 ± 0.02 ^a	1.98 ± 0.10 ^c	
Ash	2.58 ± 0.12 ^{ab}	2.44 ± 0.30 ^b	2.79 ± 0.02 ^a	0.72 ± 0.08 ^d	2.42 ± 0.47 ^a	2.06 ± 0.15 ^b	2.71 ± 0.10 ^a	
Carbohydrates	33.96 ± 0.68 ^b	31.57 ± 0.48 ^c	39.52 ± 0.31 ^a	2.62 ± 0.05 ^d	9.37 ± 1.05 ^c	9.99 ± 0.81 ^b	12.33 ± 0.57 ^a	
Carotenoids (× 10 ⁻³)	5.70 ± 0.04 ^c	9.56 ± 0.09 ^a	7.98 ± 0.08 ^b	2.30 ± 0.04 ^d	5.43 ± 0.11 ^c	8.45 ± 0.02 ^a	7.47 ± 0.04 ^b	
Energy value (kcal)	242.52 ± 1.57 ^a	224.89 ± 2.44 ^b	208.77 ± 2.75 ^b	13.65 ± 0.49 ^c	138.62 ± 0.82 ^a	113.48 ± 1.26 ^b	90.30 ± 1.30 ^b	
Color parameters								
<i>L</i> *	72.93 ± 0.55 ^c	82.97 ± 0.79 ^b	88.76 ± 0.55 ^a	30.62 ± 0.70 ^d	80.06 ± 0.05 ^a	60.70 ± 0.53 ^c	79.22 ± 0.11 ^b	
<i>a</i> *	+13.58 ± 0.05 ^a	- 4.07 ± 0.22 ^b	- 5.35 ± 0.10 ^c	- 5.19 ± 0.26 ^c	- 4.15 ± 0.05 ^b	+ 14.77 ± 0.02 ^a	- 12.21 ± 0.15 ^c	
<i>b</i> *	+ 66.74 ± 0.40 ^a	+ 34.89 ± 0.59 ^b	+ 20.33 ± 0.86 ^c	+ 9.03 ± 0.38 ^d	+ 32.81 ± 0.06 ^b	+ 44.94 ± 0.07 ^c	+ 43.89 ± 0.34 ^a	
<i>C</i>	10.57 ± 0.06 ^a	4.70 ± 0.10 ^b	2.43 ± 0.12 ^c	10.42 ± 0.45 ^a	35.98 ± 0.05 ^b	28.12 ± 0.11 ^c	45.56 ± 0.35 ^a	
<i>H</i> ^o	78.50 ± 0.11 ^d	96.65 ± 0.45 ^c	104.67 ± 0.79 ^b	119.90 ± 0.35 ^a	105.55 ± 0.12 ^b	98.48 ± 0.12 ^c	114.23 ± 0.06 ^a	
ΔE	-	-	-	-	-	-	-	
Mechanical and technological properties								
HG (g H ₂ O absorbed/100 g dry matter)	-	-	-	-	-	-	-	
WAI (g H ₂ O/g dry matter)	-	-	-	-	-	-	-	
WSI (%)	-	-	-	-	-	-	-	
Thickness (mm)	-	-	-	-	-	-	-	
Tensile strength (10 ⁻² MPa)	-	-	-	-	-	-	-	
Elongation at break (%)	-	-	-	-	-	-	-	
Properties	Films							
	Microcarpa			Mesocarpa			Macrocarpa	
Component (g 100 g ⁻¹ dry base)								
Moisture		7.84 ± 0.12 ^b			8.44 ± 0.26 ^b		6.44 ± 0.26 ^c	
Lipids		10.23 ± 0.41 ^b			8.39 ± 0.29 ^c		4.50 ± 0.33 ^d	
Proteins		2.23 ± 0.04 ^a			2.11 ± 0.07 ^b		1.96 ± 0.21 ^b	
Ash		1.79 ± 0.20 ^a			1.76 ± 0.11 ^a		1.73 ± 0.10 ^a	
Carbohydrates		77.91 ± 0.51 ^a			78.80 ± 0.64 ^a		85.33 ± 0.33 ^a	
Carotenoids (× 10 ⁻³)		5.00 ± 0.16 ^c			7.70 ± 0.03 ^a		6.51 ± 0.04 ^b	
Energy value (kcal)		417.13 ± 1.85 ^a			410.66 ± 0.62 ^b		406.91 ± 1.95 ^c	

Table 1 continued

Properties	Films		
	Microcarpa	Mesocarpa	Macrocarpa
Color parameters			
<i>L</i> *	69.26 ± 0.26 ^a	56.33 ± 0.58 ^b	51.73 ± 0.27 ^c
<i>a</i> *	- 10.43 ± 0.02 ^b	+ 3.20 ± 0.06 ^a	- 19.87 ± 0.04 ^c
<i>b</i> *	+ 36.84 ± 0.37 ^b	+ 18.69 ± 0.03 ^c	+ 43.76 ± 0.21 ^a
<i>C</i>	36.87 ± 0.36 ^b	18.96 ± 0.04 ^c	48.06 ± 0.18 ^a
<i>H</i> ^o	92.17 ± 0.11 ^b	80.28 ± 0.17 ^c	135.26 ± 1.48 ^a
ΔE	11.30 ± 0.68 ^c	21.15 ± 0.49 ^a	15.38 ± 0.06 ^b
Mechanical and technological properties			
HG (g H ₂ O absorbed/100 g dry matter)	7.32 ± 0.41 ^b	8.73 ± 0.15 ^a	8.94 ± 0.57 ^a
WAI (g H ₂ O/g dry matter)	5.01 ± 0.02 ^b	5.28 ± 0.01 ^a	5.20 ± 0.02 ^a
WSI (%)	3.15 ± 0.65 ^b	7.54 ± 0.02 ^a	7.28 ± 0.54 ^a
Thickness (mm)	0.21 ± 0.05 ^a	0.20 ± 0.03 ^a	0.21 ± 0.04 ^a
Tensile strength (10 ⁻² MPa)	8.19 ± 0.03 ^a	7.86 ± 0.03 ^a	6.32 ± 0.04 ^a
Elongation at break (%)	7.04 ± 2.00 ^a	4.76 ± 1.97 ^a	6.60 ± 0.94 ^a

Mean values (mean ± standard deviation), n = 3

HG hygroscopicity, WAI water absorption index, WSI water solubility index

Different letters in the same column indicate significant difference (*p* < 0.05)

values ($4.76 \text{ g H}_2\text{O}\cdot 100 \text{ g}^{-1}$ dry matter) when studying the RW drying of paprika (*Capsicum annuum* L.).

The RW drying process reduced 7.9, 8.9 and 11.5% of total carotenoids of micro, meso and macrocarpa dehydrated products when compared to their blends. Behavior that can also be observed by Abonyi et al. (2002) the β -carotene content in carrots, after drying by refractance window, was reduced by only 9.9% when compared with the values of β -carotene for in natura carrots. Within a drying process, the cumulative time–temperature effect determines the total loss of carotene. According to Rodriguez-Amaya (2001), carotenoids are relatively stable to heat processing, but high temperatures may cause changes in their chemical structures.

The dehydrated product had lower luminosity (Table 1) compared to the standard sample (blends) likely due to the temperature and extended exposure times during the drying process. However, for the microcarpa dehydrated product the dimming reaction was smaller, providing a better color to the films. Studies on color parameters are extremely important, since the first contact of the consumer with a product is through visual presentation, where color and appearance stand out (Ferreira et al. 2000).

Since yellow colour was the dominant color in peach palm pulp, parameter b^* on the Hunter scale was appropriate to distinguish changes in color caused by the drying process. However, according to Abonyi et al. (2002) the degradation of carotenes during drying will inevitably alter the color perception of dry products. Values of b^* were mostly caused by the presence of carotenoids with yellow hue since these were the main pigments found in peach palm (Roja-Gardanzo et al. 2011).

The values of a^* were negative and far from zero for all dehydrated products, indicating the presence of characteristic red tones. According to Pelissari et al. (2013), the yellowish color of flour-based films may be related to the presence of proteins in the polymer matrix. According to Caparino et al. (2012) the high values of b^* found for the samples of dried mangoes by refractance window can be indicative of retention of β -carotene. Wagner and Warthesen (1995) also reported that the yellow and red color of the carrot slices may be attributed to the presence of carotenoids. The values obtained show the drying process caused no significant changes in the product characteristics, showing variations in ΔE similar to those reported by some authors, such as Nindo et al. (2003) and Ocoró-Zamora and Ayala-Aponte (2013), when studying RW drying of asparagus paste and papaya, respectively.

Technological and mechanical properties

The experimental data of the mechanical and technological properties of the product are described in Table 1. The

peach palm samples used showed potential for the formation of edible films by RW. The resulting films have homogeneous thickness, with no significant difference among them, i.e., the values reached in the study are the result of strict control of the blends applied onto the Mylar film. The type of formulation did not affect this characteristic of the films since the percentage of solids was kept constant in the different formulations, leading to the addition of the same amount of solids to the RW dryer.

The films have good visual appearance with bright yellowish coloration, which, according to Andrade et al. (2016), was likely due to the content of carotenoids found in peach palm, used as raw material (Table 1).

Dehydrated products hygroscopicity (HG) (Table 1) ranged from 7.32 to $8.94 \text{ g H}_2\text{O absorbed}\cdot 100 \text{ g}^{-1}$ dry matter. The hygroscopicity value of the dehydrated product prepared with microcarpa peach palm was significantly lower (Tukey's test, $p < 0.05$) than the others. According to Tontul et al. (2018), hygroscopicity may be related to the porosity of the product or to the vitreous state of the sugars present. Therefore, the low values of HG may be associated to the porosity of the macrocarpa film, a behavior that be observed through scanning electron micrographs, where the films presented a more open structure and nonhomogeneous surface (Fig. 2).

The hygroscopicity values were lower than those obtained by Caparino et al. (2012) when studying the effect of different drying methods on the physical and microstructural properties of mango (*Philippine 'Carabao' var.*) when stored at 75% relative humidity. The hygroscopicity of a food was linked to its physical, chemical, and microbiological stability and, therefore, it was important to know the hygroscopic behavior of such products.

The water solubility of the microcarpa dehydrated products was relatively low in comparison with the other films (Table 1). This specific structure was associated with the composition of peach palm and with the film formation technique employed in this study. According to Pelissari et al. (2013), these results were consequence of the high level of cohesion within the matrix, which results in a compact structure.

The mesocarpa and macrocarpa dehydrated products had low WAI (water absorption index) values, which suggests that water binds poorly with the film. Another component that may have influenced the low WAI values was the lipid content as absorption reflects the water absorption and retention capacity and depends on the exposure of hydrophilic and/or hydrophobic groups of the molecules of a specific sample (Debeaufort et al. 2000; Yang and Paulson 2000; Andrade et al. 2016).

Several authors have compared the solubility of starch-based films from other botanical sources and observed this property is associated with the type of raw material used to

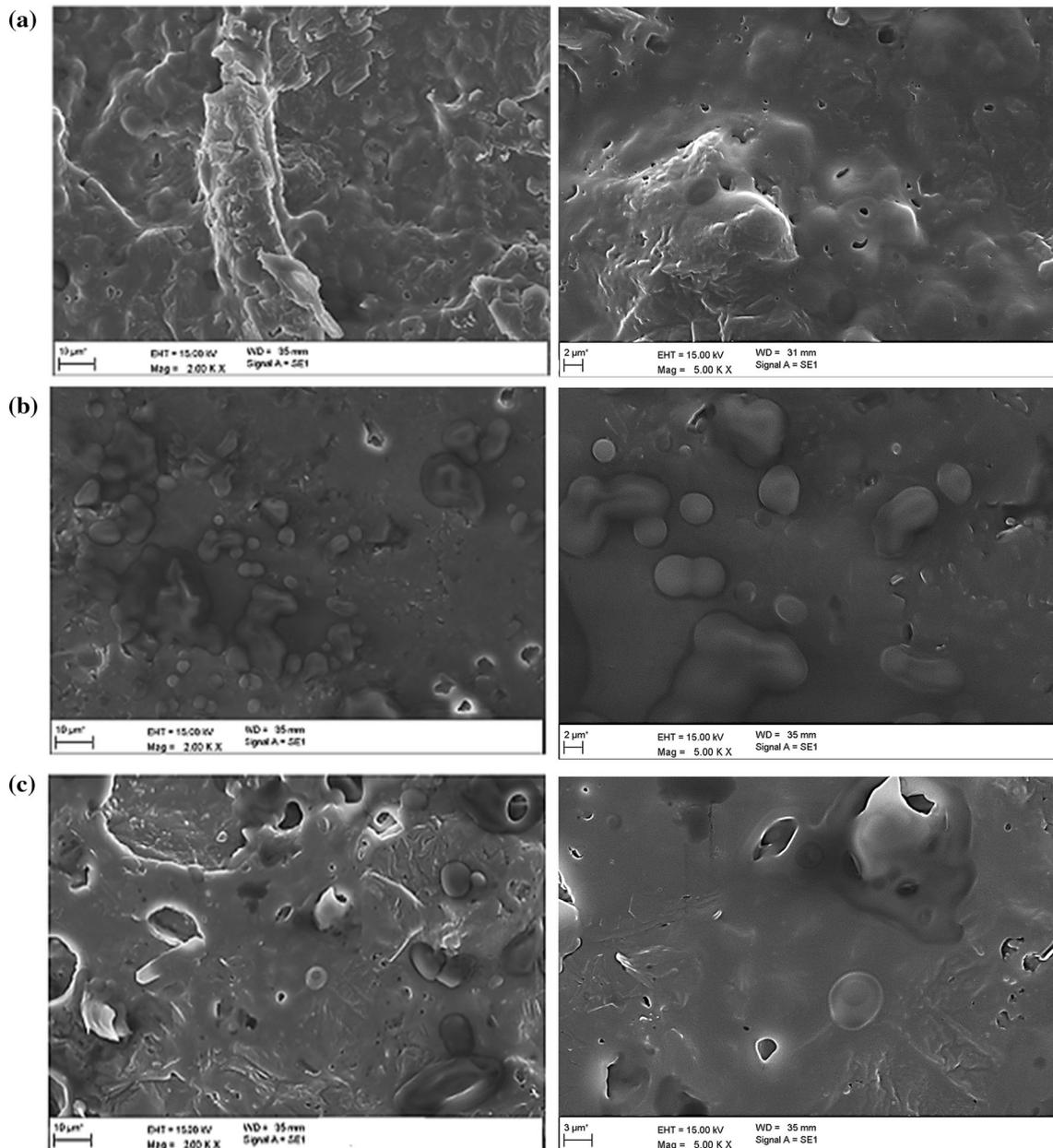


Fig. 2 Scanning electron micrographs of different peach palm films: **a** microcarpa **b** mesocarpa and **c** macrocarpa at $\times 2.00$ k and $\times 5.00$ k magnification, respectively

form the polymer matrix, the type of interactions that occur in the matrix, the use of plasticizers, and the processing conditions, among other factors. The desired solubility value of a film will depend on its application or intended use. Thus, the peach palm films may act as protection of foods with high water activity or may prevent exudation of fresh or frozen products (Pelissari et al. 2013).

No significant difference was found regarding the tensile strength or percent elongation at break of the dehydrated products, which can be justified by the high starch content (approximately $35\text{--}54$ g starch $\cdot 100$ g $^{-1}$ peach palm) found

in peach palm and the low moisture of the films (Table 1), since moisture plays an important plasticizer role by reducing the mechanical strength and increasing the flexibility of biopolymer films (Delville et al. 2002; Godbillot et al. 2006).

Microcarpa, mesocarpa, and macrocarpa dehydrated products had lower values of tensile strength than those found by Pelissari et al. (2013) for films made with banana flour, indicating that the peach palm films are more flexible. These results confirm that the protein and lipid contents (Table 1) in the peach palm films may contribute to

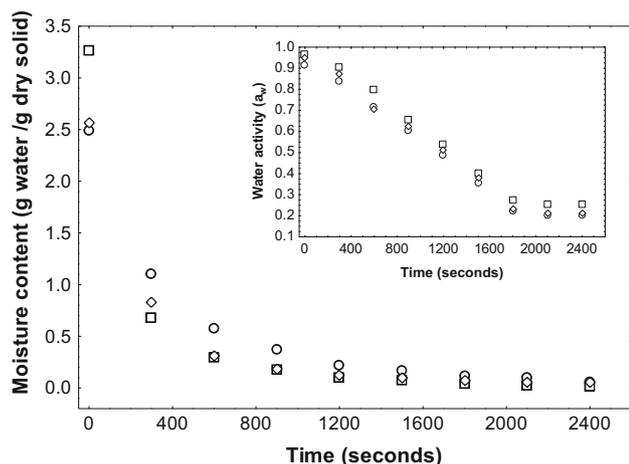


Fig. 3 Moisture and water activity curves during the refractance window drying process of different blends of peach palm varieties and tucupi at 70 °C. (Circle) microcarpa, (square) mesocarpa, and (diamond), macrocarpa

the plasticizer effect and that protein does not contribute to the formation of a stronger mesh in this case.

Morphological properties

SEM images are presented in Fig. 2 and the morphology of the external surfaces of the dehydrated products was assessed. The microstructure of all dehydrated products was non-homogenous, i.e., a less smooth surface with imperfections. According to Pelissari et al. (2013), the unevenness of peach palm dehydrated products may be related to the presence of more than one macromolecule in the polymer matrix (starch, proteins, lipids, and fibers), as well as the interaction among those components, such as protein–starch, starch–cellulose (fibers), and the more stable complexes such as amylose–lipids. Although the protein and lipid contents are lower than 5% (Table 1), they play an important role in the final structure of films. Some particles of different shapes and sizes can also be observed, such as non-gellified or partially gellified starch granules. An analysis of the SEM images shows the internal structure of these starch granules change. However, even after drying at 70 °C, some starch granules can still be observed, which suggests they are resistant to the temperature applied.

Moisture and water activity curves

The initial moisture contents of the blends were 2.49, 2.56, and 3.27 g water·g⁻¹ dry solid for the microcarpa, mesocarpa, and macrocarpa peach palm varieties, respectively (Fig. 3). This moisture content quickly decreased. The mesocarpa and microcarpa samples reached 0.04 and

0.07 g water·g⁻¹ dry solid, whereas the macrocarpa blend reached 0.12 g water·g⁻¹ dry solids, respectively, within 1800s. The moisture content of the different samples was constant during drying. This behavior can be explained by the high initial moisture value of the blends (79%, wet basis) and their small thicknesses (0.5 mm). According to Zotarelli et al. (2015), water vapor pressure on the sample surface is close to the saturation pressure during the drying process and the internal resistance to mass transfer is insignificant (due to the small thickness). If the external conditions do not impact the drying rate (convection drying is insignificant), it can be stated that the RW drying process occurs through classical evaporation and is controlled by heat transfer from the circulating water. Similar results were observed during RW drying of mango (Ochoa-Martínez et al. 2012).

The mean initial water activity was 0.92 and, by the end of the RW drying process, the value was approximately 0.25. It can be seen that the different peach palm varieties did not significantly impact the water activity values. These results indicate restriction to the growth of pathogenic microorganisms such as fungi, yeasts, and bacteria, which is characteristic of highly shelf-stable foods (Labuza and Ball, 2000).

Conclusion

The results found in the present study indicate that the drying process by the RW is a viable alternative for the production of dehydrated products from peach palm and tucupi with superior technological qualities. These products present a good source of carbohydrates, carotenoids retention, in addition to similar characteristics to those films obtained from traditional drying methods. The process of drying by RW did not require the addition of components with plasticizing properties; instead, the components of the raw materials themselves were valued. Like this, the main advantage of the RW process is that the resulting products from drying can be consumed immediately and therefore do not generate waste to the environment. According to the properties found and depending on the characteristics of each variety of peach palm, the product can be applied for the purpose of component separator, as in pizzas, in which the mass has low humidity and the cover has high humidity; replace the algae in sushi; like snacks; to protect food with high water activity; or to prevent the exudation of fresh or frozen products. Therefore, RW allows obtaining films and flakes at relatively low processing temperatures, with reasonable costs.

Acknowledgements The authors thank PROPESP/UFGA (Provost's Office for Research and Graduate Studies of the Federal University of

Pará), CNPq (National Research and Development Council, processes 308021/2015-0 and 477013/2013- 282 9), and CAPES (Coordination for the Improvement of Higher Education Personnel).

References

- Abonyi BI, Feng H, Tang J, Edwards CG, Chew BP, Mattinson DS, Fellman JK (2002) Quality retention in strawberry and carrot purees dried with Refractance Window system. *J Food Sci* 67:1052–1056
- Anderson RA, Conway HF, Pfeifer VF, Griffin Junior, EL (1969) Gelatinization of corn grits by roll-and extrusion-cooking. *Cereal Sci Today* 14(1):4–12
- Andrade RMS, Ferreira MSL, Gonçalves ECBA (2016) Development and characterization of edible films based on fruit and vegetable residues. *J Food Sci* 81:412–418
- A.O.A.C (1997) Official methods of analysis, 16th edn. Association of Official Analytical Chemists, Gaithersburg
- ASTM (1980) Standard test methods for tensile properties of thin plastic sheeting, D 882-83. Annual book of ASTM standards. American Society for Testing and Materials, Conshohocken
- Bakshi MS, Kaur H, Khullar P, Banipal TS, Singh N, Kaur G (2010) Biomineralization of gold nanoparticles by lysozyme and cytochrome c and their applications in protein film formation. *Langmuir* 26:13535–13544
- Bakshi MS, Kaur H, Khullar P, Banipal TS, Kaur G, Singh N (2011) Protein films of bovine serum albumen conjugated gold nanoparticles: a synthetic route from bioconjugated nanoparticles to biodegradable protein films. *J Phys Chem C* 115:2982–2992
- BRASIL. Ministério da saúde, Agência Nacional de Vigilância Sanitária (ANVISA), Resolução RDC nº12 de 2 de janeiro de 2003. Regulamento Técnico sobre os padrões microbiológicos para alimentos. Diário Oficial. Brasília, DF
- Cai YZ, Corke H (2000) Production and properties of spray-dried *Amaranthus* betacyanin pigments. *J Food Sci* 65:1248–1252
- Caparino OA, Tang J, Nindo CI, Sablani SS, Powers JQ, Fellman JK (2012) Effect of drying methods on the physical properties and microstructures of mango (Philippine ‘Carabao’ var.) powder. *J Food Eng* 111:135–148
- Carvalho JEU, De Nascimento WMO, Müller CH (2010) Abieiro. Jaboticabal Funep. SBF, 33. (Native Fruits Series, 5). <http://www.bdpa.cnpqia.embrapa.br/consulta/busca?b=ad%26id=853137%26biblioteca=CNPMF>. Accessed 25 June 2016
- Chisté RC, Cohen KO (2011) Total and free cyanide content in the processing stages of tucupí. *Adolfo Lutz Inst Mag* 70:41–46
- Clement JC, Weber C, Van Leeuwen DM, Astorga LA, Cole HA, Aguello H (2004) Why extensive research and development did not promote use of peach palm fruit in Latin America. *Agrofor Syst* 61:195–206
- Costa MJ, Cerqueira MA, Ruiz HA, Fougnyes C, Richel A, Vicente A, Texeira JA, Aguedo M (2015) Use of wheat bran arabinoxylans in chitosan-based films: effect on physicochemical properties. *Ind Crops Prod* 66:305–311
- Debeaufort F, Quezada-Gallo JA, Delporte B, Voilley A (2000) Lipid hydrophobicity and physical state effects on the properties of bilayer edible films. *J Memb Sci* 180 (1):47–55
- Dehghani S, Hosseini SV, Regenstein JM (2018) Edible films and coatings in seafood preservation: a review. *Food Chem* 240:505–513
- Delville J, Joly C, Dole P, Bliard C (2002) Solid state photocrosslinked starch based films: a new family of homogeneous modified starches. *Carbohydr Polym* 49:71–81
- Ferreira VLP, Almeida TCA, Pettinelli MLCV, Silva MAAP, Chaves JBP, Barbosa EMM (2000) Análise sensorial: testes discriminativos e afetivos. Manual: série qualidade. SBCTA, Campinas
- Godbillot L, Dole P, Joly C, Rogé B, Mathlouthi M (2006) Analysis of water binding in starch plasticized films. *Food Chem* 96:380–386
- Godoy HT, Rodriguez-Amaya DB (1994) Occurrence of cis-Isomers of Provitamin A in Brazilian Fruits. *J Agric Food Chem* 42:1306–1313
- Kaur H, Banipal TS, Thakur S, Bakshi MS, Kaur G, Singh N (2013) Novel biodegradable films with extraordinary tensile strength and flexibility provided by nanoparticles. *ACS Sustain Chem Eng* 1:127–136
- Labuza TP, Ball LN (2000) Moisture sorption: Practical aspects of isotherm measurement and use, 2nd edn. American Association of Cereal Chemists Press, Saint Paul
- Melo Neto BA, Fernandes BS, Fornari Junior CCM, Franco M, Bonomo RCF, Almeida PFA, Valverde K (2017) PontesThermal-morphological characterisation of starch from peach-palm (*Bactris Gasipaes* Kunth) fruit (Pejibaye). *Int J Food Prop* 20(5):1007–1015
- Moraes JO, Scheibe AS, Augusto B, Carciofi M, Laurindo JB (2015) Conductive drying of starch–fiber films prepared by tape casting: drying rates and film properties. *LWT Food Sci Technol* 64:356–366
- Mora-Urpi J, Weber JC, Clement CR (1997) Peach palm. *Bactris gasipaes* Kunth. Promoting the conservation and use of underutilized and neglected crops, vol 20. Institute of Plant Genetics and Crop Plant Research, Gatersleben/International Plant Genetic Resources Institute, Rome, p 83
- Nindo CI, Tang J (2007) Refractance Window dehydration technology: a novel contact drying method. *Dry Technol* 25:37–48
- Nindo CI, Sun T, Wang SW, Tang J, Powers JR (2003) Evaluation of drying technologies for retention of physical quality and antioxidants in asparagus (*Asparagus officinalis*, L.). *LWT Food Sci Technol* 36:507–516
- Ochoa-Martínez CI, Quintero PT, Ayala AA, Ortiz MJ (2012) Drying characteristics of mango slices using the Refractance Window technique. *J Food Eng* 109:69–75
- Ocoró-Zamora MU, Ayala-Aponte AA (2013) Influence of thickness on the drying of papaya puree (*Carica papaya* L.) through Refractance Window technology. *Dyna*80(182):147–154
- Pelissari FM, Andrade-Mahecha MM, Sobral JA, Menegalli FC (2013) Comparative study on the properties of flour and starch films of plantain bananas (*Musa paradisiaca*). *Food Hydrocoll* 30:681–690
- Rodriguez-Amaya DB (2001) A guide to carotenoid analysis in foods. ISLI Press, Washington
- Rojas-Garbanzo C, Pérez AM, Bustos-Carmona J, Vaillant F (2011) Identification and quantification of carotenoids by HPLC-DAD during the process of peach palm (*Bactris gasipaes* H.B.K.) flour. *Food Res Int* 44:2377–2384
- Tontul I, Eroğlu FEE, Küçükçetin A, Topuz A (2018) Physical and microbiological properties of yoghurt powder produced by refractance window drying. *Int Dairy J* 85:169–176
- Topuz A, Feng H, Kushad M (2009) The effects of drying method and storage on colour characteristics of paprika. *LWT Food Sci Technol* 42:1667–1673
- Valencia GA, Moraes ICF, Lourenço RV, Bittante AMQB, Sobral PJDA (2015) Physicochemical, morphological, and functional properties of flour and starch from peach palm (*Bactris gasipaes* K.) fruit. *The Star*. 67:163–173
- Wagner LA, Warthesen JJ (1995) Stability of spray-dried encapsulated carrot carotenes. *J Food Sci* 60:1048–1053

- Yang L, Paulson, AT (2000) Effects of lipids on mechanical and moisture barrier properties of edible gellan film. *Food Res Int* 33(7):571–578
- Yuyama LKO (2011) *Uso de frutos da pupunheira para alimentação humana*. Instituto Nacional de Pesquisas da Amazônia – INPA, Manaus
- Zotarelli MF, Carciofi BAM, Laurindo JB (2015) Effect of process variables on the drying rate of mango pulp by Refractance Window. *Food Res Int* 69:410–417