

INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E TECNOLOGIA
GOIANO - CAMPUS RIO VERDE
PRÓ-REITORIA DE PESQUISA, PÓS-GRADUAÇÃO E INOVAÇÃO
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM TECNOLOGIA DE ALIMENTOS

**CARACTERÍSTICAS TECNOLÓGICAS E
APLICABILIDADE DE EMBALAGENS
BIODEGRADÁVEIS DE PECTINA DO MESOCARPO DO
PEQUI NA CONSERVAÇÃO DE CENOURAS
MINIMAMENTE PROCESSADAS**

Autora: Rafaela Anunciação Siqueira
Orientadora: Prof^a. Dr^a. Geovana Rocha Plácido

RIO VERDE - GO

agosto-2019

INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E TECNOLOGIA
GOIANO - CAMPUS RIO VERDE
PRÓ-REITORIA DE PESQUISA, PÓS-GRADUAÇÃO E INOVAÇÃO
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM TECNOLOGIA DE ALIMENTOS

**CARACTERÍSTICAS TECNOLÓGICAS E
APLICABILIDADE DE EMBALAGENS
BIODEGRADÁVEIS DE PECTINA DO MESOCARPO DO
PEQUI NA CONSERVAÇÃO DE CENOURAS
MINIMAMENTE PROCESSADAS**

Autora: Rafaela Anunciação Siqueira
Orientadora: Prof^a. Dr^a. Geovana Rocha Plácido
Coorientador: Prof. Dr. Celso Martins Belisário

Dissertação apresentada como parte das exigências para a obtenção do título de mestre no Programa de Pós-Graduação – *Stricto sensu* em Tecnologia de Alimentos do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia Goiano – Campus Rio Verde - Área de Concentração: Tecnologia e Processamento de Alimentos.

Rio Verde - GO

agosto – 2019

Sistema desenvolvido pelo ICMC/USP
Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)
Sistema Integrado de Bibliotecas - Instituto Federal Goiano

S618c Siqueira, Rafaela
CARACTERÍSTICAS TECNOLÓGICAS E APLICABILIDADE DE
EMBALAGENS BIODEGRADÁVEIS DE PECTINA DO MESOCARPO DO
PEQUI NA CONSERVAÇÃO DE CENOURAS MINIMAMENTE
PROCESSADAS / Rafaela Siqueira; orientadora Geovana
Rocha Plácido Rocha Plácido. -- Rio Verde, 2019.
106 p.

Dissertação (em Pós Graduação em Tecnologia de
Alimentos) -- Instituto Federal Goiano, Campus Rio
Verde, 2019.

1. Biodegradabilidade. 2. Caryocar brasiliense.
3. permeabilidade. 4. resíduo. 5. biofilmes,. I.
Rocha Plácido, Geovana Rocha Plácido, orient. II.
Título.

TERMO DE CIÊNCIA E DE AUTORIZAÇÃO PARA DISPONIBILIZAR PRODUÇÕES TÉCNICO-CIENTÍFICAS NO REPOSITÓRIO INSTITUCIONAL DO IF GOIANO

Com base no disposto na Lei Federal nº 9.610/98, AUTORIZO o Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia Goiano, a disponibilizar gratuitamente o documento no Repositório Institucional do IF Goiano (RIIF Goiano), sem ressarcimento de direitos autorais, conforme permissão assinada abaixo, em formato digital para fins de leitura, download e impressão, a título de divulgação da produção técnico-científica no IF Goiano.

Identificação da Produção Técnico-Científica

- | | |
|--|---|
| <input type="checkbox"/> Tese | <input type="checkbox"/> Artigo Científico |
| <input checked="" type="checkbox"/> Dissertação | <input type="checkbox"/> Capítulo de Livro |
| <input type="checkbox"/> Monografia - Especialização | <input type="checkbox"/> Livro |
| <input type="checkbox"/> TCC - Graduação | <input type="checkbox"/> Trabalho Apresentado em Evento |
| <input type="checkbox"/> Produto Técnico e Educacional - Tipo: _____ | |

Nome Completo do Autor: Rafaela Anunciação Siqueira

Matrícula: 2017202330740145

Título do Trabalho: Características tecnológicas e aplicabilidade de embalagens biodegradáveis de pectina do mesocarpo do pequi na conservação de cenouras minimamente processadas.

Restrições de Acesso ao Documento

Documento confidencial: Não Sim, justifique: _____

Informe a data que poderá ser disponibilizado no RIIF Goiano: 30/11/19

O documento está sujeito a registro de patente? Sim Não

O documento pode vir a ser publicado como livro? Sim Não

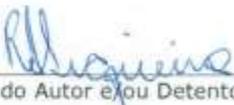
DECLARAÇÃO DE DISTRIBUIÇÃO NÃO-EXCLUSIVA

O/A referido/a autor/a declara que:

- o documento é seu trabalho original, detém os direitos autorais da produção técnico-científica e não infringe os direitos de qualquer outra pessoa ou entidade;
- obteve autorização de quaisquer materiais inclusos no documento do qual não detém os direitos de autor/a, para conceder ao Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia Goiano os direitos requeridos e que este material cujos direitos autorais são de terceiros, estão claramente identificados e reconhecidos no texto ou conteúdo do documento entregue;
- cumpriu quaisquer obrigações exigidas por contrato ou acordo, caso o documento entregue seja baseado em trabalho financiado ou apoiado por outra instituição que não o Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia Goiano.

Rio Verde, 23/10/2019.

Local Data



 Assinatura do Autor e/ou Detentor dos Direitos Autorais

Ciente e de acordo:



 Assinatura do(a) orientador(a)

INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E TECNOLOGIA
GOIANO – CAMPUS RIO VERDE
DIRETORIA DE PESQUISA E PÓS-GRADUAÇÃO
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM TECNOLOGIA DE ALIMENTOS

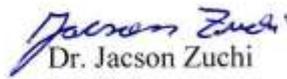
**CARACTERÍSTICAS TECNOLÓGICAS E
APLICABILIDADE DE EMBALAGENS
BIODEGRADÁVEIS DE PECTINA DO MESOCARPO DE
PEQUI NA CONSERVAÇÃO DE CENOURAS
MINIMAMENTE PROCESSADAS**

Autora: Rafaela Anunciação Siqueira
Orientadora: Geovana Rocha Plácido

TITULAÇÃO: Mestre em Tecnologia de Alimentos – Área de Concentração em
Tecnologia e Processamento de Alimentos.

APROVADA em 28 de agosto de 2019.


Dr. Marco Antônio Pereira da Silva
Avaliador interno
IF Goiano/Rio Verde


Dr. Jacson Zuchi
Avaliador externo
IF Goiano/Rio Verde


Dr. Geovana Rocha Plácido
Presidente da banca
IF Goiano/Rio Verde

AGRADECIMENTOS

Gostaria de agradecer a Deus, por me abençoar sempre a cada alegria e desafio.

A minha família, os meus pais Inês Marina da Anunciação Siqueira e Fernando Marcelo Siqueira, pelo apoio diário, sempre com muito amor e carinho, pelas refeições a mesa e o pelo café diário, pela preocupação com a minha educação e meu crescimento pessoal e profissional. As minhas irmãs Gabriela e Daniela, por estarem sempre ao meu lado e me apoiarem.

A minha amiga e orientadora, Geovana Rocha Plácido, que acreditou e confiou em mim desde o primeiro momento em que falamos e hoje tenho o prazer de tê-la como amiga. Agradeço pela competência e dedicação ao trabalho, pelas horas de estudos, pelos espetinhos ao final dos trabalhos e pela Dudinha que sempre esteve junto conosco. Agradeço ainda ao meu coorientador, Celso Belisário, por aceitar fazer parte deste projeto.

As amigas do coração Adrielle Marques e Francislaine Barroso, que muito me incentivaram e ajudaram no início do mestrado. Aos amigos do laboratório, em especial ao July e Glaydson, que me ajudaram no dia a dia para o desenvolvimento dos trabalhos e aos amigos que fiz durante este mestrado, que fizeram os obstáculos mais fáceis de serem superados, como a Danusa, a Núbia, que me mostraram superação diante de cada dificuldade, e a todas as amigas companheiras de laboratório, de dúvidas, de descontrações e alegrias. Aos demais amigos, pela motivação e pelos momentos de descontração. Aos colaboradores da Rinco que sempre me apoiaram e compreenderam as minhas ausências durante os estudos.

Aos laboratórios LABMULTI (Laboratório de Multiusuário) e LABMIC (Laboratório de Microscopia) da Universidade Federal de Goiás e ao CRTI (Centro Regional para o Desenvolvimento Tecnológico e Inovação), ao Laboratório de Pós-

Colheita de Produtos Vegetais (IF Goiano – Rio Verde-GO), onde parte das análises foram realizadas.

Ao Instituto Federal Goiano – Campus Rio Verde e ao Programa de Pós-Graduação em Tecnologia de Alimentos, por proporcionarem a oportunidade de me especializar, a FAPEG, pelo incentivo financeiro concedido como bolsa de mestrado, que foi fundamental para a realização desse estudo e a CAPES (Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior), que muito contribui para o desenvolvimento da pesquisa brasileira.

BIOGRAFIA DO AUTOR

Rafaela Anunciação Siqueira nasceu em São Paulo, Estado de São Paulo, no dia 14 de abril de 1993. Filha de Fernando Marcelo Siqueira e Inês Marina da Anunciação Siqueira, morou no Sul do Estado e Minas Gerais e aos doze anos se mudou para Rio Verde-Goiás. No ensino médio cursou o curso técnico em agroindústria na antiga Escola Agrotécnica Federal de Rio Verde-GO, atualmente denominada Instituto Federal Goiano de onde tirou todo amor pela tecnologia de alimentos. Graduou-se em Engenharia de Alimentos na Universidade de Barretos-UNIFEB e retornou a Rio Verde para realização do estágio obrigatório. Após a conclusão do curso trabalhou como supervisora de produção em uma indústria de alimentos cárneos e em seguida trabalhou em uma indústria de refrigerantes onde desempenha a função de Engenheira de Alimentos até o momento. Em 2017, ao conhecer o Programa de Pós-Graduação em Tecnologia de Alimentos, em nível de mestrado, do Instituto Federal Goiano, Campus Rio Verde se interessou na oportunidade de expandir seus conhecimentos e ampliar suas oportunidades profissionais através da docência. Foi então admitida no Programa, no segundo semestre de 2017, para executar o projeto de desenvolvimento de filmes biodegradáveis para aplicação como embalagem de alimentos minimamente processados, juntamente com a professora e orientadora Dra. Geovana Rocha Plácido o qual foi concluído em 28 de agosto de 2019.

ÍNDICE

	Página
1. INTRODUÇÃO.....	21
2. REVISÃO DE BIBLIOGRÁFICA.....	23
2.1. PEQUI.....	23
2.2. EMBALAGENS.....	24
2.3. FILMES BIODEGRADÁVEIS.....	25
2.3.1. Matéria-Prima para Filmes Biodegradáveis.....	26
2.3.2. Pectina.....	26
2.4. CARACTERÍSTICAS DOS FILMES BIODEGRADÁVEIS.....	29
2.5. PRESERVAÇÃO PÓS-COLHEITA DE VEGETAIS.....	30
2.6. ALIMENTOS MINIMAMENTE PROCESSADOS.....	31
2.6.1. Cenoura.....	31
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	32
3. OBJETIVOS.....	38
3.1. GERAL.....	38
3.2. ESPECÍFICOS.....	38
4. CAPÍTULO I – CARACTERÍSTICAS TECNOLÓGICAS DE FILMES BIODEGRADÁVEIS DE PECTINA EXTRAÍDA DO MESOCARPO DO PEQUI.....	39
4.1. INTRODUÇÃO.....	41
4.2. MATERIAL E MÉTODOS.....	42

4.2.1. Obtenção da Matéria-Prima.....	42
4.2.2. Extração da Pectina do Mesocarpo do Pequi.....	42
4.2.3. Rendimento da Pectina do Mesocarpo do Pequi.....	43
4.2.4. Espectrofotometria por Infravermelho (FT-IR).....	44
4.2.5. Determinação do Grau de Esterificação.....	44
4.2.6. Processo de Confeção dos Filmes.....	45
4.2.7. Caracterização dos Filmes.....	46
4.2.7.1. Espessura.....	46
4.2.7.2. Gramatura.....	46
4.2.7.3. Umidade.....	46
4.2.7.4. pH.....	46
4.2.7.5. Atividade de água (Aw).....	47
4.2.7.6. Determinação de Cor e Opacidade.....	47
4.2.7.7. Propriedades Mecânicas.....	47
4.2.7.8. Permeabilidade ao Vapor de Água.....	48
4.2.7.9. Solubilidade em Água.....	49
4.2.7.10. Espectrofotometria por Infravermelho (FT-IR).....	50
4.2.7.11. Microscopia Eletrônica de Varredura (MEV).....	51
4.2.7.12. Calorimetria Diferencial de Varredura (DSC).....	51
4.2.7.13. Biodegradabilidade.....	52
4.2.7.14. Análise Estatística.....	52
4.3 RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	52
4.3.1. Rendimento da Pectina do Mesocarpo do Pequi e Grau de Esterificação.....	53
4.3.2. Espectrofotometria por Infravermelho.....	54
4.3.3. Produção dos Filmes Biodegradáveis.....	55
4.3.4. Caracterização dos Filmes Biodegradáveis.....	55
4.3.4.1. Espessura, Gramatura, Umidade, Atividade de água e pH	55
4.3.4.2. Determinação de Cor e Opacidade.....	57
4.3.4.3. Propriedades Mecânicas.....	60
4.3.4.4. Permeabilidade ao Vapor de Água (PVA) e Solubilidade em Água.....	61
4.3.4.5. Espectrofotometria por Infravermelho por Transformada de Fourier (FITR).....	64
4.3.4.6. Microscopia Eletrônica de Varredura (MEV).....	65

4.3.4.7. Calorimetria Diferencial de Varredura (DSC).....	67
4.3.4.8. Biodegradabilidade.....	68
4.4. CONCLUSÃO.....	70
4.5. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	71
5. 5. CAPÍTULO II - AVALIAÇÃO PÓS COLHEITA DE CENOURAS ACONDICIONADAS EM EMBALAGENS BIODEGRADÁVEIS DE PECTINA DE MESOCARPO DE PEQUI.....	80
5.1. INTRODUÇÃO.....	82
5.2. MATERIAL E MÉTODOS.....	83
5.2.1 Coleta das Cenouras.....	83
5.2.2. Preparo das Cenouras Minimamente Processadas.....	83
5.2.3. Elaboração dos filmes para as embalagens biodegradáveis.....	84
5.2.4. Acondicionamento das Cenouras nas Embalagens.....	84
5.2.5. Análises Realizadas das Cenouras Minimamente Processadas.....	85
5.2.5.1. Perda de Massa.....	85
5.2.5.2. Cor.....	85
5.2.5.3. Umidade.....	86
5.2.5.4. Acidez Titulável, pH e Sólidos Solúveis.....	86
5.2.5.5. Perfil de Textura.....	86
5.2.5.6. Análise Estatística.....	87
5.3 RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	87
5.1.1. Aplicação dos Filmes como Embalagem de Cenoura Minimamente Processada.....	87
5.1.2. Análises Realizadas das Cenouras Minimamente Processadas.....	88
5.1.2.1. Perda de Massa.....	88
5.1.2.2. Cor.....	90
5.1.2.3. Umidade.....	94
5.1.2.4. Acidez Titulável.....	95
5.1.2.5. pH.....	96
5.1.2.6. Sólidos Solúveis.....	98

5.1.2.7. Textura.....	99
5.4. CONCLUSÃO.....	101
5.5. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	101
CONCLUSÃO GERAL.....	105

SIGLAS, ABREVIACOES E UNIDADES

PMP	Pectina do mesocarpo do pequi
PCC	Pectina cítrica comercial
PVA	Permeabilidade ao vapor de água
Aw	Atividade de água
RS	Resistência à tração
ME	Módulo de elasticidade
E	Elongamento até a ruptura
FT-IR	Espectrofotometria por infravermelho
MEV	Microscopia eletrônica de varredura
DSC	Calorimetria diferencial de varredura
AT	Acidez titulável
SST	Sólidos solúveis totais

LISTA DE TABELAS

Página

CAPÍTULO 1

Tabela 1. Rendimentos e grau de esterificação das pectinas em diferentes condições de extração.....	53
Tabela 2. Médias \pm Desvio padrão dos resultados de espessura, gramatura, umidade, atividade de água, pH dos filmes de pectina do mesocarpo de pequi e filmes de pectina cítrica comercial.....	56
Tabela 3. Médias \pm Desvio padrão dos resultados de cor para os filmes produzidos de pectina do mesocarpo de pequi e do filme produzido de pectina cítrica comercial.....	59
Tabela 4. Médias \pm Desvio padrão da propriedades mecânicas dos filmes produzidos da pectina do mesocarpo do pequi e filmes de pectina cítrica comercial.....	61
Tabela 5. Médias \pm Desvio padrão permeabilidade ao vapor de água (PVA) e solubilidade em água dos filmes de pectina do mesocarpo do pequi e filme de pectina cítrica comercial.....	62

LISTA DE FIGURAS

Páginas

CAPÍTULO 1

Figura 1. Pequizeiro	24
Figura 2. Processo de produção da farinha do mesocarpo do pequi. a) Mesocarpo do pequi inteiro; b) Mesocarpo do pequi sem o exocarpo e sem injurias; c) Branqueamento do mesocarpo do pequi; d) Mesocarpo do pequi após secagem em estufa; e) farinha do mesocarpo do pequi.	42
Figura 3. Extração da pectina do mesocarpo do pequi. a) Precipitação alcoólica da pectina; b) Pectina após filtração e lavagem com álcool etílico; c) Pectina seca em estufa.	43
Figura 4. Processo de confecção dos filmes para as embalagens biodegradáveis.	46
Figura 5. Análise mecânica em equipamento Instron, modelo 3367, Grove City. a) Análise do filme de pectina do mesocarpo do pequi (PMP); b) Análise do filme de pectina citrica comercial (PCC)..	48
Figura 6. Cápsula de permeação da análise de permeabilidade ao vapor de água.	49
Figura 7. Análise de solubilidade em água.	50
Figura 8. Análise de Microscopia Eletrônica de Varredura (MEV). a) preparo das amostras para cobertura de camada de ouro; b) Equipamento Denton Vacuum, Desk V. que realiza o recobrimento das amostras com camada de ouro. c) Microscópio Eletrônico de Varredura (Joel, JSM – 6619)	51
Figura 9. Análise de biodegradabilidade. a) e b) Preparo das amostras de filme de pectina do mesocarpo do pequi e filme de pectina comercial; c) Acompanhamento da biodegradabilidade durante os dias de incubação	52
Figura 10. Espectro de infravermelho da pectina do mesocarpo do pequi.	54

Figura 11. Filmes biodegradáveis. a) Filme de pectina extraída do mesocarpo do pequi e filme de pectina cítrica comercial.	55
Figura 12. Ganho de massa na permeabilidade ao vapor de água. a) Filme PMP e b) Filme PCC.....	62
Figura 13. a) Espectro de infravermelho do filme de pectina do mesocarpo do pequi. b) Espectro de infravermelho do filme de pectina cítrica comercial.....	64
Figura 14. Microestrutura de superfície de filmes de pectina cítrica comercial com aumento de 100 x (a), 500x (b) e 2000 x (c).....	65
Figura 15. Microestrutura de superfície filmes de pectina do mesocarpo do pequi com aumento de 100 x (a), 500x (b) , 2000 x (c) e 5000 x (d).....	65
Figura 16. Microestrutura de fratura de filmes de pectina cítrica comercial. a) com aumento de 1000 x, b) Com aumento de 3000 x e c) com aumento de 2000 x e d) com aumento de 5000 x.....	66
Figura 17. Microestrutura de fratura de filmes de pectina do mesocarpo do pequi. a) com aumento de 1000 x, b) com aumento de 3000 x e c) com aumento de 5000 x	66
Figura 18. Curvas de Calorimetria Diferencial de Varredura (DSC). a) Filme de pectina do mesocarpo do pequi (PMP) e b) Filme de pectina cítrica comercial (PCC).....	68
Figura 19. Biodegradabilidade. a) e b) Filme de pectina do mesocarpo do pequi. c) e d) Filme de pectina cítrica comercial.....	69

CAPÍTULO 2

Figura 01. Embalagens de a) filme pectina do mesocarpo do pequi (PMP) e b) filme de pectina cítrica comercial (PCC)	85
Figura 02. Análise de textura em Texturômetro CT3TM Brookfield.....	87
Figura 03. Filme PCC com desenvolvimento de bolores a partir do 12º dia de armazenamento.....	88
Figura 04. Perda de massa de cenouras embaladas com filmes PMP e filmes PCC durante o armazenamento de 16 dias.....	89
Figura 05. Amostras com 16 dias de armazenamento..	90
Figura 06. Luminosidade de cenouras minimamente processadas embaladas em filmes de pectina do mesocarpo do pequi (PMP) e filmes de pectina cítrica comercial (PCC) durante o armazenamento de 16 dias.....	90

Figura 07. a) Comportamento de cenouras embaladas em filmes de pectina do mesocarpo do pequi (PMP). b) Cenouras embaladas em filme PMP que ficaram em contato com o filme absorvendo a cor do mesmo.....	91
Figura 08. Chroma de cenouras embaladas com filmes de pectina do mesocarpo do pequi e filmes de pectina citrica comercial durante o armazenamento de 16 dias.....	92
Figura 09. Valores de Hue (°) de cenouras embaladas com filmes de pectina do mesocarpo do pequi (PMP) e filmes de pectina citrica comercial (PCC) durante o armazenamento de 16 dias.....	93
Figura 10. Valores de a* e b* de cenouras embaladas com filmes de pectina do mesocarpo do pequi (PMP) e filmes de pectina citrica comercial (PCC) durante o armazenamento de 16 dias.....	93
Figura 11. Valores umidade de cenouras minimamente processadas embaladas com filmes de pectina do mesocarpo do pequi (PMP) e filmes de pectina citrica comercial (PCC) durante o armazenamento de 16 dias.....	94
Figura 12. Aspecto das embalagens de cenouras minimamente nos primeiros 8 dias de armazenamento.....	95
Figura 13. Valores acidez de cenouras minimamente processadas embaladas com filmes de pectina do mesocarpo do pequi (PMP) e filmes de pectina citrica comercial (PCC) durante o armazenamento de 16 dias.....	96
Figura 14. Valores pH de cenouras minimamente processadas embaladas com filmes de pectina do mesocarpo do pequi (PMP) e filmes de pectina citrica comercial (PCC) durante o armazenamento de 16 dias.....	97
Figura 15. Quantidade de sólidos solúveis (°Brix) de cenouras minimamente processadas embaladas com filmes de pectina do mesocarpo do pequi (PMP) e filmes de pectina cítrica comercial (PCC) durante o armazenamento de 16 dias.....	98
Figura 16. Dureza (N) de cenouras minimamente processadas embaladas com filmes de pectina do mesocarpo do pequi (PMP) e filmes de pectina citrica comercial (PCC) durante o armazenamento de 16 dias.....	99
Figura 17. Elasticidade (mm) e mastigabilidade (mJ) de cenouras minimamente processadas embaladas com filmes de pectina do mesocarpo do pequi (PMP) e filmes de pectina citrica comercial (PCC) durante o armazenamento de 16 dias.....	100
Figura 18. Amostra de cenouras minimamente processadas com 16 dias de armazenamento.....	100

RESUMO

SIQUEIRA, RAFAELA ANUNCIACÃO. Instituto Federal Goiano – Campus Rio Verde - GO, agosto de 2019. **Estudo das características tecnológicas e aplicabilidade de embalagens biodegradáveis na conservação de cenouras minimamente processadas.** Orientadora: Prof^a. Dr^a. Geovana Rocha Plácido. Coorientador: Celso Martins Belisário

A crescente industrialização desperta grande interesse no desenvolvimento de embalagens biodegradáveis que possam contribuir com a qualidade de alimentos sem prejudicar o meio ambiente. O uso de resíduos industriais pode ser uma boa alternativa no desenvolvimento de filmes biodegradáveis, sendo o mesocarpo do pequi (*Caryocar brasiliense* camb) um resíduo com grande potencial. Assim, objetivou-se desenvolver filmes biodegradáveis da pectina extraída do mesocarpo do pequi, determinar as propriedades físicas, mecânicas, térmica e biodegradabilidade e em seguida avaliar a aplicabilidade como embalagem de cenouras minimamente processadas. Os filmes biodegradáveis foram elaborados pelo método de *casting*, produzindo uma solução filmogênica com 0,7% p/v de glicerol, 1,6% p/v de pectina extraída do mesocarpo de pequi que foi mantida sob agitação até completa dissolução e em seguida foi colocada em placas para secagem em estufa. Foram produzidos filmes de pectina cítrica comercial como formulação controle. Os filmes apresentaram alta solubilidade em água (76,99% e 45,53%) e altos valores de permeabilidade ao vapor de água (15,07 e 14,78 [(g.mm)/(m².dia.kPa)]), mostrando-se bastante higroscópicos. As propriedades mecânicas mostraram que são filmes frágeis e que o filme de pectina do mesocarpo do pequi (PMP) tem maior módulo de elasticidade. A análise de microscopia mostrou que

os filmes com estruturas homogêneas e a temperatura de transição vítrea foram similares (55°C). As análises de cor apresentaram diferença, sendo que o filme de pectina cítrica comercial (PCC) apresentou maior luminosidade (90,69*) e menor opacidade (0,92 Abs600nm/mm), enquanto, o filme de pectina do mesocarpo do pequi (PMP) teve menor luminosidade (55,67*) e maior opacidade (10,67 Abs600nm/mm). A completa biodegradabilidade dos filmes foi observada a partir do quarto dia. As embalagens biodegradáveis foram aplicadas para embalar cenouras minimamente processadas e acondicionadas em BOD a $8 \pm 0,5^\circ\text{C}$ por 16 dias, em umidade de 52%. O desempenho dos filmes biodegradáveis foi avaliado de forma indireta através da análise da conservação das cenouras através do acompanhamento dos parâmetros de cor, textura, umidade, perda de massa, acidez titulável e sólidos solúveis nos tempos 0, 4, 8, 12, 16 dias. Através destas análises, observou-se que as embalagens têm potencial de conservação das cenouras até o oitavo dia de armazenamento, sendo que após este período observou-se perda de qualidade das cenouras.

PALAVRAS-CHAVES: Biodegradabilidade, permeabilidade, resíduo, biofilmes, *Caryocar brasiliense*

ABSTRACT

SIQUEIRA, RAFAELA ANUNCIACÃO. Goiano Federal Institute - Rio Verde Campus-GO. August 2019. **Study of the technological characteristics and applicability of biodegradable packaging in the conservation of minimally processed carrots.** Advisor: Profa. Dr. Geovana Rocha Placido. Co-advisor: Celso Martins Belisário

The increasing industrialization arises great interest in the biodegradable packaging development that can contribute to food quality without harming the environment. The use of industrial waste can be a good alternative for the biodegradable films development, and pequi mesocarp (*Caryocar brasiliense* camb) is a waste with great potential. Thus, we aim to develop pectin biodegradable films extracted from pequi mesocarp, to determine the physical, mechanical, thermal and biodegradable characteristics and to evaluate the application as packaging of minimally processed carrots. The biodegradable films were made by the casting method, producing a filmogenic solution with 0.7% w/v glycerol, 1.6% w/v pectin extracted from pequi mesocarp, which was kept under stirring until dissolution complete and was then isolated on oven drying plates. Commercial citrus pectin films were produced as a control formulation. The films have high water solubility (76.99% and 45.53%) and high water steam permeability values (15.07 and 14.78 [(g.mm)/(m².dia.kPa)]), being quite hygroscopic. The mechanical properties showed that films are brittle and pequi mesocarp pectin (PMP) films, have the highest elasticity modulus. Microscopic analysis showed that the films with homogeneous structures and transition temperature were similar (55 °C). The color analysis showed difference, and the commercial citrus pectin film (CCP) has higher brightness (90.69 *) and lower opacity

(0.92 Abs_{600nm}/mm), while the pectin mesocarp (PMP) film presented lower brightness. (55.67*) and higher opacity (10.67 Abs_{600nm}/mm). Complete biodegradability of the films was observed from the fourth day. The biodegradable packaging was applied to the packaging of minimally processed carrots and conditioned in BOD at 8 ± 0.5 °C for 16 days, in 52%. The biodegradable films performance was evaluated indirectly by analyzing carrot conservation by monitoring the parameters of color, texture, moisture, mass loss, titratable acidity and soluble solids at 0, 4, 8, 12, 16 days. Through these analyzes, it was observed that the packages have carrot conservation potential until the eighth day of storage, after this period there was a carrot quality loss.

Keywords: Biodegradability, permeability, residue, biofilms, *Caryocar brasiliense*

1. INTRODUÇÃO

O pequi (*Caryocar brasiliense* Camb.) é um fruto do Cerrado que apresenta alto valor energético e nutricional, por ser fonte de lipídios, proteínas, vitaminas e sais minerais, o que o torna um fruto importante na alimentação das populações da região do Cerrado (RODRIGUES et al., 2009). No entanto, a casca do pequi, que representa cerca de 80% do peso do fruto e com alto teor de fibras alimentares, não é consumida, sendo descartada nos centros urbanos, causando poluição ambiental (MORAES et al., 2017).

O mesocarpo externo do pequi (casca), contém 45% de fibra alimentar total, tem sido estudado para uso industrial como farinha na panificação e também na extração da pectina para aplicação em geleias e biofilmes. No entanto, são necessárias mais pesquisas para avaliar o desempenho deste produto como ingrediente ou como matéria-prima para novos produtos (SOARES JÚNIOR et al., 2010; JESUS, 2017; COSTA et al., 2017; LEÃO et al., 2018).

A pectina é um polissacarídeo estrutural encontrado na parede celular primária e nas camadas intercelulares de plantas terrestres e possui características gelificantes, estabilizantes e espessantes (MILOS et al., 2007; MUNHOZ et al., 2010; LEÃO et al., 2018). A pectina pode ser extraída dos tecidos vegetais de frutos como o pequi, tornando uma alternativa de aproveitamento do seu mesocarpo que é tratado como o resíduo do fruto (PROVIN, 2012).

Inúmeros estudos têm sido realizados para desenvolver filmes biodegradáveis provenientes de resíduos industriais com o intuito de melhorar a qualidade de alimentos e aumentar a vida útil sem prejudicar o meio ambiente, utilizando fontes de baixo custo e ricas em nutrientes. Os biopolímeros mais pesquisados na elaboração de filmes são as proteínas e os polissacarídeos (QUEIROZ, 2017; MALDONADO et al., 2017).

Assim sendo, justifica-se a produção de filmes biodegradáveis da pectina extraída do mesocarpo do pequi, visando o aproveitamento do resíduo industrial e a

contribuição com a redução dos impactos ambientais ocasionados pela geração de lixo. O uso do mesocarpo do pequi na produção de embalagens biodegradáveis pode ainda promover a valorização do fruto do Cerrado brasileiro e tornar um incremento da renda das comunidades rurais (PROVIN, 2012).

Dentro deste contexto o objetivo deste trabalho foi desenvolver filmes biodegradáveis de pectina extraída a partir do mesocarpo do pequi e determinar as propriedades físicas, mecânicas, térmica e biodegradabilidade e em seguida avaliar a aplicabilidade como embalagem de cenouras minimamente processadas.

2. REVISÃO DE LITERATURA

2.1. PEQUI

Fruto do pequi, o pequi (*Caryocar brasiliense* Camb), é encontrado em quase todos os agroecossistemas do país e muito apreciado e utilizado nas culinárias das Regiões Centro-Oeste, Norte e parte do Nordeste. A exploração deste fruto é puramente extrativista, gerando oportunidade de emprego e renda as populações, além de proporcionar estímulo a conservação ambiental e a organização comunitária (VERA et al., 2005; OLIVEIRA et al., 2008; AFONSO et al., 2014).

O fruto é uma drupa que contém de um a quatro caroços, envolto por uma casca que é o epicarpo fino, verde ou arroxeadado e o mesocarpo de coloração amarelada. Os pirênios (caroços) são envolvidos por tecido carnosos (polpa comestível), de coloração que varia do amarelo ao alaranjado. O endocarpo tem textura pétrea e é recoberto por fibras, estreitamente compactas e por agulhas da mesma estrutura. O fruto do pequi é composto por 76,7% de casca, 21,6% de caroço e 1,7% de frutinhos (ALMEIDA et al., 1998; VERA et al., 2005).

O mesocarpo externo pode ser utilizado para elaborar uma farinha rica em fibra alimentar com potencial para substituir porções de farinha de trigo em panificação. O processamento industrial do pequi pode se tornar uma opção para o desenvolvimento sustentável da região do cerrado (SOARES JUNIOR, 2010; COSTA; PINTO; SOARES, 2017).

Pinho et al. (2012) avaliaram os metabólitos secundários da farinha da casca do pequi e detectou a presença de catequinas, flavonoides, flavononas, fenóis simples, esteroides e taninos. Os taninos são polifenóis vegetais secundários que têm alta afinidade por proteínas e polissacarídeos. São produzidos por diferentes plantas, por diferentes partes das plantas e podem ter propriedades físicas e químicas diferentes (SCALBERT, 2000; WAGHORN; McNABB, 2003).

A farinha do mesocarpo do pequi apresenta cor escura com tonalidade amarela mais intensa, umidade de 15,58%; teor de cinzas de 2,32%, quantidade de fibras de 38,02% e quantidade de compostos fenólicos de 1,165 (mg/100 g de amostra). A farinha tem alto teor de absorção em água (450%) e apresenta boa capacidade de formação de gel. Contém ainda minerais como cálcio (181,78 mg.100g⁻¹), magnésio (534,03 mg.100g⁻¹) e manganês (14,81 mg.100g⁻¹), além de cobre e zinco (SOARES JUNIOR, 2010; COSTA; PINTO; SOARES, 2017).

A importância do pequi na alimentação pode ser estimada pela sua comercialização, pois é o principal fruto nativo do cerrado distribuído na Central de

Abastecimento de Goiás - CEASA, sendo que o volume comercializado no ano de 2018 foi de cerca de 5 mil toneladas oriundas principalmente dos Estados de Goiás, Minas Gerais, Tocantins, São Paulo e Maranhão. Uma análise conjuntural da comercialização do pequi durante os últimos nove anos mostra que esse volume cresceu 28 % desde 2007 (VERA et al., 2005; PROVIN, 2012; CEASA, 2018).

Considerando que a casca do pequi representa cerca de 76,7% do seu peso e o volume comercializado somente na CEASA-GO em 2018, estima-se um volume total de cascas a serem descartadas de 3800 toneladas. Ao considerar os frutos que são comercializados em feiras livres por catadores, atravessadores ou intermediários e caminhoneiros que compram o produto *in natura* para comercialização, esse volume pode aumentar significativamente (SILVA, 2011; CEASA, 2018).

O Cerrado brasileiro e a sua biodiversidade têm sido largamente devastados pela expansão agrícola e de pastagens, geralmente auxiliada por políticas públicas de expansão econômica. Como resultado dessas atividades, diversas espécies de plantas experimentaram declínios populacionais como o pequi (*Caryocar brasiliense* Camb), assim, o pequizeiro se tornou uma planta protegida por lei (Portaria no. 54 de 03.03.87 IBDF) que impede o corte e comercialização em todo o Território Nacional (IBDF, 1987; GIROLDO; SCARIOT, 2015).



Figura 1. Pequizeiro. FONTE: Arquivo Pessoal

2.2. EMBALAGENS

As embalagens de alimentos podem ser estratégias importantes como vantagem competitiva na indústria de alimentos. As funções das embalagens envolvem a proteção do alimento, conservação a fim de manter a qualidade, segurança e prolongação da vida útil, transmissão de informações de rotulagem e produção, além da conveniência e serviço ao consumidor (JORGE, 2013; SOARES, 2015).

As embalagens de alimentos devem consistir de material que garanta a qualidade e segurança do produto durante a vida de prateleira e deve ainda ser de fácil manuseio, baixo custo e atrativas, além de atender as questões ambientais utilizando materiais provenientes de recursos renováveis e não produzirem lixo. O impacto ambiental da produção de embalagens considera as fontes e os tipos de matérias-primas, a energia utilizada para adquiri-las, produzi-las e utilizá-las (FELLOWS, 2019).

O uso de plástico nestes tipos de embalagens tem no aspecto econômico o fator acelerador do seu uso, porém, um aspecto importante é no que diz respeito à gestão dos resíduos. O uso sustentável de plásticos deve envolver a redução na origem de consumo, a reutilização e a reciclagem, para somente em último caso pensar na deposição em aterros sanitários (JORGE, 2013).

Atualmente, as pesquisas procuram aperfeiçoar a elaboração de materiais biodegradáveis de fontes renováveis, procurando manter e/ou melhorar a qualidade de alimentos embalados, e reduzir o impacto causado ao ambiente por embalagens convencionais (LANDIM et al., 2016).

2.3. FILMES BIODEGRADÁVEIS

As mudanças dos hábitos alimentares que vêm ocorrendo em função das mudanças do estilo de vida das pessoas têm levado ao aumento do consumo de alimentos pré-preparados e conservados o que leva a necessidade de adaptação com as exigências de novos materiais, tipos de embalagens e sistemas de distribuição. O uso de filmes e coberturas comestíveis em produtos alimentícios e frutas já são utilizados desde os séculos XII e XIII na China, quando era empregado para retardar a desidratação e melhorar a aparência (OLIVEIRA; SANTOS, 2015).

Os filmes biodegradáveis conferem proteção mecânica, previnem a deterioração oxidativa e microbiana, reduzem a migração de umidade, oxigênio, dióxido de carbono, aromas e possibilita a agregação de fatores sensoriais e nutricionais aos alimentos permitindo estender a vida de prateleira. São estruturas membranosas finas pré-formadas que são aplicadas sobre o alimento, da mesma forma que se aplica os plásticos sintéticos. Podem ser classificados em comestíveis e/ou biodegradáveis, dependendo dos constituintes utilizados para produção (THARANATHAN, 2003; SILVA et al., 2014; OLIVEIRA; SANTOS, 2015).

Apesar dos filmes biodegradáveis já serem utilizados há séculos atrás, a partir da década de 1990, houve acentuado crescimento nos estudos para o desenvolvimento

destes filmes. Os filmes plásticos derivados de petróleo ou carvão são amplamente utilizados na embalagem de alimentos pela processabilidade, transparência e viabilidade econômica. Porém, desencadearam sérios problemas ecológicos em virtude da não biodegradabilidade, abrindo grande desafio na questão da sustentabilidade e do impacto ao meio ambiente (GAVA et al., 2009; OLIVEIRA; SANTOS, 2015).

Uma das alternativas ecológica e economicamente viável para diminuição de resíduos acumulados seria a utilização de matéria-prima proveniente de resíduos agroindustriais na produção de filmes, por ser biodegradável e provir de fonte renovável. O uso de resíduos de produção tem se mostrado uma escolha promissora na elaboração de embalagens com propriedades antioxidantes, que podem contribuir na conservação de alimentos suscetíveis à oxidação, aumentando a vida de prateleira e evitando perdas na cadeia produtiva (ADILAH et al., 2018; RAJI et al., 2017).

Alguns países têm se destacado no estudo de filmes biodegradáveis, sendo os Estados Unidos o que mais detém a tecnologia. Na Europa, já são utilizados filmes biodegradáveis em produtos alimentícios, como filmes de amido de milho usados como barreira contra gordura em produtos de confeitaria, embalagens de manteiga e margarina, ou ainda, para fins não alimentícios, como sacos de lixo à base de amido de milho e trigo disponíveis nos mercados da Itália, Finlândia e Dinamarca (HAUGAARD et al., 2002).

O Brasil ainda ocupa um espaço muito pequeno no cenário mundial, sendo necessário incentivos para pesquisas na área envolvendo ação eficiente do governo, empresas e universidades capazes de contribuir com o avanço das inovações (APARECIDA et al., 2012).

O custo das embalagens biodegradáveis é maior que o das embalagens tradicionais, como as de polietileno, porém, o consumidor em geral está mais consciente quanto à sustentabilidade, optando muitas vezes por preços mais altos em favor da conservação do meio ambiente. Um ponto a ser observado sobre as embalagens biodegradáveis é quanto às propriedades de barreira ao vapor de água que são inferiores em relação aos tradicionais, sendo necessário avaliar a compatibilidade entre o filme e o alimento embalado (RIOUX et al., 2002).

A produção destes filmes biodegradáveis deve levar em consideração a adequação da produção em escala industrial, além da definição da estabilidade de armazenamento e ainda da continuidade das pesquisas na área para que possibilite desenvolver alternativas à baixa resistência mecânica e baixa estabilidade em altas umidades (MALLI et al., 2010).

2.3.1. Matéria-Prima para Filmes Biodegradáveis

Os polímeros biodegradáveis surgiram como alternativa para substituir os polímeros sintéticos derivados do petróleo. A utilização de polímeros de origem biológica na produção de embalagens biodegradáveis pode ser feita de três maneiras: através de mistura de biopolímeros com polímeros sintéticos; biopolímeros bacterianos obtidos por fermentação; e o uso de biopolímeros naturais diretamente na produção de filmes, como os filmes comestíveis (SILVA et al., 2014; PRADELLA, 2015).

Biofilmes ou filmes poliméricos são produzidos basicamente a partir de materiais biológicos, capazes de formar matrizes contínuas e coesas. Os materiais mais utilizados são as proteínas (gelatina, caseína, ovoalbumina, glúten de trigo, zeína e proteínas miofibrilares), os polissacarídeos (amido e derivados, pectina, celulose e derivados, alginato e carragena) e os lipídios (monoglicerídeos acetilados, ácido esteárico, ceras e ésteres de ácido graxo) ou a combinação dos mesmos. O aproveitamento de resíduos industriais é uma oportunidade de criar novos mercados para as matérias-primas formadoras de filmes, derivadas de produtos agrícolas (AZEREDO et al., 2000; OLIVEIRA; SANTOS, 2015).

Na produção de filmes biodegradáveis em geral, faz-se o uso de um plastificante para melhorar a flexibilidade, mas que também pode afetar a permeabilidade do vapor de água e gases, uma vez que é muito hidrofílico e higroscópico. O glicerol tem baixo peso molecular e tem a capacidade de alterar as interações entre as macromoléculas, que aumentam a mobilidade das cadeias poliméricas e reduzem a temperatura de transição vítrea do sistema (SOTHORNVIT; KROCHTA, 2001; KROCHTA, 2002; CHIUMARELLI; HUBINGER, 2014).

Os filmes biodegradáveis preparados a partir de hidrocoloides, tais como pectina, têm a tendência de formar filmes fortes, porém costumam apresentar baixa resistência à água por causa da sua natureza hidrofílica (SANTOS et al., 2017).

2.3.2. Pectina

A pectina é uma macromolécula natural complexa do grupo das fibras dietéticas, é amplamente utilizada como geleificante e estabilizante na indústria de alimentos. É um heteropolissacarídeo que contém predominantemente resíduos de ácido galacturônico. O principal processo industrial para obtenção de pectina está baseado na solubilização da protopectina do bagaço de maçã e casca de frutos cítricos, realizada em condições levemente ácidas sob aquecimento. O procedimento de extração, localização da pectina no tecido da planta e teor de açúcares neutros presentes, determinam as características

finais da pectina com influência sobre a qualidade e rendimento do produto final (CANTERI et al., 2012; FARAHNAKY et al., 2018).

A pectina é um biomaterial que tem ampla gama de aplicações, dependendo do grau de esterificação e polimerização (FARAHNAKY et al., 2018). O grau de esterificação (DE) determina a solubilidade da pectina, as propriedades de gelificação e formação de filme e, portanto, a aplicabilidade industrial. A pectina é classificada pelo teor de metoxilação, sendo que a de baixo teor de metoxilação (BTM) tem capacidade de formar filmes e pode reagir com cálcio, através de formação de ligações cruzadas, resultando em filmes fortes e insolúveis. Em relação à solubilidade, as pectinas são geralmente solúveis em água, dimetilsulfoxido, formamida, dimetilformamida e glicerol quente e são insolúveis na maioria dos solventes orgânicos (VORAGEN et al., 2010; FANG et al., 2008; SESLIJA et al., 2018).

A pectina é adequada para a elaboração de filmes pela sua biodegradabilidade, biocompatibilidade, comestibilidade e propriedades químicas e físicas versáteis. Essa pectina pode ser encontrada no mesocarpo do pequi em quantidades consideráveis e pode ser extraída e utilizada como fonte alternativa do polissacarídeo na produção de biofilmes, geleias, iogurtes, balas de goma e outros produtos industrializados (PROVIN, 2012; ESPITIA et al., 2014).

O pericarpo do pequi é composto por 50,9% de carboidratos totais, sendo que, deste montante, 39,9% correspondem à fibra alimentar que é um forte indicativo da presença de fibras solúveis, o que inclui pectinas (SOUSA et al., 2005).

2.4. CARACTERÍSTICAS DOS FILMES BIODEGRADÁVEIS

Uma das características fundamentais de filmes biodegradáveis é a espessura, que é a distância entre as duas superfícies principais do material. Através da espessura é possível obter informações sobre as propriedades de barreira a gases e vapor de água, sobre a resistência mecânica, a homogeneidade e ainda estimar sobre a vida útil dos alimentos embalados (CETEA, 1996; SUCHETA et al., 2019).

Em processos de produção de filmes tipo *casting*, em que ocorre secagem por evaporação do solvente, o controle da quantidade de solução filmogênica e do alinhamento da estufa de secagem são muito importantes na obtenção de uma espessura homogênea dos filmes, sem variações (SOBRAL, 1999; SILVA, 2011).

A aparência, cor e opacidade são aspectos importantes quando relacionados a embalagens pela necessidade dos consumidores em ver o que está dentro da embalagem.

A opacidade está relacionada à quantidade de luz absorvida pela dispersão dos compostos na matriz polimérica e influencia diretamente na aparência e na cor (FADINI et al., 2013; CARDOSO, 2017).

Os filmes biodegradáveis podem ter a função de barreira para proteger os alimentos de deterioração ou contaminação ou para reter vitaminas e outros nutrientes a fim de manter o valor nutricional do alimento. Podem proteger os alimentos sensíveis ao oxigênio, reduzir o ranço oxidativo e aumentar a vida de prateleira, além de reduzir a perda de umidade e as alterações na cor das frutas e hortaliças (FELLOWS, 2019).

A eficiência de um filme é determinada pelas propriedades mecânicas e de barreira, que dependem da microcomposição, estrutura e características do substrato. Com relação às propriedades mecânicas, a resistência dos filmes biodegradáveis deve ter flexibilidade suficiente para embalar e suportar o estresse externo, bem como manter as propriedades de barreira da embalagem (RANJITHA et al., 2017; PORTA et al., 2016).

As propriedades mecânicas são características importantes, pois podem indicar a estabilidade e funcionalidade dos materiais, como resistência à ruptura e à abrasão, para proteger e reforçar a estrutura dos alimentos, para adaptar-se as possíveis deformações sem se romper. Estas medidas fornecem informações sobre a magnitude das forças intermoleculares envolvidas na estabilização da matriz polimérica e sobre quantidade de energia que o material é capaz de absorver antes do rompimento. (SOBRAL, 2000; SANTOS et al., 2017).

2.5. PRESERVAÇÃO PÓS-COLHEITA DE VEGETAIS

Conservar os produtos agrícolas em boas condições de comercialização ou de industrialização é tão importante quanto produzir bem. Os produtos hortícolas são considerados perecíveis por apresentarem alto teor de água na composição química e têm a característica de manter os processos biológicos metabólicos vitais após a colheita. Nos últimos anos, as demandas dos consumidores têm exigido alimentos cada vez mais frescos, com aroma e cor natural e com vida de prateleira suficiente para a distribuição e armazenagem. Assim, é importante conhecer as técnicas adequadas de manuseio a fim de aumentar o tempo de conservação e reduzir as perdas pós-colheita. (BARROS; GOES; MINAMI, 1994).

Alimentos, tais como frutas e hortaliças frescas, são sensíveis à deterioração causadas pela perda de água, alterações de coloração induzidas por enzimas ou luz, oxidação, perda de integridade celular (amolecimento), ou crescimento de

microrganismos deteriorantes ou patogênicos. As alterações de qualidade nos alimentos podem ser reduzidas através do uso de embalagens que tenham as propriedades necessárias para cada tipo de alimento (FELLOWS, 2019; NEVES, 2016).

Os vegetais precisam passar por processo de resfriamento logo após a colheita para reduzir as atividades metabólicas e assim reduzir as mudanças de qualidade e garantir a segurança do produto. (BERK, 2018).

2.6. ALIMENTOS MINIMAMENTE PROCESSADOS

O processamento mínimo de vegetais compreende as etapas que eliminam as partes não comestíveis como cascas, talos e sementes, seguidas pelo corte em tamanhos menores, tornando-as prontas para consumo imediato e mantendo a condição de produto *in natura* (OLIVEIRA; SANTOS, 2015). Existem muitos estudos na literatura que descrevem sobre processamento mínimo de frutas e legumes, como: abacaxi, alface, alho, banana, beterraba, goiaba, mamão, mandioca, alface, rúcula, agrião, couve, repolho, cenoura, abóbora e brócolis (GOZZOLI et al., 2017).

As perdas pós-colheita da produção agrícola de frutas e verduras são significativas, variando de 15% a 20% e ocorrem principalmente por causa do manuseio inadequado e tecnologias de pós-colheita não saudáveis praticadas. O transporte do centro de produção para lugares distantes para comercialização contabiliza perdas adicionais pela deterioração. A disponibilidade de produtos agrícolas com frescor, maior prazo de validade, melhores características de aroma e textura com valor nutricional mais elevado é a necessidade do dia a dia (THARANATHAN, 2003).

Frutas e hortaliças minimamente processados são sensíveis à deterioração provocada por perda de massa, alterações de escurecimento enzimático, amolecimento, oxidação ou crescimento de microrganismos deteriorantes. Essas alterações na qualidade do alimento podem ser reduzidas através da escolha de materiais adequados de embalagem, que possam conferir propriedades como barreira a gases, brilho, força mecânica e maior durabilidade (FELLOWS, 2019). Segundo Yamashita, (2005) e colaboradores, os filmes biodegradáveis podem-se ser empregados como embalagem para frutas e hortaliças minimamente processadas sem alterar as características do produto fresco, pois podem retardar a deterioração progressiva que começa a ocorrer imediatamente após a colheita.

2.6.1. Cenoura

A cenoura (*Daucus carota L.*) pertence à família das Apiáceas, do grupo das tuberosas e tem origem do Sudoeste Asiático. A cenoura é uma raiz cônica ou cilíndrica muito firme, de cor alaranjada, bastante apreciada pelo mundo por ser aromática, comestível e muito versátil no uso e nas formas de preparo. É um dos legumes mais cultivados no Brasil, podendo ser cultivada durante todo o ano dependendo da variedade, preferindo climas amenos (CHITARRA & CARVALHO, 1984; LIMA et al., 2001; FILGUEIRA, 2003).

A cenoura é consumida *in natura* em saladas (crua ou cozida) ou na forma de bolo, doce ou suco. A comercialização da cenoura pode ser ao natural ou ainda pode servir como matéria-prima para indústrias processadoras de alimentos como seleta de legumes, alimentos infantis e sopas instantâneas e no preparo mínimo pronto para consumo na forma de minicenouras, cubos, palitos, ralada e em rodela. A cenoura minimamente processada já pode ser encontrada na maioria das gôndolas dos supermercados por seu consumo ser mais prático e rápido do que o produto *in natura* e ainda, em virtude das grandes mudanças no estilo de vida do consumidor, como a conscientização da necessidade de uma dieta alimentar saudável e que cumpra as exigências de segurança alimentar (MORETTI, 2007; EMBRAPA e SEBRAE, 2010; PASSOS et al., 2017).

A composição química das cenouras é influenciada por aspectos de cultivo e fatores genéticos, e pode sofrer alterações microbiológicas e fisiológicas no pós-colheita que levam à inviabilidade comercial do produto. Uma tecnologia que vem sendo utilizada para conservar e estender a vida de prateleira de cenouras é a aplicação de revestimentos comestíveis que ajudam no controle da perda da umidade, reduz as taxas respiratórias, ajuda na manutenção da cor e dos compostos voláteis (CORTEZ et al., 2014; BELLON, et al., 2016).

O mercado consumidor apresenta-se cada vez mais exigente quanto a qualidade dos produtos comercializados nos mercados e feiras livres, sendo que aspectos indesejados no produto, como aroma, cor, aparência, podem tornar um ponto negativo na decisão de compra (BAARDSETH et al., 1995).

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ADILAH, A. N.; JAMILAH, B.; NORANIZAN, M. A., NURHANANI, Z. A. Utilization of mango peel extracts on the biodegradable films for active packaging. **Food Packaging and Shelf Life**, v. 16, n. 01, p. 1–7, 2018.

AFONSO, S. R.; ANGELO, H.; DE ALMEIDA, A. N. Caracterização da produção de pequi em Japonvar, MG. **Floresta**, v. 45, n. 1, p. 49-56, 2014.

ALMEIDA, S. P. de; PROENÇA, C. E. B.; SANO, S. M.; RIBEIRO, J. P. Cerrado: espécies vegetais úteis. Planaltina: **EMBRAPA-CPAC**, p. 464, 1998.

APARECIDA, B. S. M.; REIS, J. H. O.; SOUZA, C. O.; SANTANA, M. C. C. B.; DRUZIAN, J. I. Tendências tecnológicas de embalagens biodegradáveis através da prospecção em documentos de patentes. **Cadernos de Prospecção**, v. 5, n. 5, p. 132-140, 2012.

AZEREDO, H. M. C.; FARIA, J. A. F.; AZEREDO, A. M. C. Embalagens Ativas para alimentos. **Ciência e Tecnologia de Alimentos**, v. 20, p. 337-341, 2000.

BAARDSETH, H. J.; ROSENFELD, T. W.; SUNDT, G.; SKREDE, P. L.; SLINDE, E. Evaluation of carrot varieties for production of deep-fried carrot chips – I Chemical aspects. **Food Research International**, v. 28, n. 3, p. 195-200, 1995.

BARROS, J. C.; DE GOES, Á.; MINAMI, K. Condições de conservação pós-colheita de frutos de pimentão (*Capsicum annum L.*). **Scientia Agricola**, v. 51, n. 2, p. 363-368, 1994.

BELLON, A. A., DE SOUZA, J. L., FAVARATO, L. F., GUARÇONI, R. C., ARAÚJO, R. Z., BALBINO, J. M. Atributos físico-químicos de cenouras orgânicas submetidas a diferentes tratamentos de conservação pós-colheita. **Revista Univap**, v. 22, n. 40, p. 701, 2017.

BERK, Z. **Food process engineering and technology**. Academic press, p. 742, 2018.

CANTERI, M. H. G.; MORENO, L. G. W.; SCHEER, A. DE P. Pectina: da Matéria-Prima ao Produto Final. **Polímeros**, v. 22, n. 2, p. 149-157, 2012.

CARDOSO, T. **Avaliação da *Spirulina platensis* na produção de biofilmes de derivados de mandioca e gelatina com aplicação em pimenta Cambuci (*Capsicum sp.*)**. 2017. 108 f. Dissertação (Mestrado em Ciências e Tecnologia de Alimentos) - Universidade Estadual De Ponta Grossa, Ponta Grossa, 2017.

CEASA- CENTRAIS DE ABASTECIMENTO DE GOIAS S/A. **Análise Conjuntural 2016**. Disponível em: <<http://www.ceasa.go.gov.br/files/ConjunturaAnual/AnaliseConjuntura2018.pdf>> Acesso em 20 de setembro de 2019.

CETEA. OLIVEIRA, L. M.; ALVES, R.M.V.; SARANTOPOULOS, C.; PADULA, M. Ensaio para avaliação de embalagens plásticas flexíveis. Campinas: **Centro de Tecnologia de Embalagem**, CETEA, 1996. 219 p

CHITARRA, M. I. F.; CARVALHO, V. D. **Cenoura: Qualidade e Industrialização**. Informe Agropecuário, v.10, n.120, 1984.

CHIUMARELLI, M.; HUBINGER, M. D. Evaluation of edible films and coatings formulated with cassava starch, glycerol, carnauba wax and stearic acid. **Food Hydrocolloids**, v. 38, p. 20-27, 2014.

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

COSTA, A.P.; PINTO, E.; SOARES, D. Obtenção de farinha do mesocarpo de pequi. **Agrarian**, v. 10, n. 38, p. 349-354, 2017.

EMBRAPA E SEBRAE. **Catálogo brasileiro de hortaliças: saiba como plantar e aproveitar 50 das espécies mais comercializadas no país**, 2010. Brasília-DF. Disponível em <<http://www.ceasa.gov.br/dados/publicacao/Catalogo%20hortalicas.pdf>. > Acesso em: 27 de junho de 2019.

ESPITIA, P. J. P. et al. Edible films from pectin: Physical-mechanical and antimicrobial properties - A review. **Food Hydrocolloids**, v. 35, p. 287–296, 2014.

FADINI, A.L., ROCHA, F.S., ALVIM, I.D., SADAHIRA, M.S., QUEIROZ, M.B., ALVES, R.M.V., SILVA, L.B. Mechanical properties and water vapour permeability of hydrolysed collagen–cocoa butter edible films plasticised with sucrose. **Food Hydrocolloids**, v.30, 625–631, 2013.

FANG, Y., AL-ASSAF, S., PHILLIPS, G. O., NISHINARI, K., FUNAMI, T., WILLIAMS, P. A. Binding behavior of calcium to polyuronates: Comparison of pectin with alginate. **Carbohydrate Polymers**, v.72, p. 334-341, 2008.

FARAHNAKY, A.; SHARIFI, S.; IMANI, B.; DORODMAND, M.M MAJZOBI, M. Physicochemical and mechanical properties of pectin-carbon nanotubes films produced by chemical bonding. **Food packaging and shelf life**, v. 16, p. 8-14, 2018.

FELLOWS, P.J. **Tecnologia de Processamento de Alimentos.Princípios e Prática**. Ed. Artmed Ed. 4º Edição. 2019.

FILGUEIRA, F. A. R. **Novo manual de olericultura: agrotecnologia moderna na produção e comercialização de hortaliças**, 2ª ed. São Paulo: UFV, 2003.

GAVA, A. J.; SILVA, C. A. B. DA; FRIAS, J. R. G. **Tecnologia de Alimentos. Princípios e aplicações**. Nobel ed. Sao Paulo: 2009.

GIROLDO, A.B.; SCARIOT, A.O. Land use and management affects the demography and conservation of an intensively harvested Cerrado fruit tree species. **Biological Conservation**, v. 191, p.150-158, 2015.

GOZZOLI, T. C.; MALDONADO, R. R.; BRANDINI, M. T.; DESIDERIO, M. A.; OLIVEIRA, E. A.; KAMIMURA, E. S. Aplicação de biofilme comestível em maçãs minimamente processadas armazenadas sob refrigeração. **FOCO: Caderno de Estudos e Pesquisas**, v. 10, p. 60-80, 2017.

HAUGAARD, V. K.; UDSSEN, A. M.; MORTENSEN, G.; HOEGH, L.; PETERSEN, K.; MONAHAN, F. Potential food applications of biobased materials. An EU-concerted action project. **Food Additives and Contaminants**. v. 19, p. 172-177, 2002.

JORGE, N. Embalagens para alimentos. **São Paulo: Cultura Acadêmica**, 2013.

INSTITUTO BRASILEIRO DE DESENVOLVIMENTO FLORESTAL. **Portaria no. 54 de 03.03.87 nº 54, de 3 de março de 1983.** Disponível em <<http://www.ibama.gov.br/sophia/cnia/legislacao/IBDF/PT0050-270287.PDF>> acessado em 20 de junho de 2019.

KROCHTA, J. M. Proteins as raw materials for films and coatings: definitions, current status, and opportunities. **Protein-based films and coatings**, v. 1, p. 1-40, 2002.

LANDIM, A. P. M.; BERNARDO, C. O.; MARTINS, I. B. A.; FRANCISCO, M. R.; SANTOS, M. B.; MELO, N. R. Sustentabilidade quanto às embalagens de alimentos no Brasil. **Polímeros**. n. 26, p. 82-92, 2016.

LEÃO, D. P.; BOTELHO, B. G.; OLIVEIRA, L. O.; FRANCA, A. S. Potential of pequi (*Caryocar brasiliense Camb.*) peels as sources of highly esterified pectins obtained by microwave assisted extraction. **LWT-Food Science and Technology**, v. 87, p. 575-580, 2018.

LIMA, K. S. C.; GROSSI, J. L. S.; LIMA, A. L. S.; ALVES, P. F. M. P.; CONEGLIAN, R. C. C.; GODOY, R. L. O.; SABAA-SRUR, A. U. O. Efeito da irradiação ionizante γ na qualidade pós-colheita de cenouras (*Daucus carota l.*) cv. **Ciência e Tecnologia de Alimentos**, v.21, n 2, p. 202-208, 2001.

MALDONADO, M.A. **Proposta de uma ferramenta para análise de princípios de sustentabilidade social no design e desenvolvimento de embalagens.** 2017. Dissertação (Mestrado). Curso de Engenharia de Produção. Faculdade de Engenharia de Bauru, Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho”. Bauru-São Paulo, 2017.

MALLI, S.; GROSSMAN, M. V. E.; YAMASHITA, F. Filmes de amido: produção, propriedades e potencial de utilização. Semina: **Ciências Agrárias**, v. 31, n. 1, p. 137-156, jan./mar, 2010.

MILOS, V.; NIKOLIC, A.; MOJOVIC, B. L.; Hydrolysis of apple pectin by the coordinated activity of pectin enzymes. **Food Chemistry**, v. 101, n. 1, p. 1-9, 2007.

MORAIS, M. J; OLIVEIRA, M. S.; BARBOSA, E. G.; CRUZ, G. H. T. Caracterização da casca de pequi (*Caryocar Brasiliense Camb.*) para sua utilização como biomassa. In: III Congresso de Ensino, Pesquisa e Extensão UEG, 2017, Pirenópolis-GO. **Anais. III Congresso de Ensino, Pesquisa e Extensão UEG.**

MORETTI, C. L. Manual de Processamento Mínimo de Frutas e Hortaliças. Brasília. **Embrapa Hortaliças**. p.531, 2007.

MUNHOZ, C. L.; SANJINEZ-ARGANDOÑA, E. J.; SOARES JÚNIOR, M. S. Extração de pectina de goiaba desidratada. **Ciência e Tecnologia de Alimentos**, v. 30, p. 119-125, 2010.

NEVES, L. C. **Manual pós-colheita da fruticultura brasileira.** Livro Eletrônico. Londrina: Scielo-Eduel, 2016.

OLIVEIRA, E. N. A.; SANTOS, D. DA C. **Tecnologia e processamento de frutas e hortaliças.** p. 234, Natal : IFRN, 2015.

OLIVEIRA, M. E. B. DE et al. Aspectos Agronômicos e de Qualidade do Pequi. **Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária- Embrapa Agroindustrial**, v. 113, p. 32, 2008.

PASSOS, L.P.; MIRANDA, A.L.S.; MARQUES, D.R.P.; OLIVEIRA, I.R.N. Aspectos microbiológicos de cenouras minimamente processadas e armazenadas em diferentes embalagens sob-refrigeração. **The Journal of Engineering and Exact Sciences**, v. 3, n. 6, p. 829-834, 2017.

PINHO, L.; SOUZA, P.N.S.; SOBRINHO, E.M.; ALMEIDA, A.C.; MARTINS, E.R. Atividade antimicrobiana de extratos hidro alcoólicos das folhas de alecrim- pimenta, aroeira, barbatimão, erva baleeira e do farelo da casca de pequi. **Ciência Rural**. v.42, n.2, 2012.

PORTA, R.; PIERRO. Blend films of pectin and bitter vetch (*Vicia ervilia*) proteins: Properties and effect of transglutaminase. **Innovative food science & emerging technologies**, v. 36, p. 245-251, 2016.

PRADELLA, J. G. DA C. Biopolímeros e Intermediários Químicos. **Centro de Gestão e Estudos Estratégicos**, n. 10, p. 120, 2015.

PROVIN, L. **Extração, caracterização química e propriedades reológicas de pectinas da casca de *Caryocar brasiliense* Cambess (Pequi)**. 2012. Dissertação (Mestrado) - Curso de Ciências – Bioquímica. Universidade Federal do Paraná, Curitiba- Paraná, 2012.

QUEIROZ, E. L. SOUZA, S.M.A. **Embalagem bioativa de amido de mandioca com adição de extrato de Jamelão (*Syzgium cumini*)**. Seminário de Iniciação Científica, n. 21, 2017.

RAJI, Z.; KHODAIYAN, F.; REZAEI, K.; KIANI, H.; HOSSEINI, S.S. Extraction optimization and physicochemical properties of pectin from melon peel. **International Journal of Biological Macromolecules**, v. 98, n.03, p. 709-716, 2017.

RANJITHA, K.; SUDHAKAR RAO, D.V; SHIVASHANKARA, K.S.; OBEROI, H.S.; ROY, T.K.; BHARATHAMMA, H. Shelf-life extension and quality retention in fresh-cut carrots coated with pectin. **Innovative Food Science and Emerging Technologies**, v. 42, n. 03, p. 91–100, 2017.

RIOUX, B.; SZABO, P.I.; KADI, A.A.; MATESCUU, M.A.; JUHASZ, J. Structure–properties relationship in cross-linked high amylose starch cast films. **Carbohydrate Polymers**, v. 50, n. 4, p. 371-378, 2002.

RODRIGUES, L.G.G. **Processo integrado de cozimento e resfriamento de legumes**. 2009. Dissertação (Mestrado). Curso de Pós-Graduação em Engenharia de Alimentos, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2009.

SANTOS, N.L.; RAGAZZO, G.O.; BETTANI, S.R.; SOARES, M.R.; SILVA, M.A da; "Efeito da adição de ácido cítrico nas propriedades de filmes de pectina e vinhaça", p. 1262-1267. In: **Anais do XII Congresso Brasileiro de Engenharia Química em Iniciação Científica. Blucher Chemical Engineering Proceedings**, v. 1, n.4. ISSN Impresso: 2446-8711. São Paulo: Blucher, 2017.

SCALBERT, A; SANTOS B, G. Proanthocyanidins and tannin-like compounds - nature, occurrence, dietary intake and effects on nutrition and health. **Journal of the Food Science and Agriculture**, v. 80, p. 1094-1117, 2000.

ŠEŠLIJA, S.; NEŠIĆ, A.; RUŽIĆ, J.; KRUŠIĆ, M.K.; VELIČKOVIĆ, S.; AVOLIO, R.; SANTAGATA, G.; MALINCONICO, M. Edible blend films of pectin and poly(ethylene glycol): Preparation and physico-chemical evaluation. **Food Hydrocolloids**, v. 77, p. 494–501, 2018.

SILVA, D.M. **Cadeia produtiva de pequi no estado do Goiás: análise do ambiente organizacional e institucional**. 2011. 63 f., Monografia (Bacharelado em Gestão do Agronegócio) -Universidade de Brasília, Brasília, 2011.

SILVA, G. D. da; LOCATELLI, G. O.; FINKLER, L.; FINKLER, C. L. Produção e caracterização de filmes comestíveis à base de alginato e pectina. **XX Congresso Brasileiro de Engenharia Química**, p. 1–8, 2014.

SOARES JÚNIOR, M. S.; BASSINELLO, P. Z.; CALIARI, M.; REIS, R. C.; LACERDA, D. B. C. L.; KOAKUZU, S. N. Development and chemical characterization of flour obtained from mesocarpo of "pequi" fruit. **Ciência e Tecnologia de Alimentos**, v.30, n. 4, p. 949-954, 2010.

SOARES, N.F. et al. Novos desenvolvimentos e aplicações em embalagens de alimentos. **Ceres**, v. 56, n. 4, 2015.

SOBRAL, P. J. A. Propriedades funcionais de biofilmes de gelatina em função da espessura. **Ciência & Engenharia**. v.8, n.1, p.60-67, 1999.

SOTHORNVIT, R.; KROCHTA, J.M. Plasticizer effect on mechanical properties of β -lactoglobulin films. **Journal of Food Engineering**, v. 50, n. 3, p. 149-155, 2001.

SOUSA, W. A.; SOUSA, K. S.; MARSON A. P. G.; ASCENCIO, S. D. Resultados parciais do estudo fitoquímico e da análise dos polissacarídeos de *Caryocar brasiliense* Camb. (caryocaraceae). In: **IV Congresso Científico do CEULP/ULBRA**, 2005.

SUCHETA; RAI, S. K.; CHATURVEDI, K.; YADAV, S.K. Evaluation of structural integrity and functionality of commercial pectin based edible films incorporated with corn flour, beetroot, orange peel, muesli and rice flour. **Food hydrocolloids**, v. 91, p. 127-135, 2019.

THARANATHAN, R. N. Biodegradable films and composite coatings: Past, present and future. **Trends in Food Science and Technology**, v. 14, n. 3, p. 71–78, 2003.

VERA, R.; NASCIMENTO, J.L.D.; CHAVES, L.J. MOZENA, L.W; SOUZA, E.R.B. Caracterização física de frutos do pequi (*Caryocar brasiliense* Camb.) no Estado de Goiás. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, v. 35, n. 2, 2005.

VORAGEN A.G.J.; SENGKHAMPARN, N.; SAGIS, L.M.C.; VRIES, R.; SCHOLS, H.A.; SAJJAANANTAKUL, T. Physicochemical properties of pectins from okra

(*Abelmoschus esculentus* (L.) Moench). **Food Hydrocolloids**, v. 24, n. 1, p. 35-41, 2010.

WAGHORN, G. C.; McNABB, W. C. Consequences of plant phenolic compounds for productivity and health of ruminants. **Proceedings of Nutritional Society**, v. 62, p. 383-392, 2003.

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), v. 8, n. 3, p. 335-343, 2005.

3. OBJETIVOS

3.1. GERAL

Desenvolver filmes biodegradáveis utilizando a pectina extraída do mesocarpo do pequi, e determinar as propriedades físicas, mecânicas, térmica e biodegradabilidade e em seguida avaliar a aplicabilidade como embalagem de cenouras minimamente processadas através de análises físico-químicas durante a vida de prateleira.

3.2. ESPECÍFICOS

- Extrair pectina do mesocarpo do pequi;
- Confeccionar filme biodegradável utilizando pectina extraída do mesocarpo do pequi;
- Caracterizar o filme biodegradável quanto as propriedades físicas (espessura, gramatura, umidade, cor, opacidade, solubilidade em água, microestrutura de superfície e seção transversal); propriedades mecânicas; permeabilidade ao vapor d'água e propriedades térmicas;
- Estimar a biodegradabilidade do filme;
- Avaliar a vida de prateleira de cenouras minimamente processadas embalados em filmes biodegradáveis por meio de análises físicas (perda de massa, firmeza e cor) e químicas (pH, acidez total titulável, sólidos solúveis e umidade), comparando com filmes de pectina cítrica comercial.

4. CAPÍTULO I – CARACTERÍSTICAS TECNOLÓGICAS DE FILMES BIODEGRADÁVEIS DE PECTINA EXTRAÍDA DO MESOCARPO DO PEQUI

RESUMO

As pectinas são polímeros naturais com grande potencial de aplicação na produção de filmes biodegradáveis, por serem um material renovável, provenientes de fontes diversas e podendo ser obtidas de resíduos de processos industriais impactando positivamente no custo e meio ambiente. O estudo teve como objetivo desenvolver filmes biodegradáveis de pectina extraída da farinha do mesocarpo do pequi. A pectina foi extraída em meio ácido e precipitada com álcool 92°. Os filmes foram preparados através do método de *casting*, homogeneizando 1,6% p/v de pectina e 0,7% p/v de glicerol sob aquecimento e em seguida esta solução filmogênica foi distribuída em placas para secagem. Realizou-se a comparação das características tecnológicas dos filmes de pectina do mesocarpo do pequi com filmes produzidos de pectina cítrica comercial. Verificou-se que a técnica de espalhamento foi eficiente no controle da espessura dos filmes, obtendo-se filmes finos com 0,07 mm e 0,08 mm, respectivamente. Os filmes de pectina do mesocarpo do pequi (PMP) e os filmes de pectina cítrica comercial (PCC) analisados em microscopia eletrônica de varredura apresentaram superfície homogênea em aumentos de até 5000 vezes, porém, apresentaram alta solubilidade em água (76,99% e 45,53%) e permeabilidade ao vapor de água de 15,07 e 14,78 [(g.mm)/(m².dia.kPa)]. A cor os filmes de pectina do mesocarpo do pequi (PMP) apresentaram menor luminosidade (55,67*) e maior opacidade (10,67 Abs_{600nm}/mm) e com valores de a* e b* que indicam uma coloração escura com tons de marrom, enquanto o filme de pectina do mesocarpo do pequi apresentou tendência a transparência. Nos testes de biodegradabilidade ambos os filmes apresentaram desintegração completa após quatro dias.

Palavras-chave: sustentabilidade, solução filmogênica, *Caryocar brasiliense*, resíduo

ABSTRACT

Pectins are natural polymers with great potential for application in the biodegradable films production, since they are a renewable material, coming from different sources and can be obtained from industrial process residues, positively impacting the cost and the environment. The objective of this work was to develop pectin biodegradable films extracted from pequi mesocarp, discarding part of the fruit that represents 80% of its total weight, through the casting method and to compare its technological characteristics with films made from commercial pectin citrus. It was found that the spreading technique was efficient in controlling the films thickness, obtaining thin films with 0.07 mm and 0.08 mm, respectively. Pequi mesocarp pectin (PMP) and commercial citrus pectin (PCC) films analyzed by scanning electron microscopy showed a homogeneous surface in up to 5000-fold increases, but showed high water solubility (76.99% and 45,53%) and water steam permeability (15.07 and 14.78). As for color, PMP films had lower brightness (55.67 *) and higher opacity (10.67 Abs_{600nm} / mm) and with * and b * values that indicate a dark color with brown tones, while PMP film tended to be transparent. In biodegradability tests, both films showed complete disintegration after 4 days.

Key-words: sustainability, filmogenic solution, *Caryocar brasiliense*, residue

4.1. INTRODUÇÃO

A conscientização da população pela preservação do meio ambiente tem contribuído na intensificação das pesquisas em busca de um filme biodegradável que possa substituir os plásticos convencionais. O consumidor tem se mostrado disposto a pagar a mais por um produto não poluidor que possa trazer ganhos ambientais e sociais (CLARO et al., 2018).

O desenvolvimento de material biodegradável para uso em embalagens é uma tentativa de reduzir o impacto ambiental provocado pela degradação lenta das embalagens de polímeros sintéticos. Desta forma, materiais naturais oriundos de subprodutos da indústria e agricultura têm sido utilizados na produção de filmes biodegradáveis cujos componentes derivam de fontes renováveis, não utilizam o petróleo como matéria-prima e degradam rapidamente durante a compostagem (FERNANDES et al., 2015; MANRICH, 2017).

Para a produção de filmes biodegradáveis utiliza-se a técnica de *casting* e são necessários, basicamente, solvente, plastificante e agente formador de filme, que formam a solução filmogênica que é espalhada em placas que são levadas para secagem. Dentre os agentes formadores de filme, pode-se citar polissacarídeos como pectina e amido e proteínas como o colágeno e a quitosana que podem produzir filmes flexíveis, transparentes, sem odores, com controle de espessura altamente preciso e com uma faixa extensa de propriedades mecânicas a partir de qualquer tipo de polissacarídeo (MANRICH et al., 2017; PELISSARI et al., 2019).

A pectina tem sido um dos biopolímeros mais utilizados na formação de embalagens comestíveis, sendo usada como matriz em soluções filmogênicas. Pode ser encontrada nas paredes celulares das plantas e pode ser extraída como subproduto do processamento de maçã, laranja, maracujá amarelo. A pectina é um hidrocoloide utilizado como agente geleificante pela sua capacidade de formar géis, pois formam redes que capturam a água da solução (CIRIMINNA et al., 2015; CASAGRANDE et al., 2017; ABID et al., 2017).

O mesocarpo externo do pequi é um subproduto com grande potencial de aproveitamento já que pode ser utilizado para elaborar uma farinha rica em fibra alimentar (38,02 %) indicando a presença de pectina, além de conter catequinas, flavonoides, flavononas, fenóis simples, esteróides e taninos (COSTA; PINTO; SOARES, 2017; PINHO et al., 2019).

Desta forma, objetivou-se produzir filmes biodegradáveis de pectina extraída do mesocarpo do pequi e avaliar as características comparando-as com filmes produzidos de

pectina cítrica comercial. Avaliou-se as propriedades mecânicas, permeabilidade ao vapor de água, opacidade, umidade, acidez, propriedades térmicas e características microestruturais dos filmes e a biodegradabilidade.

4.2. MATERIAL E MÉTODOS

4.2.1. Obtenção da matéria-prima

O mesocarpo do pequi foi obtido nas feiras livres do município de Rio Verde-GO, entre os meses de outubro de 2017 a fevereiro de 2018. Após a coleta a matéria-prima foi encaminhada ao Laboratório de Frutas e Hortaliças do Instituto Federal Goiano - Campus Rio Verde (GO), onde foram lavadas e sanitizadas em solução de água clorada a 1%, por dez minutos. Com auxílio de faca de inox os mesocarpos foram descascados, separando-os do pericarpo e removendo pontos de injúrias e frutinhos. Os mesocarpos limpos foram submetidos ao processo de branqueamento em água fervente, por 6 minutos.

Na sequência, os mesocarpos foram secos em estufa com circulação e renovação de ar (Marconi, modelo MA035/5) por 16 horas, à temperatura de 60°C. Após a secagem, foi preparada a farinha utilizando um moinho de facas (Tecnal, Wiley TE-650/1) e a mesma foi armazenada em sacos de polietileno sob abrigo da luz (Figura 2). (SOARES JUNIOR et al. 2010; SIQUEIRA et al., 2012; FELLOWS, 2019).



Figura 2. Produção da farinha do mesocarpo do pequi. a) Mesocarpo do pequi; b) Mesocarpo do pequi sem o exocarpo; c) Branqueamento do mesocarpo do pequi; d) Mesocarpo do pequi após secagem em estufa; e) farinha do mesocarpo do pequi. FONTE: Arquivo pessoal, (2019).

4.2.2. Extração da Pectina do Mesocarpo do Pequi

A extração da pectina do mesocarpo do pequi foi realizada, segundo a metodologia adaptada de Siqueira et al. (2012), através de processo a quente e em meio ácido sob agitação. Para as extrações, realizou-se testes variando as concentrações de ácido cítrico (1%, 4% e 8% m/v) e temperaturas (80°C e 100°C) nos tempos de 80 e 160 minutos.

A extração (Figura 3) foi realizada preparando em um béquer uma solução de água destilada contendo 3,2% p/v de farinha do mesocarpo de pequi e ácido cítrico anidro P.A. (Synth®) que foi agitada em agitador magnético (Splabor, SP-10206/A) com aquecimento e velocidade de 1500 rpm e mantida sob agitação conforme tempo e temperatura determinada nas condições experimentais. Em seguida, a solução foi resfriada até temperatura de 4°C e logo após, filtrada em tecido de náilon de 150 micras. O sobrenadante foi descartado e ao filtrado obtido adicionou-se álcool etílico absoluto P.A. (LS Chemicals®) na proporção de duas vezes o volume de solução e aguardou-se repouso por 1 hora para precipitação da pectina. A pectina coagulada foi separada por filtração em tecido de náilon e lavada com 200 mL de álcool etílico 70% seguido da lavagem com 200 mL de álcool etílico 95%, para retirada dos resíduos provenientes da extração. O gel obtido, composto de pectina foi seco em estufa de secagem (Solab, SL-100/81) a 60°C até peso constante. A pectina seca foi triturada em moinho de facas (Fortinox, Star FT51) com granulometria de 10 mesh (PROVIN, 2012; FARIA SILVA et al., 2016; VASCO-CORREA; ZAPATA, 2017).



Figura 3. Extração da pectina do mesocarpo do pequi. a) Precipitação alcoólica da pectina; b) Pectina após filtração e lavagem com álcool etílico; c) Pectina seca em estufa. FONTE: Arquivo pessoal, (2019).

4.2.3. Rendimento da Pectina do Mesocarpo do Pequi

O rendimento da pectina foi calculado através da razão entre a massa final de pectina obtida e a massa inicial de farinha do mesocarpo do pequi utilizada, conforme equação 1.

$$\text{Rendimento (\%)} = \frac{\text{massa de pectina extraída (g)}}{\text{massa de farinha em base seca (g)}} \times 100 \quad (1)$$

A formulação que apresentou maior rendimento foi selecionada para as extrações subsequentes da pectina utilizada na produção dos filmes biodegradáveis.

4.2.4. Espectrofotometria por infravermelho (FT-IR)

A análise do grau de esterificação da pectina do mesocarpo do pequi foi realizada por meio dos espectros das amostras que foram obtidos pela técnica de reflexão total

atenuada (ATR) no espectrômetro de absorção no infravermelho Bruker Vertex 70, com o acessório PLATINUM ATR UNIT A 225. As amostras foram colocadas sobre uma célula de diamante (2 x 2 mm), operando no modo de reflexão simples com um ângulo de interação de 45°. O espectro foi adquirido na faixa espectral de 400 a 4000 cm⁻¹, com resolução de 4 cm⁻¹, sendo cada espectro o resultado da média de 64 medidas.

Por meio do uso do software de análise de dados, foram subtraídos os sinais de dióxido de carbono e vapor d'água presentes na atmosfera (GRANATO, 2016; DE SOUSA et al., 2017).

4.2.5. Determinação do grau de esterificação

As amostras de pectina foram quantificadas quanto ao grau de esterificação através da metodologia de titulometria para determinar a quantidade de carboxilas livres e esterificadas (FERTONANI et al., 2009). Em um béquer umedeceu-se 0,25 gramas de pectina com 2 mL de álcool etílico P.A. e em seguida acrescentou-se 25 mL de água deionizada e manteve-se sob agitação constante em agitador magnético, por 30 min. Foi determinado o pH da solução e as carboxilas livres foram neutralizadas com solução de NaOH 0,1 N. Em seguida, acrescentou-se 10 mL de solução de NaOH 0,25 N, manteve-se a agitação por mais 30 minutos, para neutralização das carbonilas esterificadas. Na sequência realizou-se a neutralização com 10 mL de solução de HCL 0,25 N e novamente foi neutralizada com solução de NaOH 0,1 N. Com os volumes obtidos nas neutralizações, realizou-se os cálculos do grau de esterificação da pectina conforme Equação 2:

$$GE = \frac{N_2 * V_2}{(N_1 * V_1) + (N_2 * V_2)} \quad (2)$$

Em que:

GE - grau de esterificação da pectina;

N₁ - normalidade da solução (N);

V₁ - volume gasto (L).

4.2.6. Processo de confecção dos filmes

Os filmes para as embalagens biodegradáveis foram preparados pelo método de *casting* de acordo com a metodologia adaptada de Kechichian et al., (2010) que consiste na preparação de uma solução filmogênica que é espalhada em placas de acrílico para secagem (LÓPEZ et al., 2011; TURBIANI; KIECKBUSCH, 2011).

Após a avaliação dos filmes elaborados na etapa de teste preliminar identificou-se a melhor formulação através de análise visual e tátil em que se avaliou a aparência e a manuseabilidade dos filmes. Foi preparada uma solução filmogênica através da dissolução de 1,6% p/v de pectina extraída do mesocarpo do pequi em água destilada juntamente com 0,7 % p/v do agente plastificante, glicerol (Dinâmica). A solução foi mantida sob aquecimento e agitação constante em agitador magnético (Splabor, SP-10206/A) de 20 a 35 minutos até 70°C para dissolução total da pectina. Posteriormente, a solução foi reticulada (Figura 4) com 50 mL de solução de CaCl₂ a 5% por gotejamento lento e mantendo agitação constante e temperatura de 70°C. Em seguida a solução obtida foi deixada em repouso por 1 hora, para precipitação dos resíduos e posteriormente foram depositados 100 mL de solução filmogênica em placas de acrílico de 14 cm de diâmetro que foram levadas para secagem em estufa convencional por 24 horas a 60°C (SILVA; BIERHALZ; KIECKBUSCH, 2009; SILVA et al., 2014).



Figura 4. Processo de confecção dos filmes para as embalagens biodegradáveis. FONTE: Arquivo pessoal, (2019).

Para o preparo dos filmes controle, foi utilizado 1,6 % p/v de pectina comercial (Dinâmica) e 0,7% p/v de glicerol dissolvidos em água destilada e aquecidos a 70°C sob agitação constante em agitador magnético até completa dissolução. A solução foi deixada em repouso por 1 hora para separação das microbolhas que se formaram durante a

agitação e em seguida foram distribuídos 100 mL da solução filmogênica em placas acrílicas de 14 cm de diâmetro que foram colocadas para secagem em estufa convencional por 24 horas a 60°C (KANG et al., 2005).

Após a secagem, os filmes foram armazenados por 72 h em dessecadores com umidade relativa de 52% (solução saturada de nitrato de magnésio) e temperatura de 25°C, para uniformização do conteúdo de umidade conforme proposto por Silva et al., (2014).

4.2.7. Caracterização dos filmes

4.2.7.1. Espessura

A espessura dos filmes foi estudada utilizando um micrômetro com resolução de 0,0001 mm (Qualitylabor modelo MEP/Q, Perus.), através da média da espessura em 10 pontos aleatórios do filme (TURBIANI; KIECKBUSCH, 2011).

4.2.7.2. Gramatura

A gramatura foi determinada de acordo com a norma ASTM D646-96 (2007) e os resultados expressos em g/m². Foram cortados filmes de 2 x 2 cm e os mesmos foram pesados em balança analítica.

4.2.7.3. Umidade

A umidade foi determinada por gravimetria em triplicata, conforme Sucheta et al., (2019). Preparou-se discos de filmes de 2,5 cm de diâmetro que foram submetidos à secagem em estufa (Solab, SL-100), a 105°C por 24 h até peso constante. O conteúdo de umidade foi expresso como fração da massa inicial do filme conforme método AOAC n° 925.10 (AOAC, 1997).

4.2.7.4. pH

O pH foi determinado por medição direta em potenciômetro (Tenopon – Luca 210P), segundo método N° 981.12 - AOAC, 1997, utilizando 5 gramas de amostra dissolvidas em 100 mL de água deionizada.

4.2.7.5. Atividade de água (a_w)

As medições da atividade da água foram realizadas por método indireto em equipamento HygroPalm Model Aw1, com temperatura de 8°C, considerando a temperatura de resfriamento em que o filme será utilizado. O compartimento do aparelho

foi preenchido com amostras cortadas em dimensões de 2 x 2 cm e avaliadas em triplicata (VEIGA-SANTOS, 2005).

4.2.7.6. Determinação da cor e opacidade

A cor dos filmes foi avaliada por meio de colorímetro (Hunterlab, ColorFlex EZ), utilizando-se os padrões CIEL*a*b de acordo com Fernandes et al., (2015). Neste sistema de cor foram determinados os parâmetros de luminosidade L*(luminosidade), variando de 0 (preto) a 100 (branco); a* (intensidade da cor verde a vermelho), b* (intensidade da cor amarela a azul). A cromaticidade C* e o ângulo hue H, que indicam a intensidade da cor e a tonalidade da cor, respectivamente, foram calculadas através das equações 3 e 4. Os filmes foram colocados no compartimento do equipamento e foram realizadas cinco leituras em cada lado do filme.

$$H = \tan^{-1}(b^*/a^*) \quad (3)$$

$$C = [(a^*)^2 + (b^*)^2]^{0,5} \quad (4)$$

A opacidade aparente dos filmes foi medida em Espectrôfotometro UV/Visível (Shangai Metash UV-5100). As amostras foram cortadas em retângulos que foram aderidos a parede interna da cubeta de quartzo com auxílio de uma pinça. Foi realizada a medição, utilizando comprimentos de onda de luz visível em 600 nm. Os resultados foram apresentados como a razão entre a absorbância e a espessura do biofilme (600 nm.mm⁻¹) (RIGO, 2006).

4.2.7.7. Propriedades mecânicas

As propriedades mecânicas de tensão máxima (TM), tensão de ruptura (TR), alongação (EL) e o modulo de elasticidade (ME) foram determinadas segundo o método ASTM D882-10 (2010), utilizando uma máquina universal de ensaios Instron, modelo 3367, Grove City (Figura 5) em ambiente climatizado a 25 ± 1°C e umidade relativa de 55 ± 3%. As amostras foram cortadas com largura de 25,0 mm e comprimento de 120 mm, com espessuras médias de 0,07 ± 0,04 mm e 0,08 ± 0,02 mm, para os filmes PMP e PCC respectivamente. As amostras foram pré-condicionadas em dessecadores contendo cloreto de magnésio com umidade de 55% e temperatura entre 25°C por 48 horas. As tiras foram ajustadas ao equipamento com espaço entre os ganchos de 100 mm e foram tracionadas com velocidade de 12 mm por min e carga de 500 N (SILVA et al., 2009; CHIUMARELLI; HUBINGER, 2012).



Figura 5. Análise mecânica em equipamento Instron, modelo 3367, Grove City. a) Análise do filme de pectina do mesocarpo do pequi; b) Análise do filme de pectina cítrica comercial. FONTE: Arquivo pessoal, (2019).

4.2.7.8. Permeabilidade ao vapor de água

A análise de permeabilidade ao vapor de água foi realizada em triplicata, por método gravimétrico de acordo com ASTM E96/E96M - 10 (ASTM, 2011) com modificações, utilizando temperatura de resfriamento de 8°C.

Os filmes foram selados com parafina sobre uma cápsula de permeação (Figura 6) de tecnil de 8 cm de diâmetro, contendo cloreto de cálcio anidro (Synth), previamente seco em estufa a 200°C, com umidade relativa de 0%. A cápsula foi então acondicionada em dessecador contendo solução saturada de cloreto de magnésio ($MgCl_2$), com umidade relativa de 74,8% que foi mantido em estufa incubadora B.O.D. (Tecnal, TE-371, Piracicaba-SP, Brasil). O peso das células foi acompanhado através de medições periódicas em intervalos de 30 minutos durante as primeiras 2h; a cada 2h durante as 8h seguintes e na sequência após 24h, por 7 dias (ADILAH et al., 2018; D. TAPIA-BLACIDO et al., 2007).



Figura 6. Cápsula de permeação da análise de permeabilidade ao vapor de água. FONTE: Arquivo pessoal, (2019).

As alterações do peso das cápsulas foram registradas como ganho de massa (g) e foram analisadas em função do tempo (h). Calculou-se a taxa de permeabilidade ao vapor de água (PVA) conforme a equação 5:

$$PVA = \frac{G \times \text{tempo}(t) \times \delta}{A \times DPH_2O} \quad (5)$$

Em que:

PVA - permeabilidade ao vapor de água [(g.mm)/(m².dia.kPa)];

G - taxa constante de ganho de massa [g/dia];

T - tempo em dias [dia];

δ - espessura inicial do filme [mm];

A - área exposta do filme [5,02 x 10⁻³ m²];

DPH₂O é a diferença de pressão parcial do vapor de água no ambiente próximo as duas faces do filme na temperatura do ensaio [kPa].

4.2.7.9. Solubilidade em água

A solubilidade em água do filme foi realizada em triplicada por método gravimétrico. As amostras foram cortadas em círculos de 2 cm de diâmetro e colocadas para secagem em estufa por 24 horas a 105°C e pesadas em seguida para obtenção do peso inicial. Após a secagem, as amostras foram imersas em 50 mL de água destilada e mantidas sob agitação constante e lenta a 25°C por 24 horas em agitador magnético (Warmnest, Virgínia, USA) a 150 rpm. Ao final do tempo de agitação as amostras foram filtradas e o material restante foi seco em estufa a 105°C, por 24 horas, para determinar a quantidade de matéria seca não solubilizada (CHIUMARELLI; HUBINGER, 2014).



Figura 7. Análise de solubilidade em água. FONTE: Arquivo pessoal, (2019).

O cálculo da solubilidade foi expresso utilizando a massa seca inicial e a massa seca final, de acordo com ASTM D644-94 (ASTM 1994), conforme a Equação 6:

$$\text{Solubilidade } \% = \frac{MSi - MSf}{MSf} \times 100 \quad (6)$$

Em que:

MSi - massa inicial em [g];

MSf - massa final em [g];

4.2.7.10. Espectrofotometria por infravermelho (FT-IR)

Os espectros das amostras foram adquiridos pela técnica de reflexão total atenuada (ATR) no espectrômetro de absorção no infravermelho Bruker Vertex 70, com o acessório PLATINUM ATR UNIT A 225. As amostras foram colocadas sobre célula de diamante (2 x 2 mm), operando no modo de reflexão simples com um ângulo de interação de 45°. O espectro foi adquirido na faixa espectral de 400 – 4000 cm⁻¹, com resolução de 4 cm⁻¹, sendo cada espectro o resultado da média de 64 medidas. Por meio do uso do software de análise de dados, foram subtraídos os sinais de dióxido de carbono e vapor d'água presentes na atmosfera (GRANATO, 2016; SANTOS; AOUADA; MOURA, 2019).

4.2.7.11. Microscopia eletrônica de varredura (MEV)

A superfície e a seção transversal dos filmes foram analisadas em Microscópio Eletrônico de Varredura (MEV), Jeol, JSM – 6610, equipado com EDS, Thermo scientific NSS Spectral Imaging no laboratório Multiusuário de Microscopia de Alta Resolução do Instituto LabMic/UFG – Goiânia-GO (Figura 8). As amostras dos filmes foram previamente preparadas, sendo colocadas em dessecadores com umidade relativa de 52% (solução saturada de nitrato de magnésio) e temperatura de 25°C. Para a análise foram preparados os corpos de prova em duplicata, cortando-as nas dimensões 0,5 x 0,5 cm e para as análises de fratura os filmes foram congelados em nitrogênio líquido e quebrados para obter uma pequena parte da amostra. Em seguida as amostras foram fixadas em um suporte de alumínio com adesivo lateral duplo e foram revestidas de uma camada de ouro (40-50 nm) em aparelho Denton Vacuum, Desk V. Foi feita a captura das imagens utilizando uma tensão de aceleração de 3 kV, e uma ampliação de 100, 500, 2000 e 5000 vezes do tamanho da amostra de origem, para as análises de superfície e aumentos de 1000, 2000 e 5000 vezes para as análises de fratura (AQUINO et al., 2017; FARAHNAKY et al., 2018).



Figura 8. Análise de Microscopia Eletrônica de Varredura (MEV). a) preparo das amostras para cobertura de camada de ouro; b) Equipamento Denton Vacuum, Desk V. que realiza o recobrimento das amostras com camada de ouro. c) Microscópio Eletrônico de Varredura (Joel, JSM – 6619). FONTE: Arquivo pessoal, (2019).

4.2.7.12. Calorimetria diferencial de varredura (DSC)

Os termogramas foram obtidos pela técnica de calorimetria exploratória diferencial (DSC), usando um equipamento Shimadzu DSC-60 PLUS do Centro Regional para o Desenvolvimento Tecnológico e Inovação – CRTI em Goiânia - GO. As medidas foram realizadas no intervalo de temperaturas de 25 a 300°C, usando uma taxa de aquecimento de 10°C por min., fluxo de nitrogênio a 200 mL por min. e cadinhos de alumínio selados. As curvas representando a perda de peso em função da temperatura foram analisadas (BUNHAKA et al., 2015; SESLIJA et al., 2017).

4.2.7.13. Biodegradabilidade

O teste de biodegradabilidade foi realizado de acordo com a norma ASTM (G160-98), com modificações. Inicialmente foram preparadas amostras em triplicata, com dimensões de 5 x 5mm que foram pré-condicionadas em estufa de secagem (Solab, SL-100) a 40°C por 24 horas. Para os ensaios de biodegradabilidade foi feito o preparo da terra misturando-se em partes iguais, esterco bovino, areia fina e de solo fértil com baixo teor de argila, com massa total de 9 kg de solo. O solo foi peneirado e envelhecido por três meses e monitorado quanto ao pH (6,5 a 7,5) e umidade (20 a 30%). As amostras foram enterradas em béqueres contendo solo previamente preparado e guardadas em incubadora BOD (Tecnal, TE 371, Piracicaba-SP, Brasil) com umidade de 99% e temperatura de 30°C ao abrigo da luz (Figura 9). As amostras foram avaliadas após 3 dias quando o solo foi removido cuidadosamente expondo as amostras para que fossem fotografadas para análise visual (AZEVEDO et al., 2016; AQUINO et al., 2017; YU et al., 2018).



Figura 9. Análise de biodegradabilidade. a) e b) Preparo das amostras de filme de pectina do mesocarpo do pequi e filme de pectina comercial; c) Acompanhamento da biodegradabilidade durante os dias de incubação. FONTE: Arquivo pessoal, (2019).

4.2.7.14. Análise estatística

Os resultados das análises de caracterização dos filmes biodegradáveis foram tratados pela análise de variância (ANOVA), para obtenção das médias e desvio padrão através do programa SISVAR (versão 5.6) e as médias comparadas por teste de Tukey, ao nível de 5% de significância.

5.3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

5.3.1. Rendimento da pectina do mesocarpo do pequi e grau de esterificação

Os rendimentos das extrações da pectina do mesocarpo do pequi variaram entre 10,3 % a 22,9 %, sendo menor o rendimento quanto menor o teor de ácido cítrico (Tabela 1). Este resultado é similar ao encontrado por Siqueira et al. (2012), que verificaram aumento no rendimento e diminuição do grau de esterificação com o aumento da temperatura de extração das pectinas do mesocarpo do pequi. Nas extrações, os rendimentos das pectinas variaram entre 14,89% (1% de ácido cítrico) e 55,86% (8% de ácido cítrico), enquanto o grau de esterificação foi de 36,94% e 13,78%, respectivamente. Provin (2012), obteve rendimentos mais baixos para extrações de pectina do mesocarpo do pequi, sendo no processo a frio entre 6,9 % e 9,7 % e a quente (80° C) os rendimentos reduziram para 3,1% a 4,2 %.

Tabela 1. Rendimentos e grau de esterificação das pectinas de mesocarpo do pequi em diferentes condições de extração

Ácido Cítrico (%)	Temperatura (°C)	Tempo (min)	Rendimento Pectina (%)	Grau de esterificação (%)
1	80	80	10,3 ± 0,91	62,02
1	80	160	15,2 ± 1,27	56,30
1	100	80	16,6 ± 0,43	53,80
1	100	160	17,1 ± 0,20	36,70
4	80	80	22,9 ± 2,74	51,60
4	80	160	26,6 ± 1,31	42,06
4	100	80	18,1 ± 1,09	38,16
4	100	160	19,9 ± 2,01	33,77
8	80	80	17,4 ± 0,89	35,01
8	80	160	16,2 ± 1,44	42,23
8	100	80	18,2 ± 1,93	33,12
8	100	160	16,5 ± 1,61	29,87

Em outros estudos, os rendimentos médios de pectina utilizando a extração ácida variaram de 5,65% a 47,63% de pectina extraída da casca da laranja, sendo que os maiores valores dos experimentos foram obtidos com temperaturas de 90°C. Na extração da pectina da farinha de polpa com casca de goiaba com concentração de ácido cítrico de 5%, tempo de extração de 60 minutos e temperatura de 97°C, os rendimentos foram acima

de 11% (MUNHOZ; SANJINEZ-ARGANDOÑA; SOARES-JÚNIOR, 2010; FARIA SILVA et al., 2016; DE SOUSA et al., 2017).

O grau de esterificação das pectinas extraídas variou entre 29,08% e 62,02%, sendo que valores maiores que 50% foram obtidos nas extrações com menor concentração de ácido cítrico (Tabela 1), que se pode caracterizar como pectinas de alto teor de esterificação (FENNEMA; DAMODARAN; PARKIN, 2010). Comportamento análogo foi observado por Siqueira (2012) no seu trabalho de extração de pectina do mesocarpo do pequi, porém, obtendo valores inferiores entre 11,79 e 48,07% pela ocorrência de hidrólise ácida que degrada a protopectina.

5.3.2. Espectrofotometria por infravermelho – Transformada de Fourier (FT-IR)

A Figura 10 identifica os ácidos poligalacturônicos esterificados e não esterificados pelo pico localizado na banda de 1715 cm^{-1} , que corresponde a deformação axial C=O do grupo metilcarboxilato, sendo este de alta intensidade evidenciando que a pectina é de alto grau de esterificação conforme Tabela 1. Segundo Souza et al., (2009) as bandas que se localizam no intervalo de $1500\text{ a }1800\text{ cm}^{-1}$, corresponde aos picos esterificados e os não esterificados e coincidem com as bandas avaliadas para determinação do grau de esterificação da pectina do mesocarpo do pequi.

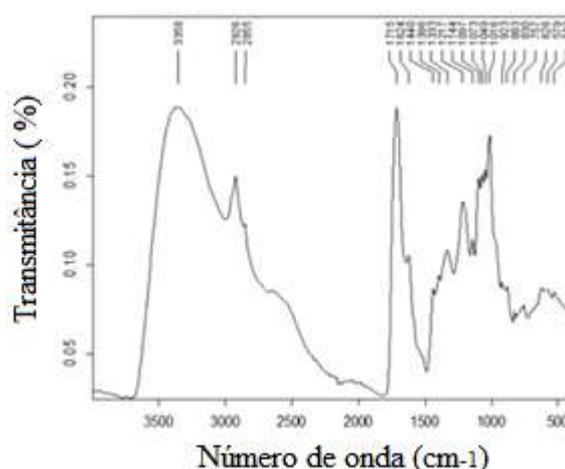


Figura 10. Espectro de infravermelho da pectina do mesocarpo do pequi.

O espectro apresenta ainda um pico forte e largo em 3358 cm^{-1} que está associado com as vibrações de estiramento de grupos O-H, ligados por pontes de

hidrogênio e picos entre 2926 a 2855 cm^{-1} que representam grupos C-H alifáticos com carbonos primários e secundários. Em menores intensidades, verifica-se picos entre 1217 cm^{-1} a 1016 cm^{-1} que corresponde a região de *'fingerprint'* característico para cada polissacarídeo. O pico em 1217 cm^{-1} representa o estiramento C-O decorrente da estrutura do anel pirano derivado dos taninos; nas bandas entre 1016 cm^{-1} a 1097 cm^{-1} que podem ser atribuídas as deformações C-H do anel aromático (NASCIMENTO, 2011).

5.3.3. Produção dos Filmes Biodegradáveis

Nos testes prévios os filmes foram avaliados quanto a qualidade visual e manual, (Figura 11), e foi observado a facilidade de desprendimento da placa, a manuseabilidade, a presença de bolhas e partículas insolúveis e a continuidade dos filmes, até se obter a melhor formulação a ser estudada conforme preconizado por Melo et al., (2017).

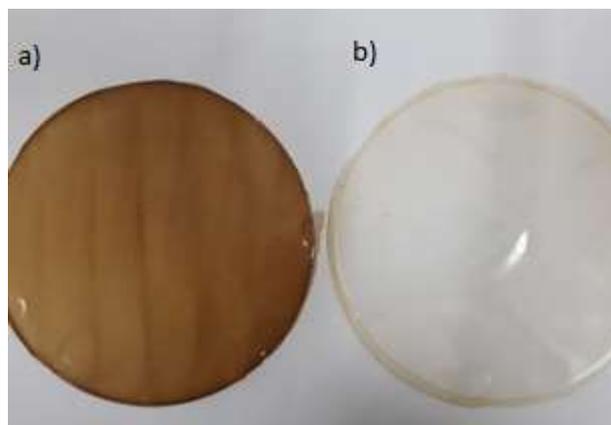


Figura 11. Filmes biodegradáveis. a) Filme de pectina extraída do mesocarpo do pequi e filme de pectina cítrica comercial. FONTE: Arquivo pessoal, (2019).

5.3.4. Caracterização dos Filmes Biodegradáveis

5.3.4.1. Espessura, gramatura, umidade, atividade de água e pH dos filmes

As espessuras encontradas nos filmes PMP e PCC não apresentaram diferença entre si, sendo estas de 0,08 mm e 0,07 mm, respectivamente (Tabela 2). Como pode ser observado através dos coeficientes de variação abaixo de 0,04, foi possível obter filmes com espessuras homogêneas. Segundo Sobral (2000), a espessura dos filmes biodegradáveis, produzidos através da técnica de *casting*, pode ser variável, pois o espalhamento e secagem dos filmes no suporte podem gerar filmes não homogêneos sendo necessário um controle rigoroso da forma do suporte e do nível da estufa (MALLI; GROSSMAN; YAMASHITA, 2010).

Tabela 2. Médias \pm desvio padrão dos resultados de espessura, gramatura, umidade, atividade de água e pH dos filmes de pectina do mesocarpo de pequi e filmes de pectina cítrica comercial

	Filme de pectina do mesocarpo do pequi	Filme de pectina cítrica comercial
Espessura (mm)	0,08 ^a \pm 0,02	0,07 ^a \pm 0,04
Gramatura (g/cm ²)	165,32 ^a \pm 3,54	128,29 ^b \pm 3,49
Umidade (% b.u.)	36,25 ^a \pm 0,55	19,97 ^b \pm 1,04
Atividade de água	0,613 ^a \pm 0,02	0,652 ^a \pm 0,01
pH	2,28 ^b \pm 0,06	4,67 ^a \pm 0,04

Médias seguidas de mesma letra na linha não diferem entre si pelo Teste de Tukey, em nível de 5% de probabilidade.

Santos et al., (2017) obteve espessuras superiores, entre 0,101 e 0,143 mm, para filmes produzidos com vinhaça, com e sem ácido cítrico, enquanto nos estudos de Salazar et al., (2018) foram produzidos filmes mais finos com pectina de manga que apresentaram espessura de 0,06 mm e de pectina de laranja de 0,05 mm. Em filmes de amidos de mandioca modificados sob diferentes concentrações, Henrique et al., (2008) encontraram variação de espessura entre 0,06 e 0,12 mm.

O filme PMP apresentou maior valor de gramatura (Tabela 2), podendo ser justificado pela presença de fibras insolúveis (celulose e hemicelulose) do mesocarpo do pequi que não foram separadas totalmente durante o processo de extração da pectina (SIQUEIRA et al., 2012).

Henrique et al., (2008) constataram maior valor de gramatura para filmes de diferentes tipos de amido modificado de mandioca variando entre 321,8 g/cm² a 457,9 g/cm². Por outro lado, Costa et al., (2017) obtiveram valores similares ao presente estudo, entre 153,33 a 185,91 g/cm², para filmes produzidos à base de amido de feijão.

De acordo com Silva et al., (2016) a gramatura de filmes está diretamente relacionada à resistência mecânica dos filmes biodegradáveis, sendo que quanto maior a gramatura, maior é a resistência mecânica. O conhecimento da gramatura dos filmes é uma propriedade importante para determinar a área total de material existente em uma bobina.

O filme PMP apresentou umidade 81,5 % maior PCC (Tabela 2). Os filmes PMP provavelmente apresentam maior quantidade de grupos carboxilas e hidroxilas

disponíveis para formação de pontes de hidrogênio que se ligam com a água. A presença do glicerol na formulação favorece a absorção de água pela sua higroscopicidade, e aumenta o teor de água dos filmes e pode conferir maior mobilidade das cadeias dos polímeros (RINDLAV-WESTLING et al., 1998; ALMASI, 2010).

Costa et al., (2017) estudaram a umidade de filmes à base de amido de feijão observaram valores entre 14,45 % e 26,50 %, sendo que o aumento na quantidade de glicerol nas formulações promoveu o aumento da umidade pelo caráter hidrofílico dos filmes. O mesmo comportamento foi validado por Mota (2009) que estudou filmes de amido extraído da fruta-de-lobo (*Solanum lycocarpum*) e encontraram umidade entre 10,36 % e 11,42%.

A atividade de água dos filmes das duas formulações (filme PMP e filme PCC) não diferiu entre si apresentando valores na faixa de 0,60, indicando que o crescimento de fungos é o tipo de degradação mais provável de acontecer. A atividade da água é um fator crítico que influencia na vida de prateleira, já que baixas atividades de água podem inibir os mecanismos de degradação por reações bioquímicas ou por microrganismos. Veiga-Santos et al., (2005) analisaram filmes de amido com aditivos e goma xantana desacetilada e obtiveram medidas entre 0,53 e 0,89. Resultados menores foram obtidos por Sothornvit e Rodsamran (2008), para filmes elaborados com purê de manga, em que a atividade de água foi de 0,52 (YANG; PAULSON, 2000; MATHLOUTHI, 2001).

Segundo Fennema et al., (1994) os filmes biodegradáveis podem contribuir como barreira à água, retardando assim a perda de umidade. O retardamento do movimento de água entre os componentes de um alimento ocorrerá quando a atividade de água dos componentes for igual a da cobertura ou filme.

O pH dos filmes apresentou diferença ($< 0,05$), sendo que o filme PMP apresentou pH de 2,28 enquanto o do filme PCC foi de 4,67. O baixo valor de pH do filme PMP se justifica pelo método utilizado na extração da pectina do mesocarpo do pequi com adição de ácido cítrico. O pH ácido do filme atua como inibidor de microrganismos contribuindo para manutenção da qualidade microbiológica do filme e do produto embalado, sendo que a microbiota capaz de se desenvolver fica restrita a bolores e leveduras e por vezes bactérias lácticas e acéticas (FRANCO; LANDGRAF, 2005).

5.3.4.2. Determinação de Cor e Opacidade

Os filmes PMP apresentaram coloração com tonalidade marrom amarelado e indicaram diferença ($p < 0,05$) na coloração perante os filmes PCC, transparentes (Tabela

3). Diante dessa característica de cor dos filmes PMP salienta-se que os mesmos podem ser indicados para embalar alimentos que necessitem de proteção contra a luz. Visto que a embalagem escura não é atrativa ao consumidor o uso do fator sustentabilidade pode se tornar um fator relevante na decisão de compra do consumidor.

Alguns estudos indicam que a aparência das embalagens e filmes com a finalidade de usos alimentares exerce papel importante na aceitabilidade do consumidor e influenciam diretamente na decisão de compra (FALGUERA, 2011; SUCHETA et al., 2019).

Os filmes PCC apresentaram valor de luminosidade maiores, diferindo ($p > 0,05$) do filme PMP (Tabela 3). Quanto maior o valor da coordenada L^* , mais próxima ao branco a amostra está, indicando que os filmes PMP tem cor mais escura que o filme PCC. Para as coordenadas a^* e b^* , que expressam a variação de cor das amostras entre verde e vermelho ($-a^*$ e $+a^*$) e entre azul e amarelo ($-b^*$ e $+b^*$), houve diferença entre os filmes, sendo que o filme PMP apresentou variações de cor tendendo ao vermelho e amarelo enquanto o filme PCC apresentou variação de cor tendendo ao zero e indica uma cor acromática (cinzenta) e azul. Resultados análogos foram notados por Couto (2007), que analisou a cor da farinha do mesocarpo do pequi obtendo L^* 51,07, a^* 9,11 e b^* 28,86, que é a matéria-prima dos filmes PMP.

A tonalidade (h°), que é a grandeza que caracteriza a qualidade da cor, ficou com tendência ao amarelo-avermelhado para o filme PMP e o amarelo mais claro para o filme PCC. O grau de saturação (C^*), que representa pureza de cor e quanto maior o chroma maior a saturação das cores perceptíveis aos humanos. As cores neutras têm baixa saturação, enquanto cores puras possuem alta saturação e são mais brilhantes na percepção humana (MCGUIRE, 1992). Assim, os filmes de PCC apresentaram cores mais neutras que os filmes PMP com valores de 8,71 e 29,71, respectivamente.

Azevedo et al., (2014) produziu filmes utilizando concentrado proteico de soro de leite que também apresentaram cor amarelada quanto maior a quantidade de concentrado proteico utilizado e foram considerados aceitáveis para uso. Os filmes produzidos por Martelli et al., (2014), com o purê da polpa de banana apresentaram tendência natural de manutenção da cor da polpa de banana, apresentando tons com tirantes de amarelo mais intenso ou vermelho, o que o autor justificou pela produção de melanoidinas pela ocorrência de reações de Maillard.

Tabela 3. Médias \pm desvio padrão dos resultados de cor para os filmes de pectina do mesocarpo de pequi e dos filmes de pectina cítrica comercial

		Filme de pectina do mesocarpo do pequi	Filme de pectina cítrica comercial
Parâmetros de cor	L*	55,67 ^b \pm 0,90	90,69 ^a \pm 0,78
	a*	11,56 ^a \pm 0,78	-0,51 ^b \pm 0,04
	b*	27,35 ^a \pm 0,94	8,96 ^b \pm 1,29
	C*	29,71 ^a \pm 0,62	8,71 ^b \pm 1,29
	h°	67,06 ^b \pm 1,97	93,44 ^a \pm 0,63
Opacidade	Abs600		
	nm/mm	10,67 ^a \pm 0,01	0,92 ^b \pm 0,02

Médias seguidas de mesma letra na linha não diferem entre si pelo Teste de Tukey, em nível de 5% de probabilidade.

A cor dos filmes PMP pode ser associada a considerável quantidade de taninos existente no mesocarpo de pequi, que são compostos não cristalizáveis que formam soluções coloidais na presença de água apresentando reação ácida e forte sabor adstringente podendo até comprometer o sabor dos subprodutos utilizados. Os taninos, presentes principalmente na casca ou no caule de algumas espécies vegetais auxiliam na defesa da planta contra o ataque de insetos. Outra hipótese quanto à coloração escura dos filmes preparados com pectina do mesocarpo do pequi ocorre pela característica insolúvel da pectina que quando não é completamente dissolvida pode apresentar coloração mais escura (CARVALHO et al.,2015; GRASEL, et al.,2016; CAMPOS et al., 2016).

Pastor et al. (2010) produziram filmes amarelados de hidroxipropil metilcelulose (HPMC) e extrato etanólico de própolis e definiram que se pode restringir a utilização em gêneros alimentícios diferentes, mas entenderam que em cenouras ou laranjas a sua sombra iria mascarar a cor dos filmes.

Os resultados para opacidade diferiram entre os filmes, sendo que o valor de 0,92 Abs 600.mm⁻¹ para os filmes PCC indica que os filmes têm baixa opacidade e são mais transparentes que o filme PMP. Al Hassan e Norziah (2012) produziram filmes biodegradáveis de gelatina de peixe e encontraram baixa opacidade de 2,0 Abs 600.mm⁻¹ que indica maior transparência dos filmes. Os resultados de Almeida, (2013) corroboram com a baixa opacidade, entre 6,25 e 14,8 Abs 600.mm⁻¹, para filmes formados por blenda de celulose bacteriana e fécula de batata.

Os filmes PMP apresentaram opacidade maior, com valor de 10,67 Abs 600.mm⁻¹. Valores de opacidade superiores foram encontrados por Fakhouri (2007) para filmes elaborados de gelatina e amido nativo de sorgo (40,04 Abs600.mm⁻¹) e de batata (29,9 Abs 600.mm⁻¹).

A opacidade dos filmes é um parâmetro importante quanto ao acondicionamento de produtos, pois uma embalagem atrativa e com maior brilho pode ser uma ferramenta valiosa no marketing do produto (ALMEIDA, 2013; AQUINO et al., 2017).

5.3.4.3. Propriedades Mecânicas

As propriedades mecânicas dos filmes PMP e PCC apresentaram diferença ($p < 0,05$), somente quanto ao módulo de elasticidade, e indica comportamentos similares dos filmes quanto aos testes de tração (Tabela 4).

Os filmes analisados apresentavam espessuras médias de 0,07 e 0,08 mm e não apresentaram diferença significativa ($p < 0,05$) o que pode ser um indicador da não variação das propriedades mecânicas dos filmes. Os valores do módulo de elasticidade, também chamada de deformação máxima, diferiram entre as amostras e indicam que o filme PMP tem elasticidade 2,9 vezes maior que o filme PCC. Os valores de módulo de elasticidade indicam que os filmes PCC apresentam a formação de uma matriz polimérica mais rígida que os filmes PMP.

A presença do glicerol contribui com a redução da fragilidade do material e elimina as forças intramoleculares que proporcionam o aumento da mobilidade da cadeia polimérica. De acordo com a literatura, o conteúdo de água do filme também contribuiu para a estrutura flexível e esticável e corrobora com os dados de umidade encontrados (GALDEANO et al., 2014; SUDERMAN; ISA; SARBON, 2018).

Alexandrino (2017) e colaboradores, que trabalharam com filmes de purê de mamão adicionados de pectina e nanoestruturas obtiveram valores bastante inferiores quanto a alongação, variando entre 1,47% e 10,97% e tensões máximas entre 3,7 MPa e 14,14 MPa, que variaram de acordo com a quantidade de pectina adicionadas em cada formulação e que influenciou diretamente nas espessuras dos filmes.

O alongamento à ruptura, também conhecido como tensão de fratura, é a razão entre comprimento alterado e comprimento inicial após a ruptura do corpo de prova. É um fator importante no filme biodegradável, já que delinea a capacidade do filme de resistir a mudanças sem a formação de rachaduras. Os dois filmes não apresentaram

diferença quanto a tensão de ruptura, ficando entre 2,48 MPa e 2,66 MPa, para os filmes PCC e PMP respectivamente, conforme tabela 5.

Tabela 4. Médias \pm desvio padrão das propriedades mecânicas dos filmes produzidos da pectina do mesocarpo do pequi e filmes de pectina cítrica comercial

		Filme de pectina do mesocarpo pequi	Filme de pectina cítrica comercial
Propriedades mecânicas	Tensão Máxima (MPa)	6,125 ^a \pm 4,10	7,075 ^a \pm 3,21
	Tensão na Ruptura (MPa)	2,667 ^a \pm 2,58	2,484 ^a \pm 1,58
	Elongação (%)	11,970 ^a \pm 5,95	18,189 ^a \pm 8,34
	Módulo de elasticidade (MPa)	82,163 ^a \pm 8,09	28,567 ^b \pm 8,25

Médias seguidas de mesma letra na linha não diferem entre si pelo Teste de Tukey, em nível de 5% de probabilidade.

Suderman et al., (2018) obteve filmes de gelatina de pele de frango em comparação com filmes de gelatina de mamíferos, plastificados com glicerol com boa resistência mecânica, sendo que a elongação encontrada variou de 122,78 % a 135,60% e a resistência a tração foi de 2,97 a 5.57 MPa. Louzada et al., (2018) também observaram aumento significativo da resistência à tração e alongamento com aumento da concentração do agente plastificante em filmes de amido da fruta-de-lobo.

5.3.4.4. Permeabilidade ao Vapor de Água (PVA) e Solubilidade em Água

A permeabilidade ao vapor de água é uma propriedade importante a ser avaliada em filmes biodegradáveis quando se procura utilizá-los como embalagens de vegetais (CHIUMARELI; HUBINGER, 2012). Os resultados da permeabilidade de água através dos filmes apontam para maior permeabilidade do filme PMP, porém os filmes não apresentaram diferença ($p > 0,05$) na permeabilidade ao vapor de água (Tabela 5). Pode-se observar ainda que o ganho de peso das células de permeabilidade apresentou comportamento linear durante o ensaio para ambos os filmes (Figura 12).

Tabela 5. Médias \pm desvio padrão da permeabilidade ao vapor de água (PVA) e solubilidade em água dos filmes de pectina do mesocarpo do pequi e filme de pectina cítrica comercial

	Filme de pectina do mesocarpo do pequi	Filme de pectina cítrica comercial
Permeabilidade ao vapor de água [(g.mm)/(m ² .dia.kPa)]	15,07 ^a \pm 0,08	14,78 ^a \pm 0,05
Solubilidade em água (%)	76,99 ^a \pm 4,27	45,53 ^b \pm 9,31

Médias seguidas de mesma letra na linha não diferem entre si pelo Teste de Tukey, em nível de 5% de probabilidade.

O filme PMP apresentou tendência a maior taxa de permeabilidade ao vapor de água o que condiz com o alto valor de solubilidade. Este comportamento pode ocorrer devido a estrutura molecular destes filmes serem maiores e mais dispersas quando comparada ao filme PCC, como pode ser observado nas microestruturas dos filmes. As estruturas mais dispersas permitem que maior quantidade de vapor de água passe através dos filmes e contribui com o alto caráter hidrofílico do filme (AZEREDO et al., 2016).

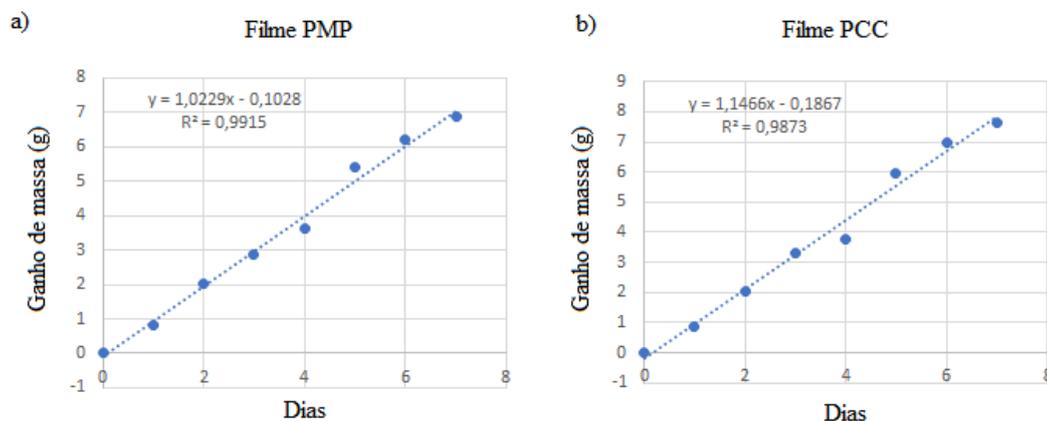


Figura 12. Ganho de massa na permeabilidade ao vapor de água. a) Filme PMP e b) Filme PCC.

Melo et al., (2017) encontraram taxas de permeabilidade de filmes produzidos de pectina com polpa de cacau bastante inferiores, entre 2,47 e 2,69 g.mm/kPa.h.m² ao encontrado no presente trabalho que foi de 15,07 e 14,78 g.mm/kPa.h.m². Em contrapartida, filmes produzidos de purê de goiaba e purê de manga apresentaram taxas de permeabilidade ao vapor de água mais elevadas, sendo 25 e 75g.mm/kPa.h.m², respectivamente. Estas altas taxas de permeabilidade ao vapor de água (PVA) indicam a

passagem de grande quantidade de vapor de água entre as membranas do filme e pode se tornar uma característica indesejável para embalagens de alimentos, pois a maior quantidade de água acelera o processo de deterioração, reduzindo a vida de prateleira de produtos (VIANA et al., 2018).

Alexandrino (2017) avaliou o efeito de reforçadores (quitosana, nanofibras de celulose e pectina) nas taxas de permeabilidade de filmes à base de polpa de mamão e evidenciou que a pectina tem efeito positivo na redução, pois a adição de 0,5% de pectina reduziu em 77% a PVA dos filmes em comparação com filmes produzidos somente com a polpa de mamão. Essa redução na PVA foi entendida pela maior afinidade entre a pectina e polpa de mamão, gerando uma rede de interação tridimensional resultando em uma matriz polimérica mais densa (ZSIVANOVITS et al., 2004).

Quanto a solubilidade em água, os filmes de PMP e PCC apresentaram diferença ($p \geq 0,05$), sendo que o filme PMP foi 2,6 vezes mais solúvel que o filme PCC (Tabela 5). Esta alta solubilidade pode ser associada à presença de glicerol que é um material muito higroscópico, ao maior teor de água do filme PMP e ainda a distribuição global dos grupos hidrófilos e hidrofóbicos das moléculas de pectina (PECTINA, 2014; MATTA et al., 2011).

Nos trabalhos de Chiumarelli e Hubinger (2014) a solubilidade encontrada variou de 27,50% a 43,14%, e o mesmo classificou como sendo bons valores para sua aplicação em frutos minimamente processados. Em filmes de amido de feijão, Costa et al., (2017) verificaram valores de solubilidade de 22,6 % e não observaram influência do glicerol na solubilidade dos filmes.

A solubilidade dos filmes em água é uma propriedade que pode indicar o comportamento perante os alimentos, podendo ter ação de proteção para alimentos com atividade de água alta ou contribuindo com a cocção de alimentos em contato com a água e até mesmo sendo utilizado para filmes comestíveis. Filmes com alta solubilidade podem ser interessantes na aplicação de produtos com vida de prateleira curta, em produtos do tipo tiras saborizadas de dissolução instantânea, na encapsulação de alimento e aditivos e também em produtos que exigem hidratação prévia ao uso, como coberturas de sementes agrícolas, que necessitem de rápida germinação (GONTARD, 1994; BERTUZZI, 2007; FARIAS et al. 2012).

5.3.4.5. Espectrofotometria por Infravermelho por Transformada de Fourier (FITR)

Nos espectros de FTIR dos filmes PMP e PCC (Figura 13) observa-se que o filme PMP obteve o mesmo comportamento na banda de 1713 cm^{-1} que a pectina extraída do mesocarpo do pequi, indicando alto grau de esterificação da pectina.

A intensidade de picos mais baixos foi identificada nas bandas entre $1750\text{-}1350\text{ cm}^{-1}$ para o filme PCC, apresentando picos fracos na banda de 1742 cm^{-1} que é um indicativo do estiramento do grupo $\text{C}=\text{O}$ de grupo carboxílico não ionizado (metilado ou protonado) e do baixo grau de esterificação da pectina cítrica comercial (SOUZA et al., 2009).

Verificou-se diferença entre os filmes na zona de “impressão digital” sendo que as bandas entre 1300 cm^{-1} a 900 cm^{-1} apresentaram maior quantidade de picos para os filmes PMP. Isto pode ser explicado pela maior quantidade de compostos orgânicos no filme, visto que a pectina produzida do mesocarpo do pequi não passou por processo de purificação e apresenta maior quantidade de compostos orgânicos.

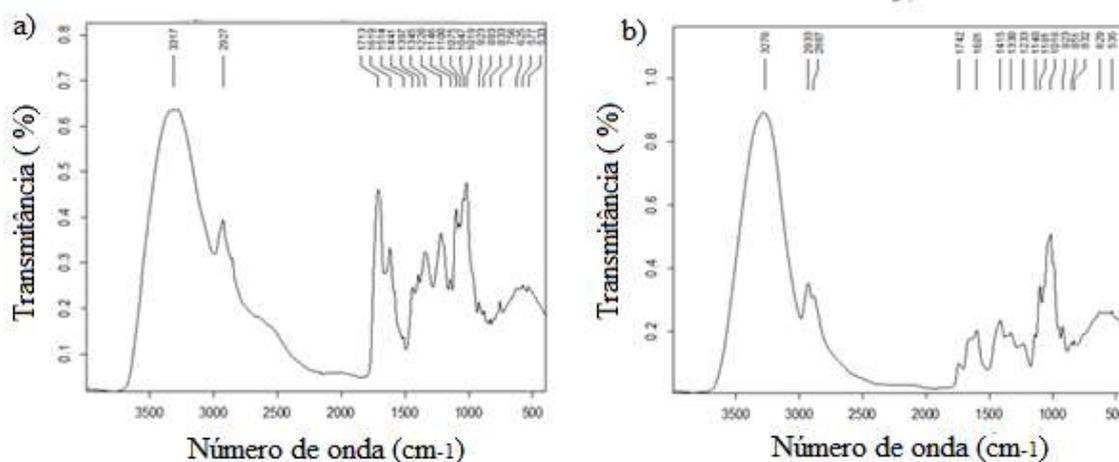


Figura 13. a) Espectro de infravermelho do filme de pectina do mesocarpo do pequi; b) Espectro de infravermelho do filme de pectina cítrica comercial

A intensidade das bandas 3317 cm^{-1} foi mais alta no filme PCC. O aumento de amplitudes das bandas observadas pode ser devido a pontes de hidrogênio intermoleculares formadas entre as bandas de $\text{C}=\text{O}$. Espectro com bandas semelhantes foi encontrado nos trabalhos de Bernhardt, (2017), que analisou filmes de pectina com fibra da casca do milho.

Ambos os filmes apresentaram pequeno pico de similar intensidade nas bandas 2927 cm^{-1} e 2933 cm^{-1} que representam o alongamento de O-H nos grupos carboxílicos e

indicam o comportamento típico do glicerol, que foi utilizado na mesma quantidade nos filmes.

5.3.4.6. Microscopia Eletrônica de Varredura (MEV)

A microestrutura dos filmes PCC apresentou conformação pequena, compacta, organizada e homogênea, sem áreas frágeis ou com bolhas nos aumentos de 100, 500 e 2000 vezes (Figura 14). Este comportamento pode ser explicado pela presença de glicerol que exerce a função de preencher os espaços vazios da matriz e reduz os poros e rachaduras na superfície dos filmes, promovendo uma barreira mais efetiva à troca de gases (CHIUMARELLI; HUBINGER, 2012).

Esta estrutura homogênea e compacta, sem pontos de fratura, pode estar relacionada ao módulo de elasticidade que por ser mais baixo indica maior rigidez do filme e tendência a maior tensão máxima. Segundo Bierhalz (2010), a avaliação da microestrutura do filme é importante, pois determina as propriedades mecânicas, físico-químicas e de barreira do filme, além de condicionar sua aplicação.

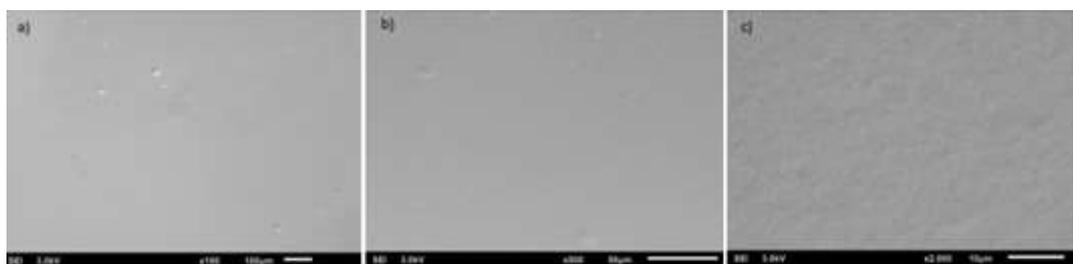


Figura 14. Microestrutura de superfície de filmes de pectina cítrica comercial com aumento de 100 x (a), 500x (b) e 2000 x (c).

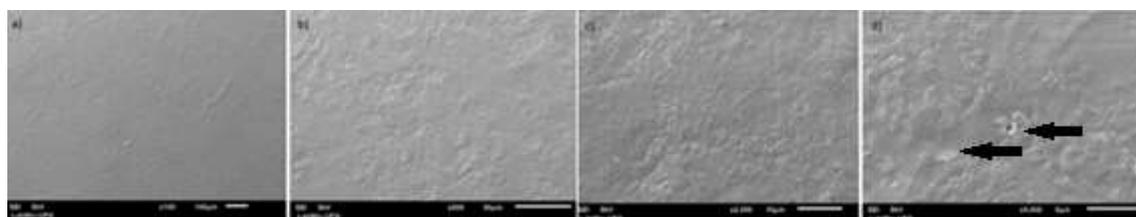


Figura 15. Microestrutura de superfície filmes de pectina do mesocarpo do pequi com aumento de 100 x (a), 500x (b), 2000 x (c) e 5000 x (d).

Os filmes PMP apresentaram estrutura homogênea nos aumentos de 100 e 500 vezes e com presença de relevos e depressões no aumento de 2000 vezes (Figura 15). No aumento de 5000 vezes observa-se a presença de microfuros que podem estar associados ao comportamento mecânico quanto a menor tendência na taxa de alongação. Essas

imperfeições podem ser justificadas pela presença de pectina insolubilizada durante o processo de produção da solução filmogênica ou ainda pelo processo ineficiente de separação dos resíduos dos filmes.

Observam-se pequenos pontos brancos na superfície do filme que podem estar associados ao cálcio adicionado durante a reticulação, que não foi completamente incorporado na matriz do filme. Comportamento similar foi encontrado por Bierhalz (2010) em filmes de pectina de baixo teor de metoxilação e pectina de baixo teor de metoxilação /alginato reticulados com cálcio.

As microestruturas de filmes de amido de ervilha associados com goma xantana e glicerol mostraram uma massa extensa e amorfa, com a presença de relevos ou depressões arredondadas que foram associadas à presença de grânulos não totalmente gelatinizados e não fragmentados em meio à massa (MATTA et al., 2011).

Alguns estudos definiram a microestrutura de filmes produzidos a partir de pectina como homogênea e livre de fissuras, enquanto, outros observaram a presença de bolhas como no caso de filmes de pectina adicionados de ácidos graxos. Em filmes de amido e gelatina, observa-se estruturas internas com maior presença de zonas descontínuas e trincas horizontais (VANIN, 2005; BATISTA; TANADA-PALMU; GROSSO, 2005; SUDERMAN; ISA; SARBON, 2018)

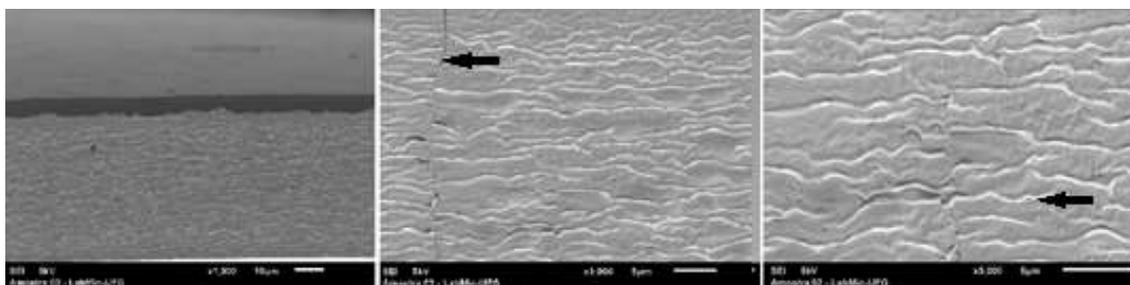


Figura 16. Microestrutura de fratura de filmes de pectina cítrica comercial. a) com aumento de 1000 x, b) com aumento de 3000 x e c) com aumento de 2000 x e d) com aumento de 5000 x.

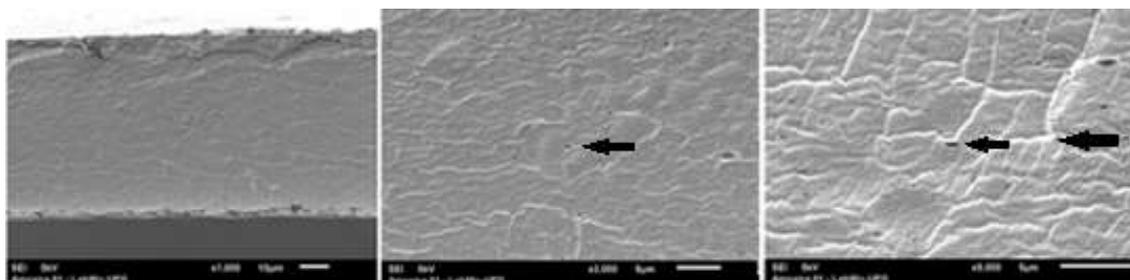


Figura 17. Microestrutura de fratura de filmes de pectina do mesocarpo do piqui. a) com aumento de 1000 x, b) com aumento de 3000 x e c) com aumento de 5000 x.

Pelas análises das micrografias da seção transversal do filme PCC observa-se que para o aumento de 1000 vezes a estrutura é densa, porém, nos aumentos de 3000 e 5000 vezes percebe-se pequenas ranhuras horizontais e fraturas na estrutura (Figura 16). Na magnitude de 3000 vezes observa-se uma rachadura vertical que pode estar relacionada com as condições de manuseio, preparo e conservação da amostra ou ainda a problemas durante a secagem das amostras conforme foi observado por Spada et al., (2014) encontraram fissuras nos filmes e relacionaram as condições de secagem das amostras pelo uso de convecção forçada ou altas temperaturas.

Na microestrutura dos filmes PMP, nota-se uma secção pouco mais homogênea no aumento de 1000 vezes, porém, já se observam pequenas rachaduras, que diferentemente dos filmes PCC, não apresentam regularidade quanto ao sentido (Figura 17). As ranhuras foram ressaltadas nas micrografias com aumento de 3000 e 5000 vezes, que mostraram também a presença maior de microfuros. Suderman et al., (2018) associou a microestrutura desorganizada dos filmes à base de gelatina bovina e suína ao alto nível de água que pode perturbar a rede de estrutura dos filmes.

5.3.4.7. Calorimetria diferencial de varredura (DSC)

As curvas de DSC fornecem informações sobre a estabilidade térmica dos filmes biodegradáveis produzidos da pectina do mesocarpo do pequi e da pectina cítrica comercial (Figura 19). Os filmes PMP e PCC apresentam comportamento térmico similar em que se observa um pico endotérmico e dois picos exotérmicos.

Observa-se que as curvas dos gráficos indicam a temperatura de transição vítrea, que para o filme de PMP e para o filme PCC são de aproximadamente 55 °C. O gráfico não indica influência do glicerol na temperatura de transição vítrea e cristalinidade dos filmes, pois utilizou-se a mesma quantidade em ambos os filmes. Segundo Ghanbarzadeh et al., (2011) a transição vítrea dos filmes de carboidratos com o plastificante é difícil de ser determinada pela análise DSC, pois a variação da capacidade térmica é muito baixa na transição vítrea.

Para o filme PMP identifica-se um pico endotérmico de fusão com pico centrado em temperatura de 132,32°C indicando a perda de massa por vaporização da amostra que pode representar a perda de água e do glicerol da amostra. O início do pico endotérmico acima do ponto de ebulição da água pura pode estar relacionado com o aumento de pressão no interior do cadinho pela evaporação de água. Além disso, o grau de

metoxilação pode influenciar proporcionalmente no aparecimento do pico endotérmico à temperatura de degradação da pectina (STOLL et al., 2009).

Os picos exotérmicos dos filmes foram observados em temperaturas de 262,84°C e 233,63°C, para os filmes PMP e PCC, respectivamente, e indicam a degradação por decomposição que pode estar relacionada com a quebra das cadeias de pectina. Nisar et al., (2017) também encontrou valores entre 231,53°C e 234,88°C para filmes de pectina cítrica adicionados de óleo essencial de cravo. A temperatura mais alta para degradação do filme PMP pode estar associada a reticulação com o cloreto de cálcio que promove o fortalecimento da rede tridimensional da pectina. Cervera et al., (2004) e Chaudhari et al., (2015) detectaram picos com altas temperaturas (200°C a 300°C) e associaram a característica de decomposição polimérica. Manrich et al., (2017) verificou estabilidade térmica bem mais alta para filmes de cutina e pectina de tomate que apresentaram taxas máximas de perda de massa em 390°C, 469°C e 546°C, e foi atribuído a presença de uma rede tridimensional fortemente reticulada.

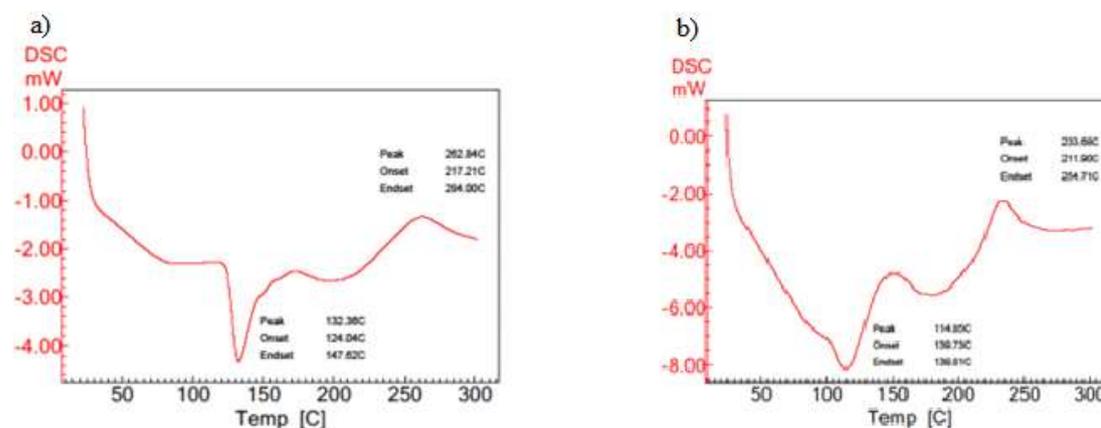


Figura 18. Curvas de calorimetria diferencial de varredura (DSC) a) Filme de pectina do mesocarpo de pequi e b) Filme de pectina cítrica comercial.

5.3.4.8. Biodegradabilidade

Os filmes foram avaliados quanto às condições de biodegradabilidade durante o tempo. Tanto os filmes PMP quanto o PCC tiveram degradabilidade total de 4 dias. As figuras 20 e 21 apresentam as características dos filmes no tempo de 3 dias, que pode ser observado em pequena parte dos filmes, sendo o restante já degradado. Ressalta-se que no tempo de 3 dias, já não foi possível separar o filme da terra para que pudesse acompanhar a perda de massa dos mesmos.

Segundo Azevedo et al., (2016) o processo de biodegradação pode ter sido favorecido pela diversidade da flora microbiana presente no solo utilizado que mostra sua viabilidade para o estudo de biodegradação. A alta biodegradabilidade dos filmes pode ser associada com a alta solubilidade em água dos filmes que se desintegram na presença de umidade (SARAIVA, 2012).

A biodegradabilidade de um polímero é o processo inerente pelo qual os microrganismos e suas enzimas consomem o polímero como fonte de nutrientes, em condições normais de umidade, temperatura e pressão. Os polímeros que melhor se adaptam a estas condições de biodegradação são os de origem natural, aqueles hidrolisáveis a CO_2 e H_2O , ou a CH_4 e os polímeros sintéticos que possuam estruturas próximas aos naturais (BARDI; ROSA, 2007).

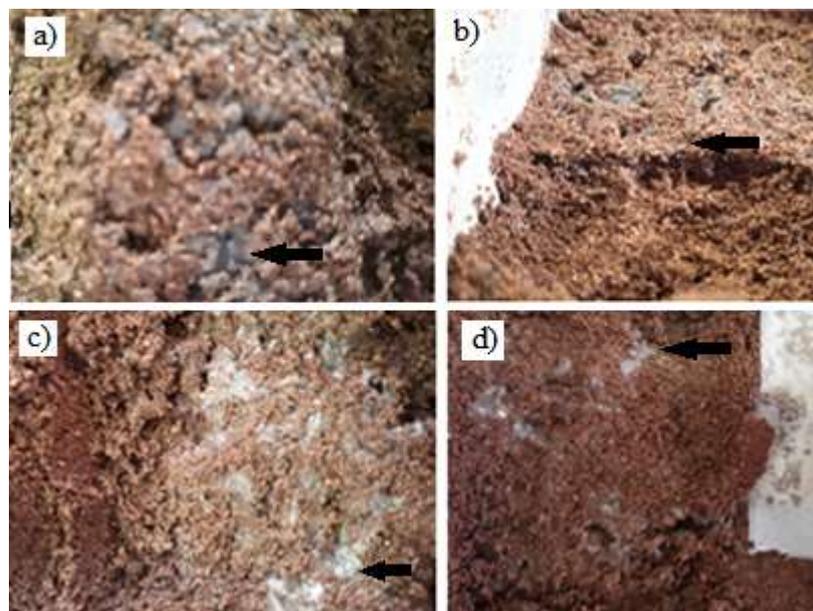


Figura 19. Biodegradabilidade. a) e b) Filme de pectina do mesocarpo do pequi. c) e d) Filme de pectina cítrica comercial. FONTE: Arquivo pessoal (2019).

Os plásticos derivados do petróleo apresentam taxas extremamente baixas de degradação, podendo originar problemas sérios com a manutenção do equilíbrio ambiental. De acordo com Grippi (2001) o tempo de degradação dos materiais de embalagens plásticas no meio ambiente é bastante extenso, levando de 250 a 450 anos até se desintegrarem por completo (MAZUR et al., 2009).

Jaramilo et al., (2016) analisaram filmes de amido de mandioca e glicerol com diferentes concentrações de extrato de erva-mate e constataram uma biodegradabilidade de 12 dias, similar ao que foi encontrado por Aquino et al., (2017) para filmes produzidos

com xilana e gelatina. Tempo superior foi encontrado para filmes de resíduo industrial, pectina e álcool polivinílico, que nos ensaios de biodegradabilidade em solo obteve degradação total em torno de 70 dias (AREVALO et al., 2009).

Os polímeros biodegradáveis sofrem mais facilmente a ação de microrganismos, por conterem funções orgânicas nas cadeias alifáticas que são mais suscetíveis à ação enzimática, entretanto, ainda existem fatores que influenciam na biodegradabilidade, como o tipo de microrganismos presentes no meio, as condições ambientes (temperatura, umidade, pH, luz, O₂) e propriedades do polímero. Assim, pode-se sustentar que a rápida degradação dos filmes produzidos de pectina se deu pelo tipo de polímero utilizado que tem maior facilidade de se biodegradar. O tempo de biodegradabilidade pode ser associado com a alta solubilidade em água dos filmes, pois em ambiente úmido o filme tem a tendência de se solubilizar e ainda o tipo de polímero utilizado, já que a pectina possui cadeias alifáticas (ésteres) na estrutura (FRANCHETTI; MARCONATO, 2006; GOSWAMI; O'HAIRE, 2016).

Considerando o curto tempo de degradação dos filmes de PMP e PCC, considera-se que os filmes possam ser utilizados como matéria orgânica após o uso, descartando-os em jardins urbanos sem a necessidade de interferências quanto à reciclagem e recolhimento do material o que pode contribuir com a redução de gastos com processamentos industriais e com menor impacto ambiental.

5.4. CONCLUSÃO

A pectina extraída do mesocarpo de pequi apresenta capacidade de formação de filmes mostrando vantagens para o desenvolvimento de novos ecomateriais, com menor custo. O uso do mesocarpo do pequi na produção de filmes biodegradáveis abre novas possibilidades de utilização de ingredientes sem valor comercial e vistos como resíduos de difícil descarte.

O uso do filme biodegradável de pectina do mesocarpo do pequi seria mais econômico e sustentável, porém, sua produção esbarra na tecnologia de desenvolvimento para escala industrial, necessária para aumentar o volume de produção.

Os filmes apresentaram alta solubilidade e permeabilidade ao vapor de água que podem limitar o seu uso, sendo indicado para embalagens de alimentos com baixos teores de água. As propriedades mecânicas, térmicas e estruturais apresentaram bons resultados e sugerem que os filmes PMP e PCC são adequados para o uso como embalagem. Podem

ser potencialmente usados em vegetais minimamente processados com menores teores de umidade para a manutenção da qualidade.

5.5. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABID, M.; CHEIKHROUHO, S.; RENARD, C. M.; BUREAU, S.; CUVELIER, G.; ATTIA, H.; AYADI, M.A. Characterization of pectins extracted from pomegranate peel and their gelling properties. **Food Chemistry**. v 215, p. 318-325, 2017.

ADILAH, A. N. et al. Utilization of mango peel extracts on the biodegradable films for active packaging. **Food Packaging and Shelf Life**, v. 16, n. 01, p. 1–7, 2018.

ALEXANDRINO, T. T.; TOSI, M.M.; FILHO, R.B.; ASSIS, O.B.G. Comparação entre o uso nanopartículas de quitosana e nanofibras de celulose como material de reforço em filmes a base de polpa de frutas. In: **Embrapa Instrumentação-Artigo em anais de congresso (ALICE)**. In: WORKSHOP DA REDE DE NANOTECNOLOGIA APLICADA AO AGRONEGÓCIO, 9, 2017, São Carlos. Anais... São Carlos: Embrapa Instrumentação, 2017. p. 188-192.

ALEXANDRINO, T.T; TOSI, M.M.; ASSIS, O.B.G. Efeito da adição de pectina nas propriedades mecânicas e de permeação ao vapor de água de filmes a base de purê de mamão. **Embrapa Instrumentação**, São Carlos-SP, 21 a 22 de novembro de 2017. IX Workshop de Nanotecnologia Aplicada ao Agronegócio.

AL-HASSAN, A. A.; NORZIAH, M. H. Starch–gelatin edible films: Water vapor permeability and mechanical properties as affected by plasticizers. **Food hydrocolloids**, v. 26, n. 1, p. 108-117, 2012.

ALMEIDA, D.M.; WOICIECHOWSKI, A. L.; WOSIACKI, G.; PRESTES, R. A.; PINHEIRO, L. A. Propriedades físicas, químicas e de barreira em filme formados por blenda de celulose bacteriana e fécula de batata. **Polímeros: Ciência e Tecnologia**, v. 23, n. 4, p. 538-546, 2013.

ASTM. American Society for Testing and Materials. **Standard practice for evaluating microbial susceptibility of nonmetallic materials by laboratory soil burial**". **Standards designations: G160-98**. Philadelphia, 1998.

ASTM. American Society for Testing and Material. **ASTM D 646 - 96: Standard test method for grammage of paper and paperboard (mass per unit area)**. West Conshohocken, 2007.

ASTM. American Society for Testing and Material. **ASTM D 882 – 10: Standard test method for tensile properties of thin plastic sheeting**. Philadelphia, 2010.

ASTM. American Society for Testing and Materials. **Standard test methods for water vapor transmission of materials. Standards designations: E96 e E95**. Philadelphia, PA (USA): American Society for Testing and Materials. 2011.

ASTM. American Society for Testing and Materials. **Standard test methods for moisture content of paper and paperboard by oven drying. Method D644-9.** Philadelphia, 1999.

AOAC. ASSOCIATION OF OFFICIAL ANALYTICAL CHEMISTS. **Official methods of analysis.** 16 ed. Washington D.C.: AOAC, v. 2, 1997.

AQUINO, C. A.; COSTA, S. C.; ELEAMEN, G. R. A.; MENDONÇA, E. F. M.; OLIVEIRA, E. E. Desenvolvimento de biofilmes à base de xilana e xilana/gelatina para produção de embalagens biodegradáveis. **Polímeros [online]**. v.27, p.35-41, 2017.

AREVALO, K.; ALEMAN, E.; ROJAS, G.; MORALES, L.; GALAN, L. J. Properties and biodegradability of cast films based on agroindustrial residues, pectin and polyvinilic alcohol (PVA). **New Biotechnology**, v.25, p. 287–288, 2009.

AZEREDO, H. M. C.; CARMONA, R. M.; WELLNER, N.; CROSS, K.; BAJKA, B.; WALDRON, K.W. Development of pectin films with pomegranate juice and citric acid. **Food chemistry**, v. 198, p. 101-106, 2016.

AZEVEDO, V. M.; COSTA, A. L. R.; FUKUSHIMA, K. L.; BORGES, S. V. Propriedades de barreira, mecânicas e ópticas de filmes de concentrado proteico de soro de leite. **Revista do Instituto de Laticínios Cândido Tostes**, v. 69. n. 4, 237-247, 2014.

AZEVEDO, J. B.; CARVALHO, L. H.; CANEDO, E.L.; BARBOSA, J. D. V.; SILVA, M. W. S. Avaliação da Biodegradação em Compósitos com Fibras Naturais através de Perda de Massa e Produção de CO₂. **Revista Virtual Química**, v. 8, n.4, 1115-1129, 2016.

BARDI, M. A. G.; ROSA, D. S. Avaliação da biodegradação em solo simulado de poli (ϵ -caprolactona), acetato de celulose e suas blendas. **Revista Brasileira de Aplicações de Vácuo**. v. 26, n. 1, p.43-47, 2007.

BATISTA, J. A.; TANADA-PALMU, P. S.; GROSSO, C. R. F. Efeito da adição de ácidos graxos em filmes á base de pectina. **Ciência Tecnologia de Alimentos**. v. 25, n 4, p. 781-788, 2005.

BERNHARDT, D.C.; PEREZ, A.D.; FISSORE, E.N.; NOBILI, M.D.D, ROJA, A.M. Pectin-based composite film: Effect of corn husk fiber concentration on their properties. **Carbohydrate polymers**, v. 164, p. 13-22, 2017.

BERTUZZI, M. A.; ARMADA, M.; GOTTIFREDI J. C. Physicochemical characterization of starch based films. **Journal of Food Engineering**, v. 82, n. 1, p. 17-25, 2007.

BIERHALZ, A. C. K. **Confecção e caracterização de biofilmes ativos à base de pectina BTM e pectina BTM/alginate reticulados com cálcio.** 2010. 137 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de engenharia Química, Universidade Estadual de Campinas, Campinas- São Paulo, 2010.

BUNHAKA, E. J. et al. Análises físico-químicas de biofilmes de sulfato de condroitina modificado. **Química Nova**, v. 38, n. 3, p. 316–320, 2015.

CAMPOS, R.P.; SILVA, M.J.F.; SILVA, C.F.; FRAGOSO, M.R.; CANDIDO, C.J. Elaboração e caracterização de farinha da casca de pequi. **Cadernos de Agroecologia**, v. 11, n. 2, 2016.

CARVALHO, L. S.; PEREIRA, K. F.; DE ARAÚJO, E.G. Características botânicas, efeitos terapêuticos e princípios ativos presentes no pequi (*Caryocar brasiliense*). **Arquivos de Ciências da Saúde da UNIPAR**, v. 19, n. 2, 2015.

CASAGRANDE, J.; MACHADO, A. T. P.; SILVA, M.; CANTERI, M. H. G. Extração, caracterização e purificação parcial da pectina liase do albedo de *Passiflora edulis f. flavicarpa* O. Deg. **Revista Virtual de Química**, v. 9, n. 6, 2017.

CERVERA, M. F.; HEINÄMÄKI, J.; KROGARS, K.; JÖRGENSEN, A. C.; KARJALAINEN, M.; COLARTE, A. I.; YLIRUUSI, J. Solid-state and mechanical properties of aqueous chitosan-amylose starch films plasticized with polyols. **Aaps Pharmscitech**, v. 5, n. 1, p. 109, 2004.

CHAUDHARI, Sandeep A.; SINGHAL, Rekha S. Cutin from watermelon peels: A novel inducer for cutinase production and its physicochemical characterization. **International journal of biological macromolecules**, v. 79, p. 398-404, 2015.

CHIUMARELLI, M.; HUBINGER, M.D. Stability, solubility, mechanical and barrier properties of cassava starch–Carnauba wax edible coatings to preserve fresh-cut apples. **Food hydrocolloids**, v. 28, n. 1, p. 59-67, 2012.

CHIUMARELLI, M.; HUBINGER, M. D. Evaluation of edible films and coatings formulated with cassava starch, glycerol, carnauba wax and stearic acid. **Food Hydrocolloids**, v. 38, p. 20–27, 2014.

CIRIMINNA, R.; HERNANDEZ, N. C.; HERNANDEZ, A. I. R.; PAGLIARO, M. Pectin: A new perspective from the biorefinery standpoint. **Bioproducts and Biorefining**, v. 4, p. 377, 2015.

CLARO, P.I.C.; CORRÊA, A.C.; DE CAMPOS, A.; RODRIGUES, V.B.; LUCHESI, B.R.; SILVA, L.E.; MATTOSO, L.H.C.; MARCONCINI, J.M. Curaua and eucalyptus nanofibers films by continuous casting: mechanical and thermal properties. **Carbohydrate polymers**, v. 181, p. 1093-1101, 2018.

COSTA, A.P.; PINTO, E.; SOARES, D. Obtenção de farinha do mesocarpo de pequi. **Agrarian**, v. 10, n. 38, p. 349-354, 2017.

COSTA, D. M. A., SANTOS A. F. D., SILVA E. D., SILVA I. A. Desenvolvimento e caracterização de filmes à base de amido de feijão macáçar (*Vigna unguiculata* (L.) Wap). **HOLOS**, v. 7, p. 2-16, 2017.

COUTO, E. M. **Utilização da farinha de casca de pequi (*Caryocar brasiliense* Camb.) na elaboração de pão de forma. 2007. 107 p.** 2007. Tese de Doutorado. Dissertação (Mestrado em Ciência dos Alimentos) -Universidade Federal de Lavras, Lavras – MG, 2007.

DE SOUSA, A.L.N. Chemical modification of common melon pectin (*cucumis melo var. Acidulus*). **Química Nova**, v. 40, n. 5, p. 554-560, 2017.

FAKHOURI, F. M.; FONTES, L.C.B.; GONÇALVES, P. V. M.; MILANEZ, C.R.; STEEL, C.J.; COLLARES-QUEIROZ, F.P. Films and edible coatings based on native starches and gelatin in the conservation and sensory acceptance of Crimson grapes. **Food Science and Technology**. v.27 n.2, 2007.

FALGUERA, V., QUINTERO, J. P., JIMENEZ, A., MUÑOZ, J. A., & IBARZ, A. Edible films and coatings: Structures, active functions and trends in their use. **Trends in Food Science & Technology**, v. 22, n. 6, p. 292–303, 2011.

FARAHNAKY, A.; SHARIFI, S.; IMANI, B.; DORODMAND, M.M MAJZOBI, M. Physicochemical and mechanical properties of pectin-carbon nanotubes films produced by chemical bonding. **Food packaging and shelf life**, v. 16, p. 8-14, 2018.

FARIA SILVA, C.E.F.; GAMA, B. M. V.; OLIVEIRA, L. M. T. DE M.; ARAUJO, L.T.; ARAUJO, M.L.; OLIVEIRA JUNIOR, A.M.; ABUD, A.K.S. Uso da laranja lima e seus resíduos no desenvolvimento de novos produtos. **Brazilian Journal of Biosystems Engineering**, v. 10, n. 1, p. 69-96, 2016.

FELLOWS P.J. **Tecnologia de Processamento de Alimentos.Princípios e Prática**. Ed. Artmed Ed. 4º Edição. 2019.

FENNEMA, O.; DONHOWE, I. GREENER; KESTER, J. J. Lipid type and location of the relative humidity gradient influence on the barrier properties of lipids to water vapor. In: **Water in Foods**. p. 225-239, 2014

FENNEMA, O.R.; DAMODARAN, S.; PARKIN, K. L. **Química de Alimentos de Fennema**. 4. ed. Artmed: Porto Alegre, 2010.

FERNANDES, A.P.S.; COSTA, J.B.; SOARES, D.S.B.; MOURA, C.J.; SOUZA, A.R.M. Aplicação de filmes biodegradáveis produzidos a partir de concentrado proteico de soro de leite irradiado. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, v. 45, n. 2, p. 192-199, 2015.

FERTONANI, H.C.R.; SCABIO, A.; CARNEIRO, E.B.B.C.; SCHEMIN, M.H.C.; NOGUEIRA, A.; WPSIACKI, G. Extraction model of low methoxyl pectin from apple pomace effects of acid concentration and time on the process and the product. **Brazilian Archives of Biology and Technology**, v. 52, n. 1, p. 177-185, 2009.

FRANCHETTI, S.M.M.; MARCONATO, J.C. Polímeros biodegradáveis – uma solução parcial para diminuir a quantidade dos resíduos plásticos. **Química Nova**, v. 29, n. 4, 811-816, 2006.

FRANCO, B. D. G. M.; LANDGRAF, M. **Microbiologia dos Alimentos**. Ed. Atheneu, São Paulo, 2005, 182 p.

GALDEANO, M.C.; WILHLM, A.E.; GROSSMANN, M.V.E; MALI, S. Effect of processing and enviromental conditions in the properties of oat starch biodegradable materials. **Polímeros**, v. 24, n. 1, p. 80-87, 2014.

GHANBARZADEH, Babak; ALMASI, Hadi; ENTEZAMI, Ali A. Improving the barrier and mechanical properties of corn starch-based edible films: Effect of citric acid and carboxymethyl cellulose. **Industrial Crops and products**, v. 33, n. 1, p. 229-235, 2011.

GONTARD, N.; DUCHEZ, C.; CUQ, J.L.; GUILBERT, S. Edible Composite Films of Wheat Gluten and Lipids-Water-vapor Permeability and Other Physical Properties. *International Journal of Food Science and Technology*, v. 29, n. 1, p. 39-50, 1994.

GOSWAMI, P.; & O'HAIRE, T. Developments in the use of green (biodegradable), recycled and biopolymer materials in technical nonwovens. *Advances in Technical Nonwovens*. Woodhead Publishing, p. 97–114, 2016.

GRANATO, D.; DOMINGOS, S. N. **Análises químicas, propriedades funcionais e controle de qualidade de alimentos e bebidas: uma abordagem teórico e prática**. 1 ed. Rio de Janeiro. Elsevier, 2016.

GRASEL, F. S.; FERRÃO, M. F.; WOLF, C. R. Ultraviolet spectroscopy and chemometrics for the identification of vegetable tannins. *Industrial Crops and Products*, v. 91, p. 279–285, 2016.

GRIPPI, S. Lixo, reciclagem e sua história: guia para as prefeituras brasileiras. Rio de Janeiro: **Interciência**, 2001. 134 p.

HENRIQUE, C. M; CEREDA, M. P.; SARMENTO, S.B.S. Physical characteristics of cassava modified starch films. *Ciência e Tecnologia de Alimentos*. Campinas, v. 28, n. 1, 231-240, 2008.

JARAMILLO, C. M.; GUTIERREZ, J.T.; 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.

KANG, H. J. et al. A combination of gamma irradiation and CaCl₂ immersion for a pectin-based biodegradable film. *Carbohydrate Polymers*, v. 60, n. 4, p. 547–551, 2005.

KECHICHIAN, V. D.; SANTOS, C.V.; TADINI, P.; CARME, C. Natural antimicrobial ingredients incorporated in biodegradable films based on cassava starch. *LWT-Food Science and Technology*, v. 43, n. 7, p. 1088-1094, 2010.

LÓPEZ, O. V.; LECOT, C. J.; ZARITZKY, N. E.; GARCÍA, M. A. Biodegradable packages development from starch based heat sealable films. *Journal of Food Engineering*, v. 105, n. 02, p. 254-263, 2011.

LOUZADA, L. B. **Produção e caracterização de filmes biodegradáveis de amido e farinha de fruta-de-lobo (*Solanum lycocarpum* A. St.-Hil)**. 2018. 141 p. Dissertação (Mestrado) – Programa de Pós-graduação em Ciência e Tecnologia de Alimentos, Universidade Federal dos Vales do Jequitinhonha e Mucuri, Diamantina, 2018.

MCGUIRE, R. G.; Reporting of Objective Color Measurements. *Hort Science*, v. 27, n. 12), p. 1254- 1255, 1992.

MALLI, S.; GROSSMAN, 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.

MANRICH, A.; MOREIRA, F.K.V.; OTONI, C.G.; LOREVICE, M.V.L.; MARTINS, M.A.; MATTOSO, L.H.C. Hydrophobic edible films made up of tomato cutin and pectin. *Carbohydrate polymers*, v. 164, p. 83-91, 2017.

MARTELLI, M.R.; BARROS, T.T.B.; ASSIS, O.B.G.; Filmes de Polpa de Banana Produzidos por Batelada: Propriedades Mecânicas e Coloração. **Polímeros**, vol. 24, n. 1, p. 137-142, 2014.

MATHLOUTHI, M. Water content, water activity, water structure and stability of foodstuffs. **Food Control**, v. 12, 409–417, 2001.

MATTA J. M; SARMENTO B.S.S; SARANTOPOULOS I.G.L.C; ZOCCHI S.S. Barrier properties of films of pea starch associated with xanthan gum and glycerol. **Polímeros**, v. 21, n. 1, p. 67-72, 2011

MAZUR, L.P.; AMARAL, F.; LOPES, R.V.V.L; SCHNEIDER, A.L.S.; PEZZIM, A.P.T. Avaliação da degradação em solo de embalagens plásticas oxidegradáveis. **10º Congresso Brasileiro de Polímeros**, Foz do Iguaçu – Paraná, 2009.

MELO, P.T.S.; AOUADA, F.A.; MOURA, M.R. Fabricação de filmes bionanocompósitos à base de pectina e polpa de cacau com potencial uso como embalagem para alimentos. **Química Nova**, v. 40, n. 3, p. 247-251, 2017.

MOTA, R. D. P. **Produção e caracterização de filmes biodegradáveis através de blenda polimérica de amido de lírio do brejo (*Hedychium coronarium*) e de amido de fruto-lobo (*Solanum lycocarpum* st.)**. Dissertação de Mestrado. Universidade Estadual do Goiás. 2009.

MUNHOZ, C.L.; SANJINEZ-ARGANDOÑA, E.J.; SOARES-JÚNIOR, M.S. Extraction of pectin from dehydrated guava. **Ciência e Tecnologia de Alimentos**, v. 30, n.1, 2010.

NASCIMENTO, A.P.R. **Quantificação dos taninos dos vinhos por Transformada de Fourier dos Espectros nos Infravermelhos Médios (FTIR)**. Tese. Universidade do Porto- Instituto Superior de Agronomia. Lisboa, 2011.

NISAR, T.; WANG, Z.C.; TIAN, Y.; IQBAL, M.; GUO, Y. Characterization of citrus pectin films integrated with clove bud essential oil: Physical, thermal, barrier, antioxidant and antibacterial properties. **International Journal of Biological Macromolecules**, v. 106, p. 670-680, 2018.

OLIVEIRA, L. M.; ALVES, R.M.V.; SARANTOPOULOS, C.; PADULA, M. Ensaios para avaliação de embalagens plásticas flexíveis. Campinas: **Centro de Tecnologia de Embalagem**, CETEA, 1996. 219 p.

PASTOR, C.; SANCHEZ-GONZALEZ, L.; CHAFER, M., CHIRALT, A., & GONZALES MARTINEZ, C. Physical and antifungal properties of hydroxypropylmethylcellulose based films containing propolis as affected by moisture content. **Carbohydrate Polymers**, v. 82, n. 4, p. 1174 e 1183, 2010.

PECTINA. Pectinas propriedades e aplicações. **Revista Food Ingredients**, n. 35, p. 12, 2015. Disponível em < <http://www.revista-fi.com/materias/380.pdf>. >acessado em 15 de maio de 2019.

PELLISSARI, F. M.; FERREIRA, D. C.; LOUZADA, L. B.; SANTOS, F.; CORREA, A.C.; MOREIRA, F. K.V.; MATTOSO, L. H. Starch-Based Edible Films and Coatings:

An Eco-friendly Alternative for Food Packaging. In: **Starches for Food Application**. Academic Press, p. 359-420, 2019.

PINHO, L.; SOUZA, P.N.S.; SOBRINHO, E.M.; ALMEIDA, A.C.; MARTINS, E.R. Atividade antimicrobiana de extratos hidro alcoólicos das folhas de alecrim- pimenta, aroeira, barbatimão, erva baleeira e do farelo da casca de pequi. **Ciência Rural**. v.42, n.2, 2012.

PROVIN, L. **Extração, caracterização química e propriedades reológicas de pectinas da casca de *Caryocar brasiliense* Cambess (Pequi)**. 2012. Dissertação (Mestrado) - Curso de Ciências – Bioquímica, Universidade Federal do Paraná, Curitiba- Paraná, 2012.

RIGO, L. N., 2006. **Desenvolvimento e caracterização de filmes comestíveis**. Dissertação. (Mestrado) Engenharia de Alimentos. Universidade regional Integrada Campus Erechim- Erechim RS. 2006.

RINDLAV-WESTLING, A.; STADING, M.; HERMANSSON, A.; GATENHOLM, P. Structure, mechanical and barrier properties of amylose and amylopectin films. **Carbohydrate Polymers**, v. 36, n. 2/3, p. 217-224, 1998.

SALAZAR, A.S.S.; CAVAZOS, S.P.A.; PAZ, H.M.; FRAGOSO, A.V. External factors and nanoparticles effect on water vapor permeability of pectin-based films. **Journal of food engineering**, 2018.

SANTOS, N.L.; RAGAZZO, G.O.; BETTANI, S.R.; SOARES, M.R.; SILVA, M.A da; "Efeito da adição de ácido cítrico nas propriedades de filmes de pectina e vinhaça", p. 1262-1267. In: **Anais do XII Congresso Brasileiro de Engenharia Química em Iniciação Científica. Blucher Chemical Engineering Proceedings**, v. 1, n.4. ISSN Impresso: 2446-8711. São Paulo: Blucher, 2017.

SARAIVA, A.F. **Estudo da biodegradabilidade de bioplásticos numa cultura de ciclo curto-melão (*Cucumis melo L. var. inodorus* N.)**. 2012. Tese de Doutorado. Engenharia do Ambiente - Instituto Superior de Agronomia. Lisboa, 2012, 39 p. 2012.

ŠEŠLIJA, S.; NEŠIĆ, A.; RUŽIĆ, J.; KRUŠIĆ, M.K.; VELIČKOVIĆ, S.; AVOLIO, R.; SANTAGATA, G.; MALINCONICO, M. Edible blend films of pectin and poly(ethylene glycol): Preparation and physico-chemical evaluation. **Food Hydrocolloids**, v. 77, p. 494–501, 2018.

SILVA, M. A. DA; BIERHALZ, A. C. K.; KIECKBUSCH, T. G. Alginate and pectin composite films crosslinked with Ca²⁺ ions: Effect of the plasticizer concentration. **Carbohydrate Polymers**, v. 77, n. 4, p. 736–742, 2009.

SILVA, G.D.; LOCATELLI, G.O.; FINKLER, L.; FINKLER, C. L. L. Produção e caracterização de filmes comestíveis a base de alginato e pectina. In: **XX Congresso Brasileiro de Engenharia Química. Florianópolis-SC**. 2014.

SILVA, P.L.; GOMES, A.M.M; RICARDO, N.M.P.; MACHADO, T.F. Preparation and characterization of phosphorylated starch blends with chitosan and polyvinyl alcohol. **Química Nova**, v. 39, n. 4, p. 450-455, 2016.

SIQUEIRA, B. D. S.; ALVES, L. D.; VASCONCELOS, P. N.; DAMIANI, C. JUNIOR, M. S. S. Extracted pectin of “pequi” peel and application in light mango jam. **Revista Brasileira de Fruticultura**, v. 34, n. 2, p. 560–567, 2012.

SOARES JUNIOR, M.S.; REIS, R.C.; BASSINELLO, P.Z. LACERDA, D.B.C.; KOAKUZU, S.N.; CALIARI, M. Qualidade de biscoitos formulados com diferentes teores de farinha de casca de pequi. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, v. 39, n. 2, p. 98-104, 2009.

SOBRAL, P. J. A. Propriedades funcionais de biofilmes de gelatina em função da espessura. **Ciência & Engenharia**. v.8, n.1, p.60-67, 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, 2000.

SOTHORNVIT, R.; RODSAMRAN, P. Effect of a mango film on quality of whole and minimally processed mangoes. **Postharvest Biology and Technology**, v. 47, n. 3, p. 407-415, 2008.

SOUZA, J.R.R.; RICARDO, N.M.P.; BRITO, E.S.; PAULA, R.C.M.; FEITOSA, J.P.A. Isolamento de pectina de abóbora (*Cucurbita moschata*, L.) por hidrólise ácida. **10º Congresso brasileiro de polímeros**; Foz do Iguaçu, PR (Brasil); 13-17, outubro, 2009.

SPADA J.C., SILVA E.M., TESSARO I.C. Production and characterization of pinhão starch biofilms, **Agrária - Revista Brasileira de Ciências Agrárias**, v.9, n.3, p.365-369, Recife-PE, 2014.

STOLL, U. E.; Kunzek, H.; Dongowski, G. Thermoanalytical characterisation of processingdependent structural changes and state transitions of citrus pectin. **Food Hydrocolloids**, v. 23, p. 40-52. 2009.

SUCHETA; RAI, S. K.; CHATURVEDI, K.; YADAV, S.K. Evaluation of structural integrity and functionality of commercial pectin based edible films incorporated with corn flour, beetroot, orange peel, muesli and rice flour. **Food hydrocolloids**, v. 91, p. 127-135, 2019.

SUDERMAN, N.; ISA, M. I. N.; SARBON, N. M. The effect of plasticizers on the functional properties of biodegradable gelatin-based film: A review. **Food bioscience**, v. 24, p. 111-119, 2018.

TAPIA-BLACIDO et al. Contribution of the Starch , Protein , and Lipid Fractions to the Physical , Thermal , and Structural Properties of Amaranth (*Amaranthus caudatus*) Flour Films. **Food Engineering and Physical Properties**, v. 72, n. 5, p. 293–300, 2007.

TURBIANI, R. B. F.; KIECKBUSCH, T. G. Propriedades mecânicas e de barreira de filmes de alginato de sódio reticulados com benzoato de cálcio e/ou cloreto de cálcio. **Brazilian Journal of Food Technology**, v. 14, n. 02, p. 82–90, 2011.

VANIN, F. M.; SOBRAL, P. J. A.; MENEGALLI, F.C.; CARVALHO, R. A.; HABITANTE, A.M.Q. B. Effects of plasticizers and their concentrations on thermal and

functional properties of gelatin-based films. **Food Hydrocolloids**, v. 19, n.5, p. 899-907, 2005.

VAN SOEST, J. J. G; VLIEGENTHART, J. F. G. Crystallinity in starch plastics: consequences for material properties. **Trends in Biotechnology**, v. 15, n. 6, p. 208- 213, 1997.

VASCO-CORREA, J.; ZAPATA, A.D. Enzymatic extraction of pectin from passion fruit peel (*Passiflora edulis f. flavicarpa*) at laboratory and bench scale. *Food science and technology*, v. 80, p. 280-285, 2017.

VEIGA-SANTOS, P.; OLIVEIRA, L.M.; CEREDA, M.P.; ALVES, A.J.; SCAMPARINI, A.R.P. Mechanical properties, hydrophilicity and water activity of starch-gum films: Effect of additives and deacetylated xanthan gum. **Food Hydrocolloids**, v. 19, n. 2, p. 341–349, 2005.

VIANA, R.M.; SÁ, N.M.S.M.; BARROS, M.O.; BORGES, M.F.; AZEVEDO, H.M.C. Nanofibrillated bacterial cellulose and pectin edible films added with fruit purees. **Carbohydrate polymers**, v. 196, p. 27-32, 2018.

YANG, L.; PAULSON, A. T. Effects of lipids on mechanical and moisture barrier properties of edible gellan film. **Food research international**, v. 33, n. 7, p. 571-578, 2000.

YU, Z.; LI, B.; CHU, J.; ZHANG, P. Silica in situ enhanced PVA/chitosan biodegradable films for food packages. **Carbohydrate Polymers**, v. 184, p. 214–220, 2018.

ZSIVANOVITS, G.; MACDOUGALL, A.J.; SMITH, A.C.; RING , S.G. Material properties of concentrated pectin networks. **Carbohydrate Research**, v. 339, n. 7, p. 1317-1322, 2004.

6. CAPÍTULO II. AVALIAÇÃO PÓS COLHEITA DE CENOURAS ACONDICIONADAS EM EMBALAGENS BIODEGRADÁVEIS DE PECTINA DE MESOCARPO DE PEQUI

RESUMO

A cenoura (*Daucus carota* L.) é um dos vegetais mais consumidos pela população brasileira e vem sendo cada vez mais consumida na forma minimamente processada, porém, o processamento mínimo pode influenciar na durabilidade dos vegetais o que demanda a adequação das condições de armazenagem e da embalagem para que se possa minimizar a deterioração fisiológica e melhorar a conservação. Assim, o objetivo deste estudo foi avaliar as alterações fisiológicas e bioquímicas associadas à perda de qualidade de cenouras minimamente processadas e embaladas com filmes biodegradáveis produzidos da pectina do mesocarpo do pequi (PMP) e filmes biodegradáveis produzidos de pectina cítrica comercial (PCC) com umidade de 52%, durante os tempos de 0,4,8,12 e 16 dias de armazenamento a $8 \pm 2^\circ\text{C}$. As cenouras foram processadas em fatias de $1 \pm 0,1$ cm, embaladas e avaliadas durante o armazenamento quanto a perda de massa, pH, alteração da cor, acidez titulável, sólidos solúveis, umidade e textura. As embalagens produzidas de filmes PMP apresentaram maior capacidade em reter a perda de massa das cenouras embaladas e maior controle na redução da acidez titulável. A capacidade dos filmes PMP em reter a perda de massa das cenouras foi associada a verificação de absorção de água pelo filme. Observou-se maior escurecimento das cenouras embaladas em filmes PMP que tiveram a luminosidade reduzida de 60,01* para 55,45* quando comparadas as cenouras embaladas em filmes de PCC que mantiveram a coloração com maior controle da luminosidade. Assim, a qualidade das cenouras minimamente processadas mantidas em embalagens biodegradáveis de pectina apresentou melhor

comportamento bioquímico até o oitavo dia de armazenamento o que mostra o potencial da pectina do mesocarpo do pequi na utilização como embalagem de alimentos.

Palavras-chave: *Daucus carota*, vida de prateleira, pós-colheita, armazenamento, biofilmes.

ABSTRACT

A carrot (*Daucus carota L.*) is one of the most consumed vegetables by the Brazilian population and has been increasingly consumed in a mini-processed process, but minimal processing can influence the vegetables use or the demand for which demands the right conditions of use and storage packaging to minimize physiological deterioration and improve conservation. Thus, the aim of this study was to evaluate the physiological and biochemical changes associated with the quality loss of freshly processed carrots packed with biodegradable pequi mesocarp pectin (PMP) and commercial citrus pectin (PCC) films produced with moisture of 52% during the times of 0, 4, 8, 12 and 16 days of storage at 8 ± 2 ° C. The carrots were processed in 1 ± 0.1 cm slices, packaged and evaluated for the mass loss storage, pH, color change, titratable acidity, soluble solids, moisture and texture. Packaging made from PMP films showed greater capacity to retain packaged carrot mass loss and greater control in reducing titratable acidity. The ability of PMP films to retain carrot mass loss was associated with verification of water absorption by the film. Carrots packed in PMP films darkened and their brightness decreased from 60.01* to 55.45* when compared to carrots packed in PCC films that maintained color with greater light control. Thus, the quality of minimally processed carrots kept in biodegradable pectin packaging showed better biochemical behavior until the 8th day of storage, showing the potential of pequi mesocarp pectin in use as food packaging.

Keywords: *Daucus carota*, shelf life, postharvest, storage, biofilms.

5.2. INTRODUÇÃO

O mercado de verduras minimamente processadas tem aumentado nos últimos anos em função do estímulo a uma vida saudável, com redução no consumo de alimentos processados ricos em açúcares e gorduras, em substituição por frutas, verduras, tubérculos e cereais. Produtos prontos para preparo e consumo vão de encontro com as necessidades deste novo consumidor que necessita de maior comodidade, rapidez no consumo, compra em menores quantidades e maior conveniência para alcançar a vida saudável (SATO et al., 2007).

Mesmo diante desta crescente tendência no consumo de frutas e vegetais frescos o mercado de alimentos minimamente processados representa uma parcela pouco significativa no Brasil, representando cerca de 5,0 a 8,0% na comercialização de produtos frescos, enquanto no mundo esse consumo fica entre 20% e 25% (EMBRAPA, 2010; SANTOS et al., 2010).

Os produtos minimamente processados são produtos que passaram por processos simples de higienização, retirada das cascas, limpeza, corte e mantém todas as propriedades nutricionais do produto. O processamento mínimo de vegetais promove alterações físicas e fisiológicas que afetam a vida de prateleira e a qualidade do produto, podendo aumentar a perecibilidade. As principais alterações que ocorrem durante a vida útil de alimentos minimamente processados são perda de massa (murchamento), escurecimento enzimático e alterações no sabor e odor (CHITARRA e CHITARRA, 2005).

Para diminuir a predisposição dos vegetais minimamente processados a deterioração é necessário o uso de métodos adequados de sanitização e de conservação, como armazenamento em temperaturas baixas, modificação da atmosfera e uso de embalagens adequadas, para que os alimentos sejam mantidos frescos por maior período de tempo (ROMEIO et al., 2010; VIEIRA; SILVA, 2017).

Com a ascensão de um público mais criterioso e consumista surge o desafio de aprimorar procedimentos e tecnologias em toda a cadeia de abastecimento dos alimentos minimamente processados, visto que o consumidor está mais consciente, buscando cada vez mais reduzir o desperdício de alimentos e se preocupando com o consumo e o descarte correto das embalagens (GOMES, 1996).

A necessidade de alimentos com maior praticidade no consumo cria uma nova demanda por embalagens que contribuam não só com o frescor e a qualidade nutricional do produto mais também com a redução do impacto no meio ambiente. Desta forma,

novas tecnologias e estratégias surgem para manter a qualidade e prolongar a vida de prateleira dos alimentos (EMBUSCADO et al., 2009).

Neste contexto os filmes biodegradáveis podem desempenhar importante papel na qualidade, segurança, transporte e armazenamento de uma ampla variedade de alimentos frescos e processados, evitando a perda de umidade e mantendo a qualidade por evitar a deterioração e contaminação microbiana dos alimentos. Desta forma, o objetivo deste trabalho foi analisar o comportamento de embalagens produzidas da pectina do mesocarpo do pequi na conservação de cenouras minimamente processadas durante toda a vida de prateleira. O comportamento das embalagens foi avaliado de forma indireta através da realização de análises físico-químicas nas cenouras embaladas em que se avaliou acidez, pH, perda de massa, umidade, cor, teor de sólidos solúveis e textura durante o armazenamento de 12 dias.

5.3. MATERIAL E MÉTODOS

5.3.1. Coleta das Cenouras

As cenouras foram adquiridas no dia da realização da análise, no comércio de Rio Verde- Goiás, Brasil, após avaliação visual quanto a integridade, homogeneidade e frescor e encaminhadas ao Laboratório de Frutas e Hortaliças do Instituto Federal Goiano, Campus Rio Verde-GO. O processo de preparo minimamente processado foi realizado utilizando os princípios de Boas Práticas de Fabricação com condições higiênico-sanitárias adequadas para reduzir contaminações.

5.3.2. Preparo das cenouras minimamente processadas

Inicialmente as cenouras foram previamente lavadas com água corrente e em seguida higienizadas com solução de hipoclorito de sódio a 2% por 10 minutos para redução da carga microbiana originária do cultivo e da manipulação. Após a higienização foi feito o resfriamento em câmara fria durante 8 horas a temperatura de aproximadamente 5°C (OLIVEIRA; SANTOS, 2015).

Após o resfriamento, iniciou-se o processo mínimo das cenouras retirando as cascas de forma manual com auxílio de faca de inox e em seguida realizou-se o corte em rodela com padrão de 1 cm. Logo após, as cenouras foram higienizadas com solução de água clorada a 0,2% a 7°C e deixadas em descanso na geladeira sobre uma peneira para drenagem do excesso de água antes de serem embaladas.

5.3.3. Elaboração dos filmes para as embalagens biodegradáveis

Os filmes para as embalagens biodegradáveis foram preparados pelo método de *casting* de acordo com a metodologia adaptada de Kechichian et al., (2010) que consiste na preparação de uma solução filmogênica que é espalhada em placas de acrílico para secagem (LÓPEZ et al., 2011; TURBIANI; KIECKBUSCH, 2011).

Preparou-se a solução filmogênica através da dissolução de 1,6% p/v de pectina extraída do mesocarpo do pequi em água destilada juntamente com 0,7 % p/v do agente plastificante, glicerol (Dinâmica). A solução foi mantida sob aquecimento e agitação constante em agitador magnético (Splabor, SP-10206/A) de 20 a 35 minutos até 70°C para a dissolução total da pectina. Posteriormente, a solução foi reticulada (Figura 4) com 50 mL de solução de CaCl₂ a 5% por gotejamento lento e mantendo agitação constante e temperatura de 70°C. Em seguida a solução obtida foi deixada em repouso por 1 hora, para precipitação dos resíduos, e posteriormente, foram depositados 100 mL de solução filmogênica em placas de acrílico de 14 cm de diâmetro que foram levadas para secagem em estufa convencional por 24 horas a 60°C (SILVA et al., 2009; SILVA et al., 2014).

Para o preparo dos filmes controle, foi utilizado 1,6 % p/v de pectina comercial (Dinâmica) e 0,7% p/v de glicerol dissolvidos em água destilada e aquecidos a 70°C sob agitação constante em agitador magnético até completa dissolução. A solução foi deixada em repouso por 1 hora para separação das microbolhas que se formaram durante a agitação e em seguida foram distribuídos 100 mL da solução filmogênica em placas acrílicas de 14 cm de diâmetro que foram colocadas para secagem em estufa convencional por 24 horas a 60°C (KANG et al., 2005).

Após a secagem, os filmes foram armazenados por 72 h em dessecadores com umidade relativa de 52% (solução saturada de nitrato de magnésio) e temperatura de 25 °C, para uniformização do conteúdo de umidade conforme proposto por Silva et al., (2014).

5.3.4. Acondicionamento das cenouras nas embalagens

As embalagens foram confeccionadas com dimensões 10x10cm utilizando selador a quente da marca Sulpack SV 460M. Foram preparadas doze embalagens contendo 20 gramas de cenoura minimamente processadas previamente. As embalagens foram acondicionadas em recipientes plásticos com tampas com umidade relativa previamente controlada com sais, sendo utilizado nitrato de magnésio para umidade de 52% e cloreto de sódio para umidade de 75%. Os recipientes contendo as embalagens com as cenouras foram acondicionados em BOD (Tecnal TE-371, Piracicaba-SP, Brasil)

com temperatura de resfriamento constante de $8^{\circ}\text{C} \pm 0,5^{\circ}\text{C}$, por 12 dias. Foram preparadas embalagens com o filme de pectina do mesocarpo do pequi (PMP) e filme de pectina cítrica comercial (PCC) nas mesmas condições como pode ser observado na figura 01.

O comportamento das embalagens na conservação das cenouras foi avaliado indiretamente através da análise das cenouras minimamente processadas durante os 16 dias de armazenamento. As análises foram realizadas nos tempos 0, 4, 8, 12, 16, quanto aos parâmetros de perda de massa, cor, pH, acidez titulável, sólidos solúveis, umidade e perfil de textura. As análises foram realizadas em triplicata, sendo os resultados expressos como a média das determinações.



Figura 01. Embalagens de: a) Filme de pectina do mesocarpo do pequi, e b) filme de pectina cítrica comercial.

5.3.5. Análises Realizadas das Cenouras Minimamente Processadas

5.3.5.1. Perda de Massa

A perda de massa foi determinada por método gravimétrico em balança analítica (Aczet CY 224) através da diferença entre o peso inicial da amostra e o peso obtido a cada intervalo de tempo, sendo os resultados expressos em porcentagem (VILA et al., 2007).

5.3.5.2. Cor

A determinação da cor das cenouras foi avaliada segundo Fernandes et al., (2015), por meio de colorímetro (Konica Minolta CR-400), utilizando-se os padrões CIEL*a*b. Foram determinados os parâmetros de luminosidade L^* (luminosidade), variando de 0 (preto) a 100 (branco); a^* (intensidade da cor verde a vermelho), b^* (intensidade da cor amarela a azul). A cromaticidade C^* e o ângulo hue h , que indicam a intensidade da cor e a tonalidade da cor, respectivamente, foram calculadas através das equações 7 e 8. Foram realizadas 7 leituras em cada rodela de cenoura de forma aleatória e realizada a média dos valores.

$$H = \tan^{-1}(b^*/a^*) \quad (7)$$

$$C = [(a^*)^2 + (b^*)^2]^{0,5} \quad (8)$$

5.3.5.3. Umidade

O teor de umidade foi determinado de acordo com o método nº925.10 da AOAC (1997), utilizando 2 gramas de amostra colocados em cadinhos previamente secos que foram levados para secagem em estufa a 105°C por 8 horas. As análises foram realizadas em triplicata.

5.3.5.4. Acidez Titulável, pH e Sólidos Solúveis

Para a realização das análises de acidez titulável, pH e sólidos solúveis as amostras foram trituradas e homogeneizadas em mixer (Malory Trixer Inox).

A acidez total titulável foi determinada por titulação potenciométrica, com solução de NaOH 0,1N segundo método N° 942.15 – AOAC, (1997), com resultado expresso em % de ácido cítrico (AQUINO et al., 2017).

A determinação de sólidos solúveis totais foi realizada em refratômetro digital Kruss Optronic Germany – DR301-95 resultados serão expressos em graus Brix, segundo método N° 932.12 – AOAC (2005) (MALLI; GROSSMANN, 2003).

O pH foi determinado por medição direta em potenciômetro (Tenopon – Luca 210P), segundo método N° 981.12 - AOAC, 1997.

5.3.5.5. Perfil de textura

A determinação do perfil de textura instrumental (TPA) foi realizada por um Analisador de Textura (CT3TM Brookfield, USA) (Figura 02) equipado com uma célula de carga de 25 kg. Utilizando probe (sonda) cilíndrica em acrílico de 25,4 mm de diâmetro, o equipamento foi programado com velocidade de pré-teste: 0,5 mm/s, velocidade de teste: 1,0 mm/s e velocidade de pós-teste de 0,5 mm/s e um período de repouso de 5 s entre os dois ciclos e taxa de aquisição de dados de 100 pontos por segundo. O texturômetro trabalhou conectado a um computador e os dados coletados foram processados e apresentados pelo programa “TexturePro CT”. As avaliações foram realizadas em triplicata. A partir do diagrama força x deformação foram gerados dados de dureza, elasticidade e mastigabilidade (RODRIGUES, 2009).



Figura 02. Análise de textura em Texturômetro CT3TM Brookfield. FONTE: Arquivo Pessoal, 2019.

5.3.5.6. Análises Estatística

O delineamento experimental adotado foi o inteiramente ao acaso, sendo os tratamentos dispostos em esquema fatorial 2 x 4, em que se avaliou os tipos de embalagem (filme PMP e filme PCC) e os períodos de armazenamento (0, 4, 8, 12, 16 dias) em umidade relativa de 52%. A parcela experimental compreendeu três embalagens contendo amostras de 20 gramas de cenouras minimamente processadas, totalizando 24 embalagens.

5.4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

5.4.1. Aplicação dos Filmes como Embalagem de Cenoura Minimamente Processada

A deterioração microbiana foi observada nas cenouras minimamente processadas embaladas em filme PCC a partir do 12º dia de armazenamento, quando apresentou o desenvolvimento de bolores (Figura 03). Esse tipo de deterioração não foi observado nos filmes de PMP o que pode ser associado ao baixo pH dos filmes (Tabela 3), visto que foram produzidos de pectina obtida através de extração ácida das fibras solúveis do mesocarpo do pequi. A cenoura é um vegetal de rápida deterioração durante o armazenamento por causa das alterações fisiológicas que reduzem sua vida de prateleira. O produto sofre perda de firmeza, com a produção e liberação de um odor

característico gerado pelo catabolismo anaeróbico, pela alta taxa respiratória e microbiana deterioração (AYHAN; EŞTÜRK; TAŞ, 2008; RODRIGUES, 2009; FALGUERA et al., 2011).

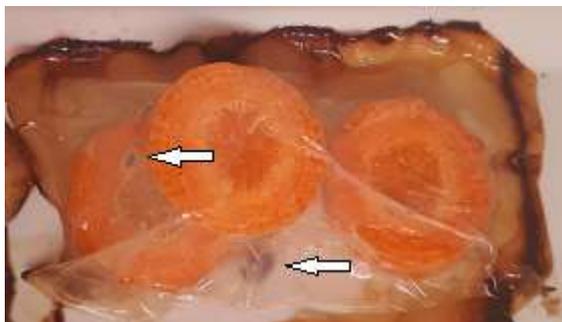


Figura 03. Filme PCC com desenvolvimento de bolores a partir do 12º dia de armazenamento. FONTE: Arquivo pessoal, (2019).

Considerando o processamento mínimo das cenouras e o tempo de armazenamento é esperado que ocorram pequenas variações nas propriedades físico-químicas visto que a taxa de respiração para as cenouras fatiadas é mais alta do que para os produtos inteiros. Spagnol et al., (2006) avaliaram as taxas de respiração de cenouras fatiadas e cenouras inteiras armazenadas a 5°C e observaram diferença na taxa de respiração de 2,2 vezes maior para as cenouras fatiadas, sendo de 8,84 e 19,58 ($\text{mgCO}_2 \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{h}^{-1}$).

Sudhir (2017) trabalhou com cenouras inteiras recobertas por cera de carnaúba e armazenadas sob refrigeração e verificaram uma vida útil de até 50 dias. Isto mostra o quão susceptível a deterioração são cenouras minimamente processadas, visto que no presente trabalho verificou-se a perda de qualidade a partir do 8º dia de armazenamento, em virtude da redução da concentração de sólidos solúveis e tendência ao aumento da perda de massa em ambos os filmes, PMP e PCC.

5.4.2. Análises Realizadas das Cenouras Minimamente Processadas

5.4.2.1. Perda de Massa

Os filmes PMP e PCC apresentaram aumento na perda de massa linear ao longo do período de armazenamento, sendo que o filme de PCC apresentou perda de 39,04 % enquanto o filme PMP apresentou perda de 31,56% (figura 04). De acordo com Murmu & Mishra, (2017) a perda de massa durante o armazenamento é ocasionada, principalmente, pela transpiração do fruto pela diferença de pressão do vapor de água entre a atmosfera e a superfície do alimento.

Oliveira et al., (2018) avaliaram revestimento polimérico de hidroximetilpropilcelulose (HPMC) e cera de abelha em goiabas e verificaram que o revestimento minimizou a transpiração do fruto por se tornar uma barreira semipermeável às trocas gasosas. Comparativamente, Leceta et al., (2015) não verificaram perda de massa significativa no armazenamento de cenouras recobertas com filmes de quitosana ao que relacionou a espessura do revestimento. Fai et al., (2015) avaliaram o comportamento de cenouras minimamente processadas revestidas com solução à base de farinha de resíduos de frutas e hortaliças e cenouras sem embalagem e observaram perda de massa durante 12 dias de armazenamento, porém, sem diferença entre os tratamentos.

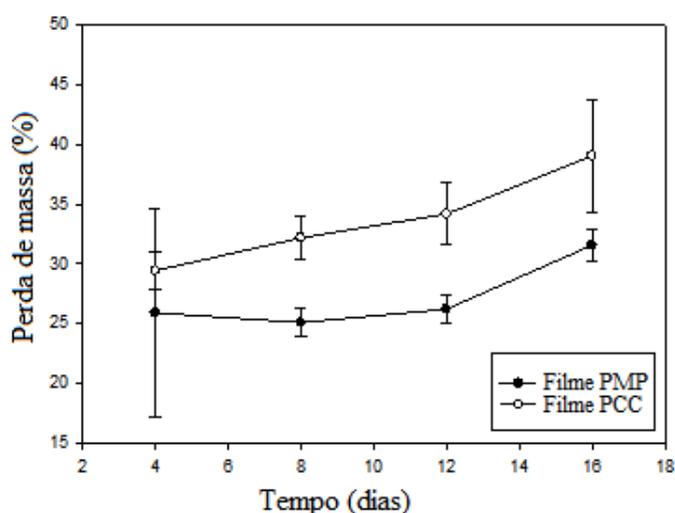


Figura 04. Perda de massa de cenouras embaladas com filmes PMP e filmes PCC durante o armazenamento de 16 dias.

A perda de massa dos vegetais é um atributo crítico que é percebido pelo consumidor pois interfere na aparência, quantidade de nutrientes e textura. Essa perda se inicia logo após a colheita devido ao aumento da taxa de respiração, pois os tecidos dos vegetais crus ou inteiros permanecem vivos. No caso dos vegetais minimamente processados, por causa do processamento e exposição dos tecidos vegetais, todos os processos fisiológicos como a respiração são intensificados acelerando a maturidade e senescência (VELDERRIAN et al., 2019). Como pode ser observado no experimento, a alta perda de massa das amostras influenciou na aparência das cenouras minimamente processadas (Figura 05), que apresentaram aspecto de murcho pela perda de água, principalmente nas cenouras embaladas com filme PCC.

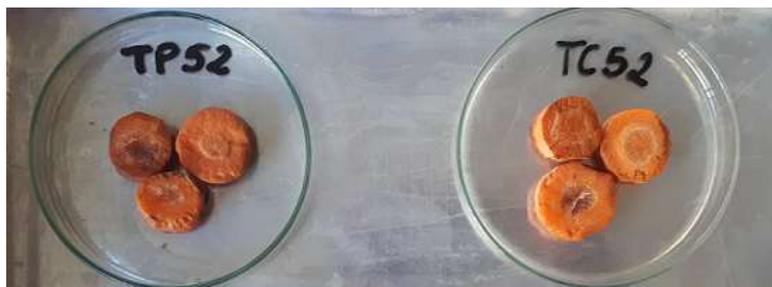


Figura 05. Amostras com 16 dias de armazenamento. Fonte: Arquivo pessoal (2019).

5.4.2.2. Cor

Os valores de luminosidade (L) reduziram durante o armazenamento o que indica a tendência ao escurecimento das cenouras minimamente processadas durante o armazenamento, visto que o L é definido entre o branco e o preto assumindo valor 0 para o preto absoluto, e 100 para o branco total. As cenouras embaladas com filmes de PMP apresentaram maior escurecimento, apresentando redução na luminosidade de 60,01* para 48,47* (Figura 06).

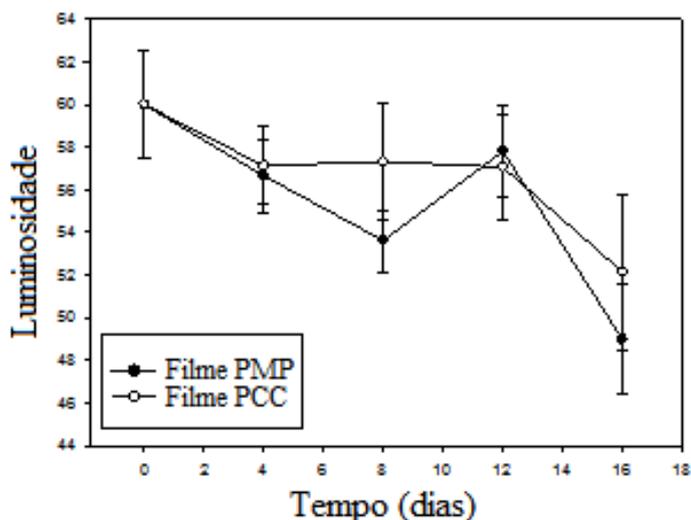


Figura 06. Luminosidade de cenouras minimamente processadas embaladas em filmes de pectina do mesocarpo do pequi (PMP) e filmes de pectina cítrica comercial (PCC) durante o armazenamento de 16 dias.

Este comportamento pode estar associado ao contato direto das cenouras com os filmes de PMP, permitindo a absorção da cor dos filmes que apresentam coloração próxima ao marrom, pela presença de taninos advindos da matéria-prima (Figura 07). Os filmes de pectina cítrica comercial também apresentaram redução contínua na luminosidade, porém, em menor intensidade, sendo a redução de 60,01* para 55,55*. Lai

et al. (2013) produziram e aplicaram em cenouras minimamente processadas um revestimento de amido de tapioca e descreveram que este processo reduziu o nível de esbranquiçamento das cenouras e preservou a cor durante o armazenamento em refrigeração. Além disso, essas mudanças na cor podem estar relacionadas a desidratação da superfície e oxidação de carotenoides. (CHERVIN E BOISSEAU, 1994; AUGŠPOLE et al., 2012, MAHENDRAN, 2015).

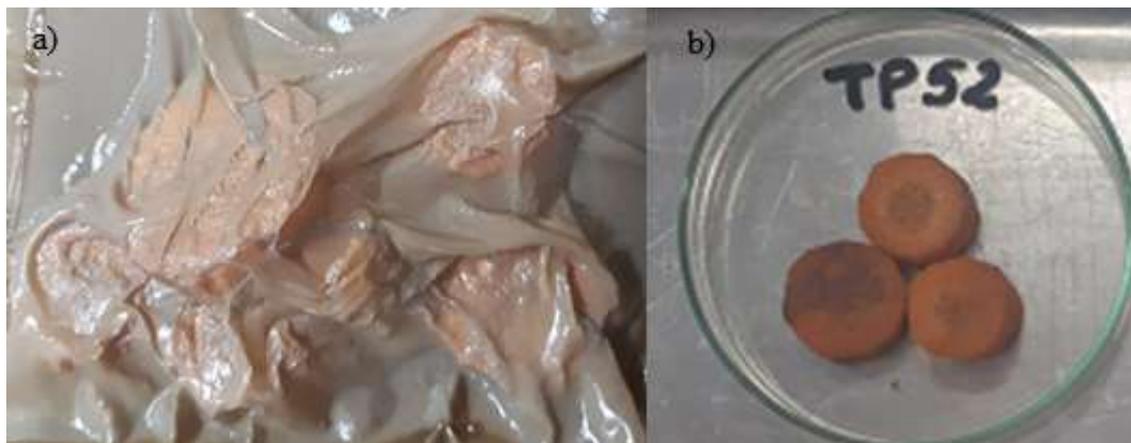


Figura 07. a) Embalagem de filmes de pectina do mesocarpo do pequi (PMP) em contato com a cenoura. b) Cenouras embaladas em filme de pectina do mesocarpo do pequi (PMP) que ficaram em contato com o filme absorvendo a cor do mesmo. FONTE: Arquivo pessoal, (2019).

Piscopo et al., (2019) avaliaram o efeito de óleos essenciais na conservação de cenouras minimamente processados e verificou efeito contrário ao observado, sendo que as cenouras tiveram tendência ao esbranquiçamento ao que associou a ocorrência de reações enzimáticas após a remoção da proteção natural durante o processamento mínimo. O esbranquiçamento é um dos principais problemas tecnológicos atribuídos ao processamento mínimo de cenouras, pois, a mudança na cor superficial impacta na escolha do consumidor que prefere produtos com aparência de cenoura fresca (PEREIRA et al., 2008).

Wang et al., (2015) constatou que o índice de brancura (WI) de cenouras com revestimento teve aumento mais lento do que em cenouras sem revestimento e confirmou que as operações de corte induzem a mudanças indesejáveis na cor e que em termos práticos, podem indicar a deterioração da qualidade das cenouras.

Observou-se redução linear do chroma para as cenouras embaladas com filme PCC durante todo o período de armazenamento, enquanto com filme PMP, após o 12º dia de armazenamento, observa-se sensível tendência de aumento no valor de C*,

significando maior intensidade da coloração dessas amostras nesse período, confirmando os valores encontrados para luminosidade (Figura 08).

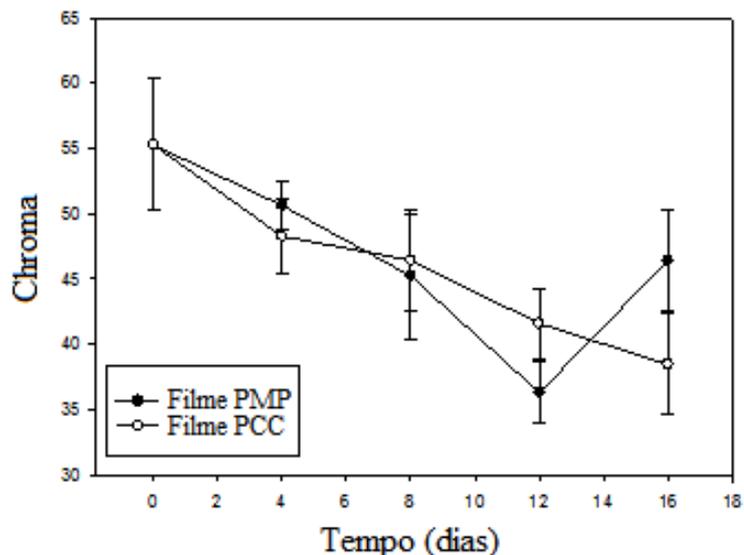


Figura 08. Valores de chroma de cenouras embaladas com filmes de pectina do mesocarpo do pequi (PMP) e filmes de pectina cítrica comercial (PCC) durante o armazenamento de 16 dias.

Fai et al., (2015) relataram comportamento similar com chroma variando de 59 a 46 e de 52 a 48 para as amostras com revestimento à base de resíduo de frutas e hortaliças e não revestidas. A cor é um parâmetro de qualidade importante nas cenouras minimamente processadas, pois uma boa cor geralmente indica frescor e consequentemente melhor aceitação do consumidor (WANG, 2015).

Os valores do ângulo hue (h°), que representa a tonalidade da cor, apresentou variações decrescentes até o 8º dia de armazenamento, alterando para variação crescente até o 16º dias de armazenamento, entretanto, sem apresentar grandes diferenças entre os tratamentos. Os valores iniciais de hue de $56,75^\circ$ indicam uma tonalidade laranja e ao longo do armazenamento mostram tendência de leve escurecimento da cor seguida de clareamento após o 8º dia de armazenamento (Figura 09).

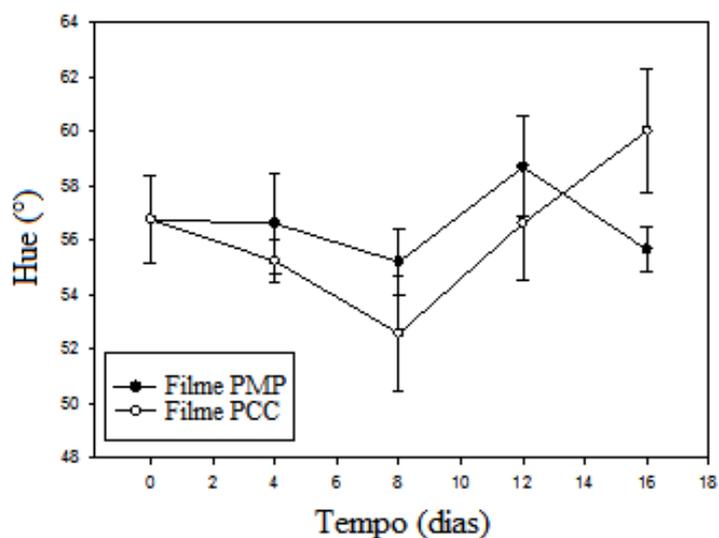


Figura 09. Valores de Hue (°) de cenouras embaladas com filmes de pectina do mesocarpo do pequi (PMP) e filmes de pectina cítrica comercial (PCC) durante o armazenamento de 16 dias.

As duas amostras apresentaram tendência de reduzir a intensidade da cor vermelha (decréscimo no valor de a^*) e amarela (decréscimo do valor de b^*) ao longo do tempo de armazenamento (Figura 10), todavia não apresentaram diferenças entre si, como também foi observado por Fai et al., (2015). Comportamento contrário foi observado por Leceta et al., (2015) que verificou tendência ao aumento nos parâmetros a^* e b^* durante o armazenamento de cenouras revestidas com quitosana.

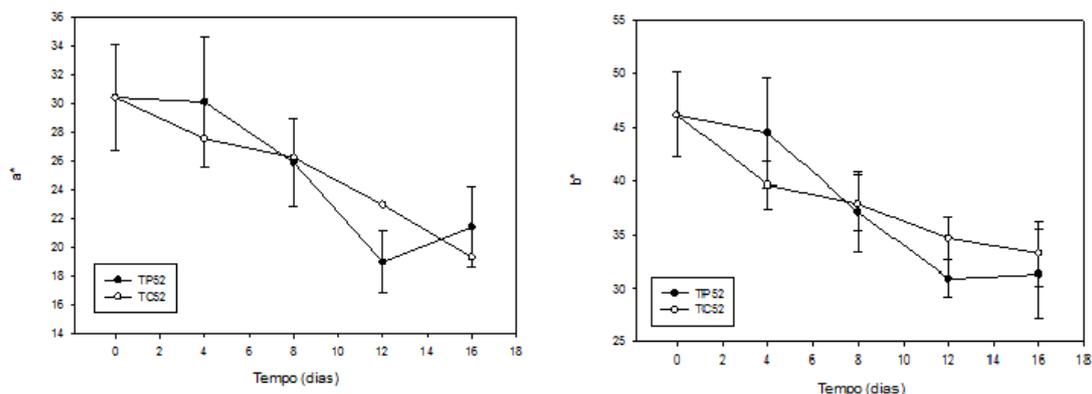


Figura 10. Valores de a^* e b^* de cenouras embaladas com filmes de pectina do mesocarpo do pequi (PMP) e filmes de pectina cítrica comercial (PCC) durante o armazenamento de 16 dias.

Martínez et al., (2015) verificou valores de a^* e b^* de 21,7 e 29,99, respectivamente, para cenouras embaladas com filmes de quitosana adicionada de nanopartículas, sendo que o valor de b^* foi menor do que o encontrado no presente trabalho e que indica cenouras com cores mais próximas ao amarelo. Velderrain et al.,

(2019) ressaltou que existe correlação entre certos pigmentos (por exemplo, carotenoides, clorofilas, antocianinas e compostos fenólicos) e a cor de um produto e a medida destes padrões de cores são fundamentais para determinar padrões de qualidade para frutas e vegetais, pois podem indicar a ação de enzimas ou a lignificação de tecidos.

5.4.2.3. Umidade

Na Figura 11, verifica-se a diminuição nos valores de umidade que está diretamente relacionada a perda de massa das amostras, já que significa a perda de água das cenouras durante os 16 dias de armazenamento.

Os valores iniciais de umidade das cenouras corroboram com os de Silva, (2016) que avaliou as propriedades físico-químicas de cenouras minimamente processadas e encontrou valores iniciais de umidade de $89,8\% \pm 0,73$ e percebeu que a umidade resiste aos efeitos da injúria, decorrentes do processamento mínimo logo após o preparo.

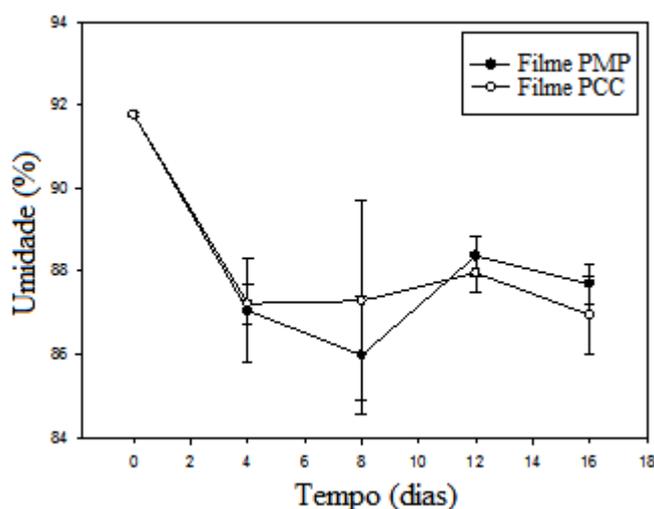


Figura 11. Valores umidade de cenouras minimamente processadas embaladas com filmes de pectina do mesocarpo do pequi (PMP) e filmes de pectina cítrica comercial (PCC) durante o armazenamento de 16 dias.

Essa perda da umidade pela transpiração excessiva causa efeitos indesejáveis na aparência e aceitabilidade das cenouras minimamente processadas, pois as tornam enrugadas e apresentam perda da textura deixando-as mole (CENSI, 2014). Pelas características das embalagens durante o armazenamento das cenouras, sugere-se que as cenouras perderam água através da transpiração, sendo esta absorvida pelos filmes, pois os mesmos apresentaram aspecto úmido e mole ao longo do armazenamento (Figura 12). A partir do 8º dia, verifica-se que a umidade estabilizou, e sugere que os filmes são bastante higroscópicos e absorveram toda a água eliminada pelas cenouras. A

permeabilidade ao vapor de água também é um fator bastante importante no controle de perda de água de vegetais minimamente processados (FONSECA et al., 2002).



Figura 12. Aspecto das embalagens de cenouras minimamente nos primeiros 8 dias de armazenamento.

5.4.2.4. Acidez Titulável

Silva, (2016) encontrou valores de 1,9 % de acidez (% ácido cítrico) em cenouras minimamente processadas com diferença entre as cenouras *in natura* de 1,4 % de acidez. O presente trabalho verificou valores iniciais de acidez de cenouras minimamente processadas inferiores, de 0,55 % de acidez (% ácido cítrico), com redução ao longo dos 16 dias de armazenamento, chegando a 0,21 % de acidez (% ácido cítrico) para as cenouras armazenadas em filmes PMP e 0,1 % de acidez (% ácido cítrico) para os filmes PCC (Figura 13). A acidez é um parâmetro importante na conservação de vegetais, pois quanto menor for o teor de acidez pior será a qualidade do produto. A redução da acidez ocorre devido ao processo de senescência dos vegetais em que ocorre a perda dos ácidos orgânicos devido à perda de líquido celular (CHITARRA; CHITARRA, 1990).

Resultados similares foram encontrados por Fai et al., (2015) que avaliou cenouras minimamente processadas recobertas com revestimento comestível à base de resíduos de frutas e verificaram redução na acidez de 0,04 a 0,018 % ácido cítrico, durante os 12 dias de armazenamento.

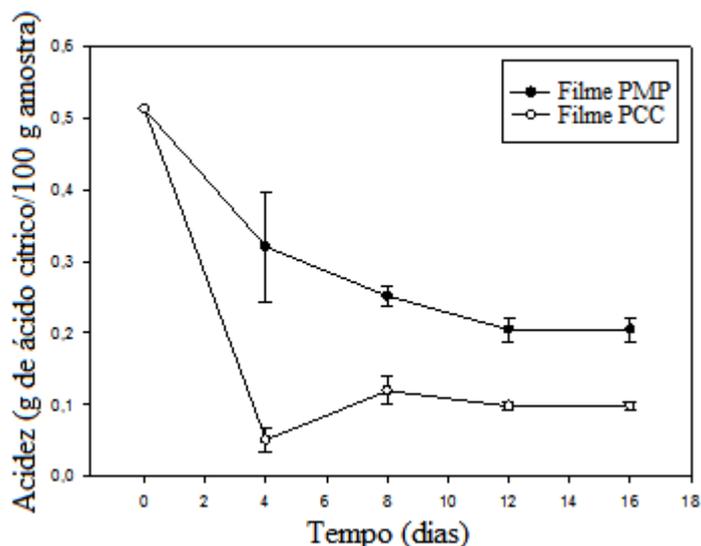


Figura 13. Valores acidez de cenouras minimamente processadas embaladas com filmes de pectina do mesocarpo do pequi (PMP) e filmes de pectina cítrica comercial (PCC) durante o armazenamento de 16 dias.

Diferentemente, Hernandez et al., (2017) não observaram variações nos valores de acidez em cenouras minimamente processadas embaladas com filmes de pectina, sendo que os resultados se mantiveram entre 0,08 a 0,09 (% ácido cítrico) durante os 13 dias de armazenamento.

5.4.2.5. pH

Os valores de pH apresentaram comportamento contrário entre as cenouras embaladas em filmes PMP e filme PCC (Figura 14), sendo que as embaladas em filme PMP apresentaram tendência para a redução no pH pelo contato direto com o filme que tem pH ácido de 2,28. As cenouras minimamente processadas embaladas em filmes PCC apresentaram aumento de 0,87 unidades de pH, sendo de 5,5 até 6,37. Jardina et al., (2016) demonstraram comportamento similar no armazenamento de rúcula e relacionaram com a elevação da taxa respiratória e o consumo intenso dos ácidos orgânicos em decorrência do processamento mínimo que ocasiona maior deterioração.

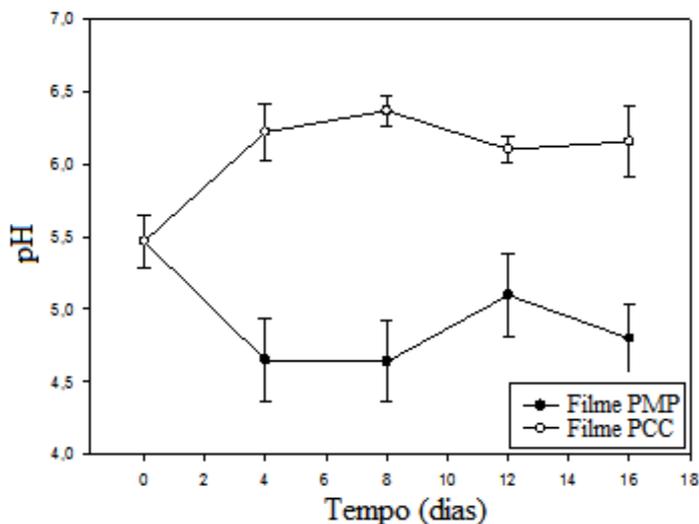


Figura 14. Valores pH de cenouras minimamente processadas embaladas com filmes de pectina do mesocarpo do pequi (PMP) e filmes de pectina cítrica comercial (PCC) durante o armazenamento de 16 dias.

Os resultados iniciais de pH do presente trabalho corroboram com os de Silva (2016) que encontrou valores de pH de 5,5 em cenouras minimamente processadas e pH 6,0 para cenouras *in natura* justificando ser pelo processo de elaboração minimamente processado. Leceta et al., (2015) avaliaram cenouras minimamente processadas embaladas com filmes de quitosana durante 15 dias e observaram que os valores de pH permaneceram constantes durante o tempo de armazenamento, mantendo-se entre 6,0 a 6,5. Os resultados de Hernández et al., (2017) apresentaram pequena alteração no pH (de 6,06 a 6,15) de cenouras minimamente processadas embaladas com filmes de quitosana durante 13 dias de armazenamento. O perfil de mudança do pH e os valores encontrados assemelham-se aos obtidos por Lai et al., (2015) que analisou o comportamento de cenouras com revestimento comestível à base de resíduo de frutas e hortaliças.

5.4.2.6. Sólidos Solúveis

Na Figura 15, observa-se aumento no teor de sólidos solúveis até o 8º dia de armazenamento das cenouras minimamente processadas e uma queda nos valores nos dias subsequentes. Os dois filmes apresentaram comportamento similar quanto ao teor de sólidos solúveis das cenouras minimamente processadas. Os teores iniciais de 6,27º Brix estão abaixo dos encontrados por Silva, (2016) que determinou valores de 12º Brix em cenouras minimamente processadas. Porém, ao longo do armazenamento, chegou-se a obter resultados de 12,47º Brix no 8º dia de armazenamento.

O aumento dos sólidos solúveis nos primeiros oito dias de armazenamento se justifica pela maior queda da umidade no período (Figura 11) que permitiu a concentração dos sólidos solúveis. Após este período de perda de umidade, verifica-se a redução nos sólidos solúveis que está associada ao consumo dos açúcares e ácidos orgânicos disponíveis pela respiração que mantém o metabolismo dos tecidos vegetais. Essa diminuição pode ser atribuída à degradação do produto durante o armazenamento (PEREIRA et al., 2008).

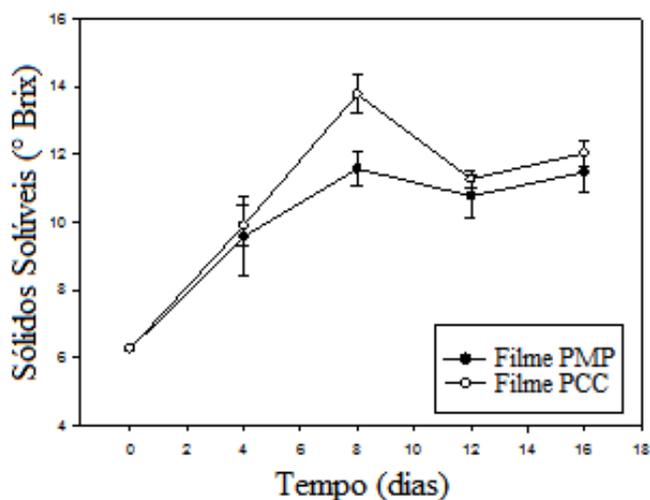


Figura 15. Sólidos solúveis totais (°Brix) de cenouras minimamente processadas embaladas com filmes de pectina do mesocarpo do pequi (PMP) e filmes de pectina cítrica comercial (PCC) durante o armazenamento de 16 dias.

A redução nos sólidos solúveis é um dos principais indícios de deterioração e início da senescência das cenouras minimamente processadas pelo metabolismo do processo de maturação. No entanto, destaca-se que a composição dos tecidos dos vegetais é bastante variável em função das condições de cultivo, variedade, época da colheita, estágio de maturação, forma de processamento e condições de armazenamento (CHIUMARELLI, 2011).

5.4.2.7. Textura

Os resultados do perfil de textura das cenouras minimamente processadas embaladas em filmes PMP e filmes PCC (Figura 16) mostraram que a dureza das cenouras teve redução brusca até o 8 dia de armazenamento, e pode ser associada com a perda de massa (Figura 04) e a umidade (figura 11). Figueiredo et al., (2010) verificaram que os valores na perda de massa estão relacionados ao teor de água do alimento e fornecem informações importantes sobre a textura dos vegetais estando diretamente associada a

qualidade dos mesmos. Velderrain et al., (2019) também associaram as alterações da textura à ação de certas enzimas nos polissacarídeos constituintes da parede celular (por exemplo, celulose, hemicelulose e pectina) que provocam a degradação tecidual.

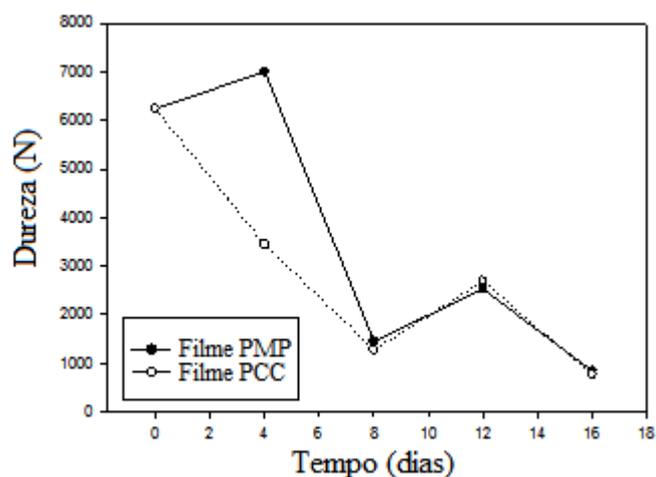


Figura 16. Dureza (N) de cenouras minimamente processadas embaladas com filmes de pectina do mesocarpo do pequi (PMP) e filmes de pectina cítrica comercial (PCC) durante o armazenamento de 16 dias.

As cenouras embaladas com filme PCC tiveram maior redução na dureza nos primeiros 4 dias de armazenamento e apresentou comportamento similar ao filme de PMP nos dias seguintes até o fim do tempo de armazenamento. Valores maiores de dureza nos primeiros 4 dias de armazenamento das cenouras estão relacionados ao frescor dos vegetais. Essa característica permite inferir que a força necessária para comprimir o alimento entre os dentes é menor ao longo do tempo de armazenamento, ou seja, as cenouras apresentaram maior maciez ao longo do armazenamento. Os resultados de Leceta et al., (2015) que avaliaram cenouras com revestimento à base de quitosana, corroboram com o presente trabalho, quanto a redução da firmeza ao longo do período de armazenamento.

Ranjitha et al., (2017) constataram a redução de valores de textura de cenouras recobertas com revestimento à base de pectina. Wang et al., (2015) observaram mudanças de firmeza de cenouras minimamente processadas embaladas em filmes comestíveis de purê de cenoura e cenouras *in natura* não revestidas com tendência a redução da firmeza para ambos os tratamentos, porém, o revestimento utilizado possibilitou uma taxa de redução menor comparativamente, ao que associou com a senescência dos tecidos e à quebra da parede celular como perda de água.

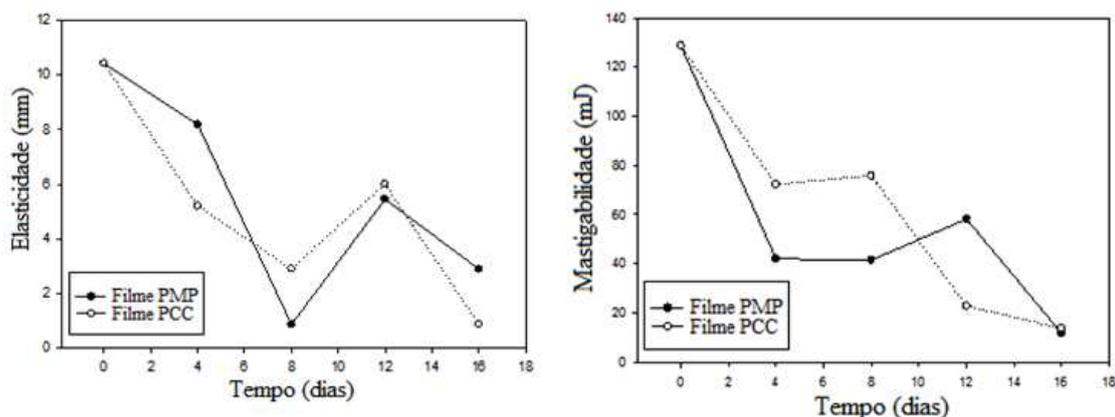


Figura 17. Elasticidade (mm) e mastigabilidade (mJ) de cenouras minimamente processadas embaladas com filmes de pectina do mesocarpo do pequi (PMP) e filmes de pectina cítrica comercial (PCC) durante o armazenamento de 16 dias.

A elasticidade, que é a velocidade que o material deformado volta a condição não deformada após a compressão, verificou-se decréscimo nos valores para as cenouras embaladas em ambos os filmes, PMP e PCC (Figura 17) (RAMOS; GOMIDE, 2009).

Comportamento similar pode ser observado para o parâmetro da mastigabilidade das cenouras ao longo do período de armazenamento (Figura 17). A mastigabilidade representa a quantidade de mordidas necessárias para se reduzir a cenoura até uma consistência aceitável para ser engolida, sendo assim, nota-se que quando maior o período de armazenamento menor o esforço necessário na mastigação (FERNANDES, 2013).

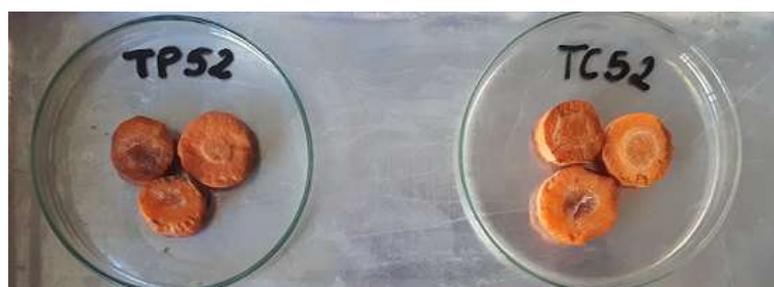


Figura 18. Amostra de cenouras minimamente processadas com 16 dias de armazenamento.

A Figura 18, mostra que as cenouras minimamente processadas apresentaram aspecto murcho, pela perda de água, e conseqüentemente, menor dureza ao final dos 16 dias de armazenamento. O aspecto visual é um dos atributos importantes para o consumidor para definição da compra, além da textura, sabor e valor nutricional, pois remete a aparência de produto fresco (VELDERRAIN et al., 2019; BARZEE et al., 2019).

5.5. CONCLUSÃO

Os filmes elaborados a partir da pectina do mesocarpo do pequi e da pectina cítrica comercial mostraram potencial no armazenamento de cenouras minimamente processadas conferindo vida de prateleira de 8 dias, pois a partir deste período as cenouras apresentaram perda de massa, de sólidos solúveis e de acidez. Os filmes apresentaram-se bastante higroscópicos, sendo recomendado para o uso em produtos com menor umidade.

O uso deste tipo de embalagem biodegradável pode contribuir com a redução na quantidade de resíduos plásticos no ambiente, além de promoverem o incentivo ao uso de recursos renováveis e através do uso de resíduos da produção de alimentos.

5.6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AOAC. ASSOCIATION OF OFFICIAL ANALYTICAL CHEMISTS. **Official methods of analysis of association of official analytical chemists**. 16 ed. Washington D.C.: AOAC, 1997. v. 2.

AOAC. ASSOCIATION OF OFFICIAL ANALYTICAL CHEMISTS. **Official methods of analysis of association of official analytical chemists**. 18 ed. Maryland, 2005.

AQUINO, C.; COSTA, S. C.; ELEAMEN, G. R. A.; MENDONÇA, E. A. M.; OLIVEIRA, E. E. Desenvolvimento de biofilmes à base de xilana e xilana/gelatina para produção de embalagens biodegradáveis. **Polímeros**, v. 27, n. 27, p. 35–41, 2017.

AUGŠPOLE, I.; RAKČEJEVA, T.; DUKAĽSKA, L. Changes of phenolic content and anti-radical activity in hybrids of 'Nante' carrots during storage. **Chemine Technologija**, v.4, p. 36–42, 2012.

AYHAN, Z.; EŐTÜRK, O.; TAŐ, E. Effect of modified atmosphere packaging on the quality and shelf life of minimally processed carrots. **Turkish Journal of Agriculture and Forestry**, v. 32, n. 1, p. 57-64, 2008.

BARZEE, T. J., EL- MASHAD, H. M., ZHANG, R., & PAN, Z. Carrots. **Integrated Processing Technologies for Food and Agricultural By-Products**, p. 297–330, 2019.

CENSI, S. A.; ALVARENGA, A. L. B.; SARANTÓPOULOS, C. I. G. L.; TOLEDO, J. C.; OLIVEIRA, L. M. **Processamento mínimo de frutas e hortaliças - Tecnologia, qualidade e sistemas de embalagem**. Embrapa Agroindústria de Alimentos, Rio de Janeiro, RJ, 2014.

CHERVIN, C.; BOISSEAU, P. Quality maintenance of “ready-to-eat” shredded carrots by gamma irradiation. **Journal of Food Science**, v. 59, n. 2, p. 359-361, 1994.

CHITARRA, M. I. F.; CHITARRA, A. B. **Post-harvest of fruits and vegetables: Physiology and handling**. UFLA, Lavras, Brazil, 2005.

CHITARRA; CHITARRA. **Pós-colheita de frutos e hortaliças**. ESALQ/FAEPE, 1990.

CHIUMARELLI, M.; FERRARI, C. C.; SARANTOPULOS, C. I. G. L.; HUBINGER, M. D. Fresh cut 'Tommy Atkins' mango pre-treated with citric acid and coated with cassava (*Manihot esculenta Crantz*) starch or sodium alginate. **Innovative food science & emerging technologies**, v. 12, n. 3, p. 381-387, 2011.

EMBRAPA. EMPRESA DE ASSISTÊNCIA TÉCNICA E EXTENSÃO RURAL. Agroinforme. **Pesquisa de mercado: hortaliças minimamente processadas**. Distrito Federal, 2007. Disponível em <<http://www.emater.df.gov.br/sites/200/229/00001397.pdf>> Acesso em 22 abr. 2010.

EMBUSCADO, M.E.; HUBER, K.C. **Edible Films and Coatings for Food Applications**. Editora Springer, 2009.

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

FALGUERA, V., QUINTERO, J. P., JIMENEZ, A., MUÑOZ, J. A., & IBARZ, A. Edible films and coatings: Structures, active functions and trends in their use. **Trends in Food Science & Technology**, v. 22, n. 6, p. 292–303, 2011.

FERNANDES, A. P; COSTA, J. B.; SOARES, D. S. B.; MOURA, C. J.; SOUZA A. R. M. Application of biodegradable films produced from irradiated whey protein concentrate. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, v. 45, n. 2, p. 192-199, 2015.

FERNANDES, L. S. **Caracterização física, físico-química e bioquímica de batata baroa minimamente processada**. 2013. Tese de Doutorado. Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, Minas Gerais, 2013.

FIGUEIREDO, A. N.; OLIVIER, N. C.; ROJAS, A. B.; SILVA, J. C.; PADILHA, C. Avaliação pós-colheita de mamão variedade Formosa submetido a danos mecânicos e ensaios de compressão durante o armazenamento. **Revista Ciências Técnicas Agropecuárias**, v. 22, n. 2, p. 05-10, 2013.

FONSECA, S. C.; OLIVEIRA, F. A. R.; BRECHT, J. K. Modelling respiration rate of fresh vegetables for modified atmosphere packages: a review. **Journal of Food Engineering**, v. 52, p. 99-119, 2002.

GOMES, M.S.O. **Conservação pós colheita: frutas e hortaliças**. p. 134. Brasília: EMPRAPA, 1996.

JARDINA, L.L.; MOREIRA, E.G.S.; CORDEIRO, C.A.M.; ARAUJO-JUNIOR, P.V. Comportamento fisiológico pós-colheita de cultivares de rúcula minimamente processadas. **Revista Trópica: Ciências Agrárias e Biológicas**, v. 9, n. 01, 2017.

KANG, H. J.; JO, C.; LEE, N.Y.; KWON, J. H.; BYUN, M. W. A combination of gamma irradiation and CaCl₂ immersion for a pectin-based biodegradable film. **Carbohydrate**

Polymers, v. 60, n. 4, p. 547–551, 2005.

KECHICHIAN, V. D.; SANTOS, C.V.; TADINI, P.; CARME, C. Natural antimicrobial ingredients incorporated in biodegradable films based on cassava starch. **LWT-Food Science and Technology**, v. 43, n. 7, p. 1088-1094, 2010.

LAI, T.Y.; CHEN, C.H.; LAI, L.S. Effects of Tapioca Starch/Decolorized Hsian-Tsao Leaf Gum Based Active Coatings on the Quality of Minimally Processed Carrots. **Food Bioprocess Technology**. v. 6, p. 249-258, 2013.

LECETA, I., MOLINARO, S., GUERRERO, P., KERRY, J. P., & DE LA CABA, K. Quality attributes of map packaged ready-to-eat baby carrots by using chitosan-based coatings. **Postharvest Biology and Technology**, v.100, 142–150, 2015.

LÓPEZ, O. V.; LECOT, C. J.; ZARITZKY, N. E.; GARCÍA, M. A. Biodegradable packages development from starch based heat sealable films. **Journal of Food Engineering**, v. 105, n. 02, p. 254-263, 2011.

MAHENDRAN, T. Quality and Shelf Life of Minimally Processed Shredded Carrots in Modified Atmosphere Packaging. 2015. in KDU **International Research Symposium Proceedings**. General Sir John Kotelawala Defence University, p. 108–113.

MALLI, S.; GROSSMANN, M. V. E. Effects of Yam Starch Films on Storability and Quality of Fresh Strawberries (*Fragaria ananassa*). **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, v. 51, n. 24, p. 7005–7011, 2003.

MARTÍNEZ, G. B., AMODIO, M. L., & COLELLI, G. Carvacrol-loaded chitosan nanoparticles maintain quality of fresh-cut carrots. **Innovative Food Science & Emerging Technologies**, 41, 56–63, 2017.

MCGUIRE, R. G.; Reporting of Objective Color Measurements. **HortScience**, v. 27, n. 12, p. 1254- 1255, 1992.

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

NAVARRO, M. L., MASSA, A., & PÉREZ, M. B. Effect of beeswax content on hydroxypropyl methylcellulose-based edible film properties and postharvest quality of coated plums (*Cv. Angeleno*). **LWT - Food Science and Technology**, v. 44, n. 10, p. 2328–2334, 2011.

OLIVEIRA, V. R. L., SANTOS, F. K. G., LEITE, R. H. L., AROUCHA, E. M. M., & SILVA, K. N. O. Use of biopolymeric coating hydrophobized with beeswax in post-harvest conservation of guavas. **Food Chemistry**, v. 259, n. 03, p. 55–64, 2018.

PEREIRA, J. M. A. K.; MINIM, V. P. R.; PUSCHMANN, R.; VANETTI, M. C. D.; SOARES, N. F. F.; MORETTI, C. L. VIEIRA, J. V. 2008. Qualidade físico-química de mini-cenouras revestidas. **Revista Ceres**. v. 55, n. 6, p. 537-542, 2008.

PISCOPO, A.; ZAPPIA, A.; POZZO, S.B; LIMBO, S.; PIERGIOVANNIC, L.; POIANA, M. Use of biodegradable materials as alternative packaging of typical Calabrian Provola cheese. **Food Packaging and Shelf Life**, v. 21, p. 100351, 2019.

RANJITHA, K. et al. Shelf-life extension and quality retention in fresh-cut carrots coated with pectin. **Innovative food science & emerging technologies**, v. 42, p. 91-100, 2017.

RODRIGUES, L.G.G. **Processo integrado de cozimento e resfriamento de legumes**. 2009. Dissertação (Mestrado) Curso de Pós-Graduação em Engenharia de Alimentos, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2009.

ROMEO, F.V.; LUCA, S.D.; PISCOPO, A.; SALVO, E.; POIANA, M. Effect of some essential oils as natural food preservatives on commercial grated carrots. **Journal of Essential Oil Research**, v. 22, n. 3, p. 283-287, 2010.

SANTOS, M. C. A.; SILVA, T. **Avaliação do mercado de frutas e hortaliças embaladas, minimamente processadas, orgânicas e desidratadas na capital de Minas Gerais**. Contagem: CEASA MINAS/MG, 2010.

SATO, G.S.; MARTINS, V.A.; BUENO, C.R.F. Análise exploratória do perfil do consumidor de produtos minimamente processados na cidade de São Paulo. **Informações Econômicas**, v. 37, n. 6, p. 63-71, 2007.

SILVA, A.C.B.; SCHUQUEL, L.Q.S.; SILVA, C.O.; PASCOAL, G.B. Qualidade nutricional e físico-química em cenoura (*Daucus carota l.*) in natura e minimamente processada. **DEMETRA: Alimentação, Nutrição & Saúde**, v. 11, n. 2, p. 355-367, 2016.

SILVA, G. D. da; LOCATELLI, G. O.; FINKLER, L.; FINKLER, C. L. Produção e caracterização de filmes comestíveis à base de alginato e pectina. **XX Congresso Brasileiro de Engenharia Química**, p. 1-8, 2014.

SILVA, M. A. DA; BIERHALZ, A. C. K.; KIECKBUSCH, T. G. Alginate and pectin composite films crosslinked with Ca²⁺ ions: Effect of the plasticizer concentration. **Carbohydrate Polymers**, v. 77, n. 4, p. 736-742, 2009.

SPAGNOL, W.A.; PARK, K.J.; SIGRIST, J.M.M. Taxa de respiração de cenouras minimamente processadas e armazenadas em diferentes temperaturas. **Ciência e Tecnologia de Alimentos**, v. 26, n. 3, p. 550-554, 2006.

SUDHIR, S. Effect of carnauba wax coating on the quality and shelf life of carrot (*Daucus carota L.*). **Vegetable Science**, v. 44, n. 2, p. 85-90, 2017.

TURBIANI, R. B. F.; KIECKBUSCH, T. G. Propriedades mecânicas e de barreira de filmes de alginato de sódio reticulados com benzoato de cálcio e/ou cloreto de cálcio. **Brazilian Journal of Food Technology**, v. 14, n. 02, p. 82-90, 2011.

VELDERRAIN, G. R.; LÓPEZ, G. M.; DOMÍNGUEZ, J. A.; GONZÁLEZ, G. A.; SOLIVA, R.; AYALA, J. F. Minimal Processing. **Postharvest Technology of Perishable Horticultural Commodities**, p. 353-374, 2019.

VIEIRA, S.L.V.; SILVA, I.C.P.; Alimentos minimamente processados: novo perfil de escolha do consumidor. **Arquivos do MUDI**, v. 21, n. 01, p. 26-38, 2017.

VILA, O. L. et al. Biofilme comestível na conservação de pimentão. **Rede de Revistas Científicas da América Latina**, v. 66, n. 4, p. 693–699, 2007.

WANG, X. X; KONG, X.; MA, Z.; ZHAO, R. Effect of carrot puree edible films on quality preservation of fresh-cut carrots. **Irish Journal of Agricultural and Food Research**, v. 54, n. 1, p. 64-71, 2015.

CONCLUSÃO GERAL

Os filmes produzidos de pectina extraída do mesocarpo do pequi e filmes de pectina cítrica comercial apresentaram boas características quanto a manuseabilidade, uniformidade e ausência de bolhas, porém com alta higroscopicidade e permeabilidade ao vapor de água, limitando sua utilização em produtos com baixa umidade. A coloração dos filmes de pectina do mesocarpo do pequi apresentou-se escura podendo ser um fator dificultante na decisão de compra pelo consumidor.

Os filmes tiveram comportamento similares na manutenção da qualidade de cenouras minimamente processadas durante a sua vida de prateleira, mostrando alta absorção de umidade e causando perda de massa que impactou diretamente na redução da textura das cenouras. Houve redução dos sólidos solúveis a partir do 8º dia de armazenamento que indica o início da deterioração das cenouras.

Assim, abre-se uma perspectiva para estudo de uma metodologia que possibilite maior resistência à água dos filmes produzidos.