



UNIVERSIDADE FEDERAL DO CEARÁ
CENTRO DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA DE ALIMENTOS
PÓS-GRADUAÇÃO EM CIÊNCIA E TECNOLOGIA DE ALIMENTOS

RAFAELA MARIA TEMÓTEO LIMA FEUGA

DESENVOLVIMENTO DE REVESTIMENTO COMESTÍVEL E FILMES
NANOCOMPÓSITOS A PARTIR DA GOMA DE CAJUEIRO
(Anacardium occidentale L.)

FORTALEZA - CE

2016

RAFAELA MARIA TEMÓTEO LIMA FEUGA

**DESENVOLVIMENTO DE REVESTIMENTO COMESTÍVEL E FILMES
NANOCOMPÓSITOS A PARTIR DA GOMA DE CAJUEIRO
(*Anacardium occidentale* L.)**

Tese apresentada ao Doutorado em Ciência e Tecnologia de Alimentos do Departamento de Engenharia de Alimentos da Universidade Federal do Ceará, como parte dos requisitos para obtenção do título de Doutor em Ciência e Tecnologia de Alimentos.

Orientador: Prof. Dr. Raimundo Wilane de Figueiredo.

Coorientadora: Dra. Maria do Socorro Rocha Bastos.

FORTALEZA - CE

2016

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação
Universidade Federal do Ceará
Biblioteca Universitária
Gerada automaticamente pelo módulo Catalog, mediante os dados fornecidos pelo(a) autor(a)

- F462d Feuga, Rafaela Maria Temóteo Lima.
Desenvolvimento de revestimento comestível e filmes nanocompósitos a partir da goma de cajueiro (anacardium occidentale l.) / Rafaela Maria Temóteo Lima Feuga. – 2016.
162 f. : il. color.
- Tese (doutorado) – Universidade Federal do Ceará, Centro de Ciências Agrárias, Programa de Pós-Graduação em Ciência e Tecnologia de Alimentos, Fortaleza, 2016.
Orientação: Prof. Dr. Raimundo Wilane de Figueiredo.
Coorientação: Profa. Dra. Maria do Socorro Rocha Bastos.
1. Polissacarídeo. 2. Embalagem biodegradável. 3. Reticulação. 4. Trimetafosfato de sódio. 5. Montmorilonita. I. Título.

CDD 664

RAFAELA MARIA TEMÓTEO LIMA FEUGA

**DESENVOLVIMENTO DE REVESTIMENTO COMESTÍVEL E FILMES
NANOCOMPÓSITOS A PARTIR DA GOMA DE CAJUEIRO
(*Anacardium occidentale* L.)**

Tese apresentada ao Doutorado em
Ciência e Tecnologia de Alimentos do
Departamento de Engenharia de
Alimentos da Universidade Federal do
Ceará, como parte dos requisitos para
obtenção do título de Doutor em Ciência
e Tecnologia de Alimentos.

Aprovado em: 17/10/2016.

BANCA EXAMINADORA

Prof. Dr. Raimundo Wilane de Figueiredo (Orientador) ~
Universidade Federal do Ceará (UFC)

Dra. Maria do Socorro Rocha Bastos (Coorientadora)
Embrapa Agroindústria Tropical (EMBRAPA)

Prof. Dr. Paulo Henrique Machado de Sousa
Universidade Federal do Ceará (UFC)

Dra. Roselayne Ferro Furtado
Embrapa Agroindústria Tropical (EMBRAPA)

Prof.^a Dra. Joélia Marques de Carvalho
Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Ceará (IFCE)

Prof.^a Dra. Luciana Siqueira de Oliveira
Universidade Federal do Ceará (UFC)

Dra. Livia Xerez Pinho
Universidade Federal do Ceará (UFC)

Aos meus pais, Jerson e Suely.
Às minhas irmãs, Camila e Karyna.
Aos meus queridos sobrinhos Gabriel e Sophia.
Ao meu amado esposo Aurélien.
Dedico.

AGRADECIMENTOS

À DEUS, pelo dom da vida e por toda fortaleza e coragem concedidas.

À Universidade Federal do Ceará, pela oportunidade de cursar o doutorado.

À Embrapa Agroindústria Tropical, pelo financiamento deste projeto, como também pelo suporte técnico e laboratorial durante todo o período da tese.

À CAPES, pelo financiamento deste projeto de pesquisa, assim como pela concessão de bolsa PDSE durante meu estágio doutoral em Nancy, França.

À Université de Lorraine, em especial ao LIBio, por abrir suas portas e permitir minha estadia como estagiária.

Ao meu orientador Prof. Raimundo Wilane de Figueiredo, pela confiança, incentivo e amizade desde os tempos de graduação e por mais uma vez me orientar neste trabalho.

À minha coorientadora Maria do Socorro Rocha Bastos, pela imensa atenção e contribuições durante todo o desenvolvimento deste trabalho.

Ao Prof. Paulo Henrique Machado de Sousa, por toda prontidão e pelas contribuições destinadas a este trabalho.

À pesquisadora Roselayne Ferro Furtado, pelas contribuições e sugestões durante toda a pesquisa.

Aos professores e pesquisadores participantes da banca de avaliação da tese, pelas valiosas contribuições.

Ao Prof. Stéphane Desobry, pelo seu apoio e imensa acolhida e por contribuir para a realização deste trabalho.

Ao Laboratório de Embalagens da Embrapa Agroindústria Tropical, por todo o suporte oferecido para realização desta tese.

À Frutacor, nas pessoas de João Teixeira Júnior, Aline Teixeira e Simone Moura, pela concessão das frutas para realização dos experimentos da tese.

Ao Laboratório de Processos Agroindustriais, nas pessoas do pesquisador Dr. Nédio Wurlitzer e da analista Cláudia, por todo o apoio concedido para o desenvolvimento de umas das etapas deste trabalho.

Ao Laboratório de Biomassa, nas pessoas de Ana Cassales, André Pereira, Lilian Chayn, Niedija Fitipaldi e todos os outros colaboradores que me ajudaram nas análises deste trabalho.

Ao Wanderson Moreira, por todos seus ensinamentos sobre goma de cajueiro.

À Williarda Queiroz, por toda dedicação e imensa ajuda oferecidas para realização das muitas análises deste trabalho.

Ao Instituto Federal do Ceará, nas pessoas de Eudes Bandeira e Lourival Aquino, pela concessão de afastamento para realização do doutorado sanduíche no exterior. Em especial às professoras Marcela Coelho e Márcia Leal, pelo grande gesto de companheirismo e amizade. Agradeço também a todos os colegas professores, servidores técnico-administrativos, profissionais terceirizados e aos meus alunos pelo imenso apoio e incentivo durante essa caminhada.

Aos amigos do Laboratório de Embalagens, por todos os bons momentos vividos, por tudo que me ensinaram e pela amizade que hoje fica.

Aos bolsistas e colaboradores do Laboratório de Frutos – UFC, em especial a Kelvianny Lino, pela ajuda nas análises de caracterização das goiabas.

À Aurenice Mota, Eliane Gnagne, Isabel Neves, Loïc, Mahamad Hassan, Mauricette, Niédila Alves, Mariam Berkhit, Nuray Abdullova, Rana Kadri, Raquel Rainier, Sarah Vatin, Wafa Soussi e Wenqi Xu, pelos maravilhosos momentos vividos em Nancy, por me ensinarem a conviver com diferenças e me fazerem sentir uma cidadã do mundo.

Ao secretário do Programa de Pós-Graduação, Paulo Mendes, por sua paciência e solicitude durante todos esses anos.

À grande família Feuga, pela felicidade de fazer parte dela, por tantas demonstrações de carinho, por todas as palavras de força e incentivo e por sempre estarem presentes, mesmo distantes fisicamente.

Aos grandes amigos Alexandre Diniz, Holivania Canuto, Sara Mirambert e Virginia Lopes, pela amizade sincera, por sempre torcerem e rezarem por mim.

Aos meus queridos pais, Jerson e Suely, minhas irmãs Camila e Karyna, cunhados Gleison e Roberto, e meus queridos sobrinhos que ganhei durante esse período de tese, Gabriel e Sophia, a quem dedico, obrigada por tanto amor.

Ao meu querido esposo Aurélien Feuga, pelo seu amor, sua cumplicidade, seu incentivo e por tudo que ele representa na minha vida.

A todos aqueles que, ao longo dessa jornada, me acompanharam e me ajudaram a construir esse trabalho, pelos muitos ensinamentos e que sem eles não teria chegado até aqui.

Muito obrigada!

*"Comece fazendo o que é necessário,
depois o que é possível,
e de repente você estará fazendo o impossível."
(São Francisco de Assis)*

*"Nada te perturbe, nada te amedronte.
Tudo passa. A paciência tudo alcança.
A quem tem Deus nada falta.
Só Deus basta!"
(Santa Teresa de Jesus)*

*"Jamais se desespere em meio às sombrias
aflições de sua vida, pois das nuvens mais negras
cai água límpida e fecunda."
(Provérbio chinês)*

RESUMO

O cajueiro, *Anacardium occidentale* L., é uma *Anacardiaceae* de grande importância econômica na região Nordeste do Brasil. A goma exsudada do cajueiro, chamada de goma de cajueiro (GC), é um heteropolissacarídeo ácido ramificado solúvel em água e que tem apresentado potencial de uso industrial por apresentar propriedades semelhantes à da goma arábica, polissacarídeo mundialmente utilizado. A GC tem sido explorada como matriz para revestimento comestível e filmes alimentícios, porém devido a suas características hidrofílicas, apresentam baixas propriedades de barreira que limitam sua aplicação. Alternativas como a modificação química e o uso da nanotecnologia permitem conferir melhores características aos polissacarídeos, melhorando suas propriedades de barreira e mecânicas em matrizes filmogênicas. Nesse sentido, este trabalho teve como objetivo modificar a GC com trimetafosfato de sódio (TMPS), desenvolver revestimentos comestíveis à base de goma de cajueiro modificada para aplicação pós-colheita em goiabas (*Psidium guajava* L.) cv. 'Paluma' e estudar o efeito da adição de montmorilonita (MMT) no desempenho de filmes nanocompósitos de GC-MMT. A modificação química promoveu mudanças nas características da GC. As gomas reticuladas exibiram baixa solubilidade em água, aumento no tamanho de partícula, baixos valores de potencial zeta e aumento na viscosidade quando comparados a GC sem reticulação. Os maiores valores de viscosidade foram apresentados pela GC reticulada com 1% de TMPS, mostrando potencial de aplicação em revestimento. Revestimentos de GC e goma xantana (GX) foram desenvolvidos para aplicação pós-colheita em goiabas. Aplicou-se revestimentos sem TMPS e com 1% de TMPS. Os revestimentos mostraram-se eficientes na manutenção da qualidade pós-colheita de goiabas armazenadas a temperatura de 10 °C e 24 °C. O revestimento com 1% de TMPS promoveu menores perdas de massa, maior manutenção de firmeza de polpa e retenção de maiores teores de ácido ascórbico, mostrando que a modificação química foi relevante na formação de revestimentos com boas propriedades de barreira. Os filmes nanocompósitos de GC-MMT estudados apresentaram redução nos valores de absorção de umidade, na solubilidade em água e na permeabilidade ao vapor d'água. Os filmes apresentaram-se mais opacos com o aumento do conteúdo de MMT e suas propriedades mecânicas também foram afetadas, tornando-se mais rígidos e com menor alongação. Os filmes nanocompósitos GC-MMT tem potencial para serem aplicados em materiais de embalagens devido suas melhores propriedades mecânicas e de barreira ao vapor d'água.

Palavras-chave: Polissacarídeo, Embalagem biodegradável, Reticulação, Trimetafosfato de sódio, Montmorilonita.

ABSTRACT

Cashew tree, *Anacardium occidentale* L., is an Anacardiaceae with economic importance in the Brazil's Northeast. The cashew exuded gum, called cashew gum (CG), is a acid branched heteropolysaccharide soluble in water and has shown an potential in industrial use because it has similar properties to arabic gum, polysaccharide used worldwide. The CG has been explored as a matrix for edible coating and food films, but due to its hydrophilic characteristics, have low barrier properties which limit their application. Alternatives such as chemical modification and the use of nanotechnology allow improve their barrier and mechanical properties in filmogenic matrices. Therefore, this study aimed to modify the CG with sodium trimetaphosphate (TPMS), developing edible coatings from modified cashew gum for post-harvest application in guavas (*Psidium guajava* L.) cv. 'Paluma' and study the effect of addition of montmorillonite (MMT) in the performance of CG-MMT nanocomposite films. Chemical modification promoted changes in the CG characteristics. The crosslinked gums exhibited low water solubility, increased particle size, low zeta potential values and increased viscosity when compared to no crosslinking CG. The higher viscosity values were obtained by modified CG with 1% TMPS, showing potential application in coating. CG and xanthan gum (XG) edible coatings were developed for post-harvest application in guavas. It was applied coatings without TMPS and 1% TMPS. The coatings were effective in maintaining guavas postharvest quality stored at 10 °C and 24 °C. The 1% TMPS coating promoted lower mass loss, greater firmness retention and higher ascorbic acid content, showing that the chemical modification was relevant in the formation of coatings with good barrier properties. The CG-MMT nanocomposite films studied showed a reduction in moisture absorption values, water solubility and water vapor permeability. The CG-MMT films showed decrease in transparency with increasing MMT content and their mechanical properties were also affected, becoming more rigid and less elongated. The CG-MMT nanocomposite films have the potential to be used in packaging materials due to their better mechanical and water vapor, barrier properties.

Keywords: Polysaccharide, Biodegradable coating, Crosslinking, Trisodium trimetaphosphate, Montmorillonite.

LISTA DE FIGURAS

CAPÍTULO I

Figura 1	Classificação dos polímeros biodegradáveis.....	27
Figura 2	Possível fragmento estrutural da goma de cajueiro.....	30
Figura 3	Estrutura química da goma xantana (GX)	33
Figura 4	Estrutura química do trimetafosfato de sódio (TMPS)	35
Figura 5	Representação esquemática adaptada de uma reação típica entre goma guar e TMPS	36
Figura 6	Representação esquemática adaptada de uma reação entre hidróxido de sódio NaOH e TMPS	36
Figura 7	Representação esquemática da estrutura da MMT.....	40
Figura 8	Esquema dos três tipos de estrutura dos compósitos.....	41
Figura 9	Diagrama esquemático do modelo do percurso tortuoso.....	42

CAPÍTULO II

Figura 1	Curvas de TGA (A) e derivada da TGA (DTGA) (B). GC: goma de cajueiro sem reticulação. GCR1: goma de cajueiro reticulada com 1% de TMPS. GCR3: goma de cajueiro reticulada com 3% de TMPS. GCR6: goma de cajueiro reticulada com 6% de TMPS.....	66
Figura 2	Termogramas de DSC. GC: goma de cajueiro sem reticulação. GCR1: goma de cajueiro reticulada com 1% de TMPS. GCR3: goma de cajueiro reticulada com 3% de TMPS. GCR6: goma de cajueiro reticulada com 6% de TMPS.....	68
Figura 3	Espectros de infravermelho. GC: goma de cajueiro sem reticulação. GCR1: goma de cajueiro reticulada com 1% de TMPS. GCR3: goma de cajueiro reticulada com 3% de TMPS. GCR6: goma de cajueiro reticulada com 6% de TMPS.....	69
Figura 4	Estabilidade das soluções de gomas de cajueiro reticuladas em 0, 1 e 20 horas. (a) GCR1: goma de cajueiro reticulada com 1% de TMPS; (b) GCR3: goma de cajueiro reticulada com 3% de TMPS; (c) GCR6: goma de cajueiro reticulada com 6% de TMPS.....	72
Figura 5	Comportamento reológico. GC: goma de cajueiro sem reticulação.	

GCR1: goma de cajueiro reticulada com 1% de TMPS. GCR3: goma de cajueiro reticulada com 3% de TMPS. GCR6: goma de cajueiro reticulada com 6% de TMPS.....	75
---	----

CAPÍTULO III

Figura 1	Perda de massa fresca (%) de goiabas armazenadas a 24 °C/ 70% UR por 12 dias (A). Controle; T1 – tratamento sem TMPS; T2 – tratamento com TMPS 1%.....	97
Figura 2	Valores médios de perda de massa fresca (%) de goiabas armazenadas a 10 °C/90% UR por 28 dias.....	99
Figura 3	Valores de croma da casca de goiabas armazenadas a 24 °C/ 70% UR por 12 dias (A) e 10 °C/90% UR por 28 dias (B). Controle; T1 – tratamento sem TMPS; T2 – tratamento com TMPS 1%.....	91
Figura 4	Valores de <i>hue</i> da casca de goiabas armazenadas a 24 °C/ 70% UR por 12 dias (A) e 10 °C/90% UR por 28 dias (B). Controle; T1 – tratamento sem TMPS; T2 – tratamento com TMPS 1%.....	101
Figura 5	Aspecto das goiabas armazenadas a 24 °C/70% UR (A) e 10 °C/ 90% UR (B). Controle; T1 – tratamento sem TMPS; T2 – tratamento com TMPS 1%.....	102
Figura 6	Variação de cor (ΔE) de polpa de goiabas armazenadas a 24 °C/ 70% UR por 12 dias (A) e 10 °C/90% UR por 28 dias (B). Controle; T1 – tratamento sem TMPS; T2 – tratamento com TMPS 1%.....	106
Figura 7	Firmeza de polpa de goiabas armazenadas a 24 °C/ 70% UR por 12 dias (A) e 10 °C/90% UR por 28 dias (B). Controle; T1 – tratamento sem TMPS; T2 – tratamento com TMPS 1%.....	107
Figura 8	Acidez titulável (AT) de polpa de goiabas armazenadas a 24 °C/ 70% UR por 12 dias (A) e 10 °C/90% UR por 28 dias (B). Controle; T1 – tratamento sem TMPS; T2 – tratamento com TMPS 1%.....	109
Figura 9	Valores médios de pH de polpa de goiabas, revestidas ou não, armazenadas a 24 °C \pm 2 °C e 70% \pm 5% UR por 12 dias. Controle; T1 – tratamento sem TMPS; T2 – tratamento com	

	TMPS 1%	111
Figura 10	Sólidos solúveis (SS) de polpa de goiabas armazenadas a 24 °C/70% UR por 12 dias (A) e 10 °C/90% UR por 28 dias (B). Controle; T1 – tratamento sem TMPS; T2 – tratamento com TMPS 1%.....	113
Figura 11	Teor de ácido ascórbico (AA) de goiabas armazenadas a 24 °C/70% UR por 12 dias. Controle; T1 – tratamento sem TMPS; T2 – tratamento com TMPS 1%.....	116
Figura 12	Valores médios de AA de goiabas armazenadas 10 °C/90% UR por 28 dias. Controle; T1 – tratamento sem TMPS; T2 – tratamento com TMPS 1%.....	117

CAPÍTULO IV

Figura 1	Fluxograma de obtenção dos filmes nanocompósitos de GC-MMT.	132
Figura 2	FTIR de filmes nanocompósitos de GC-MMT.....	136
Figura 3	Termogramas de filmes nanocompósitos de GC-MMT.....	137
Figura 4	Absorção de umidade de filmes nanocompósitos de GC-MMT	141
Figura 5	Solubilidade de filmes nanocompósitos de GC-MMT.....	142
Figura 6	Permeabilidade ao vapor d'água de filmes nanocompósitos de GC-MMT	144
Figura 7	(A) Resistência à tração (RT) e (B) módulo de elasticidade (ME) de filmes nanocompósitos de GC-MMT	145
Figura 8	Elongação na ruptura (%) de filmes nanocompósitos GC/MMT.....	146
Figura 9	Microscopia eletrônica de varredura (MEV) de filmes nanocompósitos de GC-MMT (1, 2 e 3) corte transversal e (4, 5 e 6) superfície de filmes GC-MMT0, GC-MMT5 e GC-MT10, respectivamente	147
Figura 10	Figura bidimensional da análise de componentes principais (ACP) dos parâmetros de solubilidade (SOL), opacidade (OP), permeabilidade ao vapor d'água (PVA), resistência à tração (RT), elongação na ruptura (ER), módulo de elasticidade (ME) e parâmetros de cor L*, a*, b* de filmes nanocompósitos de GC-MMT.....	148

LISTA DE TABELAS

CAPÍTULO I

Tabela 1	Aplicação de diferentes polissacarídeos em matrizes filmogênicas..	29
Tabela 2	Aplicação de TMPS como agente reticulante em polissacarídeos.....	35
Tabela 3	Composição centesimal da goiaba vermelha in natura com casca	38

CAPÍTULO II

Tabela 1	Modelos reológicos utilizados para avaliação do comportamento reológico.	63
Tabela 2	Rendimento (desvio-padrão) das gomas reticuladas.....	64
Tabela 3	Solubilidade (SOL) (desvio-padrão) em água da GC e GC reticuladas.....	65
Tabela 4	Análise térmica dos dados de GC e GC reticuladas em atmosfera de N ₂	67
Tabela 5	Potencial zeta (ζ) (desvio-padrão) da GC e GC reticuladas.....	71
Tabela 6	Tamanho de partícula (desvio-padrão) da GC e GC reticuladas.....	73
Tabela 7	Parâmetros dos modelos reológicos de Ostwald-de-Waelle (Lei da Potência).....	74

CAPÍTULO III

Tabela 1	Revestimentos desenvolvidos.....	86
Tabela 2	Potencial zeta (ζ) (desvio-padrão) dos revestimentos.....	92
Tabela 3	Espessura (ESP) (desvio-padrão) de filmes GC-GX.....	93
Tabela 4	Parâmetros L*, a*, b*, ΔE e opacidade (OP) (desvio-padrão) de filmes GC-GX.....	94
Tabela 5	Solubilidade (SOL) (desvio-padrão) e permeabilidade ao vapor d'água (PVA) (desvio-padrão) de filmes GC-GX.....	95
Tabela 6	Valores médios (desvio-padrão) de perda de massa fresca (%) de goiabas armazenadas a 10 °C \pm 2 °C e 90% \pm 5% UR por 28 dias...	99
Tabela 7	L*, a* e b* (desvio-padrão) de polpa de goiabas armazenadas a 24 °C \pm 2 °C e 70% \pm 5% UR por 12 dias.....	104
Tabela 8	L*, a* e b* (desvio-padrão) de polpa de goiabas armazenadas a 10	

	°C ± 2 °C e 90% ± 5% UR por 28 dias.....	105
Tabela 9	Valores médios (desvio-padrão) de acidez titulável (AT) de goiabas ‘Paluma’ armazenadas à temperatura ambiente (24 °C ± 2 °C, 70% ± 5% UR) por 12 dias.....	109
Tabela 10	Valores médios (desvio-padrão) de acidez titulável (AT) de goiabas ‘Paluma’ armazenadas à temperatura refrigerada (10 °C ± 2 °C, 90% ± 5% UR) por 28 dias	110
Tabela 11	Valores médios (desvio-padrão) de pH de goiabas ‘Paluma’ armazenadas à temperatura refrigerada (10 °C ± 2 °C, 90% ± 5% UR) por 28 dias.....	111
Tabela 12	Valores médios (desvio-padrão) dos sólidos solúveis (SS) de goiabas ‘Paluma’ armazenadas à temperatura refrigerada (10 °C ± 2 °C, 90% ± 5% UR) por 28 dias.....	114
Tabela 13	Teores médios (desvio-padrão) de SS/AT de goiabas ‘Paluma’ armazenadas à temperatura ambiente (10 °C ± 2 °C, 90% ± 5% UR) e refrigerada (24 °C ± 2 °C, 70% ± 5% UR) por 12 e 28 dias, respectivamente.....	115
Tabela 14	Valores médios de ácido ascórbico (AA) (desvio padrão) de goiabas ‘Paluma’ armazenadas à temperatura refrigerada (10 °C ± 2 °C, 90% ± 5% UR) por 28 dias.....	118

CAPÍTULO IV

Tabela 1	Espessura (desvio-padrão) dos filmes nanocompósitos de GC-MMT	139
Tabela 2	Cor (L*, a* e b*) diferença total de cor (ΔE*) e opacidade (desvio-padrão) de filmes nanocompósitos de GC-MMT.....	140

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

AA	ácido ascórbico
ANOVA	Análise de Variância
ATR	<i>attenuated total reflection</i>
AT	acidez titulável
C	Controle
CMC	carboximetilcelulose
DFI	2,6-dicloro-fenol-indofenol
DSC	<i>Differential scanning calorimetry</i> (Calorimetria exploratória diferencial)
DTGA	derivada da análise termogravimétrica
ER	elongação na ruptura
EUA	Estados Unidos da América
FDA	<i>Food and Drug Administration</i>
FTIR	<i>Fourier transform infrared spectroscopy</i> (Espectroscopia de infravermelho com transformada de Fourier)
GC	goma de cajueiro
GC-GX0	goma de cajueiro/goma xantana com 0% de TMPS
GC-GX1	goma de cajueiro/goma xantana com 1% de TMPS
GC-GX3	goma de cajueiro/goma xantana com 3% de TMPS
GC-GX6	goma de cajueiro/goma xantana com 6% de TMPS
GC-MMT0	goma de cajueiro com 0% de montmorilonita
GC-MMT1	goma de cajueiro com 1% de montmorilonita
GC-MMT2,5	goma de cajueiro com 2,5% de montmorilonita
GC-MMT5	goma de cajueiro com 5% de montmorilonita
GC-MMT7,5	goma de cajueiro com 7,5% de montmorilonita
GC-MMT10	goma de cajueiro com 10% de montmorilonita
GCP	goma de cajueiro purificada
GCR1	goma de cajueiro reticulada com 1% de TMPS
GCR3	goma de cajueiro reticulada com 3% de TMPS
GCR6	goma de cajueiro reticulada com 6% de TMPS
Gly	glicerol
GRAS	<i>generally recognized as safe</i>

GX	goma xantana
HCl	ácido clorídrico
HPMC	hidroxipropil metilcelulose
ME	módulo de elasticidade
MEV	Microscopia eletrônica de varredura
Mg(NO ₃) ₂	nitrato de magnésio
MMT	montmorilonita
NaOH	hidróxido de sódio
Pi	ácido fosfórico
PPi	pirofosfato
PVA	permeabilidade ao vapor d'água
RT	resistência à tração
SLN	nanopartículas sólidas de lipídios
SS	sólidos solúveis
SS/AT	relação sólidos solúveis/acidez titulável
T1	Tratamento 1
T2	Tratamento 2
TGA	<i>Termogravimetric analysis</i> (Análise termogravimétrica)
TMPS	trimetafosfato de sódio
UR	umidade relativa
Y	módulo de Young

LISTA DE SÍMBOLOS

ΔE^*	diferença total de cor
\emptyset	diâmetro
ε	elongação na ruptura
σ	resistência à tração
ζ	potencial zeta

SUMÁRIO

CAPÍTULO I - INTRODUÇÃO, OBJETIVOS E REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	23
1 INTRODUÇÃO	23
2 OBJETIVOS	25
2.1 Objetivos específicos	25
3 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	26
3.1 Polímero biodegradável	26
3.2 Filmes e revestimentos comestíveis	27
3.3 Goma de cajueiro (GC)	29
3.4 Goma xantana (GX)	32
3.5 Modificação química	33
3.6 Goiaba	36
3.7 Nanocompósitos	38
3.8 Montmorilonita (MMT)	39
4 REFERÊNCIAS	43
CAPÍTULO II - CARACTERIZAÇÃO DE GOMA DE CAJUEIRO QUIMICAMENTE MODIFICADA	57
1 INTRODUÇÃO	57
2 MATERIAL E MÉTODOS	59
2.1 Matéria-prima	59
2.2 Metodologias	59
<i>2.2.1 Precipitação da goma de cajueiro</i>	<i>59</i>
<i>2.2.2 Reticulação da goma de cajueiro purificada</i>	<i>59</i>
<i>2.2.3 Rendimento da reticulação</i>	<i>60</i>
<i>2.2.4 Solubilidade em água</i>	<i>60</i>
<i>2.2.5 Análise termogravimétrica (TGA)</i>	<i>60</i>
<i>2.2.6 Calorimetria diferencial exploratória (DSC)</i>	<i>61</i>
<i>2.2.7 Espectroscopia de infravermelho com transformada de Fourier (FTIR)</i>	<i>61</i>
<i>2.2.8 Potencial zeta (ζ) e tamanho de partícula</i>	<i>61</i>
<i>2.2.9 Comportamento reológico</i>	<i>61</i>
<i>2.2.10 Análise estatística</i>	<i>62</i>
3 RESULTADOS E DISCUSSÃO	63

3.1	Rendimento da reticulação	63
3.2	Solubilidade em água	64
3.3	Análise termogravimétrica (TGA)	65
3.4	Calorimetria diferencial exploratória (DSC).....	67
3.5	Espectroscopia de infravermelho com transformada de Fourier (FTIR).....	68
3.6	Potencial zeta (ζ)	70
3.7	Tamanho de partícula	71
3.8	Comportamento reológico	72
4	CONCLUSÃO	75
5	REFERÊNCIAS	76
CAPÍTULO III - AVALIAÇÃO DE REVESTIMENTO DE GOMA DE		
CAJUEIRO MODIFICADA NA QUALIDADE PÓS-COLHEITA DE GOIABAS		
		80
1	INTRODUÇÃO	80
2	MATERIAL E MÉTODOS	83
2.1	Material	83
2.2	Metodologias	83
2.2.1	<i>Testes preliminares</i>	83
2.2.2	<i>Preparo dos revestimentos comestíveis</i>	83
2.2.3	<i>Caracterização da solução e filmes</i>	85
2.2.3.1	<i>Potencial zeta das soluções</i>	85
2.2.3.2	<i>Aspecto visual dos filmes</i>	85
2.2.3.3	<i>Espessura dos filmes</i>	85
2.2.3.4	<i>Cor e opacidade</i>	85
2.2.3.5	<i>Solubilidade em água</i>	86
2.2.3.6	<i>Permeabilidade ao vapor d'água (PVA)</i>	86
2.2.4	<i>Revestimento das frutas</i>	87
2.2.5	<i>Caracterização dos frutos revestidos</i>	87
2.2.5.1	<i>Perda de massa (PM)</i>	87
2.2.5.2	<i>Cor de casca e polpa</i>	87
2.2.5.3	<i>Firmeza da polpa.....</i>	88
2.2.5.4	<i>Características físico-químicas</i>	88
2.2.6	<i>Delineamento experimental e análise estatística</i>	89
3	RESULTADOS E DISCUSSÃO	90

3.1 Caracterização da solução e filmes	90
<i>3.1.1 Potencial zeta (ζ)</i>	<i>90</i>
<i>3.1.2 Aspecto visual dos filmes.....</i>	<i>91</i>
<i>3.1.3 Espessura dos filmes</i>	<i>91</i>
<i>3.1.4 Cor e opacidade</i>	<i>92</i>
<i>3.1.5 Solubilidade</i>	<i>93</i>
<i>3.1.6 Permeabilidade ao vapor d'água (PVA)</i>	<i>94</i>
3.2 Caracterização dos frutos revestidos	95
<i>3.2.1 Perda de massa</i>	<i>95</i>
<i>3.2.2 Coloração da casca</i>	<i>98</i>
<i>3.2.3 Coloração da polpa</i>	<i>101</i>
<i>3.2.4 Firmeza da polpa</i>	<i>103</i>
<i>3.2.5 Acidez titulável (AT) e pH</i>	<i>106</i>
<i>3.2.6 Sólidos solúveis (SS)</i>	<i>110</i>
<i>3.2.7 Relação sólidos solúveis/acidez titulável (SS/AT)</i>	<i>112</i>
<i>3.2.8 Ácido ascórbico (AA)</i>	<i>114</i>
4 CONCLUSÃO	118
5 REFERÊNCIAS	119
CAPÍTULO IV - DESENVOLVIMENTO E CARACTERIZAÇÃO DE FILMES	
NANOCOMPÓSITOS DE GOMA DE CAJUEIRO/MONTMORILONITA	
1 INTRODUÇÃO	127
2 MATERIAL E MÉTODOS	129
2.1 Matéria-prima	129
2.2 Metodologias	129
<i>2.2.1 Precipitação da goma de cajueiro</i>	<i>129</i>
<i>2.2.2 Formação dos filmes nanocompósitos</i>	<i>129</i>
<i>2.2.3 Espectroscopia de infravermelho com transformada de Fourier (FTIR).....</i>	<i>130</i>
<i>2.2.4 Calorimetria diferencial exploratória (DSC).....</i>	<i>130</i>
<i>2.2.5 Espessura</i>	<i>131</i>
<i>2.2.6 Cor e opacidade</i>	<i>131</i>
<i>2.2.7 Absorção de umidade</i>	<i>131</i>
<i>2.2.8 Solubilidade</i>	<i>132</i>
<i>2.2.9 Permeabilidade ao vapor d'água (PVA)</i>	<i>132</i>

<i>2.2.10 Propriedades mecânicas</i>	133
<i>2.2.11 Microscopia eletrônica de varredura (MEV)</i>	133
<i>2.2.12 Análise estatística</i>	133
3 RESULTADOS E DISCUSSÃO	134
3.1 Espectroscopia de Infravermelho com Transformada de Fourier (FTIR)	134
3.2 Calorimetria Diferencial Exploratória (DSC)	134
3.3 Espessura	136
3.4 Cor e opacidade	137
3.5 Absorção de umidade	138
3.6 Solubilidade	140
3.7 Permeabilidade ao vapor d'água (PVA)	141
3.8 Propriedades mecânicas	142
3.9 Microscopia eletrônica de varredura (MEV)	145
3.10 Análise de componentes principais	146
4 CONCLUSÃO	148
5 REFERÊNCIAS	149
CONSIDERAÇÕES FINAIS	155
ANEXOS	156