Universidade de São Paulo
Faculdade de Filosofia, Ciências e Letras de Ribeirão Preto
Departamento de Química
Programa de Pós-Graduação em Química

“Filmes e coberturas a base do resíduo da extração de corante de cúrcuma”

Roberta Lopes de Paula

Dissertação apresentada à Faculdade de
Filosofia, Ciências e Letras de Ribeirão Preto da
Universidade de São Paulo, como parte das exigências
para a obtenção do título de Mestre em Ciências, Área:
Química

VERSÃO CORRIGIDA

RIBEIRÃO PRETO – SP

2016

Universidade de São Paulo
Faculdade de Filosofia, Ciências e Letras de Ribeirão Preto
Departamento de Química
Programa de Pós-Graduação em Química

“Filmes e coberturas a base do resíduo da extração de corante de cúrcuma”

Roberta Lopes de Paula

Dissertação apresentada à Faculdade de Filosofia, Ciências e Letras de Ribeirão Preto da Universidade de São Paulo, como parte das exigências para a obtenção do título de Mestre em Ciências.

Área de concentração: Química

Orientadora: Prof. Dra. Delia Rita Tapia Blácido

VERSÃO CORRIGIDA

RIBEIRÃO PRETO -SP

2016

Autorizo a reprodução e divulgação total ou parcial deste trabalho, por qualquer meio convencional ou eletrônico, para fins de estudo e pesquisa, desde que citada a fonte.

FICHA CATALOGRÁFICA

De Paula, Roberta Lopes

Filmes e coberturas a base do resíduo da extração de corante de cúrcuma. Ribeirão Preto, 2016.

141 p.: 30cm

Versão corrigida

Dissertação de Mestrado, apresentada à Faculdade de Filosofia, Ciências e Letras de Ribeirão Preto/USP – Área de concentração: Departamento de Química.

Orientadora: Tapia Blácido, Delia Rita

1. Cúrcuma. 2. Filmes biodegradáveis. 3. Coberturas comestíveis. 4. Propriedades antioxidantes. 5. *Musa acuminata*. 6. vida útil.

FOLHA DE APROVAÇÃO

De Paula, Roberta Lopes

Título: Filmes e coberturas a base do resíduo da extração de corante de cúrcuma

Dissertação apresentada à Faculdade de Filosofia,
Ciências e Letras de Ribeirão Preto da Universidade de
São Paulo, como parte das exigências para a obtenção do
título de Mestre em Ciências.

Área de concentração: Química

Orientadora: Prof. Dra. Delia Rita Tapia Blácido

Aprovado em: 01/04/2016

Banca Examinadora

Prof. Dr. _____ Instituição: _____

Julgamento: _____ Assinatura: _____

Prof. Dr. _____ Instituição: _____

Julgamento: _____ Assinatura: _____

Prof. Dr. _____ Instituição: _____

Julgamento: _____ Assinatura: _____

DEDICATÓRIA

*Aos meus pais Roberto e Maria pelo amor,
apoio, confiança e incentivo à nunca
desistir dos meus sonhos.
À minha amiga Bianca pela amizade, pelos conselhos
e pela colaboração na realização deste trabalho.*

AGRADECIMENTOS

A Deus, pela saúde, proteção, por iluminar meus caminhos, guiar meus passos e pela força e paciência para vencer mais esta etapa.

Aos meus pais Roberto e Maria pelo apoio e confiança em todos os momentos da minha vida, pelo amor, carinho, incentivo e pelo exemplo de caráter, humildade e determinação do qual me espelho.

Ao meu tio Lourival que sempre esteve ao meu lado me ajudando, apoiando e incentivando desde criança.

À Profa. Dra. Delia Rita Tapia Blácido pela orientação, ensinamentos, apoio e confiança desde a iniciação científica.

Ao Prof. Dr. Odílio Benedito Garrido de Assis por disponibilizar o Laboratório de Análises Térmicas da Embrapa em São Carlos para algumas análises.

À minha amiga Cléia pela amizade de anos, pelo companheirismo e momentos de descontração.

Ao pessoal do laboratório Janaína por ter me ajudado em várias análises, Thamiris por ser essa pessoa humilde e sincera que encanta a todos, Denisse pela companhia no bandex e por me proporcionar o contato com uma língua estrangeira, Milena, Bruna, Larissa, Giovanni, Lucas, Vini, Natália, Lígia, Douglas, Michelle, Inara, André, professoras Laura e Valéria pela amizade, convivência e risadas e em especial à minha amiga irmã Bianca Maniglia, pela amizade sincera durante esses cinco anos, pela generosidade, por sempre ter me ajudado em vários momentos me escutando, apoiando, dando conselhos, pela companhia no laboratório, nas viagens e pela enorme colaboração neste trabalho.

Aos membros da banca pela dedicação e disponibilidade.

À CAPES pela bolsa concedida.

A todas as pessoas que, de alguma forma, contribuíram para a realização deste trabalho.

*“De tudo ficaram três coisas...
A certeza de que estamos começando...
A certeza de que é preciso continuar...
A certeza de que podemos ser interrompidos
antes de terminar...
Façamos da interrupção um caminho novo...
Da queda, um passo de dança...
Do medo, uma escada...
Do sonho, uma ponte...
Da procura, um encontro!”*

Fernando Sabino

SUMÁRIO

ÍNDICE DE FIGURAS.....	xi
ÍNDICE DE TABELAS.....	xiii
LISTA DE SIGLAS.....	xv
LISTA DE ABREVIACÕES E SÍMBOLOS.....	xvi
RESUMO.....	xviii
ABSTRACT.....	xvx
APRESENTAÇÃO.....	xx
INTRODUÇÃO.....	1
Capítulo 1: Revisão Bibliográfica.....	8
1.1. Cúrcuma (<i>Cúrcuma Longa L.</i>).....	9
1.2. Filmes biodegradáveis.....	13
1.2.1. Filmes e coberturas elaborados a partir de resíduos agroindustriais.....	16
1.2.2. Filmes bioativos.....	18
1.3. Coberturas comestíveis aplicadas em alimentos.....	21
1.4. Processos bioquímicos e fisiológicos na pós-colheita das frutas.....	24
1.5. Referências bibliográficas.....	27
Capítulo 2: Filmes a base do resíduo da extração do corante de cúrcuma plastificados com glicerol e sorbitol.....	41
Resumo.....	42
2.1. Materiais e métodos.....	42
2.1.1. Matéria-prima.....	42
2.1.2. Produção da farinha de cúrcuma.....	42
2.1.3. Elaboração dos filmes de farinha de cúrcuma.....	43
2.1.4. Caracterização da matéria-prima.....	44
2.1.4.1. Composição centesimal da torta e farinha de cúrcuma.....	44
2.1.4.2. Determinação de hemicelulose, celulose e lignina.....	44
2.1.4.3. Análise da atividade antioxidante.....	47
2.1.4.4. Teor de compostos fenólicos totais.....	48
2.1.4.5. Microestrutura da matéria-prima.....	48
2.1.4.6. Espectroscopia de absorção na região do infravermelho (FTIR).....	48
2.1.4.7. Difração de raios-X.....	49
2.1.4.8. Análise estatística dos resultados.....	49

2.1.5.	Caracterização dos filmes da farinha de cúrcuma.....	49
2.1.5.1.	Propriedades mecânicas dos filmes.....	49
2.1.5.2.	Solubilidade, umidade e permeabilidade ao vapor de água.....	50
2.1.5.3.	Cor e opacidade.....	51
2.1.5.4.	Análise da atividade antioxidante.....	52
2.1.5.5.	Teor de compostos fenólicos totais.....	52
2.1.5.6.	Molhabilidade.....	53
2.1.6.	Planejamento experimental.....	53
2.2.	Resultados e discussão.....	54
2.2.1.	Caracterização da matéria-prima.....	54
2.2.1.1.	Composição centesimal.....	54
2.2.1.2.	Teores de hemicelulose, celulose e lignina da torta e farinha de cúrcuma.....	55
2.2.1.3.	Atividade antioxidante, curcuminóides e teor de compostos fenólicos totais da torta e farinha de cúrcuma.....	56
2.2.1.4.	Microestrutura da matéria-prima.....	57
2.2.1.5.	Espectroscopia de absorção na região do infravermelho (FTIR).....	58
2.2.1.6.	Difratograma de raios-X.....	59
2.2.2.	Caracterização dos filmes.....	61
2.2.2.1.	Aspecto visual dos filmes elaborados.....	61
2.2.2.2.	Delineamento central composto rotacional 2 ²	63
2.2.2.2.1.	Espessura e propriedades mecânicas dos filmes.....	63
2.2.2.2.2.	Propriedades funcionais.....	72
2.2.2.2.3.	Propriedades óticas.....	79
2.2.2.2.4.	Atividade antioxidante, teor de curcuminóides e de compostos fenólicos totais.....	84
2.3.	Conclusão.....	91
2.4.	Referências bibliográficas.....	92
Capítulo 3: Coberturas a base do resíduo da extração de corante de cúrcuma aplicadas em bananas ‘Maçã’.....		98
	Resumo.....	99
3.1.	Materiais e métodos.....	99
3.1.1.	Matéria-prima.....	99

3.1.2.	Aplicação da cobertura de farinha de cúrcuma em bananas.....	100
3.1.3.	Avaliações físicas.....	100
3.1.3.1.	Perda de massa.....	100
3.1.3.2.	Firmeza da polpa.....	101
3.1.3.3.	Cor da casca.....	101
3.1.4.	Avaliações químicas.....	101
3.1.4.1.	pH e acidez titulável.....	101
3.1.4.2.	Sólidos solúveis.....	102
3.1.4.3.	Açúcares redutores.....	102
3.1.5.	Análise estatística dos resultados.....	102
3.2.	Resultados e discussão.....	103
3.2.1.	Escolha da formulação das coberturas de farinha de cúrcuma.....	103
3.2.2.	Estudo de vida útil de bananas com cobertura.....	103
3.2.2.1.	Perda de massa.....	103
3.2.2.2.	Firmeza da polpa.....	105
3.2.2.3.	Cor da casca.....	107
3.2.2.4.	pH e acidez titulável.....	111
3.2.2.5.	Sólidos solúveis.....	113
3.2.2.6.	Açúcares redutores.....	115
3.3.	Conclusão.....	116
3.4.	Referências bibliográficas.....	117
4.	Considerações gerais.....	120
5.	Sugestões para trabalhos futuros.....	121

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1.1.	Rizomas de cúrcuma (<i>Cúrcuma longa</i> L.).....	9
Figura 1.2.	Estruturas químicas dos pigmentos curcuminóides. (a) curcumina, (b) Demetoxicurcumina e (c) Bisdemetoxicurcumina.....	11
Figura 1.3.	Propriedades funcionais da curcumina.....	12
Figura 2.1.	Procedimento utilizado para produção da farinha de cúrcuma.....	43
Figura 2.2.	Esquema do corpo de prova para teste de tração.....	50
Figura 2.3.	Célula utilizada para análise de permeabilidade ao vapor de água.....	51
Figura 2.4.	Diagrama CIELab para os parâmetros de cor L*, a* e b*.....	52
Figura 2.5.	Esquema do ângulo de contato para uma gota de água sobre a superfície do filme.....	53
Figura 2.6.	Cromatograma por HPLC do pigmento diluído 1000 x (a), Torta (b) e Farinha (c) de cúrcuma.....	56
Figura 2.7.	MEV da (a) Torta e (b) Farinha de cúrcuma a 120x.....	58
Figura 2.8.	Espectros de FTIR da torta e da farinha de cúrcuma.....	58
Figura 2.9.	Difratograma da torta e da farinha de cúrcuma.....	60
Figura 2.10.	Aspecto visual dos filmes de farinha de cúrcuma plastificados com glicerol ou sorbitol. Cg: concentração de glicerol, Cs: concentração de sorbitol e Cf: concentração de farinha.....	62
Figura 2.11.	Diagramas de pareto para a (a) espessura, (b) tensão, (c) elongação e (d) módulo de Young, dos filmes plastificados com glicerol ou sorbitol.....	66
Figura 2.12.	Superfícies de resposta da espessura (a), tensão (b), módulo de Young (c) dos filmes plastificados com glicerol, e espessura (d) e elongação (e) dos filmes plastificados com sorbitol.....	70
Figura 2.13.	Diagramas de pareto para a (a) solubilidade, (b) permeabilidade ao vapor de água, (c) umidade e (d) ângulo de contato, dos filmes plastificados com glicerol ou sorbitol.....	76
Figura 2.14.	Superfícies de resposta da umidade (a) e ângulo de contato (b) dos filmes plastificados com sorbitol.....	79
Figura 2.15.	Diagramas de pareto para a (a) diferença de cor (ΔE) e (b) opacidade dos filmes plastificados com glicerol ou sorbitol.....	82
Figura 2.16.	Superfícies de resposta da opacidade dos filmes plastificados com glicerol...	84

Figura 2.17.	Diagramas de pareto para a (a) atividade antioxidante, (b) teor de curcuminóides totais e (c) teor de fenólicos totais dos filmes plastificados com glicerol ou sorbitol.....	88
Figura 3.1.	Bananas (<i>Musa ssp</i>) da variedade ‘Maçã’ utilizadas neste trabalho.....	99
Figura 3.2.	Armazenamento das bananas durante o período avaliado.....	100
Figura 3.3.	Perda de massa de bananas ‘Maçã’ com e sem cobertura de farinha de cúrcuma durante 15 dias de armazenamento a 27 °C.....	104
Figura 3.4.	Firmeza da polpa de bananas ‘Maçã’ com e sem cobertura de farinha de cúrcuma durante 15 dias de armazenamento a 27 °C.....	106
Figura 3.5.	Cor da casca de bananas ‘Maçã’ com e sem cobertura de farinha de cúrcuma durante 15 dias de armazenamento a 27 °C.....	108
Figura 3.6.	Bananas ‘Maçã’ com e sem cobertura de farinha de cúrcuma durante 15 dias de armazenamento a 27 °C.....	110
Figura 3.7.	pH de bananas ‘Maçã’ com e sem cobertura de farinha de cúrcuma durante 15 dias de armazenamento a 27 °C.....	112
Figura 3.8.	Acidez titulável de bananas ‘Maçã’ com e sem cobertura de farinha de cúrcuma durante 15 dias de armazenamento a 27 °C.....	113
Figura 3.9.	Sólidos solúveis de bananas ‘Maçã’ com e sem cobertura de farinha de cúrcuma durante 15 dias de armazenamento a 27 °C.....	114
Figura 3.10.	Açúcares redutores de bananas ‘Maçã’ com e sem cobertura de farinha de cúrcuma durante 15 dias de armazenamento a 27 °C.....	116

ÍNDICE DE TABELAS

Tabela 1.1.	Composição centesimal dos rizomas de cúrcuma (<i>Cúrcuma longa L.</i>).....	10
Tabela 1.2.	Filmes biodegradáveis incorporados com compostos bioativos.....	20
Tabela 2.1.	Delineamento Central Composto Rotacional 2 ² com as diferentes concentrações de farinha e plastificante.....	54
Tabela 2.2.	Composição centesimal da torta e da farinha de cúrcuma (g/100g b.s.).....	55
Tabela 2.3.	Teores de hemicelulose, celulose e lignina da torta e farinha (g/100 g b.s.)...	56
Tabela 2.4.	Valores dos curcuminóides presentes na torta e farinha de cúrcuma.....	57
Tabela 2.5.	Atividade antioxidante e conteúdo de compostos fenólicos totais da torta e da farinha de cúrcuma.....	57
Tabela 2.6.	Cristalinidade (%) da torta e farinha de cúrcuma.....	60
Tabela 2.7.	Espessura e propriedades mecânicas dos filmes de farinha plastificados com glicerol e sorbitol elaborados segundo o DCCR 2 ²	64
Tabela 2.8.	Coefficiente de regressão e análise de variância (ANOVA) para as variáveis de resposta espessura, tensão, alongação e módulo de Young para os filmes de farinha plastificados com glicerol ou sorbitol.....	68
Tabela 2.9.	Solubilidade, PVA, umidade e ângulo de contato dos filmes de cúrcuma plastificados com glicerol ou sorbitol.....	74
Tabela 2.10.	Coefficiente de regressão e análise de variância (ANOVA) para a solubilidade, permeabilidade ao vapor de água, umidade e ângulo de contato para os filmes plastificados com glicerol ou sorbitol.....	78
Tabela 2.11.	Cor e opacidade dos filmes de farinha de cúrcuma plastificados com glicerol e sorbitol.....	80
Tabela 2.12.	Coefficiente de regressão e análise de variância (ANOVA) para as variáveis de resposta diferença de cor (ΔE^*) e opacidade para os filmes plastificados com glicerol ou sorbitol.....	83
Tabela 2.13.	Teor de curcuminóides totais dos filmes de farinha de cúrcuma plastificados com glicerol ou sorbitol.....	85
Tabela 2.14.	Atividade antioxidante e teor de compostos fenólicos totais dos filmes de farinha de cúrcuma plastificados com glicerol ou sorbitol.....	86
Tabela 2.15.	Coefficiente de regressão e análise de variância (ANOVA) para a atividade antioxidante, curcuminóides totais e fenólicos totais para os filmes plastificados com glicerol ou sorbitol.....	90

Tabela 3.1.	Perda de massa de bananas ‘Maçã’ com e sem cobertura de farinha de cúrcuma durante 15 dias de armazenamento a 27 °C.....	104
Tabela 3.2.	Firmeza da polpa de bananas ‘Maçã’ com e sem cobertura de farinha de cúrcuma durante 15 dias de armazenamento a 27 °C.....	106
Tabela 3.3.	Cor da casca de bananas ‘Maçã’ com e sem cobertura de farinha de cúrcuma durante 15 dias de armazenamento a 27 °C.....	108
Tabela 3.4.	pH de bananas ‘Maçã’ com e sem cobertura de farinha de cúrcuma durante 15 dias de armazenamento a 27° C.....	111
Tabela 3.5.	Acidez titulável de bananas ‘Maçã’ com e sem cobertura de farinha de cúrcuma durante 15 dias de armazenamento a 27 °C.....	113
Tabela 3.6.	Sólidos solúveis de bananas ‘Maçã’ com e sem cobertura de farinha de cúrcuma durante 15 dias de armazenamento a 27 °C.....	114
Tabela 3.7.	Açúcares redutores de bananas ‘Maçã’ com e sem cobertura de farinha de cúrcuma durante 15 dias de armazenamento a 27 °C.....	115

LISTA DE SIGLAS

ANOVA – Análise de variância.

AOAC - Association of Official Agricultural Chemists.

ASTM – American Society for Testing and Materials.

BHA – 2,3-terc-butil-4-hidroxianisol (butilhidroxianisol).

BHT – 2,6-diterc-butil-p-creso (butilhidroxitolueno)

DCCR – Delineamento Central Composto Rotacional.

DPPH – abreviação do composto químico orgânico 2,2-diphenyl-1-picrylhydrazyl.

EAG – equivalentes de ácido gálico.

FFCLRP – Faculdade de Filosofia, Ciências e Letras de Ribeirão Preto.

FTIR – Fourier transform infrared spectroscopy.

HPLC – High-performance liquid chromatography.

MEV – Microscopia eletrônica de varredura.

MSR – Metodologia de superfície de resposta.

Pa – Pascal.

PG – poligalacturonase

pH – potencial hidrogeniônico.

PME – pectinametilesterase

POD – peroxidase.

PVA – permeabilidade ao vapor de água.

PPO – polifenol oxidase

SIDA – Síndrome da Imunodeficiência Adquirida.

TAPPI – Technical Association of the Pulp and Paper Industry.

USP – Universidade de São Paulo.

UV – ultravioleta

LISTA DE ABREVIACÕES E SÍMBOLOS

- A – área (m^2).
- Aa – ácido acético.
- AA – atividade antioxidante.
- AC – Ângulo de contato ($^\circ$).
- Aamostra – absorbância da solução contendo a amostra;
- Acontrole – absorbância da solução de DPPH sem adição do filme.
- Ara – arabinose.
- AT – acidez titulável (g de ácido málico/100g do fruto)
- a^* – parâmetro de cor, verde – vermelho (adimensional)
- b^* – parâmetro de cor, azul – amarelo (adimensional)
- b.s. – base seca (g de água/ g sólido seco).
- b.u. – base úmida (g de água/ 100 g sólidos totais).
- b^* – parâmetro de cor, azul – amarelo (adimensional)
- Cf – concentração de farinha.
- Cg – concentração de glicerol.
- Cp – concentração de plastificante.
- Cs – concentração de sorbitol.
- CT – teor de curcuminóides totais.
- E – Elongação (%).
- Eq - equivalente-grama do ácido.
- ∂ – espessura (mm).
- et al. – termo latim ‘e colaboradores’.
- F – furfural.
- FC – farinha de cúrcuma.
- FT – teor de fenólicos totais.
- L^* – Luminosidade, parâmetro de cor (adimensional)
- m – massa (g).
- M_A – Massa da amostra seca.
- MY – Módulo de Young (MPa).
- N - normalidade da solução de NaOH.
- n - volume da solução de NaOH gasto na titulação em mL.
- Op – opacidade Hunterlab.

Opp – opacidade Hunterlab da amostra colocada sobre padrão preto.
Opb - opacidade Hunterlab da amostra colocada sobre padrão branco.
PM – perda de massa.
t – tempo (s).
TS – tensão de ruptura (MPa)
S – solubilidade (%)
U – umidade.
UR – umidade relativa.
w – ganho de massa por volume.
Xil – xilose.
V – volume da amostra em mL.
 ΔE^* – diferença total de cor (adimensional)
 ΔP – diferença de pressão entre os dois lados do filme (kPa).

RESUMO

De Paula, Roberta Lopes. **Filmes e coberturas a base do resíduo da extração de corante de cúrcuma**. 2016. 141 p. Dissertação (Mestrado) - Faculdade de Filosofia, Ciência e Letras de Ribeirão Preto, Universidade de São Paulo, Ribeirão Preto, 2016.

O objetivo deste trabalho foi avaliar o potencial de uso do resíduo da extração de pigmento de cúrcuma na produção de filmes e coberturas. Para o estudo dos filmes, foram utilizados glicerol e sorbitol como plastificantes e avaliados os efeitos da concentração de farinha de cúrcuma e do plastificante sobre as propriedades mecânicas, solubilidade, permeabilidade ao vapor de água (PVA), molhabilidade, atividade antioxidante, teor de curcuminóides e teor de compostos fenólicos totais utilizando um Delineamento Central Composto Rotacional 2², e os resultados foram avaliados utilizando a metodologia de superfície de resposta (MSR). A concentração de farinha afetou de forma positiva a espessura, PVA e o teor de curcuminóides totais dos filmes plastificados com glicerol e sorbitol. Entretanto, esta variável afetou as propriedades de solubilidade, molhabilidade e teor de compostos fenólicos totais somente dos filmes com glicerol. A concentração de plastificante (glicerol ou sorbitol) afetou significativamente a solubilidade, PVA e molhabilidade de ambos os filmes. Filmes de farinha de cúrcuma com boas propriedades mecânicas, baixa permeabilidade ao vapor de água, alta atividade antioxidante, alto teor de curcuminóides e alto teor de compostos fenólicos totais podem ser produzidos utilizando 27,9 a 30 g glicerol/100 g farinha ou 30 a 42 g sorbitol/100 g farinha e concentração de farinha na faixa de 5% a 6,41%. A cobertura de farinha de cúrcuma contendo 6% de farinha e 30 g glicerol/100 g de farinha foi aplicada em bananas ‘Maçã’ (*Musa acuminata*) armazenadas a 27°C e 65% UR. Assim, foi avaliado o efeito da cobertura na qualidade pós-colheita das bananas em função às suas características físico-químicas como perda de massa, firmeza da polpa, pH, acidez titulável, sólidos solúveis, açúcares redutores e cor da casca. Os resultados mostraram que a cobertura foi eficiente em diminuir a perda de massa, o teor de açúcares redutores, a acidez, a perda da firmeza e a cor da casca principalmente durante a etapa de maturação do fruto. Entretanto, não foi observado grande efeito da cobertura sobre o pH e o teor de sólidos solúveis durante o período estudado. As bananas sem a cobertura tiveram vida útil de 6 dias, enquanto as bananas com cobertura tiveram vida útil de 9 dias.

Palavras-chave: cúrcuma, filmes biodegradáveis, coberturas comestíveis, propriedades antioxidantes, *Musa acuminata*, vida útil.

ABSTRACT

De Paula, Roberta Lopes. **Edible films and coatings based on turmeric dye solvent extraction residue**. 2016. 141 p. Dissertação (Mestrado) - Faculdade de Filosofia, Ciência e Letras de Ribeirão Preto, Universidade de São Paulo, Ribeirão Preto, 2016.

This study aimed to evaluate the potential use of turmeric dye extraction residue in the production of films and coatings. To study the films, glycerol and sorbitol were used as plasticizers. A central composite rotational design 2^2 helped to analyze the effects of turmeric flour concentration and plasticizers on the mechanical properties, solubility, permeability to water vapor (PVA), wettability, antioxidant activity, curcuminoids content, and content of phenolic compounds in the films. The results were evaluated by means of the response surface methodology (RSM). The flour concentration affected the thickness, PVA, and total content of curcuminoids in the films plasticized with glycerol or sorbitol. However, this variable affected the solubility properties, wettability, and content of phenolic compounds of the films plasticized with glycerol only. The concentration of plasticizer (glycerol or sorbitol) significantly impacted the solubility, wettability, and PVA of both films. The parameters 27.9 to 30 g of glycerol/100 g of flour or 30 to 42 g of sorbitol g/100 g of flour and flour concentration ranging from 5 to 6.41% afforded turmeric flour films with good mechanical properties, low water vapor permeability, high antioxidant activity, high curcuminoid content, and high content of phenolic compounds. The turmeric flour coating containing 6% flour and 30 g of glycerol/100 g of flour was applied to bananas (*Musa acuminata*) stored at 27 °C and 65% RH. Then, the effect of the coating on the postharvest quality of the bananas in terms of the physical and chemical characteristics of the fruit such as weight loss, firmness, pH, titratable acidity, soluble solids, reducing sugars, and skin color were examined. The coating efficiently diminished weight loss, reducing sugar content, acidity, and loss of firmness and skin color especially during the maturation step. However, the coating did not significantly affect the pH and soluble solids during the study period. The bananas without the coating had shelf life of six days, whereas the coated bananas had shelf life of nine days.

Keywords: turmeric, edible films, coatings, antioxidant properties, *Musa acuminata*, shelf life.

APRESENTAÇÃO

Com a preocupação crescente devido ao alto consumo de plásticos sintéticos e o descarte de resíduos agroindustriais gerando grande acúmulo no meio ambiente, várias pesquisas envolvendo embalagens obtidas de matérias-primas vegetais vêm ganhando força nos últimos anos. Os filmes biodegradáveis e as coberturas representam uma alternativa para diminuir o uso de embalagens sintéticas, pois além de minimizarem os impactos ambientais, possuem a capacidade de preservar as qualidades físicas e organolépticas de frutas e vegetais no tratamento pós-colheita, prolongando a vida de prateleira desses alimentos. Diante disso, este trabalho visa avaliar o potencial do resíduo da extração de pigmento de cúrcuma na produção de filmes e coberturas visando, também, demonstrar que a cúrcuma além de apresentar em sua composição importante conteúdo de amido, proteína e lipídeos, também apresenta substâncias curcuminóides que possuem atividade antioxidante, podendo ser utilizados em alimentos sensíveis a oxidação para aumentar seu tempo de conservação.

Este trabalho será apresentado em capítulos como descritos a seguir:

- **Capítulo 1:** apresenta uma revisão bibliográfica sobre a cúrcuma, matéria-prima utilizada neste trabalho, sobre filmes biodegradáveis com foco nos filmes elaborados a partir de resíduos agroindústrias e filmes bioativos, coberturas comestíveis aplicadas em alimentos e, por fim, processos bioquímicos e fisiológicos na pós-colheita das frutas.
- **Capítulo 2:** aborda a obtenção e caracterização da torta e farinha de cúrcuma, bem como a elaboração e caracterização dos filmes de farinha de cúrcuma. São avaliados os efeitos da concentração de plastificante (glicerol ou sorbitol) e concentração de farinha sobre as propriedades mecânicas, solubilidade, permeabilidade ao vapor de água (PVA), molhabilidade, atividade antioxidante, teor de curcuminóides e teor de compostos fenólicos totais utilizando um delineamento central composto rotacional²².
- **Capítulo 3:** mostra o efeito da aplicação de coberturas a base do resíduo da extração de corante de cúrcuma na conservação pós-colheita de bananas ‘Maçã’ realizando, para isso, uma avaliação da perda de massa, firmeza da polpa, pH, acidez titulável, sólidos solúveis, açúcares redutores e cor da casca dos frutos.

INTRODUÇÃO

A tecnologia de filmes biodegradáveis e coberturas produzidas a partir de fontes renováveis vem ganhando destaque devido à possibilidade que oferecem em diminuir o uso de embalagens sintéticas que são usadas tanto no tratamento pós-colheita de vegetais, como no armazenamento de diversos produtos alimentícios. Estes materiais podem aumentar o tempo de conservação, preservar a textura, o valor nutricional, diminuir a perda ou ganho de água e permitir, assim, uma maior flexibilidade de manuseio e comércio (VARGAS et al., 2008; BALDWIN, 2007).

Além desta vantagem, estes materiais também podem oferecer propriedades bioativas quando contêm compostos que podem atuar como antioxidantes ou antimicrobianos, proporcionando benefícios extras em relação aos filmes convencionais (DAINELLI et al., 2008; BODAGHI et al., 2013). Estes compostos bioativos podem ser incorporados propositalmente ou podem estar contidos no material *in natura*.

Diversos estudos têm explorado a incorporação de substâncias bioativas em filmes à base de matérias-primas naturais como óleo essencial de cravo em filmes à base de gelatina e quitosana (GOMEZ-ESTACA et al., 2010), ácido ascórbico, ácido cítrico e óleo essencial de gengibre em filmes à base de hidroxipropilmetilcelulose (HPMC) (ATARÉS; PÉREZ-MASIÁ; CHIRALT, 2011), óleo essencial de orégano e tomilho em filmes à base de proteína de soja (EMIROGLU et al., 2010), extrato de ginseng em filmes à base de alginato (NORAJIT; KIM; RYU, 2010), extrato etanólico de cúrcuma em filmes à base de gelatina (BITENCOURT, 2013), óleo essencial de alecrim em filmes à base de quitosana (ABDOLLAHI; REZAEI; FARZI, 2012), dentre outros.

Os polissacarídeos como amido e seus derivados, pectina, celulose e seus derivados, alginato e carragena (BALDWIN et al., 1996; GARCIA; MARTINO; ZARITZKY et al., 1998; PAVLATH; VOISIN; ROBERTSON, 1999; CHA et al., 2002; PEREIRA, et al., 2006; SHIMAZU; MALI; GROSSMANN, 2007; TAPIA-BLÁCIDO et al., 2007) e as proteínas como gelatina, caseína, ovoalbumina, glúten de trigo, zeína e proteínas miofibrilares de pescado (GENNADIOS et al., 1996; MONTERREY-QUINTERO; SOBRAL, 2000; PALMU, 2003; SOHAIL et al., 2006; GHANBARZADEH et al., 2007; NUNES, 2014) são polímeros utilizados para formar filmes e coberturas. Estes filmes apresentam boas propriedades mecânicas, organolépticas e de barreira a gases como oxigênio e dióxido de carbono, mas apresentam pobre barreira ao vapor de água devido à natureza hidrofílica desses componentes (DEBEAUFORT et al., 2000; YANG; PAULSON, 2000). Para diminuir a hidroflicidade e

aumentar a propriedade de barreira à umidade nos filmes, é utilizada a incorporação de compostos hidrofóbicos como os lipídios, por exemplo, monoglicerídeos acetilados, ácido esteárico, ceras e ésteres de ácido graxo (AVENA-BUSTILLOS; KROCHTA; SALTVEIT, 1997; COLLA, 2004; MALGARIM et al., 2007; FONSECA, 2012), ou a combinação destes compostos.

As farinhas obtidas a partir de matérias-primas como cereais e tubérculos representam um material interessante para formar filmes e coberturas devido a conter amido, proteínas e lipídeos em uma mistura natural. As farinhas também podem ser obtidas a partir de resíduos agroindustriais. Um resíduo que recentemente vem sendo estudado para a elaboração de filmes biodegradáveis é aquele obtido da extração do pigmento dos rizomas de cúrcuma (*Curcuma longa L.*), uma planta originária da Índia e cultivada em todo o mundo tropical para uso medicinal e condimentar. Este resíduo, além de conter amido, proteína, fibras e lipídeos também apresenta um teor residual de curcuminóides, como curcumina, demetoxicurcumina e bisdemetoxicurcumina, que possuem atividade antioxidante (MANIGLIA et al., 2014, 2015), anti-inflamatória (MENON, SUDHEER, 2007), antimicrobiana (ARUTSELVI et al., 2012) e anticarcinogênica (JIANG et al., 2012), sendo a curcumina o principal composto bioativo nos rizomas (PARAMASIVAM, 2009).

Sabe-se que as frutas, logo após a colheita, sofrem um processo natural de maturação e senescência devido a mudanças bioquímicas e fisiológicas. Estes processos podem ser acelerados devido a danos que o fruto recebe como riscos involuntários na superfície, ferimentos e aberturas na casca, impactos, pressão localizada, etc., os quais estimulam significativamente a taxa respiratória, a produção de etileno, fazendo com que o fruto amadureça e se degrade mais rapidamente. A conservação pós-colheita mais empregada, em sua grande maioria, consiste na cadeia de frio e em boas práticas de armazenamento usando coberturas comestíveis. As coberturas permitem a conservação pós-colheita de frutas e hortaliças frescas ou minimamente processadas. Há três formas para aplicação da cobertura: por pulverização, imersão ou aplicação com pincel. Após o procedimento, o material aplicado é desidratado à temperatura ambiente, o solvente evapora e forma-se a cobertura sobre o alimento.

Vários trabalhos têm explorado o uso de coberturas comestíveis com propriedades antioxidantes para aumentar a conservação pós-colheita de frutos. Há estudos do uso de coberturas à base de fécula de mandioca em mamões (PEREIRA et al., 2006), coberturas à base de alginato de sódio aplicadas em uvas (MIGUEL et al., 2009), coberturas à base de

quitosana com ácido cítrico em lichias (GUIMARÃES et al., 2012). De acordo com esses estudos, os autores puderam verificar que a aplicação das coberturas causou uma redução no escurecimento da superfície dos frutos, retardando seu amadurecimento e prolongando a vida de prateleira pós-colheita durante alguns dias.

Uma grande vantagem em elaborar filmes e coberturas utilizando o resíduo de cúrcuma como matéria-prima é que devido ao seu teor residual de curcuminóides com atividade antioxidante, não se faz necessária a incorporação de substâncias ativas com essa funcionalidade na matriz polimérica.

Portanto, este estudo visa estudar o potencial do resíduo da extração de pigmento de cúrcuma fornecido pela Indústria de Corantes Firace na produção de filmes e coberturas bioativas. Assim, foi estudado o efeito da concentração de farinha e concentração de plastificante sobre as propriedades dos filmes de farinha e o efeito da cobertura a base de farinha de cúrcuma na qualidade pós-colheita de bananas ‘Maçã’ armazenadas a 27°C e 65% UR.

Referências bibliográficas

- ABDOLLAHI, M.; REZAEI, M.; FARZI, G.. A novel active bionanocomposite film incorporating rosemary essential oil and nanoclay into chitosan. **Journal of Food Engineering**, v. 111, n. 2, p. 343-350, 2012.
- ARUTSELVI, R. et al. Phytochemical screening and comparative study of antimicrobial activity of leaves and rhizomes of turmeric varieties. **Asian Journal of Plant Science and Research**, v. 2, n. 2, p. 212-219, 2012.
- ATARÉS, L.; PÉREZ-MASIÁ, R.; CHIRALT, A. The role of some antioxidants in the HPMC film properties and lipid protection in coated toasted almonds. **Journal of Food Engineering**, v. 104, n. 4, p. 649-656, 2011.
- AVENA-BUSTILLOS, R.; KROCHTA, J. M.; SALTVEIT, M. E. Water vapor resistance of red delicious apples and celery sticks coated with edible caseinate-acetylated monoglyceride films. **Journal of Food Science**, v. 62, n. 2, p. 351-354, 1997.
- BALDWIN, E. A. et al. Improving storage life of cut apple and potato with edible coating. **Postharvest Biology and Technology**, v. 9, n. 2, p. 151-163, 1996.
- BALDWIN, E. A. Surface treatments and edible coatings in food preservation. **Handbook of food preservation**, v. 21, p. 478-508, 2007.

- BITENCOURT, C. M. **Desenvolvimento e aplicação de filmes à base de gelatina aditivados com extrato etanólico de cúrcuma (*Cúrcuma longa* L.)**. 2013. 108 p. Dissertação (Mestrado em Ciências) – Faculdade de Zootecnia e Engenharia de Alimentos, Universidade de São Paulo, Pirassununga, 2013.
- BODAGHI, H. et al. Evaluation of the photocatalytic antimicrobial effects of a TiO₂ nanocomposite food packaging film by in vitro and in vivo tests. **LWT-Food Science and Technology**, v. 50, n. 2, p. 702-706, 2013.
- CHA, D. S. et al. Antimicrobial films based on Na-alginate and κ -carrageenan. **LWT-Food Science and Technology**, v. 35, n. 8, p. 715-719, 2002.
- COLLA, E. **Biofilmes de farinha de amaranto adicionados de ácido esteárico: elaboração e aplicação em morangos frescos (*Fragaria ananassa*)**. 2004. 119 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Alimentos) - Faculdade de Engenharia de Alimentos, Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2004.
- DAINELLI, D. et al. Active and intelligent food packaging: legal aspects and safety concerns. **Trends in Food Science & Technology**, v. 19, p. S103-S112, 2008.
- DEBEAUFORT, F. et al. Lipid hydrophobicity and physical state effects on the properties of bilayer edible films. **Journal of membrane Science**, v. 180, n. 1, p. 47-55, 2000.
- EMIROĞLU, Z. K. et al. Antimicrobial activity of soy edible films incorporated with thyme and oregano essential oils on fresh ground beef patties. **Meat Science**, v. 86, n. 2, p. 283-288, 2010.
- FONSECA, J. P. C. G. Q. **Revestimentos comestíveis à base de quitosano e cera de abelha: aplicação na conservação de uva de mesa**. 2012. 110 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Alimentar) - Instituto Superior de Agronomia, Universidade Técnica de Lisboa, Lisboa, 2012.
- GARCIA, M. A.; MARTINO, M. N.; ZARITZKY, N. E. Plasticized starch-based coatings to improve strawberry (*Fragaria*×*ananassa*) quality and stability. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, v. 46, n. 9, p. 3758-3767, 1998.
- GENNADIOS, A. et al. Mechanical and barrier properties of egg albumen films. **Journal of Food Science**, v. 61, n. 3, p. 585-589, 1996.
- GHANBARZADEH, B. et al. Effect of plasticizing sugars on water vapor permeability, surface energy and microstructure properties of zein films. **LWT-Food Science and Technology**, v. 40, n. 7, p. 1191-1197, 2007.

- GÓMEZ-ESTACA, J. et al. Biodegradable gelatin–chitosan films incorporated with essential oils as antimicrobial agents for fish preservation. **Food Microbiology**, v. 27, n. 7, p. 889-896, 2010.
- GUIMARÃES, J. E. R.. **Ácido cítrico e quitosana na conservação pós-colheita de lichias ‘Bengal’**. 2012. 68 p. Dissertação (Mestrado em Agronomia) – Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinária, Universidade Estadual Paulista, Jaboticabal, 2012.
- JIANG, J. L. et al. Identification of antitumor constituents in curcuminoids from *Curcuma longa* L. based on the composition–activity relationship. **Journal of pharmaceutical and biomedical analysis**, v. 70, p. 664-670, 2012.
- MALGARIM, M. B., et. al. Armazenamento refrigerado de laranjas cv. Navelina em diferentes concentrações de cera à base de carnaúba. **Acta Scientiarum. Agronomy**, v. 29, n. 1, p. 99-105, 2007.
- MANIGLIA, B. C., et al. Turmeric dye extraction residue for use in bioactive film production: Optimization of turmeric film plasticized with glycerol. **LWT-Food Science and Technology**, v. 64, n. 2, p. 1187-1195, 2015.
- MANIGLIA, B.C., et al. Development of bioactive edible film from turmeric dye solvent extraction residue., **LWT-Food Science and Technology**, v. 56, n. 2, p. 269-277, 2014.
- MENON, V. P.; SUDHEER, A. R. Antioxidant and anti-inflammatory properties of curcumin. In: **The molecular targets and therapeutic uses of curcumin in health and disease**. Springer US, p. 105-125, 2007.
- MIGUEL, A. C. A. et al. Pós-colheita de uva ‘Itália’ revestida com filmes à base de alginato de sódio e armazenada sob refrigeração. **Ciência e Tecnologia de Alimentos**, v. 29, n. 2, p. 277-282, 2009.
- MONTERREY-QUINTERO, E. S.; SOBRAL, P. J. do A. Preparo e caracterização de proteínas miofibrilares de tilápia-do-nilo para elaboração de biofilmes. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 35, n. 1, p. 179-189, 2000.
- NORAJIT, K.; KIM, K. M.; RYU, G. H. Comparative studies on the characterization and antioxidant properties of biodegradable alginate films containing ginseng extract. **Journal of Food Engineering**, v. 98, n. 3, p. 377-384, 2010.
- NUNES, Y. L. **Preparação e caracterização de bioblendas poliméricas a partir de gelatina bovina e de tilápia com amido de milho**. 2014. 113 p. Dissertação

- (Mestrado em Ciências e Engenharia de Materiais), Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal, 2014.
- PALMU, P. S. T. **Preparação, propriedades e aplicação de biofilmes comestíveis a base de gluten de trigo**. 2003. 258 p. Tese (Doutorado em Alimentos e Nutrição) - Faculdade de Engenharia de Alimentos, Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2003.
- PARAMASIVAM, M. et al. High-performance thin layer chromatographic method for quantitative determination of curcuminoids in *Curcuma longa* germplasm. **Food Chemistry**, v. 113, n. 2, p. 640-644, 2009.
- PAVLATH, A. E.; VOISIN, A.; ROBERTSON, G. H. Pectin-based biodegradable water insoluble films. In: **Macromolecular Symposia**. WILEY-VCH Verlag GmbH & Co. KGaA, 1999. p. 107-113.
- PEREIRA, M. E. C. et al. Amadurecimento de mamão formosa com revestimento comestível à base de fécula de mandioca. **Ciência e Agrotecnologia**, v. 30, n. 6, p. 1116-1119, 2006.
- SHIMAZU, A. A.; MALI, S.; GROSSMANN, M. V. E. Efeitos plastificante e antiplastificante do glicerol e do sorbitol em filmes biodegradáveis de amido de mandioca. **Semina: Ciências Agrárias**, v. 28, n. 1, p. 79-88, 2007.
- SOHAIL, S. S. et al. Physical, morphological, and barrier properties of edible casein films with wax applications. **Journal of food science**, v. 71, n. 4, p. C255-C259, 2006.
- TAPIA-BLÁCIDO, D. et al. Contribution of the starch, protein, and lipid fractions to the physical, thermal, and structural properties of amaranth (*Amaranthus caudatus*) flour films. **Journal of Food Science**, v. 72, n. 5, p. E293-E300, 2007.
- VARGAS, M. et al. Recent advances in edible coatings for fresh and minimally processed fruits. **Critical Reviews in Food Science and Nutrition**, v. 48, n. 6, p. 496-511, 2008.
- 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.

OBJETIVO GERAL

Avaliar o potencial de uso do resíduo da extração de corantes de cúrcuma na produção de filmes bioativos e o efeito de sua aplicação como cobertura na vida útil de bananas ‘Maçã’.

OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Produzir e caracterizar a farinha de cúrcuma (*Cúrcuma longa L.*) a partir do resíduo da extração de corante de cúrcuma.
- Avaliar o efeito da concentração de farinha de cúrcuma e de plastificante (glicerol ou sorbitol) sobre as propriedades dos filmes de farinha.
- Avaliar o efeito da cobertura de farinha de cúrcuma sobre a qualidade pós-colheita de bananas “Maçã”.

1. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

1.1. Cúrcuma (*Cúrcuma Longa L.*)

A *Curcuma longa L.*, da família *Zingiberaceae*, conhecida como açafrão-da-terra, cúrcuma, turmerico, açafrão-da-índia, açafroa e gengibre amarelo, é uma planta originária da Índia e cultivada em todo o mundo tropical para uso medicinal e condimentar. A planta apresenta folhas grandes, oblongo-lanceoladas e oliquo-nervadas, um rizoma principal ou central e periforme, arredondado ou ovóide, com ramificações secundárias laterais, compridas, também tuberizadas (HERTWIG, 1986). Desenvolve-se bem em diversas condições tropicais, podendo atingir até 1 m de altura e a colheita é feita quando as folhas tornam-se amarelas. Os rizomas são retirados da terra, lavados e secos para serem processados (GOVINDARAJAN; STAHL, 1980).

A cúrcuma se propaga vegetativamente através de seus rizomas (Figura 1.1). Estes crescem agrupados no sub-solo, abaixo do colo da planta, organizados numa estrutura normalmente denominada "mão", onde os rizomas menores, "dedos", agrupam-se ao redor de um maior chamado "pião" (MAIA, 1991). Cada rizoma mede até 10 cm de comprimento e, quando cortados, mostram uma superfície de cor vermelha alaranjada, devido à presença do pigmento curcumina (SILVA-FILHO et al., 2009). Estes rizomas representam o interesse econômico da cultura, pois além de terem seus atributos nutritivos, têm despertado interesse pela presença do corante curcumina e óleos essenciais. Estes últimos apresentam-se em concentrações variáveis de 2,5 a 5,0% (GOVINDARAJAN, 1980).

Figura 1.1. Rizomas de cúrcuma (*Cúrcuma longa L.*).

Devido à proibição do uso de pigmentos sintéticos nos principais países da América do Norte e Europa (MAIA, 1991; RUSIG; MARTINS, 1992), recentemente tem sido buscado alternativas naturais como a possibilidade de participação da cúrcuma neste crescente mercado de aditivos naturais de alimentos.

Atualmente é possível obter três produtos comerciais a partir da cúrcuma: o pó de cúrcuma, a oleoresina de cúrcuma e o extrato de curcumina. O pó de cúrcuma, que consiste em raízes secas e moídas contendo cor e aroma, é um componente indispensável ao ‘curry’ indiano e é também utilizado em pastas de mostarda e em condimentos. A oleoresina da cúrcuma é obtida por extração com solventes do pó de cúrcuma, com rendimento de cerca de 12% e apresenta teores de 30 a 40% de pigmentos expressos em curcumina e de óleo volátil entre 15 e 25%. É um produto altamente viscoso e de cor marrom alaranjada. Entretanto, quando diluído a níveis de uso, obtém-se cor amarela brilhante. Apresenta o aroma característico da cúrcuma *in natura*, pungente e de sabor amargo e sua função predominante é colorir. É largamente utilizada em pickles, maionese, mostarda, revestimento de filés de peixe congelado, produtos cárneos, massas alimentícias, sucos, gelatinas, queijos e manteiga (SANTOS; OLIVEIRA, 1991).

O extrato de curcumina purificado é o corante sem aroma ou sabor residual, concentrado, obtido por extração com solventes do pó de cúrcuma seco. Em alguns produtos alimentícios como bebidas, gelatinas, queijos, sorvetes, produtos de confeitaria e manteiga, o aroma da cúrcuma é indesejável sendo preferível utilizar a curcumina purificada (FREUND; WASHAW; MAGGION, 1988; SANTOS; OLIVEIRA, 1991).

Na Tabela 1.1 é apresentado a composição centesimal do rizoma de cúrcuma segundo Pruthi (1980), Govindarajan (1980), Souza e Glória (1998), Filho et al. (2000) e Leonel et al. (2003).

Tabela 1.1. Composição centesimal dos rizomas de cúrcuma (*Cúrcuma longa* L.).

Componente (%b.s)	Pruthi	Govindarajan	Souza e Glória	Cecílio-Filho	Leonel
Umidade ¹	-	-	-	74,70	84,71
Proteína	-	6 a 11	7,01	11,68	10,71
Extrato etéreo	-	-	8,51	7,20	4,85
Amido	24,40	30 a 50	39,9	35,30	47,04
Fibras	-	-	7,22	5,50	9,43
Cinzas	9,00	2 a 6	7,81	6,44	10,70
Açúcares totais	-	-	-	1,82	10,70

¹Valor expresso em base úmida

Na Tabela 1.1 observa-se que o amido é o componente presente em maior proporção (24 a 50%), seguida de proteína (6 a 12%), fibras e cinzas (2 a 11%). O teor de proteínas corresponde a valores muito próximos aos valores médios encontrados em grãos de arroz (8%) e trigo (14%) segundo Souza et al. (1993).

Além da cúrcuma conter em média 1 a 5 % de óleo essencial; 25 a 50% de amido; 4 a 10% de proteínas; 2 a 7% de fibras; 3 a 7% de cinzas, ela contém 1,8 a 5,4% de pigmentos curcuminóides responsáveis pela cor amarela (PEREIRA; STRINGHETA, 1998). Ensaio de HPLC e DPPH realizados por (MANIGLIA et al., 2014) mostraram que estes pigmentos curcuminóides estão presentes no resíduo da extração do corante de cúrcuma os quais são a curcumina, demetoxicurcumina e bisdemetoxicurcumina, que possuem atividade antioxidante. Estes pigmentos são compostos fenólicos (KATZ; TRASK; LUCCHESI, 2009; ALY; GUMGUMJEE, 2013) e podem apresentar capacidade antioxidante maior ou igual a alguns compostos sintéticos (AK; GÜLÇIN, 2008).

Em relação à composição dos pigmentos, a porção é geralmente de 77% de curcumina, 17% de desmetoxicurcumina e 3% de bisdemetoxicurcumina (ANAND et al., 2010; GOEL; AGGARWAL, 2010). Na Figura 1.2 estão presentes as estruturas dos pigmentos curcuminóides.

Figura 1.2. Estruturas químicas dos pigmentos curcuminóides. (a) curcumina, (b) Demetoxicurcumina e (c) Bisdemetoxicurcumina.

Fonte: Bitencourt (2013).

A curcumina é a substância presente em maior porção nos rizomas de cúrcuma e é responsável pelas atividades biológicas da planta (LIN; LEE, 2006; PARAMISIVAN, 2009; NAZ, 2010). Apresenta ponto de fusão de 184°C, é solúvel em etanol e acetona, mas insolúvel em água (JOE et al., 2004), é estável em pH ácido, mas decompõe-se facilmente em pH acima do neutro, é sensível à luz, mas altamente estável ao calor (SOGI, et al, 2010).

Nas últimas décadas, a cúrcuma tem sido amplamente pesquisada principalmente em relação aos pigmentos curcuminóides responsáveis pelas propriedades funcionais da planta tais como efeito antioxidante, anti-inflamatório, antimicrobiana e anticarcinogênica (SALVIOLI et al., 2007, SIKORA; SCAPAGNINI; BARBAGALLO, 2010; MIQUEL et al., 2002; KUMAR, DOGRA, PRAKASH, 2009), sendo a curcumina o principal composto bioativo nos rizomas (PARAMASIVAN, 2009). Na Figura 1.3 pode-se observar os efeitos da curcumina em várias doenças.

Figura 1.3. Propriedades funcionais da curcumina.

Fonte: Aggarwal et al, 2005.

Em várias doenças crônicas nas quais a inflamação desempenha um papel importante, a curcumina demonstrou importante potencial terapêutico. Estas doenças incluem a Doença de Alzheimer, Doença de Parkinson, esclerose múltipla, epilepsia, lesão cerebral, doenças cardiovasculares, câncer, alergia, asma, bronquite, colite, reumatóide artrite, isquemia renal, psoríase, diabetes, obesidade, depressão, fadiga, e SIDA (AGGARWAL, HARIKUMAR,

2009). A curcumina suprime a transformação, proliferação, invasão, angiogênese e metástase celular (AGGARWAL et al., 2011).

Além da cúrcuma apresentar numerosos benefícios à saúde, existem alguns estudos que analisam o poder antioxidante do rizoma em pó em formulações de alimentos. Lean e Mohamed (1999) compararam o uso da cúrcuma com outras especiarias e antioxidantes sintéticos (BHA e BHT) em bolos de manteiga e verificaram que a cúrcuma foi o melhor agente antioxidante e antimicótico durante 4 semanas de armazenamento. Em um outro estudo, o pó da cúrcuma foi substituído à farinha de trigo na fabricação de pão em concentrações de 0%, 2%, 4%, 6% e 8%, sendo observado um aumento na atividade antioxidante do produto, em função do aumento da concentração do teor de curcumina encontrada nos pães (PARK, LIN, HWANG, 2012).

Apesar de todas as propriedades da cúrcuma, seu consumo mundial não é conhecido. Acredita-se, contudo, que a Índia é o país maior produtor e consumidor, onde também é realizada a maioria das pesquisas com a espécie. No Brasil, o município que apresenta o maior plantio comercial de cúrcuma é Mara Rosa-GO, com cerca de 150 hectares e produtividade média de 12 t/ha de rizomas, produção esta destinada em sua grande maioria às indústrias nacionais de corantes e alimentos (FILHO et al., 2000). As indústrias de corante extraem o pigmento de cúrcuma na forma de oleoresina utilizando solventes como etanol e acetona por método soxhlet. Desta extração é obtida a torta que é usado como ração para animais.

1.2. Filmes biodegradáveis

Filmes biodegradáveis podem ser definidos como camadas finas de um material biodegradável, podendo ser aplicados como barreira entre o alimento e o ambiente circundante e, dependendo da matéria-prima utilizada, podem ser consumidos como parte do produto alimentar (GUILBERT; GONTARD; GORRIS, 1996; KROCHTA; MULDER-JOHNSTON, 1997; SKURTYIS et al., 2009). Podem atuar como barreira a elementos externos e, consequentemente, proteger o produto embalado de danos físicos e biológicos, com aumento da vida útil (HENRIQUE, CEREDA, SARMENTO, 2008), melhorando a qualidade dos alimentos através do controle da transferência de umidade, oxigênio, dióxido de carbono, sabor e aroma entre os componentes do alimento e atmosfera que os envolve (BALDWIN; HAGENMAIER; BAI, 2012).

A busca por materiais oriundos de fontes renováveis, com boa durabilidade e que seja biodegradável, surgiu devido ao crescente impacto ambiental causado por embalagens plásticas (CHEN, 1995; FALCONE; AGNELLI; FARIA, 2007). Em 2010, aproximadamente 40% do total de plásticos transformados no Brasil foram aplicados no setor de embalagens, sendo que, deste total, em torno de 25% foram aplicados em embalagens destinadas ao setor alimentício (ABIPLAST, 2010).

A finalidade do uso de filmes biodegradáveis depende de suas propriedades funcionais como barreira ao vapor de água e/ou a gás, solubilidade em água ou lipídio, características mecânicas e reológicas, propriedades óticas e térmicas e não-toxicidade. Estas propriedades funcionais são dependentes da composição, do procedimento de formação, do modo de aplicação, do condicionamento e da espessura do filme (GUILBERT, GONTARD; GORRIS, 1996; OLIVEIRA; GRDEN; RIBEIRO, 2007; VICENTINI, 2003, ROBERTSON, 2012).

Os filmes biodegradáveis são preparados a partir de biopolímeros como proteínas (gelatina, caseína, ovoalbumina, glúten de trigo, zeína e proteínas miofibrilares), polissacarídeos (amido e seus derivados, pectina, celulose e seus derivados, alginato e carragena) (BALDWIN et al., 1996; GARCIA; MARTINO; ZARITZKY, 1998; PEREIRA, et al., 2006; TAPIA-BLÁCIDO et al., 2007), lipídios (monoglicerídeos acetilados, ácido esteárico, ceras e ésteres de ácido graxo) (MALGARIM et al., 2007) ou a combinação destes compostos.

Os filmes elaborados a partir de polissacarídeos ou proteínas possuem excelentes propriedades mecânicas e ópticas, porém são sensíveis à umidade e apresentam alto coeficiente de permeabilidade ao vapor d'água. Por outro lado, os filmes compostos de lipídios apresentam boas propriedades de barreiras ao vapor d'água, mas são opacos e pouco flexíveis (GUILBERT; 1986; GALLO et al., 2000) e devido à sua baixa polaridade, são mais utilizados na elaboração de revestimentos comestíveis ou juntamente com um polissacarídeo na elaboração de filmes com melhores propriedades mecânicas (CAMPOS, GERSCHENSON; FLORES, 2011; GUILBERT; GONTARD, 2005).

O caráter hidrofílico de filmes de amido torna-os muito sensíveis à umidade, assim possuem seu uso limitado como material de embalagem de alimentos. A fim de aumentar a resistência mecânica de filmes de amido e proteínas e melhorar suas propriedades de barreira, alguns autores usam uma mistura desses polímeros (COUGHLAN et al., 2004; JAGANNATH et al., 2003).

Pelissari et al. (2013) elaboraram filmes biodegradáveis utilizando farinha e amido isolado de bananas da variedade "Terra" (*Musa paradisíaca*). Foram comparadas as propriedades dos dois tipos de filmes e observaram que os filmes de farinha de banana foram menos resistentes e mais flexíveis do que os filmes de amido. Em relação às propriedades funcionais, os filmes de farinha foram ligeiramente solúveis em água e a sua permeabilidade ao vapor de água foi semelhante aos filmes de amido. No que diz respeito às propriedades ópticas, os filmes de farinha foram mais amarelados e mais opacos do que os filmes de amido, devido ao seu teor de proteína e à presença de compostos fenólicos.

Filmes biodegradáveis à base de farinha e amido de arroz foram estudados por Dias et al. (2010) utilizando glicerol ou sorbitol como plastificante. Ambos os tipos de filmes (farinha e amido) apresentaram estruturas compactas e com propriedades mecânicas similares. No entanto, a permeabilidade ao vapor de água dos filmes de farinha foi duas vezes superior à dos filmes de amido. Filmes plastificados com sorbitol foram menos permeáveis ao vapor de água e mais rígidos do que os filmes plastificados com glicerol.

Andrade-Mahecha et al. (2009) elaboraram filmes de farinha obtidos a partir de rizomas de biri (*Canna Indica* L.) cultivados no sudeste do Brasil. Comparados com os filmes de amido de biri, os filmes de farinha foram mais flexíveis, mais permeáveis ao vapor de água e menos rígidos. Este comportamento é resultado de um maior grau de plastificação da matriz polimérica dos biofilmes de farinha, a qual foi favorecida pelo conteúdo de umidade final e pelas interações resultantes entre as moléculas de fibra, proteína e lipídios presentes em maior proporção nestes filmes. Quanto às propriedades ópticas, os filmes de farinha apresentaram cor amarelada, enquanto os filmes de amido apresentaram-se mais claros e menos opacos.

Um estudo realizado por Rocha (2009) elaborou filmes biodegradáveis a partir da mistura de amido de mandioca e extrato protéico de soja e foi avaliado o efeito combinado destes dois substratos na formação dos filmes em condições variáveis de plastificante (glicerol) e pH. Os filmes produzidos com baixo teor de extrato protéico apresentaram menores valores de solubilidade em água, de permeabilidade ao vapor de água, de opacidade, de coloração, de módulo de elasticidade e maior deformação na tração e força na perfuração. No entanto, filmes produzidos com alto teor de glicerol apresentaram maior espessura e deformação na tração, redução da solubilidade em água, da permeabilidade ao vapor de água, da opacidade e do módulo de elasticidade, enquanto que a elevação do pH causou uma redução da opacidade, da coloração, da permeabilidade ao vapor de água, aumento da espessura e da força na perfuração.

Tapia-Blácido et al. (2005) desenvolveram filmes biodegradáveis a partir da farinha de amaranto da espécie *Amaranthus caudatus*. Os filmes obtidos apresentaram uma cor amarelada, excelentes propriedades de barreira em relação ao vapor de água e oxigênio, solubilidade e opacidade moderada, alta flexibilidade, mas baixa resistência à tração.

Além de se utilizar a mistura de polímeros na elaboração dos filmes biodegradáveis para melhorar suas propriedades mecânicas, agentes plastificantes são incorporados nos filmes. O material plastificante reduz as forças intermoleculares e aumenta a mobilidade das cadeias dos polímeros, melhorando a flexibilidades dos filmes. No entanto, podem tornar os filmes mais frágeis (VEIGA-SANTOS et al., 2005; THARANATHAN, 2003).

Em filmes de amido, por exemplo, é comum o uso de polióis como o glicerol e o sorbitol, que são materiais que interagem com as cadeias de amido através de ligações de hidrogênio, proporcionando uma melhoria nas suas propriedades mecânicas (MALI, GROSSMANN, YAMASHITA, 2010). Embora os plastificantes serem bons aditivos para os filmes de amido, pois melhoram a flexibilidade do filme facilitando seu manuseio, a sua utilização pode prejudicar as propriedades de barreira, como permeabilidade ao vapor de água e solubilidade (SOUZA et al., 2011).

1.2.1. Filmes e coberturas elaborados a partir de resíduos agroindustriais

A indústria alimentícia gera grande quantidade de resíduos devido ao desperdício no uso de insumos, perdas entre a produção e o consumo, e separação de materiais que não possuem valor econômico evidente, implicando também em problemas de gerenciamento financeiro e ambiental. Devido ao alto potencial de reaproveitamento destes resíduos em outros sistemas, vários estudos apontam alternativas para o destino destes materiais (MIRABELLA, CASTELLANI, SALLA, 2014).

Os resíduos podem ser utilizados no desenvolvimento de novos produtos, aumentando o valor nutricional agregado e reduzindo o impacto que esses subprodutos podem causar ao serem descartados no ambiente, em locais inadequados (UCHOA et al., 2008; SUN-WATERHOUSE et al., 2011).

Para o agronegócio brasileiro, o uso de embalagens biodegradáveis fabricados com resíduos oriundos do processamento de frutas e hortaliças, apresenta um enorme potencial de aplicações e a utilização de resíduos agroindustriais com esta vertente mostra-se muito promissora. Estes resíduos como cascas, sementes, polpas, bagaço e torta são conhecidos por

serem fonte rica de nutrientes, principalmente biopolímeros (como polissacarídeos e fibras alimentares) e compostos bioativos (AJILA; RAO, 2013; BABBAR et al., 2011).

Os biopolímeros, como polissacarídeos e proteínas, obtidos a partir de subprodutos de origem agrícola têm sido propostos para formulação de materiais biodegradáveis, pois além de sofrerem um processo de biodegradação (exceto quando modificações químicas severas são aplicadas), são derivados de fontes renováveis e não tóxicos para o solo e para o ambiente (FRANCHETTI; MARCONATO, 2006; GUILBERT; GONTARD, 2005).

Em razão das questões ambientais, tem se dado um enfoque para o desenvolvimento de filmes comestíveis/biodegradáveis. No entanto, estes filmes podem também agregar valor nutricional e melhorar características sensoriais quando consumidos junto com o produto o qual foram aplicados, além de ser uma alternativa às matérias-primas derivadas do petróleo, reforçando a sustentabilidade do processamento (MAYACHIEW; DEVAHASTIN, 2010; PÉREZ-MATEOS; MONTERO; GÓMEZ-GUILLÉN, 2009; HU et al., 2009).

Kayserilioğlu et al. (2003) utilizaram xilana, um resíduo agroindustrial presente na palha de trigo, talo e espiga de milho, sorgo e cana de açúcar, em combinação com glúten de trigo para a produção de filmes biodegradáveis. Foram avaliadas diferentes concentrações de xilana (0-40% m/m) e pH 4 e 11, sob condições de secagem controlada ou não controlada. Os filmes obtidos com até 40% de xilana adicionada não teve redução das propriedades formadoras do filme, em que a permeabilidade ao vapor d'água não foi afetada pela presença do carboidrato.

Um estudo realizado por Kang e Min (2010) desenvolveu filmes comestíveis a partir de casca de batata, um resíduo industrial rico em polissacarídeos. Foi realizado um tratamento de despolimerização (homogeneização de alta pressão, raios gama e ultrassom) com a finalidade de reduzir o tamanho das partículas e permitir a formação de um filme uniforme e testaram diferentes concentrações de farinha de casca de batata, glicerol (plastificante) e lecitina de soja (emulsificante). Os autores verificaram que uma redução nas concentrações de glicerol e lecitina de soja causou uma diminuição da permeabilidade ao vapor d'água, mas conforme aumentou essas concentrações, a resistência à tração diminuiu e a elongação aumentou.

Bagaço de cevada, um resíduo agroindustrial rico em fibras foi utilizado por Bukzem, Santos e Ascheri (2012) para a elaboração de filmes biodegradáveis. Foram empregadas proporções de bagaço de cevada/fécula de mandioca de 10:90 e 20:80, utilizando glicerol como plastificante. Os resultados obtidos mostraram que uma maior concentração de bagaço

de cevada gerou filmes mais resistentes à ruptura, mais permeáveis ao vapor de água, mais solúveis, mais hidrofílicos e demorou mais tempo para sua biodegradação.

Garrido et al. (2014) utilizaram proteína isolada de soja, um resíduo obtido como um subproduto da indústria de óleo de soja para o desenvolvimento de filmes biodegradáveis. Foram avaliadas diferentes concentrações de sorbitol (30-50%) e pH 7 e 10. O estudo resultou em filmes transparentes, com excelentes propriedades de barreira a raios UV, hidrofóbicos e apresentaram uma superfície rugosa. Os filmes com maior percentual de sorbitol apresentaram menor resistência à tração e mais resistência à ruptura.

Em trabalho realizado por Maniglia et al. (2014) foi avaliado o efeito da temperatura de aquecimento e o pH sobre as propriedades dos filmes a base do resíduo da extração de corante de cúrcuma. Estes autores observaram que altas temperaturas de aquecimento proporcionaram uma estrutura polimérica mais resistente, menor permeabilidade ao vapor d'água, umidade e opacidade. Entretanto, maiores valores de pH resultou em filmes mais resistentes com baixa permeabilidade ao vapor d'água e solubilidade. Ensaios de HPLC e DPPH mostraram que este resíduo pode ser uma fonte promissora para desenvolver filmes com atividade antioxidante.

1.2.2. Filmes bioativos

Novas tecnologias de embalagens de alimentos têm sido desenvolvidas nas últimas décadas com o intuito de não apenas manterem a integridade, a segurança e a qualidade dos alimentos, mas também que possam melhorar suas propriedades. Os chamados filmes biodegradáveis ativos interagem com o produto e proporcionam benefícios extras em relação aos filmes convencionais (DAINELLI et al., 2008; BODAGHI et al., 2013).

Vários antioxidantes naturais como terpenos, tocoferóis, carotenóides e vitaminas têm sido utilizados em filmes biodegradáveis a fim de promover maior estabilidade em relação à oxidação lipídica dos produtos gordurosos (FALGUERA et al., 2011; GOMEZ-ESTACA et al., 2014).

A oxidação lipídica e o crescimento microbiano são os principais fatores da degradação de muitos alimentos como peixes, carnes, leite em pó integral, molhos e óleos, provocando a perda da qualidade sensorial e nutricional. Uma das estratégias para retardar as reações de oxidação lipídica é a adição direta de antioxidantes em embalagens e uma alternativa para isso são as embalagens ativas, as quais possuem como principal vantagem a

liberação de antioxidantes durante o armazenamento, aumentando a vida de prateleira dos alimentos embalados (GOMEZ-ESTACA et al., 2014; JÚNIOR et al., 2015).

A adição de compostos ativos na embalagem pode tornar-se mais eficiente que outros métodos de conservação, pois fornecem maior segurança ao consumidor pelo fato do composto ativo presente na embalagem estar em contato com a superfície do alimento, possibilitando o aumento da proteção na superfície do produto, onde o crescimento microbiológico e a oxidação lipídica se iniciam (COMA, 2008). A migração destes compostos ativos, em contato com o alimento, ocorre lentamente para a superfície do produto, possibilitando a redução da quantidade de conservantes no alimento em relação aos métodos de incorporação direta do mesmo e a atividade antimicrobiana seja de maior intensidade onde se faz necessário (COMA, 2008).

Na indústria alimentícia, os principais conservantes utilizados são de origem sintética como o butilhidroxitolueno (BHT), butilhidroxianisol (BHA), sais de sulfito, metabissulfito, ácido benzóico, óxido de etileno, nitratos, nitritos, ácido propiônico, óxido de propileno, ácido ascórbico, dióxido de enxofre (DAMODARAN; PARKIN; FENNEMA, 2010).

Tendo em vista o crescimento dos problemas de saúde associados à ingestão destes conservantes sintéticos, há uma grande necessidade de substituir estes compostos por compostos naturais (TYAGI et al. 2012), os quais são obtidos através dos extratos das plantas, como os compostos fenólicos com propriedades antioxidantes e/ou antimicrobianas (KANATT et al., 2012).

Os filmes elaborados a partir de fontes renováveis possuem a capacidade de carregar compostos ativos (KANATT et al., 2012; MUÑOZ-BONILLA; FERNÁNDEZ-GARCÍA, 2012; PASTOR et al., 2013), como substâncias antioxidantes e antimicrobianas, podendo ser utilizados como embalagem ativa para alimentos.

Na Tabela 1.2 estão alguns exemplos de filmes à base de macromoléculas naturais incorporados com compostos bioativos.

Tabela 1.2. Filmes biodegradáveis incorporados com compostos bioativos

Material do biofilme	Composto ativo	Propriedade	Referências
HPMC	Extrato de <i>kiam Wood</i> (<i>Cotyleobium lanceotatum</i>)	Antimicrobiana	Chana-Taworn, Chanthachum e Wittaya (2011)
Proteína do leite	Óleo essencial de orégano e pimenta	Antimicrobiana	Oussalah et al. (2004)
Gelatina e quitosana	Óleo essencial de cravo	Antimicrobiana	Gomez-Estaca et al. (2010)
Proteína de soja	Óleo essencial de orégano e tomilho	Antimicrobiana	Emiroglu et al. (2010)
Amaranto, quitosana e amido	Óleo essencial de orégano, canela e erva cidreira	Antimicrobiana	Avila-Sosa et. al. (2012)
Hidroxipropil-metilcelulose (HPMC)	Ác. ascórbico, ác. Cítrico e óleo essencial de gengibre	Antioxidante	Atarés et al.(2011)
Alginato	Extrato de ginseng	Antioxidante	Norajit et al. (2010)
Gelatina	Extrato aquoso de alecrim e orégano	Antioxidante	Gomez-Estaca et al. (2007)
Gelatina	Extrato de chá verde	Antioxidante	Wu et al. (2013)
Quitosana	Corante natural cúrcuma	Antioxidante	Parize (2009)
Gelatina	Extrato etanólico de cúrcuma (<i>Curcuma Longa</i> L.)	Antioxidante e antimicrobiana	Bitencourt (2013)
Quitosana	Óleo essencial de alecrim	Antioxidante e antimicrobiana	Abdollahi et al. (2012)
Carragena	Óleo essencial de seriguela (<i>Satureja Hortensis</i>)	Antioxidante e antimicrobiana	Shojaee-Aliabadi et al. (2013)
Quitosana	Óleo essencial de <i>Thymus moroderi</i> e <i>Thymus piperella</i>	Antioxidante e antimicrobiana	Ruiz-Navajas et al. (2013)

Poucos são os estudos de filmes biodegradáveis que utilizam uma matéria-prima que além de apresentar em sua composição substâncias que favoreçam a formação de filmes, contém compostos ativos com propriedades antioxidantes e antimicrobianas. A cúrcuma é uma planta que não só possui propriedades funcionais como atividade antioxidante (BRAGA et al., 2013; SINGH et al., 2010; MENON; SUDHEER, 2007) e antimicrobiana (ALY;

GUMGUMJEE, 2011; ARUTSELVI et al., 2012), mas também pode ser utilizada para elaboração de filmes biodegradáveis (MANIGLIA, 2012).

1.3. Coberturas comestíveis aplicadas em alimentos

O uso de filmes ou coberturas comestíveis sobre a superfície de produtos alimentícios não é uma técnica totalmente nova. Nos séculos 12 e 13, os chineses utilizavam coberturas à base de ceras para conservar laranja e limão e evitar a perda de água destas frutas (KESTER; FENNEMA, 1986). A partir da década de 60, começou a serem utilizados polissacarídeos solúveis em água, se tornando uma opção comercial para o uso em coberturas comestíveis de frutos para aumentar a vida útil destes.

A diferença das coberturas comestíveis em relação aos filmes é que a cobertura é uma fina camada de material aplicado e formado diretamente sobre a superfície do produto, enquanto que o filme é pré-formado separadamente e aplicado posteriormente sobre o produto (FAKHOURI et al., 2007). Ambos são preparados a partir de materiais biológicos como proteínas, lipídeos e polissacarídeos, agindo como barreira a elementos externos (umidade, óleos e gases), protegendo o alimento e aumentando a sua vida de prateleira. No caso das coberturas, as formulações devem ser líquidas e capazes de se espalhar uniformemente sobre a superfície do produto e, depois de secas, devem possuir adesividade, coesividade e durabilidade apropriadas para desempenhar sua função (KROCHTA; MULDER-JOHNSTON, 1997).

As coberturas elaboradas a partir de polissacarídeos ou proteínas possuem excelentes propriedades mecânicas, de barreira a gases, ópticas e sensoriais, porém são sensíveis à umidade e apresentam alto coeficiente de permeabilidade ao vapor de água. Ao contrário, as coberturas compostas de lipídeos apresentam boas propriedades de barreira ao vapor de água, mas são opacas e pouco flexíveis, além de apresentarem sabor residual, o que pode influenciar as características sensoriais do alimento. A combinação dos biopolímeros tem como vantagem agregar os pontos positivos de cada um dos constituintes utilizados (FAKHOURI et al., 2007).

As coberturas comestíveis são capazes de produzir uma atmosfera modificada ao redor do produto, pois cria uma barreira para diminuir a perda de voláteis desejáveis e vapor de água, enquanto restringe a troca de CO₂ e O₂. Com a diminuição da respiração, ocorrerá também uma queda na produção de etileno, retardando o amadurecimento do fruto. Esta atmosfera modificada formada, entretanto, não deve criar condições para o desenvolvimento

da respiração anaeróbia, pois poderá causar sabores desagradáveis, alterar a textura dos produtos e favorecer o crescimento de microrganismos anaeróbios (KROCHTA; MULDER-JOHNSTON, 1997; OLIVAS; BARBOSA-CÁNOVAS, 2005).

Dentre as vantagens do uso das coberturas estão a redução de resíduos de embalagens sintéticas, a simplicidade de equipamentos necessários para a preparação e o baixo custo em relação aos sistemas convencionais de embalagem. Além disso, outra vantagem é a incorporação de conservantes e ingredientes funcionais como aditivos que melhorem as propriedades sensoriais e nutricionais, tais como antioxidantes, antimicrobianos e flavorizantes, podendo ser consumidos com o alimento, aumentando a segurança, a qualidade e funcionalidade de frutas frescas (ROJAS-GRAÜ, SOLIVA-FORTUNY; MARTÍN-BELLOSO, 2009; TANADA-PALMU et al., 2002).

Os antioxidantes são adicionados aos revestimentos comestíveis para proteger as frutas contra a oxidação, degradação e descoloração (BALDWIN et al., 1996). Os ácidos cítrico e ascórbico foram incorporados em revestimentos comestíveis à base de metilcelulose com a finalidade de controlar a permeabilidade ao oxigênio e reduzir perdas de vitamina C durante o armazenamento de damascos (AYRANCI; TUNC, 2004). Ácido ascórbico também foi utilizado em revestimentos comestíveis à base de proteínas do soro de leite aplicados em maçãs cortadas, sendo possível verificar que o uso do revestimento com esse antioxidante reduziu o escurecimento enzimático das frutas (PEREZ-GAGO; SERRA; DEL RIO, 2006).

O uso de óleos essenciais para controlar o crescimento microbiano em alimentos tem sido proposto para vários produtos, incluindo frutas frescas de corte e legumes. Abacaxis revestidos por várias camadas com um complexo microencapsulado antimicrobiano (beta-ciclodextrina e *trans*-cinamaldeído) foi estudado por Mantilla et al. (2013), os quais verificaram que o *trans*-cinamaldeído encapsulado afetou o sabor do fruto, mas estendeu a sua vida de prateleira por 15 dias a 4°C, inibindo o crescimento microbiano, ajudando também a preservar a cor, textura e o pH da fruta.

Novos materiais estão sendo estudados ultimamente a fim de ampliar as possibilidades de elaboração de filmes e coberturas biodegradáveis com as mais diversas funções e capacidade de proteção para os alimentos (KROCHTA; MULDER-JOHNSTON, 1997; COLLA et al., 2006). Dentre os polissacarídeos estudados estão o alginato, a pectina, a carragena, a quitosana, o amido e derivados, e a celulose e derivados (VARGAS et al., 2008).

O amido é o polissacarídeo natural mais comumente utilizado nas formulações de cobertura por ser barato, abundante, comestível e de fácil utilização. Os filmes e coberturas

comestíveis elaborados a partir de amido são isotrópicos, sem odor, sem sabor, sem cor, não tóxicos e biologicamente degradáveis (GARCIA, 1998, NISPEROS-CARRIEDO, 1994; VARGAS et al., 2008).

Garcia et al. (1998) estudaram coberturas a base de amido de milho e batata aplicadas em morangos mantidos sob refrigeração (0°C) e verificaram que houve uma redução do número de frutas infectadas por fungos, estendendo a vida útil do produto. Os morangos cobertos tiveram menor perda de peso e mudança de cor e mantiveram a firmeza, em relação aos morangos sem cobertura.

A quitosana tem sido amplamente estudada devido à sua biodegradabilidade, não toxicidade, biocompatibilidade, atividade antimicrobiana, entre outras. A vantagem adicional da quitosana em relação aos outros biopolímeros é sua ação antimicrobiana, atuando em oposição a uma ampla gama de microrganismos incluindo fungos, algas e algumas bactérias (AZEREDO; DE BRITTO; ASSIS, 2010).

Coberturas de quitosana aplicadas em lichia foram pesquisadas por Dong et al. (2004), analisando o efeito do revestimento sobre a manutenção da qualidade e extensão da vida útil do fruto. A aplicação da cobertura de quitosana diminuiu a perda de peso e o declínio na qualidade sensorial e retardou a atividade das enzimas polifenol oxidase (PPO) e peroxidase (POD), responsáveis pelo escurecimento de frutas e vegetais.

O alginato de sódio é um biopolímero hidrofílico que tem a capacidade de formar coberturas devido às suas propriedades coloidais únicas, que incluem a utilização para o espessamento, estabilização de emulsões e formação de gel. A permeabilidade à água e as propriedades mecânicas do alginato de cálcio podem ser consideradas moderadas quando comparadas a filmes sintéticos (ACEVEDO et al., 2010). As coberturas compostas por este biopolímero são impermeáveis a óleos e gorduras e podem minimizar as perdas de umidade dos alimentos, além de serem boas barreiras ao oxigênio, sendo capazes de retardar a oxidação lipídica dos alimentos e melhorando o sabor, a textura e a adesão (MIGUEL et al., 2009).

De acordo com Olivas, Mattinson e Barbosa-Cánovas (2007), a utilização de cobertura de alginato de sódio (1%) contendo cloreto de cálcio (10%) sobre fatias de maçã preservou a qualidade dos frutos, dando brilho e aparência de fresco ao produto, sem causar respiração anaeróbica. As coberturas de alginato de sódio atuaram como barreiras ao vapor de água, diminuindo a perda de água das fatias de maçã e também preservaram a textura e minimizaram o escurecimento do produto.

A aplicação de filmes e revestimentos na superfície do produto forma uma fina camada, na maioria dos casos, resultante da atração eletrostática entre espécies químicas ou pela secagem de soluções viscosas. Os revestimentos podem ser aplicados nos alimentos por pulverização, imersão ou aplicação com pincel, seguido de uma etapa de secagem para revestimentos hidrocoloidais ou esfriamento para revestimentos a base de lipídeos (VILLADIEGO et al., 2005).

Assim como os filmes biodegradáveis, as coberturas comestíveis requerem plastificantes. Os plastificantes são utilizados para aumentar a flexibilidade de filmes e revestimentos, mas afetam a permeabilidade ao vapor de água e as trocas gasosas, já que são substâncias muito hidrofílicas e higroscópicas, em sua maioria. O glicerol é o plastificante mais usado para formar a película nos frutos (SOTHORNVIT; KROCHTA, 2001).

1.4. Processos bioquímicos e fisiológicos na pós-colheita das frutas

Após a colheita, a maioria das frutas, principalmente em ambiente tropical, sofrem um processo natural de maturação e degradação devido a mudanças bioquímicas e fisiológicas. Também podem sofrer danos físicos causados por riscos involuntários na superfície, ferimentos e aberturas na casca, impactos, pressão localizada, etc., os quais estimulam significativamente a taxa respiratória, a produção de etileno e, conseqüentemente, aceleram as degradações naturais (LUVIELMO; LAMA, 2013).

Os frutos apresentam três fases fisiológicas, sendo elas o crescimento, a maturação e a senescência. O amadurecimento corresponde à fase final da maturação, na qual os frutos são transformados em produtos atrativos e prontos para o consumo (RYALL; LIPTON, 1979) e consiste de uma série de processos físicos e bioquímicos que resultam na síntese e degradação de pigmentos, conversão do amido em açúcares, perda de firmeza, produção de substâncias voláteis e aumento da respiração em frutos climatéricos (ANDREWS; LI, 1994).

As principais alterações sensoriais que ocorrem em frutas durante o amadurecimento estão relacionadas à textura, cor, sabor e odor. Tais alterações podem ser percebidas avaliando visualmente os frutos ou através de análises físicas, químicas e enzimáticas (CHITARRA; CHITARRA, 2005).

Um dos componentes relacionados à textura é a firmeza dos frutos, sendo sua diminuição um dos primeiros indicativos do amadurecimento. Como é um parâmetro que afeta a qualidade do fruto, a firmeza deve ser levada em consideração quando se analisa a

resistência ao transporte, o tempo de conservação e a presença de microorganismos (AWAD, 1993; BRAZ et al., 2008).

A determinação da firmeza é uma das formas de se avaliar o estágio de maturação do fruto. A sua diminuição durante o amadurecimento é função da perda da integridade da parede celular. A degradação das moléculas poliméricas constituintes da parede celular como celulose, hemicelulose e pectina, gera alterações na parede celular pela ação de enzimas hidrolíticas como a poligalacturonase (PG) e pectinametilesterase (PME), levando ao amolecimento (FISCHER; BENNETT, 1991; TUCKER, 1993).

O etileno, mesmo não sendo o único hormônio a atuar no processo, é considerado o principal do amadurecimento. As taxas de produção do etileno pelos tecidos são geralmente baixas, e a concentração necessária para induzir o amadurecimento é dependente da espécie e do estágio de maturação dos frutos (YANG, 1985). O aumento da biossíntese de etileno durante o climatério é o fator responsável pelo início do amadurecimento em frutos climatéricos (ABELES; MORGAN; SALTVEIT, 1992; GRIERSON, 1987; OETIKER; YANG, 1995).

As alterações que ocorrem na coloração da casca são causadas, principalmente, pela degradação da clorofila, mas também são resultado da síntese de pigmentos como carotenóides e antocianinas (TUCKER, 1993). A degradação da clorofila ocorre devido a mudanças no pH, em ácidos, no aumento dos processos oxidativos e da ação das clorofilases (WILLS et al., 1998).

O sabor é a associação entre o gosto (doce, ácido, salgado e amargo) e o aroma e essas características correlacionam-se e são consideradas como atributo de qualidade único. O sabor é dado pela presença de certos constituintes solúveis e voláteis, como açúcares, sais e ácidos orgânicos, os quais, dependendo de sua concentração, oferecem uma sensação de doçura, salinidade, acidez ou amargor. O aroma envolve pequenas quantidades de substâncias voláteis, tais como éteres, aldeídos, cetonas, alcoóis e hidrocarbonetos, as quais experimentam mudanças à medida que os frutos se desenvolvem, amadurecem ou deterioram-se (SALUNKHE et al., 1991).

Na maioria dos frutos nota-se, ao longo do amadurecimento, aumento na doçura e diminuição na acidez, o que torna o teor de sólidos solúveis uma forma de medir indireta e objetivamente a doçura de um fruto. Estes sólidos solúveis são os compostos hidrossolúveis presentes nos frutos, como açúcares, vitaminas, ácidos, aminoácidos e algumas pectinas. Este teor é dependente do estágio de maturação no qual o fruto é colhido e geralmente aumenta

durante o amadurecimento, pela degradação de polissacarídeos (CHITARRA; CHITARRA, 2005).

Um outro indicativo do estágio de maturação do fruto é a acidez titulável, a qual é dada pela quantidade de ácidos orgânicos, que tende a diminuir durante o processo de maturação, devido à oxidação dos mesmos no ciclo dos ácidos tricarbóxicos, em decorrência da respiração (BRODY, 1996).

A respiração é o processo fundamental no amadurecimento dos frutos, pois várias reações ligadas à respiração são responsáveis pela síntese de vários compostos como pigmentos, compostos fenólicos e fitohormônios (PURVIS, 1997). Sendo assim, a respiração influencia a longevidade das frutas pós-colheita e está intimamente ligada à temperatura e à concentração gasosa ao redor das mesmas (KADER, 1986; CHITARRA; CHITARRA, 2005).

Os principais substratos da respiração em frutos são principalmente os açúcares, ácidos orgânicos e lipídios acumulados durante o desenvolvimento (TUCKER, 1993). Estas substâncias são oxidadas durante a respiração em moléculas mais simples (CO_2 e O_2), com produção de energia e esqueleto carbônico que podem ser utilizados em reações de síntese (WILLS et al., 1998). Além disso, a respiração provoca modificações profundas nos constituintes químicos, principalmente em condições não controladas, levando à rápida senescência do fruto, interferindo assim, na qualidade do mesmo (WILLS et al., 1981).

O padrão da atividade respiratória em frutos pode ser dividido em climatéricos e não climatéricos. Frutos climatéricos são caracterizados por apresentarem aumento na produção de CO_2 acompanhado de um pico autocatalítico de produção de etileno (KAYS; PAULL, 2004; LELIÈVRE et al., 1997; P'ERIN et al., 2002), o que não é observado nos frutos não climatéricos (KAYS; PAULL, 2004; LURIE; KLEIN, BEN-ARIE, 1989; RHODES, 1980).

Um exemplo de fruto climatérico é a banana, pois apresenta alta atividade respiratória e alta produção de etileno após a colheita, tornando-a altamente perecível.

Os principais problemas que afetam as bananas durante e após a colheita, segundo Thompson e Burder (1995), são: a) suscetibilidade do fruto maduro aos danos físicos causados durante o transporte e comercialização devido à manipulação repetida dos cachos antes do despencamento e das frutas nas embalagens; b) deterioração de bananas maduras devido ao ataque de fungos patogênicos, que se desenvolvem a partir de infecções que podem ser estabelecidas em qualquer momento antes ou após a colheita e c) maturação irregular e imprevisível do fruto, sob condições naturais.

As mudanças relacionadas ao processo de amadurecimento das bananas ocorrem de forma marcante sendo que decorrido o pico climatérico ela adquire cor, odor e sabor característico da fruta madura.

A conversão do amido em açúcares simples é uma das mudanças mais notáveis no amadurecimento da banana. Esse é transformado, predominantemente, em açúcares redutores, glicose e frutose (8 a 10%), e sacarose (10 a 20%). Na fase madura, a porcentagem de amido é reduzida de 0,5 a 2,0 %, dos 20%, quando o fruto se apresenta verde (VIVIANE; LEAL, 2007).

Sgabieri e Figueiredo (1971) estudaram as transformações bioquímicas da banana ‘Nanica’ amadurecida sob diferentes condições e concluíram que as maiores mudanças foram em relação aos teores de sólidos solúveis, que aumentam rapidamente conforme a fruta amadurece reduzindo, consequentemente, os teores de amido.

Dentre os parâmetros químicos mais utilizados para avaliar a qualidade pós-colheita da banana estão o pH, acidez titulável, sólidos solúveis, relação entre sólidos solúveis e acidez ou índice de maturação (IM) ou "ratio", açúcares redutores, açúcares não-redutores, açúcares totais, substâncias pécicas e teor de amido (CHITARRA; CHITARRA, 1990). Como a banana é uma fruta climatérica, sofre profundas transformações bioquímicas após a colheita, sendo a respiração o fenômeno metabólico de maior importância (ROCHA, 1984). Nessa fase, ocorre um aumento no teor de açúcares simples, de ácidos simples e orgânicos (predominando o ácido málico) e diminuição dos compostos fenólicos, de menor peso molecular, acarretando redução da adstringência e aumento da acidez, além da liberação de compostos voláteis, fatores responsáveis pelo aroma e sabor, que são características fundamentais para a aceitação da fruta (SOTO BALLASTERO, 1992). A acidez em frutos de bananeira varia de 0,17% a 0,67% (FERNANDES et al., 1979); o pH, de 4,2 a 4,8 (SOTO BALLASTERO, 1992), e o teor de sólidos solúveis aumenta até um máximo de 27%, tendo pequena diminuição quando a fruta já está muito madura (BLEINROTH, 1995).

1.5. Referências bibliográficas

- ABDOLLAHI, M.; REZAEI, M.; FARZI, G.. A novel active bionanocomposite film incorporating rosemary essential oil and nanoclay into chitosan. **Journal of Food Engineering**, v. 111, n. 2, p. 343-350, 2012.
- ABELES, F. B. et al. Regulation of ethylene production by internal, environmental and stress factors. **Ethylene in plant biology**, v. 2, p. 56-119, 1992.

- ABIPLAST. Associação Brasileira da Indústria do Plástico. **Perfil da Indústria Brasileira de Transformação de Material Plástico**. São Paulo: ABIPLAST, maio 2010.
- ACEVEDO, C. A. et al. Using RGB image processing for designing an alginate edible film. **Food and Bioprocess Technology**, v. 5, n. 5, p. 1511-1520, 2012.
- AGGARWAL, B. B. et al. Curcumin derived from turmeric (*Curcuma longa*): a spice for all seasons. **Phytopharmaceuticals in Cancer Chemoprevention**, v. 23, p. 351-387, 2005.
- AGGARWAL, B. B.; HARIKUMAR, K. B. Potential therapeutic effects of curcumin, the anti-inflammatory agent, against neurodegenerative, cardiovascular, pulmonary, metabolic, autoimmune and neoplastic diseases. **The international journal of biochemistry & cell biology**, v. 41, n. 1, p. 40-59, 2009.
- AGGARWAL, J. K.; RYOO, M. S. Human activity analysis: A review. **ACM Computing Surveys (CSUR)**, v. 43, n. 3, p. 16, 2011.
- AJILA, C. M.; RAO, U. J. S. P. Mango peel dietary fibre: Composition and associated bound phenolics. **Journal of Functional Foods**, v. 5, n. 1, p. 444-450, 2013.
- AK, T.; GÜLÇİN, İ. Antioxidant and radical scavenging properties of curcumin. **Chemico-biological interactions**, v. 174, n. 1, p. 27-37, 2008.
- ALY, M. M.; GUMGUMJEE, N. M. Antimicrobial efficacy of *Rheum palmatum*, *Curcuma longa* and *Alpinia officinarum* extracts against some pathogenic microorganisms. **African Journal of Biotechnology**, v. 10, n. 56, p. 12058-12063, 2013.
- ANAND, P. et al. RETRACTED: Design of curcumin-loaded PLGA nanoparticles formulation with enhanced cellular uptake, and increased bioactivity in vitro and superior bioavailability in vivo. **Biochemical pharmacology**, v. 79, n. 3, p. 330-338, 2010.
- ANDRADE-MAHECHA, M. M. **Elaboração e caracterização de biofilmes de farinha de biri (*Canna indica* L.)**. 2009. 158p. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Alimentos) – Faculdade de Engenharia de Alimentos, Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2009.
- ANDREWS, P. K.; LI, S. Partial Purification and Characterization of β -D-Galactosidase from Sweet Cherry, a Nonclimacteric Fruit. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, v. 42, n. 10, p. 2177-2182, 1994.

- ARUTSELVI, R. et al. Phytochemical screening and comparative study of antimicrobial activity of leaves and rhizomes of turmeric varieties. **Asian Journal of Plant Science and Research**, v. 2, n. 2, p. 212-219, 2012.
- ASTM. Standard test method for tensile properties of thin plastic sheeting. In: **Annualbook of American Standard Testing Methods**. D883-99. Philadelphia, Pa.:ASTM, 1999.
- ATARÉS, L.; PÉREZ-MASIÁ, R.; CHIRALT, A. The role of some antioxidants in the HPMC film properties and lipid protection in coated toasted almonds. **Journal of Food Engineering**, v. 104, n. 4, p. 649-656, 2011.
- AVILA-SOSA, R. et al. Antifungal activity by vapor contact of essential oils added to amaranth, chitosan, or starch edible films. **International journal of food microbiology**, v. 153, n. 1, p. 66-72, 2012.
- AWAD, M. **Fisiologia pós-colheita de frutos**. São Paulo: Nobel, 1993.
- AYRANCI, E.; TUNC, S.. The effect of edible coatings on water and vitamin C loss of apricots (*Armeniaca vulgaris* Lam.) and green peppers (*Capsicum annuum* L.). **Food chemistry**, v. 87, n. 3, p. 339-342, 2004.
- AZEREDO, H. M. C; DE BRITTO, D.; ASSIS, O. Chitosan edible films and coatings-a review. **Chitosan: Manufacture, properties, and usage**. New York: New Science Publishers, p. 179-194, 2010.
- BABBAR, N. et al. Total phenolic content and antioxidant capacity of extracts obtained from six important fruit residues. **Food Research International**, v. 44, n. 1, p. 391-396, 2011.
- BALDWIN, E. A. et al. Improving storage life of cut apple and potato with edible coating. **Postharvest Biology and Technology**, v. 9, n. 2, p. 151-163, 1996.
- BALDWIN, E. A.; HAGENMAIER, A.; BAI, J. Edible coatings and films to improve food quality, ed. **Boca Raton, FL**, p. 15, 2012.
- BITENCOURT, C. M. **Desenvolvimento e aplicação de filmes à base de gelatina aditivados com extrato etanólico de cúrcuma (*Cúrcuma longa* L.)**. 2013. 108 p. Dissertação (Mestrado em Ciências) – Faculdade de Zootecnia e Engenharia de Alimentos, Universidade de São Paulo, Pirassununga, 2013.
- BLEINROTH, E. W. Matéria prima. In: INSTITUTO DE TECNOLOGIA DE ALIMENTOS. **Bananas: cultura, matéria-prima, processamento e aspectos econômicos**. 2. ed. Brasília, DF: Embrapa, 1995. (Série Frutas do Brasil).

- BODAGHI, H. et al. Evaluation of the photocatalytic antimicrobial effects of a TiO₂ nanocomposite food packaging film by in vitro and in vivo tests. **LWT-Food Science and Technology**, v. 50, n. 2, p. 702-706, 2013.
- BRAGA, M. E. M. et al. Comparison of yield, composition, and antioxidant activity of turmeric (*Curcuma longa* L.) extracts obtained using various techniques. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, v. 51, n. 22, p. 6604-6611, 2003.
- BRAZ, V. B. et al. Indução do amadurecimento de mangas cv. Tommy Atkins e cv. Ubá pela aplicação de ethephon pós-colheita. **Bragantia**, Campinas, v. 67, n. 1, p. 225-232, Feb. 2008.
- BRODY, A. L. Envasado de alimentos em atmosferas controladas, modificadas y vacío. Zaragoza: Acribia, 1996. 220 p.
- BUKZEM, A. L.; SANTOS, D. M.; ASCHERI, D. P. R. Filmes biodegradáveis a base de fécula de mandioca e bagaço de cevada obtidos por extrusão termoplástica. **Revista Agrotecnologia (ISSN 2179-5959)**, v. 3, n. 2, p. 89-107, 2012.
- CAMPOS, C. A.; GERSCHENSON, L. N.; FLORES, S. K. Development of edible films and coatings with antimicrobial activity. **Food and Bioprocess Technology**, v. 4, n. 6, p. 849-875, 2011.
- CHANA-THAWORN, J.; CHANTHACHUM, S.; WITTAYA, T. Properties and antimicrobial activity of edible films incorporated with kiam wood (*Cotyleobium lanceotatum*) extract. **LWT-Food Science and Technology**, v. 44, n. 1, p. 284-292, 2011.
- CHEN, H. Functional properties and applications of edible films made of milk proteins. **J. of Dairy Science**, Champaign, v. 78, n. 11, p. 2563-2583, 1995.
- CHITARRA, M. I. F.; CHITARRA, A. B. **Pós-colheita de frutos e hortaliças: fisiologia e manuseio**. 2. ed. rev. e ampl. Lavras: UFLA, 2005.
- COLLA, E. Biofilmes de farinha de amaranto adicionados de ácido esteárico: elaboração e aplicação em morangos frescos (*Fragaria ananassa*). 2004. 119p. Dissertação (Mestrado). Faculdade de Engenharia de Alimentos, Universidade 49 Estadual de Campinas, Campinas, 2004
- COMA, V. Bioactive packaging technologies for extended shelf life of meat-based products. **Meat science**, v. 78, n. 1, p. 90-103, 2008.
- COUGHLAN, K. et al. Combined Effects of Proteins and Polysaccharides on Physical Properties of Whey Protein Concentrate-based Edible Films. **Journal of food science**, v. 69, n. 6, p. E271-E275, 2004.

- DAINELLI, D. et al. Active and intelligent food packaging: legal aspects and safety concerns. **Trends in Food Science & Technology**, v. 19, p. S103-S112, 2008.
- DAMODARAN, S.; PARKIN, K. L.; FENNEMA, O. R. **Química de Alimentos de Fennema**. Porto alegre: Artmed, 2010. 900p.
- DIAS, A. B. et. al., Biodegradable films based on Rice starch and rice flour. **Journal of Cereal Science**, v. 51, p. 213-219, 2010.
- DONG, H. et al. Effects of chitosan coating on quality and shelf life of peeled litchi fruit. **Journal of Food Engineering**, v. 64, p.355–358, 2004.
- EMIROĞLU, Z. K. et al. Antimicrobial activity of soy edible films incorporated with thyme and oregano essential oils on fresh ground beef patties. **Meat Science**, v. 86, n. 2, p. 283-288, 2010.
- FAKHOURI, F. M. et al. Filmes e coberturas comestíveis compostas à base de amidos nativos e gelatina na conservação e aceitação sensorial de uvas Crimson. **Ciência e Tecnologia de Alimentos**, v. 27, n. 2, p. 369-375, 2007.
- FALCONE, D. M. B.; AGNELLI, J. A. M.; DE FARIA, L. I. Panorama setorial e perspectivas na área de polímeros biodegradáveis. **Polímeros Ciência e Tecnologia**, v. 17, n. 1, p. 5, 2007.
- FALGUERA, V. et al. 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, K. M.; CARVALHO, V. D. de; CAL-VIDAL, J. Physical changes during ripening of silver bananas. **Journal of Food Science**, Chicago, v.44, n.4, p.1254-1255, 1979.
- FREUND, R.P.; WASHAW, J.C.; MAGGION, M. Natural color for use in foods. **Cereal Foods World**, v. 33, n. 7, p. 553 - 556, 1988.
- FILHO, A. B. C. et al. Cúrcuma: planta medicinal, condimentar e de outros usos potenciais. **Ciência Rural**, v. 30, n. 1, 2000.
- FISCHER, R. L.; BENNETT, A. B. Role of cell wall hydrolases in fruit ripening. **Annual review of plant biology**, v. 42, n. 1, p. 675-703, 1991.
- 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, p. 811, 2006.

- GALLO, J. A. Q. et al. Lipid hydrophobicity, physical state and distribution effects on the properties of emulsion- based films. *Journal of Membrane Science*, v. 180, n. 1, p. 37-46, 2000
- GARCIA, M. A.; MARTINO, M. N.; ZARITZKY, N. E. Plasticized starch-based coatings to improve strawberry (*Fragaria×ananassa*) quality and stability. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, v. 46, n. 9, p. 3758-3767, 1998.
- GARRIDO, T. et al. Valorization of soya by-products for sustainable packaging. **Journal of Cleaner Production**, v. 64, p. 228-233, 2014.
- GOEL, A.; AGGARWAL, B. B. Curcumin, the golden spice from Indian saffron, is a chemosensitizer and radiosensitizer for tumors and chemoprotector and radioprotector for normal organs. **Nutrition and cancer**, v. 62, n. 7, p. 919-930, 2010.
- GÓMEZ-ESTACA, J. et al. Antioxidant properties of tuna-skin and bovine-hide gelatin films induced by the addition of oregano and rosemary extracts. **Food Chemistry**, v. 112, n. 1, p. 18-25, 2009.
- GÓMEZ-ESTACA, J. et al. Biodegradable gelatin–chitosan films incorporated with essential oils as antimicrobial agents for fish preservation. **Food Microbiology**, v. 27, n. 7, p. 889-896, 2010.
- GÓMEZ-ESTACA, J. et al. Advances in antioxidant active food packaging. **Trends in Food Science & Technology**, v. 35, n. 1, p. 42-51, 2014.
- GOVINDARAJAN, V.S. Turmeric: chemistry, technology and quality. *Critical Review Food Science Nutrition*, Boca Raton, v. 12, n. 3, p. 199-301, 1980.
- GOVINDARAJAN, V. S.; STAHL, W. H. Turmeric—chemistry, technology, and quality. **Critical Reviews in Food Science & Nutrition**, v. 12, n. 3, p. 199-301, 1980.
- GRIERSON, D. Senescence in fruits. **HortScience**, Alexandria, v. 22, n. 5, p. 859-862, 1987.
- GUILBERT, S.; GONTARD, N.; GORRIS, L. G. M. Prolongation of the shelf-life of perishable food products using biodegradable films and coatings. **LWT-Food Science and Technology**, v. 29, n. 1, p. 10-17, 1996.
- GUILBERT, S.; GONTARD, N. Agro-polymers for edible and biodegradable films: review of agricultural polymeric materials, physical and mechanical characteristics. **Innovations in food packaging**, p. 263-276, 2005.
- HENRIQUE, C. M.; CEREDA, M. P.; SARMENTO, S. B. S. Características físicas de filmes biodegradáveis produzidos a partir de amidos modificados de mandioca. **Ciência e Tecnologia de Alimentos**, v. 28, n. 1, p. 231-240, 2008.

- HERTWIG, I. F. Von. Curcuma. In: HERTWIG, I. F. Von. **Plantas aromáticas e medicinais**. São Paulo: Icone, 1986. p.254-265.
- HU, G., CHEN, J., GAO, J. Preparation and characteristics of oxidized potato starch films. *Carbohydrate Polymers*, v. 76, p. 291-298, 2009.
- JAGANNATH, J. H. et al. Mechanical and barrier properties of edible starch–protein-based films. **Journal of Applied Polymer Science**, v. 88, n. 1, p. 64-71, 2003.
- JOE, B.; VIJAYKUMAR, M.; LOKESH, B. R. Biological properties of curcumin-cellular and molecular mechanisms of action. **Critical reviews in food science and nutrition**, v. 44, n. 2, p. 97-111, 2004.
- JÚNIOR, A. V. et al. Biodegradable duo-functional active film: antioxidant and antimicrobial actions for the conservation of beef. **Food and Bioprocess Technology**, v. 8, n. 1, p. 75-87, 2015.
- KADER, A. A. Biochemical and physiological basis for effects of controlled and modified atmospheres on fruits and vegetables. **Food Technology**, v.40, n.5, p.99-100; 102-104, 1986.
- KANATT, Sweetie R. et al. Active chitosan–polyvinyl alcohol films with natural extracts. **Food Hydrocolloids**, v. 29, n. 2, p. 290-297, 2012.
- KANG, H. J.; MIN, S. C. Potato peel-based biopolymer film development using high-pressure homogenization, irradiation, and ultrasound. **LWT-Food Science and Technology**, v. 43, n. 6, p. 903-909, 2010.
- KATZ, P. S.; TRASK, A. J.; LUCCHESI, P. A. Curcuminoids: Spicing up sympathovagal tone. **Nutrition (Burbank, Los Angeles County, Calif.)**, v. 25, n. 7-8, p. 879, 2009.
- KAYS, S.J.; PAULL, R.E. **Postharvest biology**. Athens: EP press, 2004. 568 p.
- KAYSERLIOĞLU, B. Ş. et al. Use of xylan, an agricultural by-product, in wheat gluten based biodegradable films: mechanical, solubility and water vapor transfer rate properties. **Bioresource technology**, v. 87, n. 3, p. 239-246, 2003.
- KESTER, J. J.; FENNEMA, O. R. Edible films and coatings: a review. **Food technology (USA)**, 1986.
- KROCHTA, J. M.; MULDER-JOHNSTON, D. E. Edible and biodegradable polymer films: challenges and opportunities. **Food technology (USA)**, 1997.
- KUMAR, A.; DOGRA, S.; PRAKASH, A. Protective effect of curcumin (*Curcuma longa*), against aluminium toxicity: Possible behavioral and biochemical alterations in rats. **Behavioural brain research**, v. 205, n. 2, p. 384-390, 2009.

- LEAN, L. P.; MOHAMED, S. Antioxidative and antimycotic effects of turmeric, lemon-grass, betel leaves, clove, black pepper leaves and *Garcinia atriviridis* on butter cakes. **Journal of the Science of Food and Agriculture**, v. 79, n. 13, p. 1817-1822, 1999.
- LELIÈVRE, J.M.; LATCHÉ, A.; JONES, B.; BOUZAYEN, M. PECH J.C. Ethylene and fruit ripening. **Physiology Plantarum**, Copenhagen, v. 101, p. 727-739, July, 1997.
- LEONEL, M.; SARMENTO, S. B. S; CEREDA, M. P. New starches for the food industry: *Curcuma longa* and *Curcuma zedoaria*. **Carbohydrate Polymers**, v. 54, n. 3, p. 385-388, 2003.
- LIN, L.; LEE, K. H. Structure-activity relationships of curcumin and its analogs with different biological activities. **Studies in natural products chemistry**, v. 33, p. 785-812, 2006.
- LURIE, S.; KLEIN, J.; BEN-ARIE, R. Physiological changes in diphenylamine-treated ‘Granny Smith’ apples. **Israel Journal of Botany**, v. 38, n. 4, p. 199-207, 1989.
- LUVIELMO, M. M.; LAMAS, S. V. Revestimentos comestíveis em frutas. **Estudos Tecnológicos em Engenharia**, v. 8, n. 1, p. 8-15, 2012.
- MAIA, N. B. A cúrcuma como corante. In: SEMINÁRIO DE CORANTES NATURAIS, 2, 1991, Campinas. **Seminários**. p. 65.
- MALGARIM, M. B., et. al. Armazenamento refrigerado de laranjas cv. Navelina em diferentes concentrações de cera à base de carnaúba. **Acta Scientiarum. Agronomy**, v. 29, n. 1, p. 99-105, 2007.
- MALI, S.; GROSSMANN, M. V. E.; YAMASHITA, F. Filmes de amido: produção, propriedades e potencial de utilização. **Semina: Ciências Agrárias**, v. 31, n. 1, p. 137-156, 2010.
- MANIGLIA, B. C. **Elaboração de filmes biodegradáveis a partir do resíduo da extração do pigmento de Cúrcuma**. 2012. 172 p. Dissertação (Mestrado em Ciências) – Departamento de Química, Faculdade de Filosofia, Ciências e Letras, Universidade de São Paulo, Ribeirão Preto, 2012.
- MANIGLIA, B. C., et al. Development of bioactive edible film from turmeric dye solvent extraction residue. **LWT-Food Science and Technology**, v. 56, n. 2, p. 269-277, 2014.
- MANTILLA, N. et al. Multilayered antimicrobial edible coating and its effect on quality and shelf-life of fresh-cut pineapple (*Ananas comosus*). **LWT-Food Science and Technology**, v. 51, n. 1, p. 37-43, 2013.

- MAYACHIEW, P. et al. Effects of drying methods and conditions on antimicrobial activity of edible chitosan films enriched with galangal extract. **Food Research International**, v. 43, n. 1, p. 125-132, 2010.
- MENON, V. P.; SUDHEER, A. R. Antioxidant and anti-inflammatory properties of curcumin. In: **The molecular targets and therapeutic uses of curcumin in health and disease**. Springer US, p. 105-125, 2007.
- MIGUEL, A. C. A. et al. Pós-colheita de uva 'Itália' revestida com filmes à base de alginato de sódio e armazenada sob refrigeração. **Ciência e Tecnologia de Alimentos**, v. 29, n. 2, p. 277-282, 2009.
- MIQUEL, J. et al. The curcuma antioxidants: pharmacological effects and prospects for future clinical use. A review. **Archives of gerontology and geriatrics**, v. 34, n. 1, p. 37-46, 2002.
- MIRABELLA, N.; CASTELLANI, V.; SALA, S. Current options for the valorization of food manufacturing waste: a review. **Journal of Cleaner Production**, v. 65, p. 28-41, 2014.
- MUÑOZ-BONILLA, A.; FERNÁNDEZ-GARCÍA, M. Polymeric materials with antimicrobial activity. **Progress in Polymer Science**, v. 37, n. 2, p. 281-339, 2012.
- NAZ, S. et al. Antibacterial activity of Curcuma longa varieties against different strains of bacteria. **Pak. J. Bot**, v. 42, n. 1, p. 455-462, 2010.
- NISPEROS-CARRIEDO, M. O. Edible coatings and films based on polysaccharides. **Edible coatings and films to improve food quality**, v. 1, p. 322-323, 1994.
- NORAJIT, K.; KIM, K. M.; RYU, G. H. Comparative studies on the characterization and antioxidant properties of biodegradable alginate films containing ginseng extract. **Journal of Food Engineering**, v. 98, n. 3, p. 377-384, 2010.
- OETIKER, J.H.; YANG, S.F. The role of ethylene in fruit ripening. **Acta Horticulturae**, Leuven, n. 398, p. 167-178, 1995.
- OLIVAS, G. I.; BARBOSA-CÁNOVAS, G. V. Edible coatings for fresh-cut fruits. **Critical reviews in food science and nutrition**, v. 45, n. 7-8, p. 657-670, 2005.
- OLIVAS, G. I.; MATTINSON, D. S.; BARBOSA-CÁNOVAS, G. V. Alginate coatings for preservation of minimally processed 'Gala' apples. **Postharvest Biology and Technology**, v. 45, n. 1, p. 89-96, 2007.

- OLIVEIRA, C.S.; GRDEN, L.; RIBEIRO, C.O.M. Utilização de filmes comestíveis em alimentos. **Série em Ciência e Tecnologia de Alimentos: Desenvolvimentos em Tecnologia de Alimentos**, v. 1, p. 52-57, 2007.
- OUSSALAH, M. et al. Antimicrobial and antioxidant effects of milk protein-based film containing essential oils for the preservation of whole beef muscle. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, v. 52, n. 18, p. 5598-5605, 2004.
- P'ERIN, et al. Molecular and genetic characterization of a non-climacteric phenotype in melon reveals two loci conferring altered ethylene response in fruit. **Plant Physiology**, Rockville, v. 129, p. 300-309, 2002.
- PARAMASIVAM, M. et al. High-performance thin layer chromatographic method for quantitative determination of curcuminoids in *Curcuma longa* germplasm. **Food Chemistry**, v. 113, n. 2, p. 640-644, 2009.
- PARIZE, A. L. Desenvolvimento de sistemas microparticulados e de filmes a base de quitosana e corante natural cúrcuma. 2009. Tese (Doutorado em Química), Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2009.
- PARK, S. H.; LIM, H. S.; HWANG, S. Y. Evaluation of antioxidant, rheological, physical and sensorial properties of wheat flour dough and cake containing turmeric powder. **Food Science and Technology International**, v. 18, n. 5, p. 435-443, 2012.
- PASTOR, C. et al. Physical and antioxidant properties of chitosan and methylcellulose based films containing resveratrol. **Food Hydrocolloids**, v. 30, n. 1, p. 272-280, 2013.
- PELISSARI, F. M. et al. Comparative study on the properties of flour and starch films of plantain bananas (*Musa paradisiaca*). **Food Hydrocolloids**, v. 30, n. 2, p. 681-690, 2013.
- PEREIRA, A. S.; STRINGHETA, P. C. Considerações sobre a cultura e processamento do açafrão. **Horticultura Brasileira**, v. 16, n. 2, p. 102-5, 1998.
- PEREIRA, M. E. C. et al. Amadurecimento de mamão formosa com revestimento comestível à base de fécula de mandioca. **Ciência e Agrotecnologia**, v. 30, n. 6, p. 1116-1119, 2006.
- PEREZ-GAGO, M. B.; SERRA, M.; DEL RIO, M. A. Color change of fresh-cut apples coated with whey protein concentrate-based edible coatings. **Postharvest Biology and Technology**, v. 39, n. 1, p. 84-92, 2006.

- PÉREZ-MATEOS, M.; MONTERO, P.; GÓMEZ-GUILLÉN, M. C. Formulation and stability of biodegradable films made from cod gelatin and sunflower oil blends. **Food Hydrocolloids**, v. 23, n. 1, p. 53-61, 2009.
- PRUTHI, J. S. **Spices and condiments: chemistry, microbiology, technology**. New York: Academic Press, 1980. 434 p.
- PURVIS, A. C. The role of adaptative enzymes in carbohydrate oxidation by stressed and senescing and plant tissues. **HortScience**, Alexandria, v. 32, n. 7, p. 195-198, 1997.
- RHODES, M. J. C. The maturation and ripening of fruits. In: THIMANN, K.V.; ADELMAN, R.C., ROTH, G.S. **Senescence in plants**. Florida: CRC Press, 1980, cap.8 p. 157-205.
- ROBERTSON, G. L. **Food packaging: principles and practice**. CRC press, 2012.
- ROCHA, G. O. **Obtenção e caracterização de filmes biodegradáveis a partir de misturas de amido de mandioca e extrato protéico de soja**. 2009. 119 p. 2009. Tese de Doutorado. Dissertação (Mestrado em Ciência e Tecnologia de Alimentos)-Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, Seropédica, 2009.
- ROCHA, J. L. V. da. Fisiologia pós-colheita de banana. **Simpósio Brasileiro sobre bananicultura**, v. 1, p. 353-367, 1984.
- ROJAS-GRAÜ, M. A.; SOLIVA-FORTUNY, R.; MARTÍN-BELLOSO, O. Edible coatings to incorporate active ingredients to fresh-cut fruits: a review. **Trends in Food Science & Technology**, v. 20, n. 10, p. 438-447, 2009.
- RUIZ-NAVAJAS, Y. et al. In vitro antibacterial and antioxidant properties of chitosan edible films incorporated with Thymus moroderi or Thymus piperella essential oils. **Food Control**, v. 30, n. 2, p. 386-392, 2013.
- RUSIG, O.; MARTINS, M. C. Efeito da temperatura, do pH e da luz sobre extratos de oleorresina de cúrcuma (*Curcuma longa* L.) e curcumina. **Rev. Bras. Cor. Nat**, v. 1, p. 158-164, 1992.
- RYALL, A. L.; LIPTON, W. J. **Handling, transportation and storage of fruits and vegetables**. Westport, AVI Publishing Compan, v. 1, 1979.
- SALUNKHE, D. K. et al. **Storage, processing, and nutritional quality of fruits and vegetables. Volume I. Fresh fruits and vegetables**. CRC press, 1991.
- SALVIOLI, S. et al. Curcumin in cell death processes: a challenge for CAM of age-related pathologies. **Evidence-Based Complementary and Alternative Medicine**, v. 4, n. 2, p. 181-190, 2007.

- SANTOS, A. B.; OLIVEIRA, S. P. Utilização de açafrão (*Curcuma longa* L.) como corante natural para alimentos. **Boletim da SBCTA, Campinas**, v. 2, n. 25, p. 90, 1991.
- SGABIERI, V. C.; FIGUEIREDO, I. B. Transformações bioquímicas da banana durante o amadurecimento. **Revista brasileira de tecnologia**. Campinas, v. 2, n. 2, p. 85-94, 1971.
- SHOJAEE-ALIABADI, S. et al. Characterization of antioxidant-antimicrobial κ -carrageenan films containing *Satureja hortensis* essential oil. **International Journal of Biological Macromolecules**, v. 52, p. 116-124, 2013.
- SIKORA, E.; SCAPAGNINI, G.; BARBAGALLO, M. Curcumin, inflammation, ageing and age-related diseases. **Immunity & Ageing**, v. 7, n. 1, p. 1, 2010.
- SILVA-FILHO, C. R. M. et al. Avaliação da bioatividade dos extratos de cúrcuma (*Curcuma longa* L., Zingiberaceae) em *Artemia salina* e *Biomphalaria glabrata*. **Rev. bras. farmacogn**, v. 19, n. 4, p. 919-923, 2009.
- SINGH, G. et al. Comparative study of chemical composition and antioxidant activity of fresh and dry rhizomes of turmeric (*Curcuma longa* Linn.). **Food and Chemical Toxicology**, v. 48, n. 4, p. 1026-1031, 2010.
- SKURTYS, O.; AGUILERA, J. M. Formation of O/W macroemulsions with a circular microfluidic device using saponin and potato starch. **Food hydrocolloids**, v. 23, n. 7, p. 1810-1817, 2009.
- SOGI, D. S. et al. Effect of extraction parameters on curcumin yield from turmeric. **Journal of food science and technology**, v. 47, n. 3, p. 300-304, 2010.
- 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.
- SOTO BALLESTERO, M. **Banano - cultivo y comercialización**. 2.ed. San José: Litografía e Imprenta LIL, 1992. 674p.
- SOUZA, A. C. Desenvolvimento de embalagem biodegradável ativa a base de fécula de mandioca e agentes antimicrobianos naturais. 2011. 137 f. Tese (Doutorado em Engenharia Química) – Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2011.
- SOUZA, C. R. A. **Cúrcuma: caracterização, extração e estabilidade**. Belo Horizonte: UFMG - Faculdade de Farmácia. p.79, 1993.

- SOUZA, C. R. A.; GLÓRIA, M. B. A. Chemical analysis of turmeric from Minas Gerais, Brazil and comparison of methods for flavour free oleoresin. **Brazilian Archives of Biology and Technology**, v. 41, n. 2, 1998.
- SUN-WATERHOUSE, D. The development of fruit-based functional foods targeting the health and wellness market: a review. **International Journal of Food Science & Technology**, v. 46, n. 5, p. 899-920, 2011.
- TANADA-PALMU, P.; FAKHOURI, F. M.; GROSSO, C. RF Filmes biodegradáveis: extensão da vida útil de frutas tropicais. **Biotecnologia Ciência e Desenvolvimento, Brasília**, v. 26, p. 12, 2002.
- TAPIA-BLACIDO, D.; SOBRAL, P.J.; MENEGALLI F.C. Development and Characterization of Biofilms Based on Amaranth Flour (*Amaranthus caudatus*), **Journal of Food Engineering**, v. 67. p.215–223, 2005.
- TAPIA-BLÁCIDO, D. et al. Contribution of the starch, protein, and lipid fractions to the physical, thermal, and structural properties of amaranth (*Amaranthus caudatus*) flour films. **Journal of Food Science**, v. 72, n. 5, p. E293-E300, 2007.
- THARANATHAN, R. N. Biodegradable films and composite coatings: past, present and future. **Trends in Food Science & Technology**, v. 14, n. 3, p. 71-78, 2003.
- THOMPSON, A. K.; BURDEN, O. J. Harvesting and fruit care. In: **Bananas and plantains**. Springer Netherlands, 1995. p. 403-433.
- TUCKER, G. A. Introduction. In: SEYMOUR, G. B.; TAYLOR, J. E.; TUCKER, G. A. **Biochemistry of fruit ripening**. London: Chapman & Hall, 1993. cap.1 p. 2-51.
- TYAGI, A. K. et al. Essential oil vapour and negative air ions: a novel tool for food preservation. **Trends in Food Science & Technology**, v. 26, n. 2, p. 99-113, 2012.
- UCHOA, A. M. A. et al. Parâmetros físico-químicos, teor de fibra bruta e alimentar de pós alimentícios obtidos de resíduos de frutas tropicais. **Segurança Alimentar e Nutricional**, v. 15, n. 2, p. 58-65, 2008.
- VEIGA-SANTOS, P. et al. 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.
- VARGAS, M. et al. Recent advances in edible coatings for fresh and minimally processed fruits. **Critical Reviews in Food Science and Nutrition**, v. 48, n. 6, p. 496-511, 2008.

- VICENTINI, N. M. **Elaboração e caracterização de filmes comestíveis à base de fécula de mandioca para uso em pós-colheita.** 2003. Tese (Doutorado em Agronomia) – Faculdade de Ciências Agronômicas, Universidade Estadual Paulista, Botucatu, 2003.
- VILLADIEGO, A. M. D. et al. Filmes e revestimentos comestíveis na conservação de produtos alimentícios. **Revista Ceres**, v. 52, n. 300, p. 221, 2005.
- VIVIANI, L.; LEAL, P. M. Qualidade pós-colheita de banana Prata Anã armazenada sob diferentes condições. **Revista Brasileira de Fruticultura**, v. 29, n. 3, p. 465-470, 2007.
- WILLS, R.H.H. et al. **Postharvest:** an introduction to the physiology and handling of fruit and vegetables. Kensington: New South Wales University Press, 1981. 161p.
- WILLS, R.; McGLASSON, B.; GRAHAM, D.; JOYCE, D. **Introducción a la fisiología y manipulación poscoseha de frutas, hortalizas y plantas ornamentales.** Tradução de J. B. Gonzáles. 2. ed. Zaragoza: Acribia, 1998. 240 p.
- WU, J. et al. Preparation, properties and antioxidant activity of an active film from silver carp (*Hypophthalmichthys molitrix*) skin gelatin incorporated with green tea extract. **Food Hydrocolloids**, v. 32, n. 1, p. 42-51, 2013.
- YANG, S. F. Biosynthesis and action of ethylene. **HortScience**, Alexandria, v.20, p.41-45, 1985.

**2. FILMES A BASE DO RESÍDUO DA EXTRAÇÃO DO
CORANTE DE CÚRCUMA PLASTIFICADOS COM
GLICEROL E SORBITOL**

Resumo

A farinha obtida a partir do resíduo da extração de corante de cúrcuma foi caracterizada em função à sua composição centesimal, determinação da celulose, hemicelulose e lignina, atividade antioxidante, teor de curcuminóides e teor de compostos fenólicos totais, análises de microscopia eletrônica de varredura (MEV), espectroscopia de infravermelho (FTIR) e difração de raios-X. O efeito da concentração de farinha e de plastificante sobre as propriedades mecânicas, solubilidade, permeabilidade ao vapor de água (PVA), molhabilidade, atividade antioxidante, teor de curcuminóides e teor de compostos fenólicos totais dos filmes de farinha plastificados com glicerol e sorbitol foram estudados utilizando um Delineamento Central Composto Rotacional 2². Os resultados foram analisados estatisticamente segundo a metodologia de superfície de resposta. A concentração de farinha afetou de forma positiva a espessura, PVA e o teor de curcuminóides totais dos filmes plastificados com glicerol e sorbitol. Entretanto, esta variável afetou as propriedades de solubilidade, molhabilidade e teor de compostos fenólicos totais somente dos filmes com glicerol. A concentração de plastificante (glicerol ou sorbitol) afetou significativamente a solubilidade, PVA e molhabilidade de ambos os filmes. Filmes de farinha de cúrcuma com boas propriedades mecânicas, baixa permeabilidade ao vapor de água, alta atividade antioxidante, alto teor de curcuminóides e alto teor de compostos fenólicos totais podem ser produzidos utilizando 27,9 a 30 g glicerol/100 g farinha ou 30 a 42 g sorbitol/100 g farinha e concentração de farinha na faixa de 5% a 6,41%.

2.1. Materiais e métodos

2.1.1. Matéria-prima

A torta de cúrcuma foi fornecida pela Indústria de Corantes Firace S.A (Iguaraçu, Paraná), transportados a Ribeirão Preto em recipientes protegidos da luz e armazenados em refrigeração.

2.1.2. Produção de farinha de cúrcuma

A farinha de cúrcuma foi obtida por moagem úmida (Figura 2.1). A torta de cúrcuma (100 g) foi imersa em água e essa mistura foi mantida a temperatura de refrigeração (5 °C) durante 24 horas. Em seguida, foi realizada a moagem do material utilizando um liquidificador Oster (Modelo 6805-017) e o material moído foi peneirado através de uma peneira de aço inoxidável de abertura 177 µm de diâmetro (80 mesh). O resíduo não filtrado

foi seco em estufa microprocessada com circulação forçada (Marca Quimis - Q314M) a 45°C por 24 horas, moído e peneirado em peneira de 75µm de diâmetro (200 mesh) e foi denominado de farinha.

Figura 2.1. Procedimento utilizado para produção da farinha de cúrcuma.

2.1.3. Elaboração dos filmes de farinha de cúrcuma para avaliar as propriedades das coberturas

Os filmes foram elaborados por método *casting* a partir de uma suspensão da farinha em concentrações de 3,6, 4, 5, 6 e 6,4g de farinha/100 g de solução filmogênica utilizando glicerol ou sorbitol como plastificante em concentrações de 27,9, 30, 35, 40 e 42,1 g de plastificante/100 g de farinha. Para elaborar a solução filmogênica foram utilizadas as condições otimizadas por (MANIGLIA et al., 2014) para os filmes de farinha de cúrcuma com glicerol ou sorbitol. Assim, o pH da suspensão foi ajustado a 8,4 para os filmes com glicerol e 8,5 para os filmes com sorbitol utilizando uma solução de NaOH 0,1 mol/L. Seguidamente, a suspensão foi aquecida a 84,5°C para os filmes com glicerol ou 86,7°C para os filmes com sorbitol por 4 horas. Durante este período foi realizada a homogeneização da suspensão em intervalos de 1 hora durante 10 min a 12000 rpm utilizando um Ultraturrax (Marca Quimis – Q252). Antes de terminar o aquecimento foi adicionado o plastificante

(glicerol ou sorbitol). Finalmente, a solução foi espalhada em placas de acrílico (18x21 cm) e secas a 45°C em estufa (Marca Quimis – Q314M). Os filmes secos foram acondicionados em dessecadores contendo solução saturada de NaBr (58% UR a 25°C).

2.1.4. Caracterização da matéria-prima

2.1.4.1. Composição centesimal da torta e farinha de cúrcuma

As análises de composição centesimal foram realizadas em triplicata. A umidade da cúrcuma foi determinada de acordo com o método oficial da AOAC (1997). As amostras foram dessecadas em estufa a 105°C durante 24 horas. O teor de cinzas foi determinado segundo a técnica 923.03 da AOAC (1997). O teor de lipídeos foi determinado segundo o método de Bligh e Dyer (1959), que consiste em tratar a amostra com uma mistura de clorofórmio e metanol para a extração do lipídeo. A determinação do teor de proteínas foi obtida através da Metodologia Kjeldahl segundo a técnica 926.86 da AOAC (2005) e foi usado um fator de conversão de 6,25 para expressar os resultados em % de proteína.

2.1.4.2. Determinação de hemicelulose, celulose e lignina

As análises de teor de hemicelulose, celulose e lignina foram realizadas em triplicata.

Determinação de hemicelulose

O procedimento para determinação da hemicelulose foi realizado segundo metodologia descrita por Gouveia, Do Nascimento e Soto-Maior (2009), com algumas modificações.

Pesou-se 2 g de amostra seca e em seguida transferida para béqueres de 100 mL e tratadas com 10 mL de H₂SO₄ 72% v/v, sob vigorosa agitação, em um banho termostatzado a 45°C por 7 min. As amostras foram transferidas quantitativamente para erlenmeyers de 500 mL, adicionando-se o volume de 275 mL de água destilada. Os erlenmeyers foram vedados com papel alumínio e autoclavados por 30 min a 121°C. Após a descompressão da autoclave, os frascos foram retirados e resfriados à temperatura ambiente, sendo a fração sólida separada da fração líquida por filtração em papel de filtro qualitativo. A fração líquida foi transferida para balão volumétrico de 500 mL, completando-se o seu volume posteriormente com água destilada. O hidrolisado foi filtrado em membrana 0,45µm. As condições de análise para os carboidratos e ácidos orgânicos foram:

- Coluna Aminex HPX 87H (4.6mm x 250mm) – diâmetro da partícula 5µm, diâmetro do poro 100 Ångstron. Marca: Shimadzu;
- Temperatura do forno: 25°C. Marca: Shimadzu. Modelo: CTO-10ASVP;
- Detector Shimadzu: Arranjo de diodo (280 nm) – Modelo: SPD-10ADVP;
- Loop: 20 µL;
- Fluxo: 0,6 mL/min;
- Pressão: 152 kgf/cm²;
- Bomba Shimadzu LC-10AVP;
- Fase móvel = H₂SO₄ 0,005 mol/L;
- Gradiente : 0 – 12 min 45% Acetonitrila
12 – 32 minutos 45% - 100% Acetonitrila
32 – 40 minutos 100% Acetonitrila

Para a construção das curvas de calibração padrão dos carboidratos e dos ácidos orgânicos, foram analisadas soluções de cada analito nas seguintes concentrações (g/L):

- Xilose: 0,0778; 0,124; 0,311; 0,415; 0,622; 1,244.
- Arabinose: 0,0316; 0,0395; 0,0632; 0,158; 0,211; 0,316.
- Ácido Acético: 0,029; 0,036; 0,057; 0,143; 0,286.
- Furfural: 0,001; 0,005; 0,01; 0,032; 0,05.

Ao se determinar o teor de xilose, arabinose, furfural e ácido acético foi possível calcular os teores de hemicelulose utilizando fatores de conversão, conforme equação abaixo.

$$\%hemicelulose = \frac{0,88 \text{ Massa}_{Xil} + 0,88 \text{ Massa}_{Ara} + 1,37 \text{ Massa}_F + 0,72 \text{ Massa}_{Aa}}{M_A} * 100 \quad (2.1)$$

Onde: Xil: xilose, Ara: arabinose, F: furfural, Aa: ácido acético e M_A: Massa da amostra seca. Todas as massas expressas em gramas.

Determinação do Teor de Celulose

A quantidade de celulose foi determinada conforme metodologia adaptada por Sun (2004). Pesou-se 5,0 g de amostra em base seca, a qual se adicionou 100 mL de ácido acético aquoso 80% e 10 mL de ácido nítrico 70%. A mistura foi feita em tubo vedado com tampa rosca, o qual foi submetido à banho de glicerina na temperatura de 100°C por 20 min. Após, o mesmo resfriado em banho de gelo, adicionou-se 60 mL de água destilada. Neste ponto, o

reagente decantou e filtrou-se a vácuo o conteúdo do tubo. O resíduo decantado foi lavado várias vezes com água deionizada e etanol 95% de maneira a remover o ácido nítrico e os produtos gerados durante a extração. A amostra restante foi transferida para uma placa de Petri, previamente tarada e submetida à secagem em estufa a 70°C por 24 h. O teor de celulose foi calculado de acordo com a Equação 2.2.

$$\% \text{Celulose} = \frac{m_1}{m_2} \times 100 \quad (2.2)$$

Onde:

%Celulose = porcentagem do teor de celulose;

m_1 = massa (g) de celulose seca;

m_2 = massa (g) inicial da amostra.

Determinação do teor de lignina Klason

A lignina de Klason (insolúvel em ácido) foi determinada segundo a norma TAPPI T 222 om-22 (2002). Pesou-se 0,300 g de amostra seca e adicionou-se 3,0 mL de H₂SO₄ 72%, mantendo sob agitação à temperatura de 30°C. Em seguida transferiu-se a solução para um erlénmeyer de 150 mL e adicionou-se 84,0 mL de água. Em seguida, o erlénmeyer foi fechado e colocado em estufa a 120°C por 1 hora e, após resfriamento sob água corrente, filtrou-se em cadinho de vidro sinterizado. O filtrado foi coletado para a determinação do teor de lignina solúvel no ácido e a fração insolúvel foi lavada exaustivamente com água a 60°C. Após a secagem em estufa a 105°C até peso constante, calculou-se a porcentagem de lignina insolúvel em ácido (Lignina Klason). A alíquota de 2,00 mL do filtrado foi diluída 25,00 mL em balão volumétrico e foi medida a absorbância na região do ultravioleta em 215 e 280 nm utilizando uma solução de H₂SO₄ 0,024 mol.L⁻¹ como referência.

A concentração de lignina solúvel no ácido foi calculada pela Equação 2.3.

$$C_1 = 4,53 \frac{(A_{215} - A_{280})}{299,1} \quad (2.3)$$

Onde:

C_1 = concentração de lignina em g/L na solução diluída;

A_{215} = valor de absorbância a 215 nm;

A_{280} = valor de absorbância a 280 nm.

2.1.4.3. Análise da atividade antioxidante

A análise da atividade antioxidante da torta e da farinha de cúrcuma foi determinada utilizando duas técnicas: DPPH e HPLC. Pesou-se aproximadamente 100 mg de amostra em um béquer e adicionou-se 2 mL de metanol, deixou-se sob agitação por 3 horas à temperatura ambiente (~25°C) e protegido da luz. Após a preparação da amostra, separou-se 500 µL de sobrenadante em outro recipiente e adicionou-se 2 mL de solução metanólica do radical estável 2,2-difenil-1-picrilidrazil (DPPH) 0,06 mM. A mistura foi agitada por 30 minutos à temperatura ambiente e protegida da luz. O DPPH remanescente foi determinado por absorbância a 517 nm usando espectrofotômetro HP Hewlett Packard 8453 acoplado a um microcomputador HP Vectra XA 51166. O controle usado foi 500 µL de solução metanólica de DPPH (0,06 mM) sem a presença da amostra e para o branco utilizou-se apenas metanol. A atividade antioxidante da torta e farinha de cúrcuma foi calculada de acordo com a Equação 2.4 e expressa em porcentagem de atividade antioxidante (%AA) (MARTINS; CERQUEIRA; VICENTE, 2012):

$$\% AA = 100 \times \left(1 - \frac{A_{amostra}}{A_{controle}} \right) \quad (2.4)$$

Onde:

AA = atividade antioxidante;

Aamostra = absorbância da solução contendo a amostra;

Acontrole = absorbância da solução de DPPH sem adição da amostra.

Para analisar a atividade antioxidante por HPLC (Modelo: CTO-10ASVP, Shimadzu), 20 µl do sobrenadante (filme/metanol) foram usados nas seguintes condições (MARTINS; CERQUEIRA; VICENTE, 2012):

- Coluna: C-18 (250 x 4.6 mm) – diâmetro da partícula 5µm, diâmetro do poro 100 Ångstron. Marca: Shimadzu;
- Temperatura do forno: 40°C. Marca: Shimadzu. Modelo: CTO-10ASVP;
- Detector Shimadzu: Arranjo de diodo (254 nm) – Modelo: SPDM-10ADVP;
- Loop: 20 µL;
- Fluxo: 1,0 mL/min;
- Pressão: 152 kgf/cm²;
- Bomba Shimadzu LC-10AVP;
- Fase móvel = 45% acetonitrila : 55% solução aquosa 1% de ácido acético;

- Gradiente : 0 – 12 min 45% Acetonitrila
12 – 32 minutos 45% - 100% Acetonitrila
32 – 40 minutos 100% Acetonitrila

2.1.4.4. Teor de compostos fenólicos totais

O teor de compostos fenólicos totais da torta e da farinha de cúrcuma foi determinado pelo método de Folin-Ciocalteu. Pesou-se 5 g de amostra que foram homogeneizadas com 20 mL de etanol 95% sob vigorosa agitação e deixadas 24 h (4°C) antes da filtração. Em 0,5 mL do filtrado, em triplicata, adicionou-se 8 mL de água destilada e 0,5 mL da solução de Folin-Ciocalteu em meio aquoso (1:7) e manteve-se sob agitação por 3 minutos. Após este tempo acrescentou-se 1 mL de Na₂CO₃ 0,5 M, deixando reagir por 10 minutos. Mediu-se a absorbância na região do ultravioleta em 725 nm. O teor de fenólicos totais foi determinado por interpolação da absorbância das amostras contra uma curva analítica construída com padrões de ácido gálico (1 a 10 g/L) e expressos como mg de EAG (equivalentes de ácido gálico) por g de extrato. Para o cálculo da quantidade de compostos fenólicos totais foi utilizada a equação da reta da curva padrão construída com o ácido gálico $y = 0,006x - 0,0068$ ($R^2 = 0,992$), onde: y = absorbância e x = mg EAG/g de extrato.

2.1.4.5. Microestrutura da matéria-prima

As amostras secas da torta e farinha de cúrcuma foram colocadas em suportes de alumínio e cobertas com ouro por meio de pulverização catódica (SputterCoater, SCD050) para melhorar a condutividade. Empregou-se um Microscópio Eletrônico de Varredura marca ZEISS modelo EVO-50, sob voltagem de aceleração de 20 kV para a análise das amostras.

2.1.4.6. Espectroscopia de absorção na região do infravermelho (FTIR)

A análise de grupos funcionais presentes na torta e farinha de cúrcuma foi realizada por espectroscopia na região do infravermelho de 4000 a 650 cm⁻¹, resolução de 4 cm⁻¹, com 20 varreduras (VICENTINI et al., 2005), utilizando-se um espectrofotômetro Perkin Elmer modelo Spectrum One com transformada de Fourier, provido com o acessório UATR (atenuador de reflectância total universal). Para o tratamento dos resultados foi utilizado o software Spectrum One B (versão 5.31).

2.1.4.7. Difração de raios-x

As amostras foram colocadas em suporte de alumínio e analisadas à temperatura ambiente, utilizando-se um difratômetro de raios-X Siemens (modelo D5005), operando com filtro monocromático, radiação $K\alpha$ de cobre, corrente de 30 mA e voltagem de 40 kV, sendo a velocidade de varredura de $0,02^\circ$ por segundo, com ângulo 2θ variando de 2° a 50° .

O índice de cristalinidade das amostras foi calculado como o quociente entre a área cristalina (A_c) dos picos de maior difração e a área total (A_t) do difratograma, como descrito por Cheetham et al. (1998) e Nuwamanya et al. (2010). Para o cálculo da área correspondente aos picos característicos da região cristalina da amostra (A_c), uma linha na base desses picos foi plotada no difratograma, enquanto que para o cálculo da área total (A_t), a linha base foi plotada na faixa angular de 5 a 50° . O cálculo destas áreas foram realizados usando o software Origin v.8.5 (Northampton, MA, USA).

2.1.4.8. Análise estatística dos resultados

Foi realizado o teste de Tukey para comparar a composição da torta e da farinha de cúrcuma. A análise estatística foi feita utilizando-se o programa *Statistica* 12.0 para a comparação das médias das propriedades entre estes dois produtos no intervalo de 95% de confiança.

2.1.5. Caracterização dos filmes da farinha de cúrcuma

2.1.5.1. Propriedades mecânicas dos filmes

Os testes mecânicos de tração foram realizados em um Texturômetro TA TX Plus (TA Instrument, Inglaterra), empregando-se o software do equipamento “Texture Expert” versão 1.22. A tensão, alongação e módulo de Young foram determinados segundo a norma ASTM D 882-95, tendo uma média de cinco determinações em cada caso. Os filmes foram cortados segundo a Figura 2.2. Os filmes foram submetidos à tração com velocidade de $1,0$ mm/s, partindo-se de uma separação inicial de 80 mm, até a ruptura do filme. A tensão e a alongação na ruptura foram obtidas diretamente da curva de tensão em função da alongação, conhecidas as dimensões iniciais dos corpos de prova. O módulo de elasticidade ou módulo de Young foi obtido da tangente na região linear da curva e proporciona a medida da rigidez do filme.

Figura 2.2. Esquema do corpo de prova para teste de tração.

2.1.5.2. Solubilidade, umidade e permeabilidade ao vapor de água dos filmes

A solubilidade foi medida segundo a metodologia proposta por Gontard et al. (1992) como descrito por (TAPIA-BLÁCIDO; SOBRAL; MENEGALLI, 2011). Três discos de cada amostra de filme, com 2 cm de diâmetro, previamente pesadas, foram imersos em 50 mL de água contendo azida sódica (0,02% p/v), a 25°C, e mantidos por 24 horas, sob agitação esporádica, após o qual, foi determinado o conteúdo de matéria seca não solubilizada. A matéria sólida insolúvel foi determinada utilizando-se o método de filtração segundo a técnica 971.09 da AOAC (1995). A solubilidade foi calculada conforme a Equação 2.5:

$$\text{Solubilidade}(\%) = \left(1 - \frac{m_f}{m_i}\right) \times 100 \quad (2.5)$$

Onde:

m_f = massa da amostra seca em g;

m_i = massa da amostra inicial em g (b.s.).

A umidade dos filmes foi determinada segundo a técnica da ASTM D644-94 (ASTM, 1994). As amostras foram colocadas em placas petri e levadas à estufa a 105°C por 24 horas. A umidade dos filmes foi calculada a partir da Equação 2.6.

$$\text{Umidade}(\%) = \left(1 - \frac{m_f}{m_i}\right) \times 100 \quad (2.6)$$

Onde:

m_f = massa da amostra seca em g;

m_i = massa da amostra inicial em g (b.s.).

O teste de permeabilidade ao vapor de água (PVA) foi realizado utilizando um método padrão ASTM E96-95 modificado (ASTM, 1995) a 25 ± 2 °C. Amostras de filmes foram fixadas em suportes de alumínio com abertura circular de 34 mm, correspondendo à área do

filme exposta para a troca (Figura 2.3), e foram selados através de abertura circular em uma célula de permeação contendo gel de sílica (0% UR). As células foram colocadas em dessecadores contendo água destilada (100% UR, $P = 3,167$ kPa a 25°C), com ambiente equilibrado durante 48 horas antes da análise. A massa do sistema (suporte + filme) foi determinada em balança semi-analítica (Sartorius-BL210S) em intervalos de 1 hora durante 7 horas. As determinações foram realizadas em triplicata.

Figura 2.3. Célula utilizada para análise de permeabilidade ao vapor de água.

A PVA foi calculada utilizando a equação 2.7:

$$PVA = \frac{w}{t} \cdot \frac{\partial}{A \cdot \Delta P} \text{ (g.mm.h}^{-1} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{kPa}^{-1}) \quad (2.7)$$

Onde:

∂ = espessura média dos filmes,

A = área de permeação ($907,46 \text{ mm}^2$),

ΔP = diferença entre a pressão parcial da atmosfera sobre o gel de sílica e água pura ($3,168$ kPa, a 25°C),

w/t = calculada por regressão linear dos pontos experimentais de ganho de massa (g) da célula de medida em função do tempo para a zona de estado estacionário ($r^2 = 0,98$)

2.1.5.3. Cor e opacidade dos filmes

A cor dos filmes foi determinada usando um colorímetro portátil MiniScan XE (Hunterlab - Riston, Virginia, EUA) de acordo com o método HunterLab (1997), sendo L: variando de 0 (preto) a 100 (branco); a: do verde (-) ao vermelho (+); b: do azul (-) ao amarelo (+). Por este sistema, uma cor tem uma única localização específica numericamente em um espaço tridimensional esférico, definido por três eixos perpendiculares segundo o diagrama do sistema CIELab (Figura 2.4).

A cor é representada pela diferença de cor (ΔE^*), determinada pela equação 2.8:

$$\Delta E^* = \sqrt{(\Delta L^*)^2 + (\Delta a^*)^2 + (\Delta b^*)^2} \quad (2.8)$$

sendo ΔL^* , Δa^* , e Δb^* as diferenças entre os parâmetros das amostras e do padrão branco ($L^* = 93.49$, $a^* = -0.77$, $b^* = 1.40$).

Figura 2.4. Diagrama CIELab para os parâmetros de cor L^* , a^* e b^* .

Fonte: YUAN et al., 2007.

A opacidade dos filmes foi determinada segundo método HunterLab (1997), utilizando-se o mesmo aparelho das medidas de cor. A opacidade foi calculada como a relação entre a opacidade do filme sobreposto ao padrão preto (O_{pp}) e ao padrão branco (O_{pb}) (Equação 2.9):

$$Op. = \frac{O_{pp}}{O_{pb}} \times 100 \quad (2.9)$$

2.1.5.4. Análise da atividade antioxidante

A análise da atividade antioxidante dos filmes de cúrcuma foi determinada utilizando duas técnicas: DPPH e HPLC e seguiu-se o mesmo procedimento realizado para a torta e farinha de cúrcuma (ver item 2.1.4.3.).

2.1.5.5. Teor de compostos fenólicos totais

O teor de compostos fenólicos dos filmes de cúrcuma foi determinado pelo método de Folin-Ciocalteu, seguindo o mesmo procedimento realizado para a torta e farinha de cúrcuma (ver item 2.1.4.4.).

2.1.5.6. Molhabilidade dos filmes

A molhabilidade dos filmes foi analisada por medidas de ângulo de contato, as quais foram obtidas empregando-se o OCA-20 Dataphysics (OCA 20, Dataphysics, Germany), tomando-se imagens de uma gota de água (tensão superficial 72,7 mN/m) por um intervalo de dois minutos operado em ar e a temperatura ambiente. A evolução da forma da gota foi gravada com uma câmera para aquisição das imagens e uma fonte de luz para a formação de uma imagem nítida da gota do líquido sobre a superfície estudada. Foi utilizado o software de tratamento de imagem GIMP 2.6.8 para aferição do ângulo de contato, que é identificado na tangente à borda da gota, partindo a intersecção dos meios: líquido, sólido e gasoso (Figura 2.5). Os valores finais correspondem à média de 3 determinações (colocaram-se 3 gotas de água deionizada em diferentes locais do filme).

Figura 2.5. Esquema do ângulo de contato para uma gota de água sobre a superfície do filme.

Fonte: http://alfaconnection.net/pag_avsf/fqm0101.htm

2.1.6. Planejamento experimental

Para avaliar o efeito da concentração de plastificante e a concentração de farinha sobre as propriedades mecânicas, funcionais e propriedades antioxidantes das coberturas de farinha de cúrcuma foi utilizado um Delineamento Central Composto Rotacional 2^2 (4 experimentos + três pontos centrais + quatro pontos axiais) como mostrado na Tabela 2.1. A matriz do planejamento foi utilizada para cada tipo de plastificante: glicerol e sorbitol. A análise dos efeitos das variáveis estudadas (concentração da farinha e do plastificante) sobre as propriedades mecânicas (tensão, elongação e Módulo de Young), solubilidade em água, umidade, permeabilidade ao vapor de água, ângulo de contato, cor, opacidade, atividade antioxidante e teor de curcuminóides e de compostos fenólicos totais foram avaliadas utilizando *Statistica* 12.0. Os dados foram ajustados ao modelo polinomial de segunda ordem (Equação 2.10) segundo a Metodologia de Superfície de Resposta (MSR). A análise de

variância (ANOVA) foi realizada para avaliar a significância do modelo obtido para cada variável resposta a 95% de intervalo de confiança.

$$Y_i = b_0 + b_1 X_1 + b_2 X_2 + b_{12} X_1 X_2 + b_{11} X_1^2 + b_{22} X_2^2 \quad (2.10)$$

Sendo:

Y_i = função resposta;

X_1, X_2 = valores das variáveis independentes;

b_0 = coeficiente relativo à interpretação do plano com o eixo resposta;

b_1, b_2 e b_3 = coeficiente lineares estimados pelo método dos mínimos quadrados;

b_{11}, b_{22} e b_{33} = coeficientes das variáveis quadráticas;

b_{12} = coeficiente de interação entre as variáveis independentes.

Tabela 2.1. Delineamento Central Composto Rotacional 2^2 com as diferentes concentrações de farinha e plastificante.

Ensaio	$Cp^1(X_1)$	$Cf^2(X_2)$
1	30 (-1)	4 (-1)
2	30 (-1)	6 (+1)
3	40 (+1)	4 (-1)
4	40 (+1)	6 (+1)
5	27,9 (-1,414)	5 (0)
6	42,1 (+1,414)	5 (0)
7	35 (0)	3,6 (-1,414)
8	35 (0)	6,4 (+1,414)
9	35 (0)	5 (0)
10	35 (0)	5 (0)
11	35 (0)	5 (0)

X_1 e X_2 : valores codificados

¹concentração de plastificante: glicerol(Cg) ou sorbitol(Cs) (g/100g de farinha)

²concentração de farinha (g/100g de solução filmogênica)

2.2. Resultados e discussão

2.2.1. Caracterização da matéria-prima

2.2.1.1. Composição centesimal

A Tabela 2.2 apresenta a composição centesimal da torta e da farinha de cúrcuma.

Tabela 2.2. Composição centesimal da torta e da farinha de cúrcuma (g/100g b.s.)

Amostras	Cinzas (%)	Lipídeos (%)	Amido (%)	Umidade (%)*	Proteínas (%)
Torta	5,76± 0,12 ^a	4,93± 0,21 ^a	63,84	11,33 ± 0,19 ^a	4,17± 0,18 ^a
Farinha	2,77± 0,04 ^b	3,88± 0,14 ^b	72,74	5,80 ± 0,54 ^b	6,05±0,59 ^b

*expresso em base úmida

a,b: letras minúsculas diferentes na mesma coluna representam diferença significativa entre a torta e a farinha segundo o teste de Tukey, $p < 0,05$

Na Tabela 2.2 observa-se que ambas, a torta e a farinha de cúrcuma apresentam um importante conteúdo de amido, baixa umidade e também contém proteínas e lipídeos sendo, portanto, um material com potencial para a elaboração de filmes.

O teor de cinzas (5,76%) e o teor de proteínas (4,17%) obtido para a torta de cúrcuma foi menor do que o obtido por Maniglia (2012) (11,51%) e (9,33%), respectivamente. Porém, o teor de lipídeos (4,93%) e o teor de umidade (11,3%) foram maiores do que os relatados pelo mesmo autor (1,35%) e (5,44%), respectivamente. A farinha obtida neste trabalho também teve menor teor de cinzas e proteínas do que o obtido por Maniglia (2012). Esta diferença entre os valores se deve ao fato de que a torta de cúrcuma utilizada por Maniglia (2012) foi obtida a partir do resíduo da extração de corante com solvente etanol:isopropanol, diferente do material utilizado neste trabalho.

A partir do teste de Tukey pode-se observar que para todos os testes houve diferença significativa ($p < 0,05$) entre a torta e a farinha de cúrcuma. Em relação ao teor de amido, a farinha apresenta maior teor do que a torta, pois através da extração e moagem úmida, o amido é liberado de estruturas maiores como fibras, proteínas e lipídeos. A farinha apresentou maior teor de proteína, portanto, mais grupos hidrofóbicos podem estar neste material quando comparado com a torta, o que causa uma diminuição da sua capacidade de retenção de água, por isso possui menor valor de umidade do que a torta. Por outro lado, a farinha apresentou menor teor de lipídeos e cinzas do que a torta, indicando que a extração causou perdas destes componentes.

2.2.1.2. Teores de hemicelulose, celulose e lignina da torta e farinha de cúrcuma

A Tabela 2.3 apresenta os teores de hemicelulose, celulose, lignina solúvel e lignina não solúvel da torta e farinha de cúrcuma.

Tabela 2.3. Teores de hemicelulose, celulose e lignina da torta e farinha (g/100 g b.s.).

Frações	Hemicelulose (%)	Celulose (%)	Lignina Solúvel (%)	Lignina não solúvel (%)
Torta	5,90±0,40 ^a	8,27±0,05 ^a	1,55±0,06 ^a	5,58±0,84 ^a
Farinha	2,07±0,12 ^b	4,44±0,12 ^b	1,63±0,20 ^a	6,42±0,55 ^a

a,b: letras minúsculas diferentes na mesma coluna representam diferença significativa entre a torta e a farinha segundo o teste de Tukey, $p < 0,05$.

De acordo com o teste de Tukey ($p < 0,05$), houve diferença significativa entre a torta e a farinha de cúrcuma no teor de hemicelulose e celulose. Na Tabela 2.3 é possível observar que a torta possui maior teor de hemicelulose e celulose comparada à farinha. Isso se deve ao fato de que, além de serem pouco solúveis em água, as fibras estão aglomeradas e ficaram retidas na peneira de maior diâmetro de abertura, portanto encontram-se em menor quantidade na farinha. Para a lignina solúvel e não solúvel, não há diferença significativa ($p < 0,05$) para as amostras, mostrando que o processo de moagem não afetou esses valores.

2.2.1.3. Atividade antioxidante, curcuminóides e teor de compostos fenólicos totais da torta e farinha de cúrcuma

Na Figura 2.6 está apresentado o cromatograma do pigmento de cúrcuma, da torta e da farinha de cúrcuma, em que se observam três picos: um pico de alta intensidade por volta de 19,3 minutos de retenção, que corresponde à curcumina, um segundo pico em 18,2 correspondente à desmetoxicurcumina, e um terceiro pico a 16,7 minutos correspondente à bisdesmetoxicurcumina, conforme relatado por Tanaca et al. (2008). A Tabela 2.4 apresenta os valores dos curcuminóides presentes.

Figura 2.6. Cromatograma por HPLC do pigmento diluído 1000 x (a), Torta (b) e Farinha (c) de cúrcuma.

Tabela 2.4. Valores dos curcuminóides presentes na torta e farinha de cúrcuma.

Amostra	Curcumina (mg/L)	Demetoxicurcumina (mg/L)	Bisdemetoxicurcumina (mg/L)
Torta	10,45±0,20 ^a	11,77±0,20 ^a	2,96±0,12 ^a
Farinha	8,16±0,37 ^b	9,31±0,49 ^b	1,25±1,05 ^a

a,b: letras minúsculas diferentes na mesma coluna representam diferença significativa entre a torta e a farinha segundo o teste de Tukey, $p < 0,05$.

Na Tabela 2.4 observa-se que a torta possui maior teor de curcuminóides em relação à farinha. Isto se deve ao fato de que os curcuminóides são compostos fenólicos insolúveis em água, sendo assim, após a moagem úmida, eles ficam nas estruturas de maior tamanho de partícula (diâmetro >) retidos na peneira. Sendo assim, a metodologia de obtenção da farinha provocou uma perda de 21,9% de curcumina, 20,9% de demetoxicurcumina e 57,8% de bisdemetoxicurcumina. Dentre os curcuminóides, observa-se que em ambos materiais, a curcumina e demetoxicurcumina estão presentes em maior quantidade. Sendo a curcumina a principal responsável pela atividade antioxidante (ESATBEYOGLU et al., 2012), justifica-se a alta atividade antioxidante que a torta e a farinha apresentaram, como mostrado na Tabela 2.5. Nesta tabela pode ser observado que houve pequena diferença significativa entre a atividade antioxidante e os compostos fenólicos totais da torta e farinha. Maior teor de compostos fenólicos totais na farinha aumentou a atividade antioxidante deste material quando comparado com a torta.

Tabela 2.5. Atividade antioxidante e conteúdo de compostos fenólicos totais da torta e da farinha de cúrcuma.

Amostra	Atividade antioxidante (%)	Compostos fenólicos totais (mg de EAG/100 g extrato*)
Torta	76,5±0,85 ^b	22,7173±0,0333 ^b
Farinha	79,2±0,42 ^a	23,6002±0,0667 ^a

* expresso em base seca

a,b: letras minúsculas diferentes na mesma coluna representam diferença significativa entre a torta e a farinha segundo o teste de Tukey, $p < 0,05$.

2.2.1.4. Microestrutura da matéria-prima

Na Figura 2.7 apresentam-se as micrografias da torta e da farinha de cúrcuma. Observa-se que mesmo após a moagem, não é possível observar os grânulos de amido soltos, pois eles estão retidos em estruturas maiores formadas possivelmente por membranas fibrosas

que interagem com os grânulos, impedindo que eles fiquem soltos. Devido a isto, este produto não pode ser considerado um material puro. Este comportamento pode ser verificado com a composição centesimal do material, mostrada na Tabela 2.2, na qual se observa que este possui um importante teor de proteínas, lipídeos e material lignocelulósico, que estariam dificultando a extração do amido, pois impedem a entrada de água durante o processo de extração por moagem úmida. Isto também foi observado por Maniglia (2012).

Figura 2.7. MEV da (a) Torta e (b) Farinha de cúrcuma a 120x.

2.2.1.5. Espectroscopia de absorção na região do infravermelho (FTIR)

Na Figura 2.8 estão apresentados os espectros obtidos na região de infravermelho da torta e da farinha de cúrcuma.

Figura 2.8. Espectros de FTIR da torta e da farinha de cúrcuma.

Os espectros da torta e da farinha de cúrcuma são similares, indicando que a moagem não afetou a estrutura do material. As bandas apresentadas são típicas dos grupos funcionais em materiais lignocelulósicos (MANIGLIA, 2012). As amostras apresentaram uma banda em $3685\text{-}2987\text{ cm}^{-1}$ característico dos modos de alongamento simétrico e assimétrico das ligações O-H. Essa região possui uma ampla base arredondada que, de acordo com Solomons e Fryhle (2001), indica uma importante contribuição da molécula de água, que aparece teoricamente em 3500 cm^{-1} . O pico na região de $2987\text{-}2795\text{ cm}^{-1}$ corresponde ao estiramento das ligações C-H dos grupos metila ou metileno presentes em hemicelulosas e ligninas, obtidas a partir de resíduos agrícolas (ALRIOLS et al., 2009; SUN et al., 2011), também reportada em farinhas de amaranto (TAPIA-BLACIDO, 2006), quinoa (ARAUJO, 2008) e trigo (DIAS, 2008). A banda observada em $1759\text{-}1483\text{ cm}^{-1}$ é característica das vibrações dos anéis aromáticos da lignina, também reportado por (TRAVALINI, 2015; SHELAMI et al., 2012; SUN, X. et al., 2005), mas também tem sido reportada por outros autores como banda carboxila associada à celulose (TOMCZAK et al., 2007).

Também foi observada a banda em 1184 cm^{-1} atribuída às vibrações das deformações C-H e C-O de ligações C-O-C como reportado por Ren, Sun e Peng (2008) para hemiceluloses obtidas a partir de bagaço de cana. O pico em 1018 cm^{-1} corresponde ao alongamento da ligação C-OH das moléculas de amido.

2.2.1.6. Difratoograma de Raio-x

Na Figura 2.9 é apresentado o difratograma para a torta e farinha de cúrcuma. O difratograma de raio-X da torta mostrou cinco picos, um mais acentuado por volta de 17° e os picos menores por volta de 5° , 15° , 22° e 24° indicando que o amido é do tipo-B (MANIGLIA, 2012; BRAGA; MORESCHI; MEIRELES, 2006), com baixas quantidades de cadeias ramificadas e maiores proporções de cadeias longas. Este padrão é típico para amidos de tubérculos e raízes como é caracterizado por um pico de baixa intensidade em $5,61^\circ$, um pico mais acentuado em 17° e dois em 22° e 24° (SHUJUN; JINGLIN; WENYUAN, 2005; BILIADERIS, 1991). Para a farinha, o difratograma apresentou o mesmo comportamento do que para a torta, mas não é observado o pico por volta de 5° .

Figura 2.9. Difratograma da torta e da farinha de cúrcuma.

A partir dos difratogramas de raios-X obtidos para os materiais extraídos, foram calculados os índices de cristalinidade, que representam a razão entre a área do pico de difração e a área total de difração. Os índices de cristalinidade estão apresentados na Tabela 2.6.

Tabela 2.6. Cristalinidade (%) da torta e farinha de cúrcuma.

Amostra	Cristalinidade(%)
Torta	31,19
Farinha	21,19

O índice de cristalinidade da torta foi maior do que da farinha de cúrcuma, indicando que estruturas mais ordenadas estão presentes neste material, o qual também apresenta em sua composição fibras celulósicas que possuem ordenamento tridimensional com diferentes graus de perfeição. Segundo Sao et al. (1994), as propriedades mecânicas dos materiais lignocelulósicos são fortemente dependentes do índice de cristalinidade dos mesmos. Apesar das interferências das regiões amorfas da celulose e do amido, pode-se observar (Figura 2.9), a presença dos picos referentes aos planos cristalográficos nos seguintes ângulos de Bragg (2θ): $22,4^\circ$; $15,2^\circ$ e $34,4^\circ$, os quais são referentes aos planos cristalinos característicos de materiais lignocelulósicos. As amostras de cúrcuma apresentam lignina, hemicelulose e celulose, sendo que a lignina e a hemicelulose são macromoléculas amorfas, e as moléculas de celulose são orientadas aleatoriamente tendo a tendência de formar ligações de hidrogênio

intra e intermoleculares. Assim, à medida que a densidade de empacotamento da celulose aumenta, regiões cristalinas são formadas (ROWELL; YOUNG; ROWELL, 1997). Dessa forma, pode-se dizer que a diminuição do índice de cristalinidade ocorreu pela diminuição do conteúdo de celulose que contém em sua estrutura regiões cristalinas, como foi observado na composição centesimal (Tabela 2.2).

2.2.2. Caracterização dos filmes

2.2.2.1. Aspecto visual dos filmes elaborados

A Figura 2.10 apresenta cortes representativos dos 22 filmes de farinha de cúrcuma plastificados com glicerol ou sorbitol, sendo identificados de 1 a 11 conforme as combinações dos 11 ensaios do delineamento experimental. Todos os filmes apresentaram uma coloração que variou de amarela à marrom, tiveram boa aparência, homogêneos e de fácil manuseio. Com relação à diferença de cor entre os filmes, pode-se observar que os filmes elaborados com maior concentração de farinha: (6% de farinha e 40% de plastificante, 6,41% e 35% de plastificante) foram mais opacos e mais coloridos.

Figura 2.10. Aspecto visual dos filmes de farinha de cúrcuma plastificados com glicerol ou sorbitol. Cg: concentração de glicerol, Cs: concentração de sorbitol e Cf: concentração de farinha.

2.2.2.2. Delineamento central composto rotacional 2²

Os resultados de espessura, propriedades mecânicas, solubilidade, permeabilidade ao vapor de água, umidade, ângulo de contato, cor, opacidade, atividade antioxidante e teor de curcuminóides e fenólicos totais estão apresentados nas Tabelas 2.7, 2.9, 2.11, 2.13 e 2.14.

2.2.2.2.1. Espessura e propriedades mecânicas do filme

Na Tabela 2.7 são apresentados os valores da espessura e as propriedades mecânicas obtidas no teste de tração de ruptura para os filmes de farinha de cúrcuma elaborados segundo o Delineamento Experimental Central Composto Rotacional (DCCR) 2² utilizando glicerol e sorbitol como plastificante. Nesta tabela observa-se que em geral, independente da concentração de farinha e concentração de plastificante testada, os filmes elaborados com glicerol como plastificante foram menos resistentes à ruptura, mais alongáveis e menos rígidos (menores valores de módulo de Young) comparados com os filmes plastificados com sorbitol. Este mesmo comportamento foi relatado por outros autores (CUQ et al., 1997, TAPIA-BLÁCIDO; SOBRAL; MENEGALLI, 2005, MALI et al., 2005), os quais verificaram que isto ocorre devido ao glicerol ter menor massa molecular e ser mais higroscópico em relação ao sorbitol aumentando, assim, sua eficácia como plastificante. Dias et al. (2011) relataram que filmes de amido e farinha de arroz plastificados com glicerol apresentaram menor resistência à tração do que os filmes plastificados com sorbitol.

Tabela 2.7. Espessura e propriedades mecânicas dos filmes de farinha plastificados com glicerol e sorbitol elaborados segundo o DCCR 2².

Ensaio	Cp ¹ (X ₁)	Cf ² (X ₂)	Glicerol				Sorbitol			
			Espessura (µm)	TS (MPa)	E(%)	MY (MPa)	Espessura (µm)	TS (MPa)	E(%)	MY (MPa)
1	30(-1)	4(-1)	96,0±11,79	8,29±1,02	1,93±0,28	764,76±121,20	95,0±0,71	22,71±0,16	0,88±0,09	2367,90±177,34
2	30(-1)	6(+1)	115,0±8,89	4,68±0,49	3,84±0,79	309,67±59,57	123,0±9,10	9,35±0,88	0,29±0,02	2100,70±127,14
3	40(+1)	4(-1)	80,7±6,66	3,36±0,15	3,06±0,51	250,13±32,26	76,3±5,03	10,67±0,34	2,09±0,78	914,87±60,68
4	40(+1)	6(+1)	134,7±6,03	5,97±0,60	4,26±0,66	428,53±21,59	118,7±6,81	12,60±0,33	1,17±0,12	1174,40±36,29
5	27,93(-1,414)	5(0)	98,0±7,55	15,55±1,08	1,25±0,11	1412,65±58,76	96,7±2,52	10,91±0,37	0,61±0,19	1510,40±26,21
6	42,07(+1,414)	5(0)	113,3±1,53	3,60±1,02	4,63±0,54	177,65±16,33	116,7±6,66	14,20±2,65	1,52±0,25	1099,30±112,50
7	35(0)	3,59(-1,414)	88,0±14,14	6,32±1,03	4,22±0,18	437,35±77,57	66,7±2,08	14,95±0,75	1,09±0,15	1456,70±74,14
8	35(0)	6,41(+1,414)	138,7±28,02	5,13±0,50	3,62±0,43	403,57±69,45	106,3±4,93	10,99±0,68	1,54±0,33	985,13±39,23
9	35(0)	5(0)	110,7±2,52	3,69±0,42	1,90±0,48	317,06±76,19	115,5±3,54	9,35±0,46	1,94±0,07	890,17±58,48
10	35(0)	5(0)	108,0±2,83	4,88±1,58	2,98±0,83	371,77±92,90	98,0±7,55	10,41±1,40	1,73±0,16	939,13±60,93
11	35(0)	5(0)	105,0±7,21	2,93±0,24	2,49±0,37	232,80±31,66	112,0±4,24	9,40±0,43	1,90±0,53	851,50±36,02

X₁ e X₂: valores codificados¹concentração de plastificante: glicerol(Cg) ou sorbitol(Cs) (g/100g de farinha)²concentração de farinha (g/100g de solução filmogênica)

TS: tensão, E: elongação, MY: Módulo de Young

Em relação à concentração de plastificante, pode-se observar que com o aumento da concentração de glicerol de 27,93% a 42,07%, houve uma diminuição da tensão de 15,55 MPa para 3,60 MPa, e aumento na elongação de 1,25% para 4,63%, indicando uma forte influência deste plastificante sobre as propriedades mecânicas desses materiais. A diminuição da tensão e o aumento da elongação com o aumento do plastificante também foi relatado por diversos autores (ISOTTON, 2013; SOBRAL; OCUNO; SAVASTANO, 1998; MONTERREY-QUINTERO; SOBRAL, 2000), os quais também verificaram o efeito do plastificante em reduzir a força de ruptura na perfuração. Isotton (2013) verificou que o aumento de sorbitol e glicerol de 15 para 20% provocou uma diminuição da resistência à tração na ruptura de filmes de amido de milho esterificado de 33,3 MPa para 27,8 MPa e 2,0 MPa para 1,1 MPa, respectivamente. Monterrey-Quintero e Sobral (2000) também verificaram este mesmo comportamento, sendo que a força necessária à ruptura dos biofilmes variou de 2,94 N no filme com 70% de glicerol para 6,67 N no filme com 30% de glicerol e a deformação na ruptura apresentou valor de 2,71% no biofilme com 30% de glicerol e de 7,50% no biofilme com 70% de glicerol, justificando que a presença de plastificantes diminui a densidade das interações polímero-polímero, aumentando a mobilidade das cadeias polipeptídicas e consequentemente, tornando os filmes menos resistentes e mais elásticos.

Os filmes com maior concentração de farinha apresentaram maior resistência à tração e maior espessura devido ao aumento na concentração de amido, proteínas e fibras, os quais formam diferentes interações como amido-amido, proteína-amido, fibra-fibra, amido-fibra e proteína-fibras que em conjunto formam a matriz polimérica do filme, contendo sítios polares e hidrofílicos e sítios hidrofóbicos.

Os efeitos das variáveis C_p (C_g ou C_f) e C_f sobre a espessura e as propriedades mecânicas estão mostrados na Figura 2.11.

Figura 2.11. Diagramas de pareto para a (a) espessura, (b) tensão, (c) elongação e (d) módulo de Young, dos filmes plastificados com glicerol e sorbitol.

O Diagrama de Pareto está associado aos efeitos de cada variável individualmente e suas interação, de duas a duas, em que o efeito é tão significativo no rendimento quanto mais à direita da linha vermelha ele estiver, no nível de significância de 95 % de confiança (MOTHÉ, 2005). Utilizou-se esse tipo de gráfico para mostrar os

efeitos das variáveis estudadas (concentração de farinha e plastificante: glicerol ou sorbitol) e suas interações sobre a espessura, tensão, elongação, módulo de Young, solubilidade, umidade, permeabilidade ao vapor de água, ângulo de contato, cor, opacidade, atividade antioxidante, teor de curcuminóides e fenólicos totais.

Analisando os diagramas de Pareto obtidos para a espessura (Figura 2.11a) observa-se que tanto para os filmes plastificados com glicerol quanto para os plastificados com sorbitol, a concentração de plastificante (C_g , C_s) não teve efeito significativo sobre a espessura dos filmes. Entretanto, o parâmetro linear da concentração de farinha (C_f) teve efeito significativo e positivo na espessura dos filmes plastificados com glicerol e sorbitol, indicando que o aumento desta variável produz um aumento na espessura dos filmes. Este fato foi verificado também por Laohakunjit & Noomhorm (2004), que observaram que em filmes à base de amido de arroz plastificados com glicerol, apenas as concentrações de amido influenciaram na espessura dos filmes. Para os filmes plastificados com glicerol, pode-se observar que o parâmetro da interação da concentração de farinha e plastificante ($C_g \times C_f$) teve efeito significativo e positivo na espessura dos filmes, entretanto este efeito não foi observado para os filmes com sorbitol.

Na Figura 2.11b observa-se que para os filmes plastificados com glicerol, só os parâmetros linear e quadrático da C_g foram significativos ($p < 0,05$) para a tensão de ruptura. Entretanto, para os filmes plastificados com sorbitol, o parâmetro linear e quadrático da C_f e só o parâmetro quadrático de C_s , assim como a interação de $C_s \times C_f$ foram significativos para a tensão de ruptura dos filmes.

De acordo com a Figura 2.11c, para a elongação, os parâmetros linear, quadrático e de interação não foram significativos ($p > 0,05$) para os filmes plastificados com glicerol. Já para os filmes plastificados com sorbitol, a concentração de plastificante (C_s) varia linearmente de forma positiva, mostrando que conforme se aumenta a quantidade de plastificante, a elongação aumenta. Os termos quadráticos de C_s e C_f também foram significativos ($p < 0,05$) ambos com efeito negativo.

Observa-se na Figura 2.11d que em relação ao módulo de Young, para ambos os filmes de farinha de cúrcuma, o termo linear e quadrático da concentração de plastificante (C_g e C_s) foram significativos ($p < 0,05$), sendo o efeito negativo, ou seja, um aumento na concentração do plastificante causou diminuição do módulo de Young.

Entretanto, Cf foi significativa apenas para os filmes plastificados com sorbitol. A interação Cgx Cf e CsxCf foram significativas para ambos tipos de filmes.

Os valores de espessura, tensão, alongação e módulo de Young apresentados na Tabela 2.7 foram ajustados ao modelo quadrático polinomial segundo o delineamento central composto rotacional 2². Os coeficientes de regressão e a análise de variância (ANOVA) para estas variáveis de resposta estão mostradas na Tabela 2.8.

Tabela 2.8. Coeficiente de regressão e análise de variância (ANOVA) para as variáveis de resposta espessura, tensão, alongação e módulo de Young para os filmes de farinha plastificados com glicerol ou sorbitol.

	<i>Glicerol</i>				<i>Sorbitol</i>			
	Espessura	TS	E	MY	Espessura	TS	E	MY
	(μm)	(MPa)	(%)	(MPa)	(μm)	(MPa)	(%)	(MPa)
	Y_1	Y_2	Y_3	Y_4	Y_1	Y_2	Y_3	Y_4
β_0	0,11*	3,83*	2,46*	307,24*	0,11*	9,72*	1,86*	893,52*
Linear								
β_1	0,003	-2,57*	0,79	-267,80*	0,0005	-0,52	0,42*	-
β_2	0,018*	-0,33	0,28	-40,56	0,016*	-2,13*	-0,11	370,13*
Quadrático								
β_{11}	-0,002	2,35*	0,20	201,61*	0,0007	1,68*	-0,42*	-84,32*
β_{22}	0,002	0,43	0,69	14,21	-0,009	1,89*	-0,29*	299,87*
Interações								
β_{12}	0,009*	1,55	-0,18	158,37*	0,003	3,82*	-0,082	257,89*
R^2	0,93	0,65	0,68	0,74	0,61	0,79	0,76	0,72
$F_{\text{calculado}}$	54,42	7,55	2,18	6,75	13,92	5,76	7,37	2,56
F_{tabelado}	4,46	4,46	5,05	4,35	5,12	4,53	4,35	5,05
$F_{\text{falta de ajuste}}$	3,67	7,29	3,78	12,51	1,74	21,85	12,75	128,19
F_{tabelado}	19,33	19,33	19,16	19,30	19,35	19,25	19,30	19,16

TS: tensão, E: alongação, MY: Módulo de Young

$F_{\text{calculado}} > F_{\text{tabelado}}$: modelo significativo, $F_{\text{falta de ajuste}} < F_{\text{tabelado}}$: modelo significativo e preditivo, $p < 0,05$ (95% de intervalo de confiança).

*indica significância a 95% de intervalo de confiança

1: concentração de plastificante, 2: concentração de farinha.

Na Tabela 2.8 são apresentados os dados dos modelos de regressão obtidos para as variáveis: espessura, tensão, alongação e módulo de Young para os filmes

plastificados com glicerol ou sorbitol. Segundo o teste F, os modelos foram significativos ($F_{\text{calculado}} > F_{\text{tabelado}}$) para a espessura, tensão e módulo de Young para os filmes plastificados com glicerol e apresentaram falta de ajuste ($F_{\text{falta de ajuste}} < F_{\text{tabelado}}$), mostrando que estes modelos foram significativos e preditivos.

Para os filmes plastificados com sorbitol, os modelos de regressão obtidos para as variáveis espessura e elongação foram significativos segundo o teste F ($F_{\text{calculado}} > F_{\text{tabelado}}$) e preditivos ($F_{\text{tabelado}} > F_{\text{falta de ajuste}}$). Com base nestes modelos foram construídos os gráficos de superfície de resposta (Figura 2.12) para a espessura, tensão e módulo de Young dos filmes plastificados com glicerol, e espessura e elongação para os filmes plastificados com sorbitol em função da concentração de plastificante e de farinha.

Filmes com glicerol

Filmes com sorbitol

Figura 2.12. Superfícies de resposta da espessura (a), tensão (b), módulo de Young (c) dos filmes plastificados com glicerol, e espessura (d) e elongação (e) dos filmes plastificados com sorbitol.

Na Figura 2.12a observa-se que para os filmes plastificados com glicerol, a espessura aumentou em função ao aumento da concentração de farinha (C_f), em quase toda a faixa de concentração de plastificante. Assim, máximos valores de espessura podem ser obtidos na região compreendida entre $C_g > 35$ g glicerol/ 100 g de farinha e $C_f > 5$ g glicerol/ 100 g de farinha.

A superfície de resposta da tensão (Figura 2.12b) para os filmes plastificados com glicerol apresenta uma região de máximo ao longo da faixa de concentração de farinha (3,6-6%), porém em baixas concentrações de plastificante de até 30%, a superfície de resposta para o módulo de Young (Figura 2.12c) apresenta uma região de máximo semelhante à da tensão. Este comportamento também foi verificado por Ziani et al. (2008) que elaboraram filmes de quitosana com e sem glicerol e puderam observar que os filmes sem o plastificante apresentaram maior tensão e quando se adicionou o glicerol, ocorreu uma diminuição da tensão na tração em torno de 65%. Dias et al. (2011) também investigaram o efeito do glicerol e sorbitol em filmes de amido e farinha de arroz e observaram que conforme se aumentava a concentração de plastificante, a tensão dos filmes diminuía.

Para as superfícies de resposta dos filmes plastificados com sorbitol, a espessura (Figure 2.12d) também é influenciada pela concentração de farinha, de forma linear, onde à medida que se aumenta a concentração de farinha, ocorre um aumento da espessura e é possível encontrar uma região de máximo valor de espessura quando a concentração de farinha varia de 5,2-6,4%. Shimazu et al. (2007) e Santana (2013) observaram efeito semelhante em filmes a base de amido de mandioca e amido de semente de jaca, respectivamente, plastificado com glicerol e sorbitol, em que filmes com maior teor de amido apresentaram a maior espessura. A elongação dos filmes plastificados com sorbitol foi influenciada principalmente pela concentração de plastificante independente da concentração de farinha (Figura 2.12e). Observa-se uma região de máximo na faixa de concentração de plastificante de 32 a 42,1%. Resultados similares foram relatados por Lima et al. (2007) que verificaram a influência da adição de plastificante nos filmes de alginato de sódio puro obtendo como resultado um aumento na deformação do filme de 6,5% para 13% quando a quantidade de sorbitol variou de 0 para 30%. Vicentini (2003) observou um aumento de 3,28% para 7,34% e de 2,64% para 4,03% com o incremento da concentração de glicerina e sorbitol de 10

para 25% respectivamente, em filmes à base de fécula de mandioca, sendo o aumento mais acentuado para glicerina.

2.2.2.2.2. *Propriedades funcionais*

Na Tabela 2.9 são apresentados os valores de solubilidade, permeabilidade ao vapor de água, umidade e ângulo de contato dos filmes de farinha de cúrcuma produzidos segundo o Delineamento Central Composto Rotacional 2². Nesta tabela observa-se que os filmes de farinha de cúrcuma plastificados com glicerol ou sorbitol apresentaram valores de solubilidade entre 18,97% a 44,86%, valores menores do que a dos filmes biodegradáveis a base de amido de mandioca contendo conservador propionato de cálcio e permanganato de potássio, que apresentaram solubilidades variando de 78 a 86% (Yamashita et al., 2005). Também nota-se que a permeabilidade ao vapor de água foram diferentes para os filmes plastificados com glicerol (1,16 g.mm.h⁻¹.m⁻².kPa a 3,86 g.mm.h⁻¹.m⁻².kPa) e sorbitol (0,26 g.mm.h⁻¹.m⁻².kPa a 1,69 g.mm.h⁻¹.m⁻².kPa). De acordo com (Cuq et al., 1997) isso ocorre possivelmente devido à incorporação de plastificante à matriz dos filmes tornando-a menos densa e, conseqüentemente, mais permeável, facilitando assim a migração de moléculas de vapor de água. Também observa-se que os valores de umidade dos filmes plastificados com glicerol foram maiores do que dos filmes plastificados com sorbitol. Isto pode ser atribuído às diferenças estruturais entre os dois plastificantes e com o tipo de interação que fazem com a rede polimérica do amido. Glicerol e sorbitol são polióis, no entanto, o glicerol possui 3 carbonos ligados a 3 hidroxilas, e o sorbitol, 6 carbonos ligados a 6 hidroxilas, o que faz com que tenha uma maior capacidade de interação com as moléculas de amido, dando menor mobilidade às cadeias formadoras da matriz dos filmes e, conseqüentemente, diminuindo a sua capacidade de ligação com a água (SHIMAZU; MALI; GROSSMANN, 2007).

Em relação à concentração de farinha, para ambos os plastificantes utilizados, observa-se que o filme que apresenta maior concentração de farinha (Ensaio n° 8) se mostrou mais permeável comparado aos filmes com menor concentração (Ensaio n° 7). Isto ocorre, pois conforme aumenta o conteúdo de farinha, aumenta a espessura do filme, conseqüentemente há uma elevação dos valores de permeabilidade ao vapor de água. Esta relação também foi verificada por Park e Chinnan (1995) em filmes a base de zeína, gluten e derivados de celulose. Segundo estes autores a permeabilidade ao vapor

de água aumentou com a espessura, atribuindo as razões desse comportamento à possíveis mudanças estruturais da matriz do filme. Sobral (2000) analisou a influência da espessura de biofilmes feitos à base de proteínas miofibrilares (de carne bovina e de tilápia-do-nilo) sobre suas propriedades funcionais e observou também que a permeabilidade ao vapor de água aumentou com a espessura.

Tabela 2.9. Solubilidade, PVA, umidade e ângulo de contato dos filmes de cúrcuma plastificados com glicerol ou sorbitol.

Ensaio	Cp ¹ (X ₁)	Cf ² (X ₂)	Glicerol				Sorbitol			
			S (%)	PVA(g.mm .h ⁻¹ .m ² .kPa)	U (%)	AC (°)	S (%)	PVA(g.mm .h ⁻¹ .m ² .kPa)	U (%)	AC (°)
1	30(-1)	4(-1)	25,67±1,92	0,94±0,03	18,83±1,07	67,55±2,40	20,41±3,82	0,27±0,07	8,59±0,37	49,64±2,41
2	30(-1)	6(+1)	18,97±1,40	1,44±0,10	21,19±1,37	47,76±1,47	21,65±1,57	0,37±0,08	8,69±0,08	50,34±1,01
3	40(+1)	4(-1)	32,97±0,51	1,20±0,58	23,88±0,46	42,47±1,77	30,00±2,08	0,31±0,01	8,68±0,55	30,93±0,74
4	40(+1)	6(+1)	23,67±1,87	2,04±0,19	26,67±1,10	46,10±0,18	29,05±1,93	0,59±0,02	10,18±0,30	37,77±0,97
5	27,93(-1,414)	5(0)	34,28±1,34	1,16±0,08	12,01±1,30	37,66±2,39	34,40±0,49	0,26±0,06	7,59±0,28	48,52±0,75
6	42,07(+1,414)	5(0)	37,62±0,09	3,86±0,18	28,28±0,90	33,56±0,83	34,94±0,57	1,69±0,14	8,01±0,30	38,58±1,46
7	35(0)	3,59(-1,414)	44,86±0,81	1,36±0,09	14,80±0,06	48,98±1,50	26,47±4,59	0,26±0,06	7,93±0,02	41,02±1,56
8	35(0)	6,41(+1,414)	35,96±0,67	2,18±0,12	24,21±1,55	20,50±2,47	31,68±1,00	0,48±0,04	7,85±1,23	33,09±0,88
9	35(0)	5(0)	32,67±1,22	1,37±0,13	25,40±0,93	16,64±0,92	33,15±0,75	0,47±0,09	10,22±0,60	34,24±1,37
10	35(0)	5(0)	32,98±0,88	1,44±0,15	25,69±1,32	15,99±1,59	33,13±1,63	0,37±0,02	10,67±0,22	35,70±1,02
11	35(0)	5(0)	31,86±0,28	1,67±0,52	25,20±0,59	17,49±1,12	34,69±0,67	0,41±0,01	10,83±0,07	31,02±2,13

X₁ e X₂: valores codificados¹concentração de plastificante: glicerol(Cg) ou sorbitol(Cs) (g/100g de farinha)²concentração de farinha (g/100g de solução filmogênica)

S: solubilidade, PVA: permeabilidade ao vapor de água, U: umidade, AC: ângulo de contato.

Na análise da molhabilidade dos filmes através do ângulo de contato, observou-se que na maioria dos ensaios os valores dos ângulos dos filmes plastificados com glicerol foram menores do que dos filmes plastificados com sorbitol. Isto pode ser atribuído à hidrofiliidade dos filmes plastificados com glicerol comparada ao filmes plastificados com sorbitol, pois este como é uma molécula com seis grupos hidroxilas, possui uma maior interação com as moléculas presentes na farinha do que o glicerol, o que faz com que os filmes plastificados com sorbitol sejam menos hidrofílicos do que os filmes plastificados com glicerol (VICENTINI, 2003; JENSEN et al., 2005). Santana (2013) desenvolveu um trabalho com bioplásticos a base de amido da semente de jaca e verificou que em todas as concentrações de amido e 40% de sorbitol os filmes foram pouco hidrofílicos e a menor hidrofiliidade foi encontrada nos filmes com 6% de amido e 40% de sorbitol.

Os efeitos das variáveis Cp (Cg ou Cf) e Cf sobre as propriedades funcionais estão mostrados na Figura 2.13. Observa-se na Figura 2.13a que para os filmes plastificados com glicerol, os termos linear e quadrático de Cg foram significativos e o coeficiente linear da Cf também teve influência na solubilidade destes filmes. Assim, um aumento de Cg provoca um aumento da solubilidade dos filmes devido à hidrofiliidade do plastificante, entretanto o aumento de Cf provoca uma diminuição da solubilidade devido ao aumento do conteúdo de grupos hidrofóbicos dos lipídeos, proteínas e fibras. Os valores de solubilidade encontrados neste trabalho são semelhantes ao encontrado por Maniglia et al. (2014) para o filme de farinha de cúrcuma otimizado, sendo este valor de 36,32% de solubilidade para o filme com 5 g/ 100 g de suspensão e 30 g sorbitol/ 100 g farinha. Tapia-Blácido (2006) encontrou valores de solubilidade entre 40 e 60% para filmes elaborados com farinha de amaranto e glicerol e verificou que quanto maior a concentração do glicerol, maior foi a solubilidade dos filmes. Para os filmes plastificados com sorbitol, nota-se que o termo linear da Cs também influenciou em forma positiva, e o termo quadrático da Cf teve um efeito negativo sobre a solubilidade destes filmes. A interação CgxCf e CsxCf não foi significativa para ambos os filmes de farinha de cúrcuma plastificados com glicerol ou sorbitol.

Filmes com glicerol

Filmes com sorbitol

Figura 2.13. Diagramas de pareto para a (a) solubilidade, (b) permeabilidade ao vapor de água, (c) umidade e (d) ângulo de contato, dos filmes plastificados com glicerol e sorbitol.

De acordo com a Figura 2.13b, quanto à permeabilidade ao vapor d'água (PVA), para ambos os filmes os termos lineares de Cg e Cs foram significativos e positivos e o termo quadrático desta variável foi significativo e positivo apenas para os filmes

plastificados com glicerol, ao contrário dos filmes plastificados com sorbitol em que o termo quadrático da concentração de farinha foi significativo e negativo. De acordo com Martelli et al. (2006), o aumento do valor de PVA, na presença de plastificante, pode ser devido a modificações na rede de amido, fazendo com que ela fique menos densa, em razão do aumento da mobilidade polimérica associado à característica hidrofílica do plastificante que aumenta a sorção de moléculas de água. O termo de interação destas variáveis não afetou significativamente na permeabilidade ao vapor de água de ambos os tipos de filmes.

Na Figura 2.13c verifica-se que o termo linear tanto da C_g quanto da C_f foram significativos e positivos apenas para os filmes plastificados com glicerol, indicando que conforme se aumenta uma dessas variáveis, ocorre uma elevação da umidade. O efeito do glicerol sobre a umidade pode estar relacionado à característica hidrofílica deste plastificante. Quanto à concentração de farinha, esta é diretamente proporcional à umidade, pois conforme se aumenta a farinha, também há um aumento na quantidade de grupos hidrofílicos do amido ou proteínas, que podem interagir com as moléculas de água, fazendo com que haja um aumento na umidade dos filmes (Tapia-Blacido, 2006). Já para os filmes plastificados com sorbitol, apenas os termos quadráticos de ambas as variáveis foram significativos e negativos. O termo de interação $C_g \times C_f$ ou $C_s \times C_f$ não afetou significativamente na umidade de ambos os tipos de filmes.

Para molhabilidade dos filmes medidas a partir do ângulo de contato, analisando a Figura 2.13d, os termos linear e quadrático de C_g e C_f foram significativos para os filmes plastificados com glicerol, entretanto para os filmes plastificados com sorbitol só os termos linear e quadrático de C_s foram significativos. A concentração de plastificante teve efeito negativo sobre a molhabilidade de ambos os tipos de filmes, isto mostra que quando se aumenta esta variável, há uma diminuição do ângulo, ou seja, ocorre uma maior afinidade da superfície do material com a água devido à hidrofiliabilidade do plastificante.

Os coeficientes de regressão e a análise de variância (ANOVA) para as variáveis solubilidade, permeabilidade ao vapor de água, umidade e ângulo de contato estão mostradas na Tabela 2.10.

Tabela 2.10. Coeficiente de regressão e análise de variância (ANOVA) para a solubilidade, permeabilidade ao vapor de água, umidade e ângulo de contato para os filmes plastificados com glicerol ou sorbitol.

	<i>Glicerol</i>				<i>Sorbitol</i>			
	PVA				PVA			
	S (%)	(g.mm.h ⁻¹ .m ⁻² .kPa)	U (%)	AC (°)	S (%)	(g.mm.h ⁻¹ .m ⁻² .kPa)	U (%)	AC (°)
	Y_5	Y_6	Y_7	Y_8	Y_5	Y_6	Y_7	Y_8
β_0	32,51*	1,49*	25,43*	16,70*	33,66*	0,42*	10,57*	33,65*
Linear								
β_1	2,09*	0,58*	4,19*	-4,07*	2,22*	0,29*	0,27	-5,67*
β_2	-3,57*	0,31*	2,31*	-7,05*	0,96	0,086*	0,19	-0,46
Quadrático								
β_{11}	-1,49*	0,32*	-1,94*	13,40*	-1,14	0,21*	-1,09*	5,42*
β_{22}	0,74	-0,046	-2,26*	12,97*	-3,94*	-0,095*	-1,04*	2,17
Interações								
β_{12}	-0,65	0,085	0,11	5,85*	-0,55	0,045	0,35	1,53
R^2	0,31	0,65	0,83	0,78	0,45	0,66	0,67	0,74
$F_{\text{calculado}}$	1,05	4,34	7,79	3,48	3,33	2,92	8,14	11,61
F_{tabelado}	4,35	4,35	4,53	5,05	4,46	4,53	4,46	4,46
$F_{\text{falta de ajuste}}$	205,47	18,02	180,12	368,77	29,55	55,49	7,80	3,65
F_{tabelado}	19,30	19,30	19,25	19,16	19,33	19,25	19,33	19,33

S: solubilidade, PVA: permeabilidade ao vapor de água, U: umidade, AC: ângulo de contato.

$F_{\text{calculado}} > F_{\text{tabelado}}$: modelo significativo, $F_{\text{falta de ajuste}} < F_{\text{tabelado}}$: modelo significativo e preditivo, $p < 0,05$ (95% de intervalo de confiança).

1: concentração de plastificante, 2: concentração de farinha

Segundo a ANOVA e o teste F dos modelos obtidos para os filmes plastificados com glicerol (Tabela 2.10), só a umidade foi significativa ($F_{\text{calculado}} > F_{\text{tabelado}}$), mas este modelo não foi preditivo devido à falta de ajuste, portanto não foi gerada a superfície de modelo desta variável ($F_{\text{tabelado}} < F_{\text{falta de ajuste}}$). Por outro lado, para os filmes plastificados com sorbitol, só a umidade e o ângulo de contato foram significativos segundo o teste F ($F_{\text{calculado}} > F_{\text{tabelado}}$) e preditivos ($F_{\text{tabelado}} > F_{\text{falta de ajuste}}$). Na Figura 2.14, encontram-se as superfícies de resposta para estes modelos a umidade e ângulo de contato dos filmes plastificados com sorbitol em função da concentração de plastificante e de farinha.

Figura 2.14. Superfícies de resposta da umidade (a) e ângulo de contato (b) dos filmes plastificados com sorbitol.

Pela análise da Figura 2.14a, pode-se identificar que menores valores de umidade dos filmes de farinha de cúrcuma plastificados com sorbitol podem ser obtidos na faixa de concentração de farinha de 3,6-4% a 6-6,4% e de concentração de plastificante de 27,9-30% a 40-42,1%. A superfície de resposta para o ângulo de contato (Figura 2.14b) mostra que há regiões de maiores valores para esta variável em toda a faixa de concentração de farinha (3,6-6,4%) e em menores valores de concentração de plastificante (<30%), ou seja, nesta região os filmes apresentam maiores valores de ângulo de contato, sendo menos higroscópicos.

2.2.2.2.3. *Propriedades óticas*

Na Tabela 2.11 são apresentados os valores obtidos para os parâmetros de cor L^* , a^* e b^* , diferença total de cor (ΔE^*) e opacidade dos filmes de farinha de cúrcuma plastificados com glicerol e sorbitol segundo o Delineamento Experimental Central Composto Rotacional 2^2 .

Tabela 2.11. Cor e opacidade dos filmes de farinha de cúrcuma plastificados com glicerol ou sorbitol.

Ensaio	<i>Glicerol</i>							<i>Sorbitol</i>				
	Cp ¹ (X ₁)	Cf ² (X ₂)	L*	a*	b*	ΔE*	Op.(%)	L*	a*	b*	ΔE*	Op.(%)
1	30(-1)	4(-1)	33,23±1,06	22,66±0,16	31,96±0,89	51,37±1,39	40,34±0,38	29,73±0,89	21,85±0,86	35,90±1,68	51,48±2,09	34,53±0,07
2	30(-1)	6(+1)	37,90±0,26	22,52±0,22	39,11±0,50	58,93±0,60	34,83±0,69	32,34±0,52	24,62±0,52	42,01±0,17	58,45±0,75	37,68±0,74
3	40(+1)	4(-1)	30,57±0,31	21,79±0,12	29,10±0,44	47,50±0,55	43,63±0,65	34,59±0,14	22,34±0,09	34,34±0,68	53,62±0,70	37,44±0,67
4	40(+1)	6(+1)	28,67±0,11	21,29±0,40	21,60±0,37	41,73±0,56	55,86±0,76	31,01±1,15	23,75±0,36	32,10±1,37	50,56±1,82	43,22±0,64
5	27,93(-1,414)	5(0)	41,90±0,18	25,18±0,71	47,62±1,66	68,24±1,81	35,07±0,34	25,09±0,89	23,36±0,69	31,40±2,73	46,49±2,95	34,71±1,50
6	42,07(+1,414)	5(0)	36,84±0,63	24,42±0,43	34,08±1,32	55,81±1,52	44,57±1,36	33,83±0,85	24,18±0,33	34,52±1,03	54,04±1,38	40,02±0,39
7	35(0)	3,59(-1,414)	37,15±0,53	23,87±0,46	35,58±0,34	56,71±0,78	43,35±0,84	38,55±0,80	22,45±0,48	41,06±0,20	60,63±0,95	33,82±0,95
8	35(0)	6,41(+1,414)	31,36±0,45	23,19±0,24	23,76±0,34	45,67±0,61	49,37±0,12	27,72±0,28	24,93±0,21	30,55±0,54	48,20±0,64	38,56±0,14
9	35(0)	5(0)	35,77±0,28	25,54±0,27	34,14±0,59	55,65±0,71	40,56±1,02	36,52±0,84	24,93±0,29	39,22±0,64	59,11±1,10	37,98±0,15
10	35(0)	5(0)	32,72±0,86	25,55±0,15	34,30±0,26	53,85±0,91	41,21±0,77	35,27±0,50	23,60±0,28	42,24±0,08	59,88±0,58	28,91±0,28
11	35(0)	5(0)	34,06±0,67	25,14±0,15	33,59±0,68	54,04±0,97	41,77±0,11	34,18±0,47	23,26±0,20	36,45±0,80	55,12±0,95	36,84±0,53

X₁ e X₂: valores codificados¹concentração de plastificante: glicerol(Cg) ou sorbitol(Cs) (g/100g de farinha)²concentração de farinha (g/100g de solução filmogênica)

Pode-se verificar na Tabela 2.11 que os valores de L^* dos filmes de farinha de cúrcuma variaram de 28,67 a 41,90 para os filmes plastificados com glicerol e 25,09 a 38,55 para os filmes plastificados com sorbitol, indicando que não possuem uma boa transparência, pois quanto mais distante de 100, mais escura é a superfície. Isto pode ser explicado devido à cor amarelada dos filmes, o que, no caso dos filmes estudados é um fato interessante, pois é uma vantagem para proteger alimentos sensíveis a reações de deterioração catalisadas pela luz.

Em relação ao parâmetro a^* , os filmes plastificados com glicerol apresentaram valores entre 21,29 e 25,55 e os filmes plastificados com sorbitol, valores entre 21,85 e 24,93, indicando a presença do componente vermelho, enquanto que os dados do croma b^* apresentaram valores positivos, 21,60 a 47,62 para os filmes plastificados com glicerol e 30,55 a 42,24 para os filmes plastificados com sorbitol, indicando o componente amarelo. Os valores da diferença total de cor (ΔE^*) apresentados na Tabela 2.11 mostram que tanto os filmes de farinha de cúrcuma plastificados com glicerol quanto os filmes plastificados com sorbitol apresentaram praticamente a mesma coloração.

Os filmes plastificados com glicerol apresentaram valores de opacidade maiores do que os filmes plastificados com sorbitol, pois este, como possui maior número de hidroxilas, teve uma maior interação com as moléculas da farinha, causando então um efeito de diluição, o qual fez a opacidade ser menor. Este efeito também foi verificado por Sobral et al. (2004) que estudaram filmes com diferentes concentrações de plastificantes e de proteínas de músculo de tilápia-do-nilo e observaram que a opacidade dos filmes diminuiu com o aumento da concentração de glicerol, provavelmente pelo efeito de diluição provocado pelo glicerol, o qual é incolor e transparente.

Pelissari et al. (2009) obteve resultados similares ao caracterizar filmes de amido de mandioca, quitosana e glicerol, encontrando os maiores valores de opacidade em altas concentrações de quitosana, mostrando que a presença desse biopolímero possa originar filmes mais opacos e escuros, possivelmente devido a sua coloração amarelada característica.

Na Figura 2.15 são apresentados os efeitos das variáveis C_p (C_g ou C_f) e C_f sobre as propriedades ópticas.

Figura 2.15. Diagramas de pareto para a (a) diferença de cor (ΔE) e (b) opacidade dos filmes plastificados com glicerol e sorbitol.

Nota-se na Figura 2.15a que para os filmes plastificados com glicerol, todos os termos foram significativos, mostrando que tanto a concentração de plastificante quanto de farinha influenciaram na diferença de cor dos filmes. O termo linear das duas variáveis variaram de forma negativa, o que significa que aumentando tanto o plastificante quanto a farinha, ocorre uma diminuição de ΔE^* . A interação destas variáveis (CgxCf ou CsxCf) teve um efeito negativo, sendo que se houver um aumento destes fatores ou de apenas um deles, ocorre uma diminuição da diferença de cor. Para os filmes plastificados com sorbitol, nenhum dos coeficientes de regressão foi significativo.

Para a opacidade, de acordo com a Figura 2.15b, somente o termo quadrático da concentração de plastificante não foi significativo para os filmes plastificados com glicerol. Todos os termos variaram positivamente, ou seja, quando se aumenta ou a concentração de plastificante ou de farinha ou ambos, há uma elevação da opacidade. Este comportamento é devido ao aumento da concentração de curcuminóides, que produz filmes de farinha de cúrcuma mais opacos. Já para os filmes plastificados com sorbitol, nem a concentração de plastificante nem a de farinha influenciaram na opacidade desses filmes.

Os resultados mostrados na Tabela 2.11 foram ajustados segundo o modelo polinomial de segunda ordem utilizando o software *Statistica* 12.0. Os coeficientes de regressão e a análise de variância (ANOVA) para a diferença de cor e opacidade dos filmes plastificados com glicerol e sorbitol estão mostradas na Tabela 2.12.

Tabela 2.12. Coeficiente de regressão e análise de variância (ANOVA) para as variáveis de resposta diferença de cor (ΔE) e opacidade para os filmes plastificados com glicerol ou sorbitol.

	<i>Glicerol</i>		<i>Sorbitol</i>	
	ΔE	Op. (%)	ΔE	Op. (%)
	Y_9	Y_{10}	Y_9	Y_{10}
β_0	54,51*	40,67*	58,04*	34,58*
Linear				
β_1	-4,83*	4,72*	1,23	1,99
β_2	-1,73*	1,90*	-3,42	1,95
Quadrático				
β_{11}	2,07*	-0,54	-7,18	1,75
β_{22}	-3,34*	2,89*	-3,03	1,17
Interações				
β_{12}	-3,33*	4,43*	-5,01	0,66
R^2	0,74	0,95	0,54	0,61
$F_{\text{calculado}}$	2,85	27,78	1,17	1,57
F_{tabelado}	5,05	4,53	5,05	5,05
$F_{\text{falta de ajuste}}$	44,25	11,92	4,81	0,067
F_{tabelado}	19,16	19,25	19,16	19,16

$F_{\text{calculado}} > F_{\text{tabelado}}$: modelo significativo, $F_{\text{falta de ajuste}} < F_{\text{tabelado}}$: modelo significativo e preditivo, $p < 0,05$ (95% de intervalo de confiança).

1: concentração de plastificante, 2: concentração de farinha.

Observa-se pela Tabela 2.12 que para os filmes plastificados com glicerol, só a opacidade foi significativa e preditiva segundo o teste F. Para os filmes plastificados com sorbitol, as duas variáveis de resposta analisadas não foram significativas segundo o teste F.

A Figura 2.16 mostra a superfície de resposta para a opacidade dos filmes plastificados com glicerol. Nesta figura pode-se identificar regiões de mínimo na faixa

de concentração de farinha de 4 a 6,4% e com valores intermediários em toda a faixa de concentração de plastificante de 27,9 a 42,1%. A concavidade voltada para cima demonstra o efeito positivo causado pelas duas variáveis, ou seja, um aumento de qualquer uma delas ocorre um aumento da opacidade.

Figura 2.16. Superfícies de resposta da opacidade dos filmes plastificados com glicerol.

2.2.2.2.4. Atividade antioxidante, teor de curcuminóides e de compostos fenólicos totais.

Na Tabela 2.13 e 2.14 são apresentados os valores obtidos para o teor de curcuminóides totais e para a atividade antioxidante e teor de compostos fenólicos totais dos filmes de farinha de cúrcuma plastificados com glicerol ou sorbitol.

Tabela 2.13. Teor de curcuminóides totais dos filmes de farinha de cúrcuma plastificados com glicerol ou sorbitol.

Ensaio	Cp ¹ (X ₁)	Cf ² (X ₂)	Glicerol			Sorbitol		
			Curcumina (mg/L)	Demetoxicurcu mina (mg/L)	Bisdemetoxicurcu mina (mg/L)	Curcumina (mg/L)	Demetoxicurcu mina (mg/L)	Bisdemetoxicurcu mina (mg/L)
1	30(-1)	4(-1)	22,01±0,26	15,20±0,74	51,78±3,67	15,16±0,85	11,77±1,2	48,32±0,31
2	30(-1)	6(+1)	2,05±0,23	3,16±0,53	22,95±3,05	1,99±0,09	2,79±0,56	22,29±2,13
3	40(+1)	4(-1)	16,47±1,84	11,75±0,44	43,34±1,69	13,22±0,87	13,07±0,40	60,87±1,28
4	40(+1)	6(+1)	30,46±2,61	17,46±1,23	53,93±3,54	29,33±3,87	20,29±2,58	73,19±8,37
5	27,93(-1,414)	5(0)	2,42±0,12	3,21±0,07	18,01±1,24	19,72±1,24	14,39±0,82	52,66±3,15
6	42,07(+1,414)	5(0)	4,09±1,00	2,40±0,53	18,02±4,04	1,36±0,05	1,94±0,07	17,14±0,37
7	35(0)	3,59(-1,414)	0,93±0,10	0,39±0,03	5,84±0,18	3,96±0,29	5,81±0,55	38,22±2,79
8	35(0)	6,41(+1,414)	66,54±1,09	37,25±0,99	73,37±2,54	59,07±3,11	28,61±1,36	90,15±3,98
9	35(0)	5(0)	48,99±2,32	23,76±1,34	61,89±0,57	31,21±0,67	22,86±1,43	79,61±0,48
10	35(0)	5(0)	47,68±0,57	22,59±0,35	64,59±0,40	30,38±1,03	20,17±0,63	77,06±0,75
11	35(0)	5(0)	47,60±0,68	22,89±0,49	62,53±0,44	31,97±0,97	19,47±0,10	80,72±0,92

X₁ e X₂: valores codificados¹concentração de plastificante: glicerol(Cg) ou sorbitol(Cs) (g/100g de farinha)²concentração de farinha (g/100g de solução filmogênica)

De acordo com os dados da Tabela 2.13, observa-se que os maiores teores de curcuminóides, tanto para a curcumina quanto para a demetoxicurcumina e bisdemetoxicurcumina são encontrados nos filmes com maior concentração de farinha (Ensaio n° 8) e nos filmes cuja concentração de farinha e plastificante são intermediárias (Ensaio n° 9, 10 e 11) para ambos os tipos de filme: plastificados com glicerol ou sorbitol. Isto ocorre, pois conforme se aumenta a concentração de farinha, há um aumento da quantidade de pigmento e, conseqüentemente, um maior teor de curcuminóides totais. Os valores obtidos para este trabalho foram maiores do que os obtidos por Maniglia et al. (2014) para os filmes de farinha de cúrcuma, os quais foram 3,7; 0,8 e 0,1 mg/L referente à concentração de bisdemetoxicurcumina, demetoxicurcumina e curcumina, respectivamente. Esta diferença possivelmente ocorreu, pois neste trabalho não foi realizada a extração de corante pelo método Soxhlet utilizando etanol: isopropanol (1:1) como realizado por Maniglia et al. (2014) na farinha de cúrcuma.

Tabela 2.14. Atividade antioxidante e teor de compostos fenólicos totais dos filmes de farinha de cúrcuma plastificados com glicerol ou sorbitol.

Ensaio	Cp ¹ (X ₁)	Cf ² (X ₂)	<i>Glicerol</i>		<i>Sorbitol</i>	
			AA (%)	FTmg/100g (b.s.)	AA (%)	FTmg/100g (b.s.)
1	30(-1)	4(-1)	91,22±1,83	4,1288±0,0333	88,25±3,45	15,6799±0,0333
2	30(-1)	6(+1)	90,30±2,76	9,9984±0,0333	87,79±2,25	16,3626±0,0667
3	40(+1)	4(-1)	91,15±0,63	7,5257±0,0333	68,16±1,02	11,3419±0,2333
4	40(+1)	6(+1)	86,11±3,03	13,8985±0,0333	79,85±5,03	11,5748±0,2333
5	27,93(-1,414)	5(0)	78,65±3,23	2,9213±0,0667	66,35±5,70	9,3519±0,3333
6	42,07(+1,414)	5(0)	90,04±1,25	13,9041±0,2000	74,41±0,06	4,7712±0,0667
7	35(0)	3,59(-1,414)	66,36±2,04	8,5086±0,0667	73,89±0,89	10,8827±0,0333
8	35(0)	6,41(+1,414)	88,70±2,95	16,2595±0,0667	88,72±2,35	4,4416±0,0333
9	35(0)	5(0)	82,04±2,94	8,5939±0,2000	78,43±1,63	10,8215±0,2667
10	35(0)	5(0)	85,51±4,08	8,6596±0,0667	79,59±3,34	10,0526±0,1333
11	35(0)	5(0)	86,96±4,52	8,7416±0,1667	82,52±4,07	10,5993±0,3000

X₁ e X₂: valores codificados

¹concentração de plastificante: glicerol(Cg) ou sorbitol(Cs) (g/100g de farinha)

²concentração de farinha (g/100g de solução filmogênica)

AA: atividade antioxidante, FT: teor de fenólicos totais.

Segundo a Tabela 2.14, os filmes de farinha de cúrcuma plastificados com glicerol ou sorbitol apresentaram altos valores de atividade antioxidante, variando de 66,36% a 91,22%. Resultados similares também foram encontrados por Bitencourt (2013), que estudou a atividade antioxidante de filmes de gelatina com extrato etanólico de cúrcuma e verificou que a capacidade antioxidante dos filmes aumentou significativamente em função do aumento da concentração do extrato incorporado nos filmes, encontrando o valor de 80% de atividade antioxidante, relacionada ao sequestro do radical DPPH, para o filme de maior concentração desse extrato (200 g de extrato/100 g de gelatina).

Maniglia et al. (2015) avaliaram a atividade antioxidante do filme otimizado de cúrcuma e encontrou a porcentagem de atividade antioxidante referente ao sequestro do radical DPPH em torno de 46%, valor este que difere dos valores encontrados neste trabalho devido ao mesmo motivo explicado acima para o teor de curcuminóides totais. Observa-se uma menor atividade antioxidante para os filmes com menor concentração de plastificante (Ensaio n° 5), para ambos os tipos de filmes. Como não há uma relação da atividade antioxidante com o plastificante, o que pode ter ocorrido é que conforme se adiciona plastificante, há um aumento do espaçamento entre as cadeias do polímero e maior disponibilidade dos grupos deste para captar os radicais livres e como há uma menor concentração de plastificante, esses radicais não estão tão disponíveis, explicando a menor porcentagem de atividade antioxidante.

Cunha (2011) avaliou a atividade antioxidante de filmes de quitosana e apesar de relatar não haver uma relação entre o plastificante e a atividade antioxidante, verificou em seu trabalho um aumento desta com o aumento da concentração de glicerol, sendo que filmes com 1,5% de glicerol possuíam atividade antioxidante maior do que os filmes com 0,75% de glicerol.

Em relação ao teor de compostos fenólicos, para os filmes plastificados com glicerol, observam-se os maiores valores nos ensaios n° 4 e 8, este último referente à maior concentração de farinha utilizada e para os filmes plastificados com sorbitol, os maiores valores de fenólicos totais foram obtidos nos ensaios n° 1 e 2. Estes ensaios de ambos os filmes correspondem aos que apresentaram menor permeabilidade ao vapor de água. Este fato é devido ao aumento da formação de ligações cruzadas (via ligações de hidrogênio ou interações hidrofóbicas) entre os compostos fenólicos com as moléculas de amido e proteínas presentes na farinha de cúrcuma, que causa uma redução do volume livre da

matriz polimérica e, consequentemente, uma redução da permeabilidade ao vapor de água (Bitencourt, 2013).

Os efeitos das variáveis Cp (Cg ou Cf) e Cf sobre a atividade antioxidante, teor de curcuminóides e fenólicos totais estão mostrados na Figura 2.17.

Figura 2.17. Diagramas de pareto para a (a) atividade antioxidante, (b) teor de curcuminóides totais e (c) teor de fenólicos totais dos filmes plastificados com glicerol e sorbitol.

Analisando a Figura 2.17a, nota-se que a concentração de glicerol e a concentração de farinha não tiveram efeito significativo sobre a atividade antioxidante dos filmes de farinha de cúrcuma, portanto os dados mostrados na Tabela 2.14 não puderam ser ajustados ao modelo polinomial de segundo ordem. Já para os filmes plastificados com sorbitol, apenas o termo linear da concentração de farinha teve influência na atividade

antioxidante, variando de forma positiva, ou seja, um aumento desta variável causa uma elevação da atividade antioxidante devido ao aumento de grupos com radicais livres disponíveis, como os curcuminóides e outros compostos fenólicos.

Para os filmes plastificados com glicerol, pode ser observado na Figura 2.17b que os termos linear e quadrático de Cg e Cf e a interação entre estas duas variáveis foram estatisticamente significativos para os curcuminóides totais. Entretanto, para os filmes plastificados com sorbitol, o termo linear de Cs não foi significativo, mas a concentração de farinha também teve efeito positivo, assim como nos filmes com glicerol, mostrando que um aumento na concentração de farinha, causa um aumento no teor de curcuminóides, e o termo quadrático teve efeito negativo.

Nota-se na Figura 2.17c que para os fenólicos totais, os termos lineares e quadráticos para a Cg e Cf foram significativos para os filmes plastificados com glicerol, porém para os filmes com sorbitol, apenas os termos lineares da concentração de plastificante e de farinha foram significativos e variaram de forma negativa, sendo que quando há um aumento de uma destas variáveis, há uma diminuição da quantidade de fenólicos totais, diferentemente do que ocorre para os coeficientes lineares para os filmes plastificados com glicerol, que variaram positivamente.

Os coeficientes de regressão e a análise de variância (ANOVA) para as variáveis atividade antioxidante, curcuminóides totais e fenólicos totais estão mostradas na Tabela 2.15.

Tabela 2.15. Coeficiente de regressão e análise de variância (ANOVA) para a atividade antioxidante, curcuminóides totais e fenólicos totais para os filmes plastificados com glicerol ou sorbitol.

	<i>Glicerol</i>			<i>Sorbitol</i>		
	AA (%)	CT (mg/L)	FT (mg/100g b.s.)	AA (%)	CT (mg/L)	FT (mg/100g b.s.)
	Y_{11}	Y_{12}	Y_{13}	Y_{11}	Y_{12}	Y_{13}
β_0	84,83*	0,13*	2,41*	78,90*	0,13*	2,92*
Linear						
β_1	2,06	0,007*	0,82*	-2,08	0,002	-0,56*
β_2	3,09	0,026*	0,84*	4,03*	0,021*	-0,29*
Quadrático						
β_{11}	2,50	-0,051*	-0,15*	-3,61	-0,040*	-0,036
β_{22}	-1,58	-0,017*	0,42*	1,86	-0,010*	0,051
Interações						
β_{12}	-1,25	0,023*	0,036	3,04	0,021*	-0,032
R^2	0,37	0,70	0,92	0,24	0,59	0,29
$F_{\text{calculado}}$	0,46	2,30	11,40	2,50	2,18	1,62
F_{tabelado}	5,05	5,05	3,45	5,12	4,53	4,46
$F_{\text{falta de ajuste}}$	20,35	3319,99	819,69	14,70	250,20	101,82
F_{tabelado}	19,16	19,16	9,16	19,35	19,25	19,33

AA: atividade antioxidante, CT: teor de curcuminóides totais, FT: teor de fenólicos totais

$F_{\text{calculado}} > F_{\text{tabelado}}$: modelo significativo, $F_{\text{falta de ajuste}} < F_{\text{tabelado}}$: modelo significativo e preditivo, $p < 0,05$ (95% de intervalo de confiança).

1: concentração de plastificante, 2: concentração de farinha.

Através da Tabela 2.15 observa-se que para o teste F somente o teor de compostos fenólicos totais para os filmes plastificados com glicerol foi significativo ($F_{\text{calculado}} > F_{\text{tabelado}}$), mas não foi preditivo ($F_{\text{falta de ajuste}} > F_{\text{tabelado}}$), portanto não foi gerada a superfície de resposta para esta variável.

Para a determinação da formulação ótima dos filmes, como pela análise estatística, muitas variáveis não foram significativas, foram sugeridas algumas faixas de concentração de farinha e plastificante a serem testadas em bananas, levando em conta a combinação de melhores propriedades mecânicas, alta atividade antioxidante, teores de curcuminóides e fenólicos totais e baixa permeabilidade ao vapor de água. Sendo assim, as melhores faixas de concentração de plastificante e farinha para serem testadas foram:

- Concentração de plastificante: (27,93 g glicerol/ 100 g farinha – 30 g/ 100 g farinha) e (30 g sorbitol / 100 g farinha - 42,07 g/ 100 g farinha).
- Concentração de farinha: (5% - 6,41%).

2.3. Conclusão

A concentração de farinha afetou a espessura, a permeabilidade ao vapor de água, o teor de curcuminóides e o teor de compostos fenólicos totais tanto dos filmes plastificados com glicerol quanto dos filmes plastificados com sorbitol. No entanto, esta variável afetou a solubilidade, molhabilidade e o teor de compostos fenólicos totais somente dos filmes plastificados com glicerol. A resistência mecânica das coberturas de sorbitol foi afetada também pela concentração de farinha, entretanto esta propriedade só foi afetada pela concentração de plastificante nas coberturas com glicerol. A concentração de plastificante não afetou a elongação das coberturas plastificadas com glicerol, mas seu efeito foi evidente nas coberturas plastificadas com sorbitol. A concentração de plastificante (glicerol ou sorbitol) afetou significativamente a solubilidade, PVA e molhabilidade de ambos os filmes. Os resultados obtidos no Delineamento Central Composto Rotacional (DCCR) 2² para os filmes plastificadas com glicerol permitiram obter modelos significativos e preditivos somente para a espessura, tensão, módulo de Young e opacidade. Entretanto, para as coberturas plastificadas com sorbitol, os resultados foram bem ajustados para os modelos da espessura, elongação, umidade e ângulo de contato. Não foi possível obter um modelo para prever as propriedades de permeabilidade ao vapor de água, teor de curcuminóides totais e teor de compostos fenólicos totais na faixa de concentração de plastificante e concentração de farinha estudada. Baseado nos resultados obtidos no DCCR, as formulações que renderam filmes de farinha de cúrcuma com boas propriedades mecânicas, baixa permeabilidade ao vapor de água, alta atividade antioxidante, alto teor de curcuminóides e alto teor de compostos fenólicos totais estão compreendidas na faixa de concentração de glicerol de 27,93 a 30 g glicerol/100 g farinha, concentração de sorbitol de 30 g sorbitol/ 100 g farinha a 42,07 g sorbitol/ 100 g farinha e concentração de farinha na faixa de 5% a 6,41%.

2.4. Referências bibliográficas

- ALRIOLS, M. G., et al. Agricultural palm oil tree residues as raw material for cellulose, lignin and hemicelluloses production by ethylene glycol pulping process. **Chemical Engineering Journal**, v.148, p. 106–114, 2009.
- AOAC. **Official Methods of Analysis of AOAC International**. 15th ed. Vol. II, Chapter 49. Gaithersburg. Methods: 970.44; 971.22; 971.23; 975.35; 985.17, 1995.
- AOAC. **Official Methods of Analysis of AOAC International**. 16th ed. Washington: Association of Official Analytical Chemists, 1997.
- AOAC. **Official methods of analysis of the Association Analytical Chemists**. 18.ed. Gaithersburg, Maryland, 2005.
- ARAUJO, P. C. **Desenvolvimento de filmes biodegradáveis a partir de derivados de grão de quinoa (*Chenopodium quinoa*, Willdenow) da variedade “Real”**. 2008. p. 303. Tese (Doutorado em Engenharia de Alimentos) – Faculdade de Engenharia de Alimentos, Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2008.
- ASTM. Standard test methods for moisture content of paper and paperboard by oven drying. Method D644-94. In: **Annual book of American Standard Testing Methods**., American Society for Testing and Materials: Philadelphia, 1994.
- ASTM. Standard test method for tensile properties of thin plastic sheeting. Method D882-95. In: **Annual book of American Standard Testing Methods**. American Society for Testing and Materials: Philadelphia, 1995.
- ASTM. Standard test method of water vapor transmission of materials. Method E96-95. In: **Annual book of American Standard Testing Methods**. American Society for Testing and Materials: Philadelphia, 1995.
- BILIADERIS, C. G. The structure and interactions of starch with food. *Can. J. Physiol. Pharmacol.* v. 69, p. 60-78. 1991.
- BITENCOURT, C. M. **Desenvolvimento e aplicação de filmes à base de gelatina aditivados com extrato etanólico de cúrcuma (*Cúrcuma longa* L.)**. 2013. 108 p. Dissertação (Mestrado em Ciências) – Faculdade de Zootecnia e Engenharia de Alimentos, Universidade de São Paulo, Pirassununga, 2013.
- BLIGH, E. G; DYER, W. J. A rapid method of total lipid extraction and purification. **Can. J. Biochem. Physiol.** v.37, p. 911-917, 1959.

- BRAGA, M. E. M.; MORESCHI, S. R. M.; MEIRELES, M. A. A. Effects of supercritical fluid extraction on *Curcuma longa* L. and *Zingiber officinale* R. starches. **Carbohydrate Polymers**, v. 63, p. 340-346, 2006.
- CHEETHAM, N. W. H.; TAO L. The effects of amylose content on amylose molecular size and on the average chain length of amylopectin in maize starches. **Carbohydrate Polymer**, v.33, p.251–261, 1997.
- CUNHA, V. de; MARTINS, Â. M. **Desenvolvimento de Filmes de Quitosana com Atividade Antioxidante**. 2001. Dissertação (Mestrado em Engenharia Química) – Departamento de Química, Universidade de Aveiro, 2011.
- CUQ, B.; GONTARD, N.; GUILBERT, S. Thermoplastic properties of fish myofibrillar protein: application to biopackaging fabrication. **Polymer**, v.38, n.10, p. 2399-2405, 1997.
- DIAS, A. B. **Desenvolvimento e caracterização de filmes biodegradáveis obtidos de amido e de farinha de arroz**. 2008. 116 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Alimentos), Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2008.
- DIAS, A. B. et. al., Biodegradable films based on Rice starch and rice flour. **Journal of Cereal Science**, v. 51, p. 213-219, 2010.
- DIAS, A. B. et al. Mechanical and barrier properties of composite films based on rice flour and cellulose fibers. **LWT-Food Science and Technology**, v. 44, n. 2, p. 535-542, 2011.
- ESATBEYOGLU, T. et al. Curcumin—from molecule to biological function. **Angewandte Chemie International Edition**, v. 51, n. 22, p. 5308-5332, 2012.
- GONTARD, N.; GUILBERT, S.; CUQ, J. L. Edible wheat gluten films: influence of the main process variables on film properties using response surfacemethodology. **Journal of Food Science**, v. 57, n. 1, p. 190-195, 1992.
- GOUVEIA, E. R.; DO NASCIMENTO, R. T.; SOUTO-MAIOR, A. M. Validação de metodologia para a caracterização química de bagaço de cana-de-açúcar. **Química Nova**, v. 32, n. 6, p.1500-1503, 2009.
- HUNTERLAB. Manual do equipamento Hunter Lab. Imagem do sólido de cores. Disponível em: <http://www.hunterlab.com/appnotes/an02_01.pdf>. Acessado em: 15 de outubro de 2014.
- ISOTTON, F. S. **Desenvolvimento e caracterização de filmes de amido de milho eterificado com plastificante glicerol, sorbitol e poli (álcool vinílico)**. 2013. 100

- p. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Processos e Tecnologia), Universidade de Caxias do Sul, Caxias do Sul, 2013.
- JENSEN, S. et al. Isotermas de adsorção de filmes biodegradáveis de amido de aveia plastificados com glicerol e com sorbitol. In: **V Congresso Iberoamericano de Ingenieria de Alimentos**. 2005. p. 1-1.
- LAOHAKUNJIT, N.; NOOMHORM, A.. Effect of plasticizers on mechanical and barrier properties of rice starch film. **Starch-Stärke**, v. 56, n. 8, p. 348-356, 2004.
- LIMA, A. M. F. et al. Influência da adição de plastificante e do processo de reticulação na morfologia, absorção de água e propriedades mecânicas de filmes de alginato de sódio. **Quim. Nova**, v. 30, n. 4, p. 832-837, 2007.
- MALI, S. et al. Mechanical and thermal properties of yam starch films. **Food Hydrocolloids**, v. 19, n. 1, p. 157-164, 2005.
- MANIGLIA, B. C., et al. Turmeric dye extraction residue for use in bioactive film production: Optimization of turmeric film plasticized with glycerol. **LWT-Food Science and Technology**, v. 64, n. 2, p. 1187-1195, 2015.
- MANIGLIA, B.C., et. al. Development of bioactive edible film from turmeric dye solvent extraction residue., **LWT-Food Science and Technology**, v. 56, n. 2, p. 269-277, 2014.
- MANIGLIA, B. C. **Elaboração de filmes biodegradáveis a partir do resíduo da extração do pigmento de Cúrcuma**. 2012. 172 p. Dissertação (Mestrado em Ciências) – Departamento de Química, Faculdade de Filosofia, Ciências e Letras, Universidade de São Paulo, Ribeirão Preto, 2012.
- MARTELLI, S. M. et al. Influence of plasticizers on the water sorption isotherms and water vapor permeability of chicken feather keratin films. **LWT-Food Science and Technology**, v. 39, n. 3, p. 292-301, 2006.
- MARTINS, J. T.; CERQUEIRA, M. A.; VICENTE, A. A. Influence of α -tocopherol on physicochemical properties of chitosan-based films. **Food Hydrocolloids**, v. 27, p. 220-227, 2012.
- MONTERREY-QUINTERO, E. S.; SOBRAL, P. J. do A. Preparo e caracterização de proteínas miofibrilares de tilápia-do-nilo (*Oreochromis niloticus*) para elaboração de biofilmes. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.35, p.179-189, 2000.
- MOTHÉ, C. G. et al. Otimização da produção de biodiesel a partir de óleo de mamona. **Revista Analytica**, v. 19, p. 40-44, 2005.

- NUWAMANYA, E. et al. Crystalline and pasting properties of cassava starch are influenced by its molecular properties. **African Journal of Food Science**, v. 4, n. 1, p. 008-015, 2010.
- PARK, H. J.; CHINNAN, M. S. Gas and water vapor barrier properties of edible films from protein and cellulosic materials. **Journal of Food Engineering**, v. 25, n. 4, p. 497-507, 1995.
- PELISSARI, F. M. et al. Antimicrobial, mechanical, and barrier properties of cassava starch– chitosan films incorporated with oregano essential oil. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, v. 57, n. 16, p. 7499-7504, 2009.
- REN, J. L.; SUN, R. C. G.; PENG, F. Carboxymethylation of hemicelluloses isolated from sugarcane bagasse. **Polymer Degradation and Stability**, v. 93, p. 786-793, 2008.
- ROWELL, R. M.; YOUNG, R. A.; ROWELL, J. K. - "Paper and Composites from Agro-Based Resources", **Lewis Publishers**, New York, 1997.
- SANTANA, R. F. **Desenvolvimento e caracterização de bioplásticos a base de amido da semente de jaca plastificados com glicerol ou sorbitol**. 2013. 83 p. Dissertação (Engenharia de Processos de Alimentos), Universidade Estadual do Sudoeste da Bahia, Itapetinga, 2013.
- SAO, K. P.; SAMANTARAY, B. K.; BHATTACHERJEE, S. X-Ray study of crystallinity and disorder in Ramie fiber. **Journal of Applied Polymer Science**, v. 52, n. 12, p. 1687- 1694, 1994.
- SHELTAMI, R. M. et al. Extraction of cellulose nanocrystals from mengkuang leaves (*Pandanus tectorius*). **Carbohydrate Polymers**, v. 88, n. 2, p. 772-779, 2012.
- SHIMAZU, A. A.; MALI, S.; GROSSMANN, M. V. E. Efeitos plastificante e antiplastificante do glicerol e do sorbitol em filmes biodegradáveis de amido de mandioca. **Semina: Ciências Agrárias**, v. 28, n. 1, p. 79-88, 2007.
- SHUJUN, W.; JINGLIN, Y.; WENYUAN, G. Use of X-ray Diffractometry (XRD) for Identification of Fritillaria According to Geographical Origin. **American Journal of Biochemistry and Biotechnology**, v.1, p.207-211, 2005.
- SOBRAL, P. J. A.; OCUNO, D.; SAVASTANO JR., H. Preparo de Proteínas Miofibrilares de Carne e Elaboração de Biofilmes com Dois Tipos de Ácidos: Propriedades Mecânicas. **Brazilian Journal of Food Technology**, v. 1, n. 1/2, p. 44- 52, 1998.

- SOBRAL, P. J. A. Influência da espessura sobre certas propriedades de biofilmes à base de proteínas miofibrilares. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 35, n. 6, p. 1251-1259, 2000.
- SOBRAL, P. J. A. et al. Propriedades de filmes comestíveis produzidos com diferentes concentrações de plastificantes e de proteínas do músculo de tilápia-do-nylo. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 39, n. 3, p. 255-262, 2004.
- SOLOMONS, G.; FRYHLE, C. Química Orgânica, 7ª edição, editora LTD. v.1. 532 p., 2001.
- SUN, J. X.; SUN, X. F.; ZHAO, H.; SUN, R. C. Isolation and characterization of cellulose from sugarcane bagasse. **Polymer Degradation and Stability**, Oxford, v. 84, p. 331-339, 2004.
- SUN, X. F. et al. Structural characterization and isolation of lignin and hemicelluloses from barley straw. **Industrial Crops and Products**, v.33, p. 588-598, 2011.
- SUN, X. F. et al. Characteristics of degraded cellulose obtained from steam-exploded wheat straw. **Carbohydrate research**, v. 340, n. 1, p. 97-106, 2005.
- TANACA, K. et al. Quantitation of Curcuminoids in Curcuma Rhizome by Near-infrared Spectroscopic Analysis. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**. v. 56. p. 8787 – 8792, 2008.
- TAPIA-BLÁCIDO, D. R.; DO AMARAL SOBRAL, P. J.; MENEGALLI, F. C. Optimization of amaranth flour films plasticized with glycerol and sorbitol by multi-response analysis. **LWT-Food Science and Technology**, v. 44, n. 8, p. 1731-1738, 2011.
- TAPIA-BLACIDO, D. R. **Filmes a base de derivados do amaranto para uso em alimentos**. 2006. 385 p. Tese (Doutorado em Engenharia de Alimentos) – Faculdade de Engenharia de Alimentos, Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2006.
- TAPIA-BLACIDO, D.; SOBRAL, P.J.; and MENEGALLI F.C. Development and Characterization of Biofilms Based on Amaranth Flour (*Amaranthus caudatus*), **Journal of Food Engineering**, v. 67. p.215–223, 2005.
- TAPPI. T 222 om-02. **Acid-insoluble lignin in wood and pulp**. 2002c, 5 p.
- TOMCZAK, F.; SATYANARAYANA, K. G.; SYDENSTRICKER, T. H. D. Studies on lignocellulosic fibers of Brazil: Part III – Morphology and properties of Brazilian Curauá fibers. **Composites: Part A**, v.38, p. 2227–2236, 2007.

- TRAVALINI, A. P. **Extração, modificação e aplicação da fibra do bagaço de mandioca (*Manihot esculenta* Crantz).** 2015. 131 p. Dissertação (Mestrado em Ciência e Tecnologia de Alimentos), Universidade Estadual de Ponta Grossa, Ponta Grossa, 2015.
- VICENTINI, N. M. et al. Prediction of cassava starch edible film properties by chemometric analysis of infrared spectra. **Spectroscopy Letters**, v. 38, n. 6, p. 749-767, 2005.
- VICENTINI, N. M. **Elaboração e caracterização de filmes comestíveis à base de fécula de mandioca para uso em pós-colheita.** 2003. Tese (Doutorado em Agronomia) – Faculdade de Ciências Agronômicas, Universidade Estadual Paulista, Botucatu, 2003.
- YAMASHITA, F. et al. Biodegradable active packaging for minimally processed fruits and vegetables. **Brazilian Journal of Food Technology**, v. 8, p. 335-343, 2005.
- YUAN, J. C. et al. Defining a natural tooth color space based on a 3-dimensional shade system. **The Journal of prosthetic dentistry**, v. 98, n. 2, p. 110-119, 2007.
- ZIANI, K. et al. Effect of the presence of glycerol and Tween 20 on the chemical and physical properties of films based on chitosan with different degree of deacetylation. **LWT-Food Science and Technology**, v. 41, n. 10, p. 2159-2165, 2008.

**3. COBERTURAS A BASE DO RESÍDUO DA EXTRAÇÃO DE
CORANTE DE CÚRCUMA APLICADAS EM BANANAS
‘MAÇÃ’**

Resumo

Cobertura de farinha de cúrcuma foram aplicadas a bananas “Maçã” e foi avaliado o seu efeito na conservação pós-colheita destes frutos armazenados a 27°C e 65% de umidade relativa por 15 dias. A concentração de farinha e de glicerol utilizada para preparar a cobertura (6% de farinha e 30 g glicerol/100 g de farinha), foi escolhida em função aos resultados obtidos no capítulo anterior. Esta formulação permitiu obter filmes com alta atividade antioxidante, teores de curcuminóides e fenólicos totais e baixa permeabilidade ao vapor de água. O efeito da cobertura sobre a conservação pós-colheita da banana foi avaliada em função à perda de massa, firmeza da polpa, pH, acidez titulável, sólidos solúveis, açúcares redutores e cor da casca. Os resultados mostraram que a cobertura foi eficiente em diminuir a perda de massa, o teor de açúcares redutores, a acidez, a perda da firmeza e a cor da casca principalmente durante a etapa de maturação do fruto. Entretanto, não foi observado grande efeito da cobertura sobre o pH e o teor de sólidos solúveis durante o período estudado. As bananas sem a cobertura tiveram vida útil de 6 dias, enquanto as bananas com cobertura tiveram vida útil de 9 dias.

3.1. Materiais e métodos

3.1.1. Materia prima

As banana (*Musa ssp*) da variedade ‘Maçã’ foram fornecidas por Colméia Climatização & Distribuição de Frutas. Foram selecionadas as frutas no estágio de maturação 2 (verde com traços amarelos), como mostrado na Figura 3.1. As bananas foram lavadas com água e detergente e posteriormente com uma solução de hipoclorito de sódio na concentração de 200 ppm durante 3 minutos e enxaguados com água destilada.

Figura 3.1. Bananas (*Musa ssp*) da variedade ‘Maçã’ utilizadas neste trabalho.

3.1.2. Aplicação da cobertura de farinha de cúrcuma

A cobertura selecionada a partir da metodologia de superfície de resposta foi preparada utilizando o mesmo procedimento para elaboração dos filmes (ver item 2.1.3.). Após agitação e aquecimento durante 4 horas, a cobertura foi esfriada até temperatura ambiente.

O método utilizado para aplicação da cobertura foi o de imersão. Depois que as bananas foram lavadas e sanitizadas, estas foram imersas na cobertura por um minuto, deixando-se escorrer o excesso.

Em seguida os frutos foram pendurados dentro de uma incubadora refrigerada tipo B.O.D. (Solab - SL200/364 U) (Figura 3.2) e armazenados à temperatura de 27°C e umidade relativa de 65%. As medidas foram feitas nos dias 0, 2, 4, 6, 9, 12 e 15 após a aplicação da cobertura. Cada medida foi realizada em triplicata (3 bananas). Também foi utilizado um controle (banana sem cobertura).

Figura 3.2. Armazenamento das bananas durante o período avaliado.

3.1.3. Avaliações físicas

3.1.3.1. Perda de massa

A pesagem dos frutos foi realizada em uma balança semianalítica (Sartorius-BL210S), sendo a percentagem de perda de massa (PM) dos frutos calculada por meio da Equação 3.1:

$$PM = [(P_{inicial} - P_{final}) / P_{inicial}] \times 100 \quad (3.1)$$

Os resultados foram expressos em porcentagem.

3.1.3.2. Firmeza da polpa

A firmeza da polpa das bananas foi determinada através de ensaios de punção (força máxima de penetração) com o auxílio do Texturômetro TA TX Plus (TA *Instrument*, Inglaterra). A força máxima de penetração (N) foi determinada por ensaios de punção, nos quais foi utilizado um probe esférico de inox de 5 mm de diâmetro e penetração na amostra de 20 mm de profundidade, a uma velocidade de 2 mm.s⁻¹. Cada banana foi cortada em três rodela de 25mm de comprimento e as medidas foram feitas na região central de cada rodela.

3.1.3.3. Cor da casca

A determinação da cor da casca foi analisada visualmente com o auxílio de escala de notas de 1 a 8 (Alves et al., 1999), onde 1 (verde); 2 (verde com traços amarelos); 3 (mais verde que amarela); 4 (mais amarela de que verde); 5 (amarela com ponta verde); 6 (totalmente amarela); 7 (amarela levemente mosqueada de marrom); 8 (amarela com grandes áreas marrons).

3.1.4. Avaliações químicas

Para as análises de sólidos solúveis, pH, acidez titulável total e açúcar redutor, as polpas eram retiradas e centrifugadas em centrífuga (Quimis - Q222RM) por 15 minutos a 10000 rpm a 10°C sendo, então, utilizado o sobrenadante para as análises.

3.1.4.1. pH e acidez da polpa

pH

Para a leitura do pH, uma amostra de 6g de solução centrifugada foi diluída em 50mL de água. A leitura foi realizada por meio de um pHmetro de bancada (Marconi - MA522/P), que possui correção automática dos valores em função da temperatura.

Acidez titulável

Para a análise da acidez titulável pesou-se 1,2 g da solução centrifugada e acrescentaram-se 10mL de água. Adicionou-se 2 gotas de fenolftaleína e titulou-se a solução contendo a amostra com solução de hidróxido de sódio 0,1 N (BRASIL, 2005) e o

resultado expresso em termos de ácido málico (g de ácido málico/100g do fruto), sendo obtidos por meio da equação 3.2:

$$AT = \frac{n.N.Eq}{10.V} \quad (3.2)$$

Onde:

AT = acidez titulável (g de ácido málico/100g do fruto);

n = volume da solução de NaOH gasto na titulação em mL;

N = normalidade da solução de NaOH;

V = volume da amostra em mL;

Eq = equivalente-grama do ácido (67,04 para o ácido málico).

3.1.4.2. Sólidos solúveis

A determinação de sólidos solúveis foi realizada por medida direta em refratômetro digital (Hanna - HI 96801). As análises foram feitas a partir de algumas gotas da solução centrifugada com a ajuda de um pedaço de algodão. Os resultados foram expressos em °Brix.

3.1.4.3. Açúcares redutores

O teor de açúcares redutores foi determinado pelo método de DNS (3,5-Dinitrossalicilato) conforme Miller (1959). Pegou-se 0,75mL da solução centrifugada (diluída 10 vezes) e colocou em tubos de ensaio (triplicata) juntamente com 1,5mL de solução preparada de DNS. Os tubos foram deixados em banho-maria durante 5 minutos e a temperatura de 100°C. Após o tempo decorrido, interrompeu-se a reação colocando os tubos num banho de água fria e adicionou-se a cada tubo 10mL de água destilada. A leitura da absorbância das amostras foi feita em espectrofotômetro, utilizando um comprimento de onda de 540nm. Para o cálculo do teor de açúcar redutor foi utilizada a equação da reta da curva padrão construída com soluções de glicose: $y = 0,419x - 0,014$ ($R^2 = 0,995$), onde: y = absorbância, e x = g glicose/L de solução. Os resultados foram expressos em porcentagem.

3.1.5. Análise estatística dos resultados

O teste de Tukey foi realizado para comparar as características físico-químicas das bananas sem cobertura e com cobertura de farinha de cúrcuma ao longo do período de armazenamento. A análise estatística foi feita utilizando-se o programa *Statistica* 12.0 para

a comparação das médias das características entre os dois tratamentos no intervalo de 95% de confiança.

3.2. Resultados e discussão

3.2.1. Escolha da formulação das coberturas de farinha de cúrcuma

De acordo com as melhores faixas de concentração de plastificante e farinha escolhidas a partir da metodologia de superfície de resposta para serem testadas, foram escolhidas duas formulações que possuíam boas propriedades mecânicas, alta atividade antioxidante, teores de curcuminóides e fenólicos totais e baixa permeabilidade ao vapor de água, utilizando glicerol como plastificante.

As formulações escolhidas foram:

- 30% de glicerol e 6% de farinha de cúrcuma;
- 27,93% de glicerol e 5% de farinha de cúrcuma.

Foi realizado um teste preliminar para verificar qual cobertura teria melhor aderência às bananas ‘Maçã’ sendo, portanto, a cobertura com 30% de glicerol e 6% de farinha.

3.2.2. Estudo de vida útil de bananas com cobertura

Após a escolha da formulação de cobertura de farinha de cúrcuma utilizando glicerol como plastificante, foi realizado o estudo de vida útil das bananas com e sem cobertura. Foram realizadas análises periódicas de perda de massa, firmeza da polpa, pH, acidez titulável, sólidos solúveis, açúcares redutores e cor da casca. As condições e o tempo de armazenamento foram definidos com base no estudo desenvolvido por Silva et al. (2015) em bananas ‘Maçã’ revestidas com fécula de mandioca.

3.2.2.1. Perda de massa

A perda de massa de bananas ‘Maçã’ com e sem cobertura em função do tempo de armazenamento de 15 dias a 27°C pode ser observada através dos dados da Tabela 3.1 e pela Figura 3.3. Pode-se observar que a perda de massa dos frutos aumentou com o tempo de estocagem, em que se observa um aumento na diferença de perda de massa entre as bananas com e sem cobertura a partir do 6º dia, sendo 9,5% para os frutos do tratamento-controle e 8,29% dos frutos com cobertura.

Em ambos os tratamentos, os frutos perderam massa gradativamente até os 15 dias de armazenamento, atingindo 29,63% para os frutos sem cobertura e 24,43% para os frutos com cobertura. Estes resultados mostraram que a cobertura utilizada diminuiu a perda de massa dos frutos em relação aos frutos sem cobertura, que também foi relatado por Chitarra e Chitarra (2005), os quais afirmam que as coberturas podem retardar a perda de água e a desidratação dos produtos, prevenindo, portanto, a perda de massa e o murchamento de produtos frescos.

Tabela 3.1. Perda de massa de bananas ‘Maçã’ com e sem cobertura de farinha de cúrcuma durante 15 dias de armazenamento a 27°C.

Tratamento	Dia 0	Dia 2	Dia 4	Dia 6	Dia 9	Dia 12	Dia 15
Controle	0,00±0,00 ^a	2,88±0,19 ^a	5,20±0,31 ^a	9,5±0,46 ^a	16,06±0,44 ^a	22,22±0,84 ^a	29,63±2,12 ^a
Com Cobertura	0,00±0,00 ^a	2,68±0,17 ^a	4,89±0,21 ^a	8,29±0,04 ^b	13,84±0,20 ^b	19,30±0,67 ^b	24,43±1,09 ^b

a,b: letras minúsculas diferentes na mesma coluna representam diferença significativa entre as bananas sem cobertura e as bananas com cobertura segundo o teste de Tukey, $p < 0,05$.

Figura 3.3. Perda de massa de bananas ‘Maçã’ com e sem cobertura de farinha de cúrcuma durante 15 dias de armazenamento a 27°C.

Silva et al. (2015) pesquisando o efeito de concentrações de fécula de mandioca utilizadas como coberturas comestíveis sobre as características de bananas ‘Maçã’ observaram que a perda de massa dos frutos não foi influenciada pela aplicação do biofilme, pois tanto os frutos a 0% quanto os 8% apresentaram aumento da perda de massa fresca durante as épocas de armazenamento atingindo o ponto de máxima aos 11,6 dias com 9,4% de perda de massa fresca. Araújo et al. (2012) em trabalho com bananas

‘Pacovan’ revestidas com fécula de mandioca, obtiveram maior perda de massa fresca nos frutos sem revestimento, que apresentaram no 8º dia de armazenamento em temperatura ambiente uma perda de 15% e os frutos revestidos, a perda foi de 12,9%. Segundo Lucena et al. (2004), a perda de massa fresca de frutos de banana cv. Nanicão revestidos com películas de amido apresentou um aumento significativo durante os 10 dias de armazenamento à temperatura ambiente, mas comparando os frutos com e sem o revestimento, não houve diferença significativa em todo o período avaliado.

Sarmento et al. (2015) avaliando a conservação pós-colheita de bananas ‘Prata Catarina’ revestidas com filmes de PVC ou películas de fécula de mandioca armazenadas por 10 dias em condições ambientes (27,5 °C e UR de 62,5%), verificaram, ao final do experimento, maior perda de massa nas frutas tratadas com fécula de mandioca seguida pelo controle e menor perda de massa para as recobertas com filme PVC, perda de 15,82; 15,55 e 2,56%, respectivamente. De acordo com os autores, a elevada perda de massa observada nas frutas recobertas com fécula de mandioca pode estar relacionada à maior abertura das cadeias do amido, não formando uma barreira eficiente contra a perda de umidade, o que pode explicar os altos valores de perda de massa das bananas ‘Maçã’ revestidas com cobertura de farinha de cúrcuma.

3.2.2.2. Firmeza da polpa

Durante o período de armazenamento, os valores de firmeza da polpa das bananas com e sem a cobertura diminuíram conforme avançavam sua maturação (Tabela 3.2 e Figura 3.4). De acordo com os resultados obtidos, verificou-se que a firmeza da polpa da banana com cobertura foi maior do que o controle durante a etapa de maturação, a qual compreende o 6º ao 12º dia. O valor inicial da firmeza da polpa dos frutos foi de cerca de 14 N chegando ao final do período de armazenamento a 0,41 N para os frutos sem cobertura e 0,72 N para os frutos revestidos, representando uma redução de 97,14% e 95,02%, respectivamente. A firmeza da polpa da banana com cobertura foi maior do que o controle durante a etapa de maturação (6º ao 12º dia).

Tabela 3.2. Firmeza da polpa de bananas ‘Maçã’ com e sem cobertura de farinha de cúrcuma durante 15 dias de armazenamento a 27°C.

Tratamento	Dia 0	Dia 2	Dia 4	Dia 6	Dia 9	Dia 12	Dia 15
Controle	14,35±0,79 ^a	13,60±0,60 ^a	7,77±0,49 ^a	1,79±0,18 ^b	1,02±0,01 ^b	0,67±0,14 ^b	0,41±0,03 ^a
Com Cobertura	14,47±0,47 ^a	14,44±1,23 ^a	8,50±2,73 ^a	2,65±0,34 ^a	2,00±0,23 ^a	1,61±0,19 ^a	0,72±0,22 ^a

a,b: letras minúsculas diferentes na mesma coluna representam diferença significativa entre as bananas sem cobertura e as bananas com cobertura segundo o teste de Tukey, $p < 0,05$.

Figura 3.4. Firmeza da polpa de bananas ‘Maçã’ com e sem cobertura de farinha de cúrcuma durante 15 dias de armazenamento a 27°C.

Segundo Barco et al. (2009), a perda de firmeza durante o amadurecimento é associada a três processos: primeiro é a quebra do amido em açúcar; o segundo é a degradação das paredes celulares ou redução da coesão da lamela intermediária devido à solubilização de substâncias pécicas e o terceiro é o movimento da água da casca para a polpa devido ao processo de osmose.

Maqbool et al. (2011) utilizaram revestimento de quitosana + goma arábica em bananas cv. Pisang Berangan e obtiveram resultados satisfatórios na retenção da firmeza dos frutos, em que os frutos sem revestimento apresentaram firmeza menor que 20 N, enquanto os frutos revestidos do tratamento com 1% de quitosana + 20% de goma arábica 20% apresentaram firmeza de 80 N.

Sarmiento et al. (2015) observaram em banana ‘Prata Catarina’ que durante o período de armazenamento, os valores de firmeza da polpa das frutas reduziram

significativamente à medida que avançaram a maturação, onde inicialmente, verificou-se valor de firmeza da polpa de 46,45 N e, ao final do armazenamento de 5,69 N, o que representou uma redução de 87,58%.

Em trabalho realizado com revestimento de fécula de mandioca na conservação de bananas ‘Pacovan’, observou-se que a maior perda de firmeza ocorreu no tratamento-controle que ao final do armazenamento apresentou firmeza de 19,4 N, enquanto os frutos revestidos com fécula de mandioca na concentração de 3% apresentaram 25,2 N.

Silva et al. (2015) pesquisando bananas ‘Maçã’ revestidas com fécula de mandioca, verificaram que os dias de armazenamento influenciaram de forma linear na firmeza dos frutos, onde aos 16 dias atingiu 17,04 N de firmeza.

A perda de firmeza do fruto durante o amadurecimento é causada pela degradação da parede celular, que é constituída de hemicelulose, celulose, ligninas, pectinas, entre outros e, em frutas como banana e manga, pela degradação do amido. Conforme o fruto amadurece, estas substâncias vão se degradando, devido à coesão entre as células e o fruto que, por sua vez, perde a resistência dos tecidos (OLIVEIRA et al., 2010; KOJIMA et al., 1994).

3.2.2.3. Cor da casca

A variação da coloração na casca dos frutos está diretamente relacionada ao seu grau de maturação, o qual ocorre possivelmente pelo processo de degradação da clorofila com relação ao metabolismo respiratório dos frutos (PRILL et al., 2012).

Através da Tabela 3.3 e das Figuras 3.5 e 3.6 é possível observar a variação da coloração dos frutos durante o armazenamento. Entre os frutos revestidos e os frutos sem cobertura de farinha de cúrcuma, verifica-se que não há diferença significativa na coloração da casca em todo o período avaliado, apenas no 9º dia os frutos com cobertura apresentaram a cor 7 (amarela levemente mosqueada de marrom) e os frutos sem cobertura apresentaram a cor 8 (amarela com grandes áreas marrons). Na Figura 3.6 pode-se notar que no 9º, 12º e 15º dia, os frutos do tratamento-controle apresentaram mais áreas marrons do que os frutos com cobertura, o que é concordante com o teor de açúcares redutores, pois quanto maior o estágio de maturação, associado à cor da casca, maior o teor de açúcares na polpa. A cor da casca da banana com cobertura foi mantida entre o 6º e o 9º dia, entretanto o controle apresentou perda de cor a partir do 6º dia, mostrando que as bananas ‘Maçã’

sem a cobertura tiveram vida útil de 6 dias, enquanto as bananas com cobertura tiveram um prolongamento da vida útil das bananas até o 9º dia de armazenamento.

Tabela 3.3. Cor da casca de bananas ‘Maçã’ com e sem cobertura de farinha de cúrcuma durante 15 dias de armazenamento a 27°C.

Tratamento	Dia 0	Dia 2	Dia 4	Dia 6	Dia 9	Dia 12	Dia 15
Controle	2	4	5	7	8	8	8
Com Cobertura	2	4	5	7	7	8	8

a,b: letras minúsculas diferentes na mesma coluna representam diferença significativa entre as bananas sem cobertura e as bananas com cobertura segundo o teste de Tukey, $p < 0,05$.

Figura 3.5. Cor da casca de bananas ‘Maçã’ com e sem cobertura de farinha de cúrcuma durante 15 dias de armazenamento a 27°C.

Ao contrário dos resultados obtidos neste trabalho, Lucena et. al. (2004) analisando bananas ‘Nanicão’ recobertas com película de amido modificado observaram que os frutos que receberam a película de amido antes da submissão dos frutos ao carbureto de cálcio obtiveram notas inferiores aos frutos sem película até o 6º dia de armazenamento, e a partir do 8º dia em diante, todos os tratamentos apresentaram as mesmas notas.

Sarmento et al. (2015) pesquisando bananas ‘Prata Catarina’ revestidas com filmes de PVC ou películas de fécula de mandioca, verificaram que os frutos do tratamento-controle tiveram a mudança da cor verde para amarela mais intensa do que os frutos com cobertura, que mantiveram partes verdes por mais tempo. Os frutos sem cobertura, com PVC e com fécula de mandioca, tiveram cor 7, 6 e 5, respectivamente, no final do tempo

de armazenamento, mostrando que as coberturas reduziram o amadurecimento dos frutos, o qual está diretamente relacionado à sua coloração.

Segundo Silva et al. (2006), a mudança na coloração da casca de bananas ocorre devido à degradação da clorofila (cor verde) que, durante o amadurecimento, é mais intensa, causando então uma pré-existência de pigmentos carotenóides que proporciona a cor amarela aos frutos. A perda da cor verde deve-se à decomposição estrutural da clorofila, devido aos sistemas enzimáticos que atuam isoladamente ou em conjunto, principalmente pela ação da clorofilase sobre os cloroplastos, que revela a cor amarela (CHITARRA e CHITARRA, 2005).

A eficiência das coberturas é verificada pelo retardo da coloração da casca, que pode ser explicado pela maior concentração de CO₂ e diminuição de O₂, reduzindo as taxas metabólicas e induzindo a lenta degradação da clorofila na casca. Assim, um bom revestimento deve criar uma atmosfera modificada ao redor dos frutos, reduzindo sua respiração e, conseqüentemente, o amadurecimento da fruta, que para as bananas está diretamente relacionada à sua coloração (Sarmiento et al., 2015).

Figura 3.6. Bananas ‘Maçã’ com e sem cobertura de farinha de cúrcuma durante 15 dias de armazenamento a 27°C.

3.2.2.4. pH e acidez titulável

O teor de ácido e o pH das frutas são parâmetros que estão inter-relacionados pois à medida que a acidez diminui, ocorre um aumento do pH do fruto. Tanto as medidas de pH como de acidez titulável estão relacionadas a determinações de ácidos presentes no alimento. A diferença entre elas é que a medida de pH expressa o ácido dissociado, que tem a capacidade tamponante, enquanto que a acidez titulável expressa a quantidade total de ácidos presentes como ácidos orgânicos livres, na forma de sais e compostos fenólicos (GARCIA, 2006).

A Tabela 3.4 e a Figura 3.7 apresentam a variação do pH dos frutos com e sem a cobertura de farinha de cúrcuma ao longo dos 15 dias de armazenamento. Verifica-se que entre os dois tratamentos somente houve diferença significativa no 2° e no 12° dia nos valores de pH. Até o 6° dia ocorre uma redução do pH dos frutos, atingindo o valor mínimo de 4,73 para ambos tratamentos e, após este período, ocorreu um aumento do pH, alcançando o valor de 6,01 para os frutos sem cobertura e 6,07 para os frutos revestidos. Este mesmo comportamento foi observado por Lucena et al. (2004) que também verificaram uma redução significativa do pH em bananas ‘Nanicão’ revestidas com fécula de mandioca até o 6° dia de armazenamento e após este dia houve um aumento do pH.

Araújo et al. (2013) observaram em bananas ‘Pacovan’ revestidas com cera de carnaúba que após o 4° dia de armazenamento, ocorreu redução de pH de todos os tratamentos, tal redução é atribuída ao aumento no teor de ácidos orgânicos que estão sendo utilizados no processo de respiração e após o 8° dia houve um aumento do pH para os frutos do tratamento-controle e os frutos revestidos com 5% de cera de carnaúba.

Silva et al. (2015) em seu trabalho com bananas ‘Maçã’ revestidas com fécula de mandioca verificaram que o pH variou durante o período de armazenamento, ocorrendo uma redução gradativa, atingindo o ponto de mínima aos 9,11 dias e pH de 4,97 e após este período houve um aumento do pH.

Tabela 3.4. pH de bananas ‘Maçã’ com e sem cobertura de farinha de cúrcuma durante 15 dias de armazenamento a 27°C.

Tratamento	Dia 0	Dia 2	Dia 4	Dia 6	Dia 9	Dia 12	Dia 15
Controle	5,89±0,03 ^a	5,85±0,04 ^b	4,84±0,12 ^a	4,73±0,01 ^a	5,06±0,04 ^a	5,57±0,06 ^b	6,01±0,04 ^a
Com Cobertura	5,85±0,04 ^a	5,95±0,04 ^a	4,86±0,34 ^a	4,73±0,04 ^a	5,06±0,04 ^a	5,69±0,02 ^a	6,07±0,09 ^a

a,b: letras minúsculas diferentes na mesma coluna representam diferença significativa entre as bananas sem cobertura e as bananas com cobertura segundo o teste de Tukey, $p < 0,05$.

Figura 3.7. pH de bananas ‘Maçã’ com e sem cobertura de farinha de cúrcuma durante 15 dias de armazenamento a 27°C.

Segundo Chitarra e Chitarra (2005), os principais ácidos presentes na banana são o málico, cítrico e oxálico, e o aumento da acidez é justificado pelo metabolismo dos ácidos tricarboxílicos durante o amadurecimento. De acordo com Oliveira (2010), o comportamento da acidez é inversamente proporcional ao do pH, e que em bananas ao contrário de outras frutas com o amadurecimento ocorre o aumento da acidez.

A variação da acidez titulável dos frutos com cobertura e sem cobertura de farinha de cúrcuma está apresentada na Tabela 3.5 e Figura 3.8. É possível observar que a cobertura foi eficiente em reduzir a acidez no 6º dia, correspondente ao pico climatérico do fruto. Houve um aumento da acidez dos frutos dos dois tratamentos até o 6º dia, com valor máximo de 0,84% para os frutos sem cobertura e 0,76% para os frutos com cobertura. Após este período ocorreu uma redução da acidez e, ao final do tempo de armazenamento, os frutos apresentaram valores de 0,47% para o tratamento-controle e 0,49% para os frutos com cobertura. Resultados semelhantes foram obtidos por Damatto et al. (2005) e Lucena et al. (2004), que também verificaram um aumento da acidez de bananas ‘Prata-Anã’ e ‘Prata-Zulu’ e ‘Nanicão’, respectivamente, até o 6º dia, ocorrendo uma redução na acidez até o final do experimento.

Tabela 3.5. Acidez titulável de bananas ‘Maçã’ com e sem cobertura de farinha de cúrcuma durante 15 dias de armazenamento a 27°C.

Tratamento	Dia 0	Dia 2	Dia 4	Dia 6	Dia 9	Dia 12	Dia 15
Controle	0,50±0,03 ^a	0,61±0,05 ^a	0,79±0,01 ^a	0,84±0,01 ^a	0,73±0,02 ^a	0,62±0,08 ^a	0,47±0,01 ^a
Com Cobertura	0,51±0,01 ^a	0,59±0,08 ^a	0,72±0,06 ^a	0,76±0,01 ^b	0,68±0,03 ^a	0,52±0,02 ^a	0,49±0,01 ^a

a,b: letras minúsculas diferentes na mesma coluna representam diferença significativa entre as bananas sem cobertura e as bananas com cobertura segundo o teste de Tukey, $p < 0,05$.

Figura 3.8. Acidez titulável de bananas ‘Maçã’ com e sem cobertura de farinha de cúrcuma durante 15 dias de armazenamento a 27°C.

Os teores de acidez titulável de bananas ‘Maçã’ revestidas com fécula de mandioca encontrados por Silva et al. (2015) aumentaram com o tempo de armazenamento, apresentando o ponto máximo aos 11,44 dias com 0,45% de acidez. Segundo Carvalho (1989), a acidez titulável para a banana aumenta com o seu amadurecimento e diminui quando a fruta se encontra muito madura ou senescente. Isto ocorre devido ao consumo de ácidos durante o pico respiratório característico dos frutos em estágio de senescência.

3.2.2.5. Sólidos solúveis

O teor de sólidos solúveis é utilizado como uma medida indireta do conteúdo de açúcares, pois seu valor aumenta à medida que estes vão se acumulando no fruto. No entanto, a sua determinação não representa o teor exato de açúcares, pois outras substâncias também se encontram dissolvidas no conteúdo celular (vitaminas, fenólicos,

pectinas, ácidos orgânicos), apesar dos açúcares estarem presentes em maior concentração, correspondendo até cerca de 85-90% destes (CHITARRA e ALVES, 2001).

De acordo com a Tabela 3.6 e a Figura 3.9, observa-se que entre os dois tratamentos não houve diferença significativa nos teores de sólidos solúveis, que aumentaram até o 9º dia com um valor máximo de 23,6º Brix para os frutos do tratamento-controle e 22,8º Brix para os frutos com a cobertura de farinha de cúrcuma e, após este dia, os valores se mantiveram praticamente constante. Comportamento semelhante foi observado por Lucena et. al. (2004) em banana ‘Nanicão’, que verificaram que a película de amido modificado não influenciou no teor de sólidos solúveis, os quais aumentaram significativamente até o 6º dia de armazenamento alcançando o valor de 27,26º Brix e 25,54º Brix no 10º dia. Ao contrário dos resultados encontrados por Maqbool et al. (2011), que estudando a utilização do revestimento de quitosana + goma arábica na conservação de bananas cv. Pisang Berangan, observaram que os revestimentos proporcionaram aos frutos menor teor de sólidos solúveis, em relação aos frutos do tratamento-controle.

Tabela 3.6. Sólidos solúveis de bananas ‘Maçã’ com e sem cobertura de farinha de cúrcuma durante 15 dias de armazenamento a 27°C.

Tratamento	Dia 0	Dia 2	Dia 4	Dia 6	Dia 9	Dia 12	Dia 15
Controle	7,73±0,04 ^a	6,93±0,22 ^a	16,47±0,98 ^a	22,93±0,04 ^a	23,60±0,87 ^a	23,33±0,24 ^a	23,0±0,40 ^a
Com Cobertura	7,77±0,04 ^a	6,53±0,56 ^a	17,40±2,47 ^a	22,47±0,38 ^a	22,80±0,33 ^a	22,73±0,29 ^a	22,7±0,05 ^a

a,b: letras minúsculas diferentes na mesma coluna representam diferença significativa entre as bananas sem cobertura e as bananas com cobertura segundo o teste de Tukey, $p < 0,05$.

Figura 3.9. Sólidos solúveis de bananas ‘Maçã’ com e sem cobertura de farinha de cúrcuma durante 15 dias de armazenamento a 27°C.

Sarmento et al. (2015) pesquisando bananas ‘Prata Catarina’ revestidas com filmes de PVC ou películas de fécula de mandioca, obteve um aumento dos teores de sólidos solúveis até o 8º dia de armazenamento, com valor máximo de 24,1ºBrix e com posterior tendência de redução dos teores.

Silva et al. (2015) encontraram um valor máximo de 22,7ºBrix aos 15,8 dias de armazenamento de bananas ‘Maçã’ revestidas com fécula de mandioca e verificaram que este revestimento retardou o amadurecimento e, conseqüentemente, a menor conversão do amido em açúcares simples.

O aumento do teor de açúcar em bananas ocorre devido à fruta ser rica em amido e durante o amadurecimento ocorre a hidrólise desse carboidrato com conseqüente acúmulo de açúcares totais, causando uma intensificação da doçura do fruto (VILAS BOAS et al., 2001). Já a redução é atribuída ao início de senescência das frutas (LIMA et al., 2005).

3.2.2.6. Açúcares redutores

Na Tabela 3.7 e Figura 3.10 é apresentada a variação do teor de açúcares redutores nos frutos com cobertura de farinha de cúrcuma e nos frutos sem cobertura. Verificou-se em praticamente todo o período avaliado uma diferença entre os dois tratamentos, sendo no 9º, 12º e 15º dias as maiores diferenças observadas. Os frutos com cobertura apresentaram menor teor de açúcares redutores atingindo o valor de 10,02% e os frutos sem a cobertura, o valor de 11,28% ao final do tempo de armazenamento.

Tabela 3.7. Açúcares redutores de bananas ‘Maçã’ com e sem cobertura de farinha de cúrcuma durante 15 dias de armazenamento a 27°C.

Tratamento	Dia 0	Dia 2	Dia 4	Dia 6	Dia 9	Dia 12	Dia 15
Controle	2,64±0,01 ^a	2,61±0,03 ^a	3,69±0,12 ^a	4,75±0,30 ^a	8,64±0,63 ^a	10,60±0,21 ^a	11,28±1,01 ^a
Com Cobertura	2,66±0,02 ^a	2,12±0,03 ^b	2,85±0,28 ^b	4,10±0,07 ^b	7,54±0,26 ^b	9,14±0,79 ^b	10,02±0,33 ^a

a,b: letras minúsculas diferentes na mesma coluna representam diferença significativa entre as bananas sem cobertura e as bananas com cobertura segundo o teste de Tukey, $p < 0,05$.

Figura 3.10. Açúcares redutores de bananas ‘Maçã’ com e sem cobertura de farinha de cúrcuma durante 15 dias de armazenamento a 27°C.

A elevação dos teores de açúcares redutores é decorrente da hidrólise do amido e da inversão de sacarose em glicose mais frutose (KAYS, 1997). Em estudo realizado por Ribeiro et al. (2012) avaliando bananas provenientes de sistema de cultivo convencional e orgânico, puderam verificar que a banana ‘Prata-Anã’ apresentou o valor de 15,47% de açúcares redutores e a banana ‘Pacovan Ken’ o valor de 12,9% no estágio de maturação totalmente amarela.

Araújo et al. (2013) verificaram diferença significativa entre tratamentos e períodos de armazenamento para os açúcares redutores de bananas ‘Pacovan’ revestidas com cera de carnaúba. O maior teor de açúcar redutor ocorreu no 8º dia para o tratamento controle (18,7%) e cera de carnaúba na concentração de 10% (17,3%), mostrando que o revestimento causou uma diminuição do teor de açúcares redutores, semelhante aos resultados obtidos neste trabalho.

3.3. Conclusão

A cobertura a base de farinha de cúrcuma utilizada para o recobrimento de bananas ‘Maçã’ foi eficiente em reduzir a perda de massa e o teor de açúcares redutores durante o período de armazenamento. A acidez titulável das bananas recobertas foi menor do que as bananas sem cobertura no 6º dia, que corresponde ao pico climatérico do fruto. As bananas com cobertura apresentaram maior firmeza da polpa durante a fase de maturação (6º ao 12º dia). A cobertura não influenciou o pH e o teor de sólidos solúveis das bananas ‘Maçã’.

durante o período de armazenamento mas manteve a cor da casca das bananas entre o 6º e o 9º dia, enquanto o controle apresentou perda de cor a partir do 6º dia, mostrando que as bananas ‘Maçã’ sem a cobertura tiveram vida útil de 6 dias, enquanto as bananas com cobertura tiveram um prolongamento da vida útil das bananas até o 9º dia de armazenamento.

3.4. Referências bibliográficas

- ALVES, E. J. **A cultura da banana: aspectos técnicos, socioeconômicos e agroindustriais**. Organizado por Élio José Alves – 2. ed., Brasília: Embrapa-SPI/Cruz das Almas: Embrapa-CNPMF, 1999. 585 p.
- ARAÚJO, A. K. P. et al. Efeito do revestimento de fécula de mandioca na conservação de banana ‘Pacovan’. In: XXII Congresso Brasileiro de Fruticultura, 2012a, Bento Gonçalves-RS. **Anais**. Bento Gonçalves, 2012.
- ARAÚJO, A. K. P. **Uso de revestimentos comestíveis na conservação pós-colheita de banana ‘pacovan’**. 2013. 68 p. Dissertação (Mestrado em Tecnologia Agroalimentar), Universidade Federal da Paraíba, Bananeiras, 2013.
- BARCO, P. L., et al. Efecto de recubrimiento natural y cera comercial sobre la maduración del banano (*Musa Sapientum*). **Facultad de Ciencias Agropecuarias**, v. 7, n. 2, p. 70-76, 2009.
- BRASIL. Ministério da Saúde. Agência Nacional de Vigilância Sanitária. Métodos físico-químicos para análise de alimentos. **Diário Oficial da União** Brasília: Ministério da Saúde, 2005. 1018p.
- CARVALHO, H. A. et al. Qualidade da banana prata previamente armazenada em filme de polietileno, amadurecida em ambiente com umidade relativa elevada: acidez, sólidos solúveis e taninos. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.24, n.5, p.495-501, 1989.
- CHITARRA, A. B.; ALVES, R. E. **Tecnologia pós-colheita para frutas tropicais**. Fortaleza: FRUTAL-SINDIFRUTA, 2001. 314 p.
- CHITARRA, M. I. F.; CHITARRA, A. B. **Pós-colheita de frutos e hortaliças: fisiologia e manuseio**. 2. ed. rev. e ampl. Lavras: UFLA, 2005.
- DAMATTO JÚNIOR, E. R. et al. Produção e caracterização de frutos de bananeira ‘prata-anã’ e ‘prata zulu’. **Revista Brasileira de Fruticultura**, Jaboticabal, v.27, n.3, p.440-443, 2005.

- GARCIA, L. C. **Aplicação de coberturas comestíveis em morangos minimamente processados**. 2009. 143 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Alimentos), Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2009.
- KAYS, S.J. **Postharvest physiology of perishable plant products**. Athens: AVI, 1997. 532p.
- KOJIMA, K. et al. Fruit softening in banana: correlation among stress-relaxation parameters, cell wall components and starch during ripening. **Physiologia Plantarum**, Copenhagen, v. 90, n. 4, p. 772-778, 1994.
- LIMA, L. C. et al. Controle do amadurecimento de banana 'Prata-Anã', armazenada sob refrigeração e atmosfera modificada passiva com o uso do 1-metilciclopropeno. **Ciência Agrotecnologia**, Lavras, v. 29, n. 2, p. 476-480, 2005.
- LUCENA, C. C. et al. Efeito da película de amido na conservação pós-colheita de frutos de banana cv. "Nanicão". **Agronomia**, v.38, n.2, p. 34 - 37, 2004.
- MAQBOOL, M. et al. Effect of a novel edible composite coating based on gum arabic and chitosan on biochemical and physiological responses of banana fruits during cold storage. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, v. 59, p. 5474–5482, 2011.
- MILLER, G.L. Use of dinitrosalicylic acid reagent for determination of reducing sugars. **Analytical Chemistry**, Washington, 31:426-8, 1959.
- OLIVEIRA, E. B. de L. **Conservação pós-colheita de mamão 'Sunrise Solo' com uso de revestimentos naturais**. 2010. 55 p. Dissertação (Mestrado em Agronomia), Universidade Federal do Acre, Rio Branco, 2010.
- PRILL, M. A. S.; NEVES, L. C.; TOSIN, J. M.; CHAGA, E. A.; Atmosfera modificada e controle de etileno para bananas 'prata-anã' cultivadas na Amazônia Setentrional Brasileira. **Revista Brasileira de Fruticultura**, Jaboticabal, v.34, n.4, p.990-1003, dez. 2012.
- RIBEIRO, L. R.; OLIVEIRA, L. de M.; SILVA, S. de O.; BORGES, A. L. Avaliação de cultivares de bananeira em sistema de cultivo convencional e orgânico. **Revista Brasileira de Fruticultura**, Jaboticabal, v. 35, n. 2, p. 508-517, 2013.
- SARMENTO, D. H. A., et al. Armazenamento de banana 'Prata Catarina' sob temperatura ambiente recobertas com fécula de mandioca e PVC. **Revista Caatinga**, Mossoró, v. 28, n. 2, p. 235 – 241, abr. - jun., 2015.
- SILVA, C. S. et al. Amadurecimento da banana prata climatizada em diferentes dias após a colheita. **Ciência e agrotecnologia**, Lavras, v. 30, n. 1, p. 103 -111, 2006.

- SILVA, A. M., et al. Conservação pós-colheita de banana ‘maçã’ com revestimento comestível a base de fécula de mandioca. **Agrarian Academy**, Centro Científico Conhecer - Goiânia, v.2, n.3; p. 23, 2015.
- VILAS BOAS, E. V. B. et al. Características da fruta. In: MATSUURA, F. C. A. U.; FOLEGATTI, I. S. **Banana: pós-colheita**. Brasília: Embrapa Comunicação para transferência de tecnologia, 2001. p 15-19. (Frutas do Brasil, 16).

4. Considerações gerais

A composição centesimal da torta e farinha de cúrcuma apresentou um conteúdo satisfatório de amido, proteínas e lipídios, indicando que a cúrcuma possui potencial para a elaboração de filmes, além de apresentar em sua composição curcuminóides e compostos fenólicos totais que possuem atividade antioxidante.

A avaliação do efeito da concentração de farinha e plastificante (glicerol ou sorbitol) sobre as propriedades mecânicas, propriedades funcionais, atividade antioxidante, teor de curcuminóides e teor de compostos fenólicos totais dos filmes utilizando um Delineamento Central Composto Rotacional 2² mostrou que pela análise estatística muitas variáveis não foram significativas e, devido a isso, não foi possível determinar uma formulação ótima para ser testada como cobertura, mas sugeriu-se algumas formulações que renderam coberturas de farinha de cúrcuma com boas propriedades mecânicas, baixa permeabilidade ao vapor de água, alta atividade antioxidante, alto teor de curcuminóides e alto teor de compostos fenólicos totais, e elas estão compreendidas na faixa de concentração de glicerol de 27,93 a 30 g glicerol/100 g farinha, concentração de sorbitol de 30 g sorbitol/ 100 g farinha a 42,07 g sorbitol/ 100 g farinha e concentração de farinha na faixa de 5% a 6,41%.

Com base nos resultados das propriedades dos filmes e em testes preliminares, foi escolhida a formulação de 6% de farinha e 30% de glicerol para ser aplicada como cobertura em bananas ‘Maçã e avaliou-se o efeito dessa cobertura na qualidade pós-colheita das bananas, obtendo como resultado uma redução na perda de massa, teor de açúcares redutores e firmeza da polpa dos frutos recobertos em comparação com os frutos do tratamento-controle.

A cor da casca foi fundamental para se determinar a vida útil das bananas com e sem cobertura, sendo então verificado um prolongamento de 3 dias (6º ao 9º dia) na vida útil dos frutos revestidos.

5. Sugestões para futuros trabalhos

Como pouco foi explorado na parte da avaliação das coberturas na conservação pós-colheita de frutas, são apresentadas algumas considerações para futuros trabalhos:

- Testar outras formulações dentro da faixa escolhida para que se possa comparar e determinar a melhor cobertura para ser aplicada em bananas ou em outras frutas.
- Elaborar novas metodologias para melhorar a viscosidade e aderência da cobertura sobre o fruto.