

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

**CONSERVAÇÃO PÓS-COLHEITA DE FRUTOS DE PIMENTA  
BODE VERMELHA (*Capsicum chinense* Jacq.) ESTOCADOS EM  
SISTEMA DE BIOFILME À BASE DE SORO DE LEITE**

Autora: Yasmine Ariadne Andrade Martins  
Orientador: Dr. Marco Antônio Pereira da Silva  
Coorientadora: Dra. Geovana Rocha Plácido

Rio Verde - GO  
Maio - 2017

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

**CONSERVAÇÃO PÓS-COLHEITA DE FRUTOS DE PIMENTA  
BODE VERMELHA (*Capsicum chinense* Jacq.) ESTOCADOS EM  
SISTEMA DE BIOFILME À BASE DE SORO DE LEITE**

Autora: Yasmine Ariadne Andrade Martins  
Orientador: Dr. Marco Antônio Pereira da Silva  
Coorientadora: Dra. Geovana Rocha Plácido

Dissertação apresentada, como parte das exigências para obtenção do título de MESTRE EM TECNOLOGIA DE ALIMENTOS, no Programa de Pós-Graduação em Tecnologia de Alimentos do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia Goiano - *Campus* Rio Verde - Área de concentração Ciência de Alimentos.

Rio Verde - GO  
Maio - 2017

M386c Martins, Yasmine Ariadne Andrade  
Conservação pós-colheita de frutos de pimenta bode  
vermelha (*Capsicum chinense* Jacq.) estocados em  
sistema de biofilme à base de soro de leite / Yasmine  
Ariadne Andrade Martins; orientador Marco Antônio  
Pereira da Silva; co-orientadora Geovana Rocha  
Plácido. -- Rio Verde, 2017.  
65 p.

Dissertação (Mestrado em Tecnologia de Alimentos) -  
- Instituto Federal Goiano, Câmpus Rio Verde, 2017.

1. Sistema de armazenamento. 2. Compostos  
bioativos. 3. Propriedades mecânicas. I. da Silva,  
Marco Antônio Pereira, orient. II. Plácido, Geovana  
Rocha, co-orient. III. Título.

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

**CONSERVAÇÃO PÓS-COLHEITA DE FRUTOS DE  
PIMENTA BODE VERMELHA (*Capsicum chinense* Jacq.)  
ESTOCADOS EM SISTEMA DE BIOFILME À BASE DE  
SORO DE LEITE**


Autora: Yasmine Ariadne Andrade Martins  
Orientador: Dr. Marco Antônio Pereira da Silva

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

APROVADA em 26 de maio de 2017.



Dra. Thaisa Campos Marques  
Avaliadora externa  
Doutora em Zootecnia



Dr. Celso Martins Belisário  
Avaliador interno  
IF Goiano/Rio Verde



Dra. Geovana Rocha Plácido  
Avaliadora interna  
IF Goiano/Rio Verde



Dr. Marco Antônio Pereira da Silva  
Presidente da banca  
IF Goiano/Rio Verde

*Dedico a Deus, meus pais Rosa Maria de Andrade e Sérgio Martins da Silva, às minhas irmãs Laylla Gyovanna Andrade Martins e Yasmin Marques Martins, à minha avó Izaura Pereira de Andrade e ao meu orientador Dr. Marco Antônio Pereira da Silva.*

## AGRADECIMENTOS

À Deus, pelo dom da vida, pelas inúmeras oportunidades de crescimento espiritual e poder concluir mais uma etapa da minha vida. Ao Espiritismo por todo acalento ao espírito para que mais uma etapa seja vencida.

Aos meus Pais, Rosa Maria de Andrade e Sérgio Martins da Silva, meu amor e gratidão eternos. Obrigada por me apoiar e participar de todos os meus sonhos e realizações e ser sempre meu esteio nas horas difíceis.

À minha avó Izaura Pereira de Andrade, por todo amor e cuidado dedicados à família. Suas orações nos protegem diariamente.

Às minhas irmã Laylla e Yasmin, pela compreensão dos momentos de ausência e por tantos momentos de felicidade. Vocês são as minhas metades.

À família LPOA, pelo companheirismo e amizade em todos os momentos. Amigos são a família que escolhemos, quem tem amigos como vocês está preparado para encarar a vida. Aos novos e antigos membros: Núbia, Amanda, Lígia, Diene, Guilherme, Ruthelle, Rânio, Luiz Eduardo, Gustavo, Norton, Samuel, Mayres, Nayane e Marcella, muito obrigada!

Ao meu orientador Dr. Marco Antônio Pereira da Silva, por todo aprendizado, oportunidades e dedicação a mim concedidos. Obrigada por ser quem me incentivou a trilhar o caminho da pesquisa, sem você, certamente eu não teria me apaixonado pela pesquisa.

À minha amiga-irmã Núbia Ferreira Vieira, por todo companheirismo e amizade ao longo dos anos e apoio à todas minhas empreitadas pessoais e profissionais. Somos almas amigas desta e de outras vidas.

À minha amiga Amanda Ferreira Andrade, por todo cuidado e carinho sempre dedicados à mim.

À minha amiga Ludimilla Lemos Ferreira, por tantos anos de amizade, companheirismo e dedicação.

Ao anjo Samuel Viana, por toda ajuda, amizade e conversas edificantes. Você tem toda minha admiração.

Aos meus colegas de mestrado, pela jornada de provas amenizada pelo companheirismo.

Ao apoio das agências de fomento Capes, FAPEG, CNPq e Finep.

## **BIOGRAFIA DO AUTOR**

Yasmine Ariadne Andrade Martins, filha de Rosa Maria de Andrade Martins e Sérgio Martins da Silva, nasceu no dia 25 de agosto de 1990, na cidade de Santa Helena de Goiás, Goiás. A formação profissional iniciou-se no ano de 2008, no curso de Engenharia de Alimentos no Instituto Federal Goiano- *campus* Rio Verde. Em 2015 iniciou o Mestrado em Tecnologia de Alimentos no Instituto Federal Goiano - *Campus* Rio Verde, tendo concluído o mesmo no primeiro semestre de 2017.

## ÍNDICE

	Página
<b>1 INTRODUÇÃO GERAL</b>	<b>14</b>
<b>2 OBJETIVOS</b>	<b>16</b>
2.1 Objetivo Geral	16
2.2 Objetivos Específicos	16
<b>3 CAPÍTULO I: EFEITO DA MATURAÇÃO EM PIMENTAS BODE VERMELHA (<i>Capsicum chinense</i> Jacq. Var. BODE VERMELHA)</b>	<b>17</b>
<b>3.1 INTRODUÇÃO</b>	<b>18</b>
<b>3.2 MATERIAL E MÉTODOS</b>	<b>19</b>
3.2.1 Obtenção das pimentas bode vermelhas	19
3.2.2 Caracterização física dos frutos	19
3.2.3 Firmeza	20
3.2.4 Determinação de cor	20
3.2.5 pH	21
3.2.6 Acidez total	21
3.2.7 Determinação do teor de ácido ascórbico	21
3.2.8 Compostos bioativos	21
3.2.8.1 Obtenção dos extratos	21
3.2.8.2 Compostos fenólicos totais	21
3.2.8.3 Sequestro do radical peroxil (ORAC)	22
3.2.8.4 Atividade antioxidante pelo método ABTS <sup>+</sup>	22
3.2.9 Microscopia Eletrônica de Varredura	23
3.2.10 Análises Estatísticas	23
<b>3.3 RESULTADOS E DISCUSSÃO</b>	<b>24</b>
3.3.1 Caracterização física dos frutos	24
3.3.2 Compostos bioativos	27
3.3.3 MEV	30
<b>3.4 CONCLUSÃO</b>	<b>31</b>
<b>3.5 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS</b>	<b>31</b>
<b>4 CAPÍTULO II: ELABORAÇÃO E CARACTERIZAÇÃO DE BIOFILMES À BASE DE SORO DE LEITE</b>	<b>35</b>
<b>4.1 INTRODUÇÃO</b>	<b>36</b>
<b>4.2 MATERIAL E MÉTODOS</b>	<b>37</b>
4.2.1 Obtenção dos biofilmes	37
4.2.2 Caracterização dos biofilmes	38
4.2.2.1 Solubilidade em água	38
4.2.2.2 Propriedades ópticas	38
4.2.2.3 Espessura	39
4.2.2.4 Propriedades mecânicas	39
4.2.2.5 Análises Térmicas	40
4.2.2.6 Microscopia Eletrônica de Varredura	40
4.2.3 Análises Estatísticas	41
<b>4.3 RESULTADOS E DISCUSSÃO</b>	<b>41</b>
4.3.1 Solubilidade em água, Propriedades ópticas, Espessura e Propriedades mecânicas	41
4.3.2 Análises Térmicas	44
4.3.3 MEV	47
<b>4.4 CONCLUSÃO</b>	<b>48</b>



<b>4.5 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS</b>	<b>49</b>
<b>5 CAPÍTULO III: INFLUÊNCIA DO USO DE BIOFILME À BASE DE SORO DE LEITE COMO PARTE DE UM SISTEMA DE EMBALAGEM NO ARMAZENAMENTO DE PIMENTAS BODE VERMELHA(<i>CAPSICUM CHINENSE</i> JACQ. VAR. BODE VERMELHA)</b>	<b>51</b>
<b>5.1 INTRODUÇÃO</b>	<b>51</b>
<b>5.2 MATERIAL E MÉTODOS</b>	<b>53</b>
5.2.1 Perda de massa	53
5.2.2 Determinação de cor	53
5.2.3 Sólidos Solúveis	53
5.2.4 Acidez Titulável	54
5.2.5 pH	54
5.2.6 Análises Estatísticas	54
<b>5.3 RESULTADOS E DISCUSSÃO</b>	<b>54</b>
<b>5.4 CONCLUSÃO</b>	<b>58</b>
<b>5.5 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS</b>	<b>58</b>

## ÍNDICE DE TABELAS

	Página
<b>CAPÍTULO I: EFEITO DA MATURAÇÃO EM PIMENTAS BODE VERMELHA (<i>Capsicum chinense</i> Jacq. Var. BODE VERMELHA)</b>	
<b>TABELA 1</b> - Valores médios e desvio padrão do comprimento, diâmetro, massa, volume e parâmetros instrumentais de cor, L, a*, b*, C e °Hue, pH, Acidez Titulável (AT) e Ácido Ascórbico de frutos de pimentas bode ( <i>Capsicum chinense</i> Jacq. var.) em cinco estádios de maturação (EM).	24
<b>TABELA 2</b> - Valores médios e desvio padrão dos fenólicos (mg/g), atividade antioxidante (AA) ( $\mu\text{mol}$ de Trolox/ g de amostra liofilizada) de frutos de pimentas bode ( <i>Capsicum chinense</i> Jacq. var.) em cinco estádio de maturação (EM).	28
<b>CAPÍTULO II- BIOFILMES À BASE DE SORO DE LEITE</b>	
<b>TABELA 1</b> - Formulações de biofilmes à base de soro de leite líquido, fécula de mandioca e plastificante glicerol.	37
<b>TABELA 2</b> - Valores médios e desvio padrão de Chroma (C), Hue ( $h^\circ$ ), variação total de cor ( $\Delta E$ ) , opacidade (OP), espessura e solubilidade de biofilmes à base de soro de leite.	42
<b>TABELA 3</b> - Valores médios e desvio padrão de tensão de ruptura, módulo de elasticidade (módulo Young) e alongação de biofilmes à base de soro de leite.	44
<b>TABELA 4</b> - Temperatura e perda de massa referente aos estágios das curvas de TG/DTG de filmes elaborados com soro de leite e fécula de mandioca .	47
<b>CAPÍTULO III - INFLUÊNCIA DO USO DE BIOFILME À BASE DE SORO DE LEITE COMO PARTE DE UM SISTEMA DE EMBALAGEM NO ARMAZENAMENTO DE PIMENTAS BODE VERMELHA(<i>CAPSICUM CHINENSE</i> JACQ. VAR. BODE VERMELHA)</b>	
<b>TABELA 1</b> - Equações de regressão para os Tratamentos Biofilme e Controle nas temperaturas de 16°C e 24°C, representando pH, acidez titulável, sólidos solúveis, perda de massa (%). $\Delta E$ , Hue ( $h^\circ$ ) e Chroma (C).	55

## ÍNDICE DE FIGURAS

	Página
<b>CAPÍTULO I: EFEITO DA MATURAÇÃO EM PIMENTAS BODE VERMELHA (<i>Capsicum chinense</i> Jacq. Var. BODE VERMELHA)</b>	
<b>FIGURA 1</b> - Micrografia eletrônica de varredura de frutos de pimenta liofilizados em cinco estádios de maturação: (A) Verde, (B) Alaranjado, (C) Vermelho claro, (D) Vermelho e (E) Vermelho-carmesim. Aproximação de 300X.	30
<b>CAPÍTULO II- BIOFILMES À BASE DE SORO DE LEITE</b>	
<b>FIGURA 1-</b> Curvas e eventos de DSC obtidas de filmes à base de soro de leite e fécula de mandioca, com taxa de aquecimento de 10°C/min e variação de temperatura entre 35 °C e 350 °C.	45
<b>FIGURA 2-</b> Curvas de TG e DTG de filmes elaborados com soro de leite e fécula de mandioca. (A): T1, (B): T2, (C): T3 e (D): T4.	46
<b>FIGURA 3-</b> Micrografia eletrônica de varredura de biofilmes a base de soro de leite, com aproximação de 500X.	48

## ÍNDICE DE EQUAÇÕES

	Página
<b>CAPÍTULO I: EFEITO DA MATURAÇÃO EM PIMENTAS BODE VERMELHA (<i>Capsicum chinense</i> Jacq. Var. BODE VERMELHA)</b>	
Equação 1 - Cálculo da Cromaticidade Chroma	20
Equação 2 - Cálculo de Cor matiz	20
<b>CAPÍTULO II- BIOFILMES À BASE DE SORO DE LEITE</b>	
Equação 1- Cálculo de Solubilidade	38
Equação 2- Cálculo da Cromaticidade Chroma	38
Equação 3 - Cálculo de Cor matiz	39
Equação 4 - Cálculo de Diferença total de cor	39
Equação 5 - Cálculo de Opacidade	39

## ÍNDICE DE ANEXOS

	Página
ANEXO I- Estádios de maturação utilizados na pesquisa: Verde, Alaranjado, Vermelho-claro, Vermelho e Vermelho carmesin.	61
ANEXO II- Formulações de biofilmes na estufa para evaporação do soluto.	61
ANEXO III- Realização da análise de propriedades mecânicas utilizando o aparelho Texturômetro (Texture Analyser, TA-XT Plus, Surrey, England)	62
ANEXO IV- Sistema de embalagem fechado utilizando biofilme.	63
ANEXO V- Sistema de embalagem fechado ao 6º dia de armazenamento	64
ANEXO VI- Pimentas bode vermelha no 7º dia de armazenamento no sistema fechado (com biofilme), na temperatura de 16°C.	65
ANEXO VII- Pimentas bode vermelha no 7º dia de armazenamento no sistema aberto (sem biofilme), na temperatura de 16°C.	65
ANEXO VIII- Pimentas bode vermelha no 7º dia de armazenamento no sistema fechado (com biofilme), na temperatura de 24°C.	66
ANEXO IX- Pimentas bode vermelha no 7º dia de armazenamento no sistema aberto (sem biofilme), na temperatura de 24°C.	66

## LISTA DE SÍMBOLOS, SIGLAS, ABREVIACÕES E UNIDADES

Símbolo	Sigla
%	Porcentagem
$\Delta a$	Varição da escala cromática de verde (-) ao vermelho (+).
$\Delta b$	Varição da escala cromática do azul (-) ao amarelo (-).
$\Delta E$	Diferença de cor
$\Delta L$	Varição da escala cromática do preto (0) ao branco (100)
$\mu L$	Microlitro
$\mu M$	Micromol
$\mu M$ Trolox/g	Micromol de Trolox por gramas
$a^*$	Tonalidade de verde a vermelho
AA	Atividade antioxidante
AAPH	2,2'-azobis (2-amidino-propano) diidrocloreto
ABTS	2,2'-azinobis-(3-etilbenzotiazolin-6-ácido sulfônico)
AT	Acidez titulável
$b^*$	Tonalidade azul a amarelo
BSA	Albumina do soro bovino
C	Cromaticidade
CFT	Compostos fenólicos totais
cm	Centímetro
CV	Coefficiente de variação
EM	Estádio de maturação
FAO	Food and Agriculture Organization
G	Gramas
GMP	Glicomacropéptido
H	Horas
$H^\circ$	Ângulo hue
IF Goiano	Instituto Federal Goiano
Ig	Imunoglobulina
KV	Quilovolt
L	Luminosidade
MEV	Microscopia eletônica de varredura
MF	Matéria final
mg	Miligrama
Mg/g	Miligrama por grama
MI	Matéria inicial
min.	Minutos
mL	Mililitro
mL/min	Mililitro por minuto
mm	Milímetro
mM	Milimol
$mm.s^{-1}$	Milímetros por segundo
MPa	Mega pascal
N	Newton
$N.m^{-2}$	Newton por metro quadrado
Nm	Nanômetro
$N^\circ$	Número
$^\circ C$	Graus celsius

°C/min	Graus celsius por minuto
OP	Opacidade
OPB	Opacidade no padrão branco
OPP	Opacidade no padrão preto
ORAC	<i>Oxygen Radical Absorbance Capacity</i> (Capacidade de Absorção dos Radicais Oxigenados)
PG	Poligalacturoase
pH	Potencial hidrogeniônico
pH	Potencial hidrogeniônico
PME	Pectina metilesterase
R <sup>2</sup>	Coefficiente de determinação
S(%)	Porcentagem de solubilidade
T1	Formulação 1 de biofilme
T2	Formulação 2 de biofilme
T3	Formulação 3 de biofilme
T4	Formulação 4 de biofilme
α-La	α-Lactoalbumina
β-Lg	β-Lactoglobulina

## RESUMO

MARTINS, Yasmine Ariadne Andrade Conservação pós-colheita de frutos de pimenta bode vermelha (*Capsicum chinense* Jacq.) estocados em sistema de biofilme à base de soro de leite. Dissertação (Mestrado em Tecnologia de Alimentos), Instituto Federal Goiano, Rio Verde, 2017.65 p.

A conservação pós-colheita é um ponto crítico para reduzir perdas e aumentar o tempo de armazenamento. Os frutos de pimenta bode vermelha são bastante perecíveis quanto ao tempo e condições de armazenamento. Assim, foi elaborado sistema de embalagem coberto por biofilme à base de soro de leite, aproveitando em maior quantidade o subproduto soro de leite. Os frutos de pimenta bode vermelha foram caracterizados pelos parâmetros físicos, físico-químicos e compostos bioativos em cinco estádios de maturação. O estágio de maturação mais indicado para consumo é o vermelho, pois apresentou maior capacidade antioxidante. Os biofilmes foram obtidos em quatro formulações com combinações de soro de leite e fécula de mandioca, sendo caracterizados por solubilidade, propriedades ópticas e propriedades mecânicas. Os filmes poderão ser utilizados para cobertura e como embalagens primárias. O tratamento de biofilme com 63,75% de soro de leite foi selecionado para integrar o sistema de embalagem por suas melhores propriedades mecânicas. Os sistemas de embalagem foram formados por sistema aberto (sem biofilme) e fechado (com biofilme), nas temperaturas de 16°C e 24°C por 17 dias de estocagem. As pimentas bode vermelha foram analisadas a cada dois dias, avaliando perda de massa, cor, sólidos solúveis e acidez titulável. A temperatura de 24°C causou maior injúria aos frutos. O sistema fechado de armazenamento acelerou o processo de degradação dos frutos por possivelmente impossibilitar as trocas gasosas, porém, o mesmo sistema impediu que os frutos desenvolvessem microrganismos, o que aconteceu no sistema aberto em ambas as temperaturas.

**Palavras-chave:** Pimenteira, Sistema de armazenamento, Compostos bioativos, Propriedades mecânicas.



## ABSTRACT

Post-harvest conservation is critical to reducing losses and increasing shelf life. The red goat pepper fruits are quite perishable as to the time and storage conditions. Thus, a system of packaging covered by biofilm based on whey was made, taking advantage of the whey by - product. The fruits of red goat pepper were characterized by physical, physicochemical and bioactive compounds in five stages of maturation. The most suitable stage of maturation for consumption is red, because it presented greater antioxidant capacity. The biofilms were obtained in four formulations with combinations of whey and manioc starch, being characterized by solubility, optical properties and mechanical properties. Films may be used for cover and as primary packaging. The biofilm treatment with 63.75% whey was selected to integrate the packaging system with its better mechanical properties. The packaging systems were formed by open system (without biofilm) and closed (with biofilm), at temperatures of 16°C and 24°C for 17 days of storage. Red goat peppers were analyzed every two days, evaluating loss of mass, color, soluble solids and titratable acidity. The temperature of 24°C caused greater injury to the fruits. The closed storage system accelerated the process of degradation of the fruits by possibly preventing the gas exchange, but the same system prevented the fruits from developing microorganisms, which happened in the open system at both temperatures.

**Key words:** Pepper, Storage system, Bioactive compounds, Mechanical properties.

## 1. INTRODUÇÃO GERAL

As pimentas (*Capsicum* sp.), pertencentes à família Solanaceae, constituem importante segmento do setor de hortaliças, tanto para a agricultura quanto para a indústria alimentícia. São especiais para produção de condimentos devido às características de coloração dos frutos e princípios ativos, que conferem aroma e sabor (MOREIRA *et al.*, 2006).

O acúmulo de lixo não biodegradável na natureza resulta da maior parte de embalagens sintéticas. Esse contexto desperta interesse em melhorar constantemente a qualidade do meio ambiente. Neste quadro, diversas pesquisas têm sido realizadas para incrementar e desenvolver embalagens biodegradáveis originadas de fontes renováveis (OLIVATO *et al.*, 2006).

Há uma crescente atitude proativa da sociedade para reduzir o impacto ambiental produzido por embalagens de alimentos após o uso. Isso pode estar associado à demanda do consumidor por maior qualidade e maior vida de prateleira de alimentos, com aumento na pesquisa de novas formulações de embalagens ativas (ARRIETA *et al.*, 2013).

O desenvolvimento de embalagens comestíveis e biodegradáveis tem merecido atenção intensa dos pesquisadores que vêm estudando novos materiais provenientes de fontes renováveis como alternativa às embalagens plásticas sintéticas (THARANATHAN, 2003).

Filmes obtidos a partir de proteínas de soro de leite caracterizam-se pela transparência, flexibilidade, ausência de odor e sabor, favorecendo a aceitabilidade para consumo (CHEN, 1995).

A ação dos filmes decorre da redução da atividade metabólica e da perda de água, melhorando o aspecto comercial e aumentando o período de comercialização dos produtos hortifrutícolas (VILA, 2004).

Filmes comestíveis e revestimentos são inovações no conceito de embalagem ativa biodegradável, que podem melhorar a segurança, propriedades funcionais ou sensoriais, mantendo a qualidade das embalagens de alimentos (PARRA *et al.*, 2004; RIVEROS *et al.*, 2013).

As características dos bioplásticos dependem do equilíbrio entre o grau de reticulação da matriz polimérica (por vezes, necessário para reduzir a solubilidade em

água, mas induz a fragilidade) e adição de agentes plastificantes para melhor trabalhabilidade. Considerando que, acima de uma concentração crítica, o agente plastificante pode exceder o limite de compatibilidade com o biopolímero, e uma separação de fases, com exclusão de plastificante pode ser observada (YANG & PAULSON, 2000).

A cobertura à base de proteína destaca-se por ser comestível, biodegradável e promover boa barreira contra gás. Forma proteção mecânica, o que aumenta a vida pós-colheita e minimiza a deterioração do alimento (CHO *et al.*, 2002).

Com o intuito de buscar fontes alternativas para conservação de frutos de pimenta bode vermelha sem gerar resíduos sólidos e agregar valor tecnológico ao soro de leite, objetivou-se desenvolver e avaliar biofilmes à base de soro de leite líquido no armazenamento de frutos de pimenta bode (*Capsicum chinense*).

## **2. OBJETIVOS**

### **2.1 Objetivo Geral**

Desenvolver biofilmes biodegradáveis à base de soro de leite para uso em sistemas de embalagem de pimentas bode vermelha.

### **2.2 Objetivos Específicos**

Avaliar a qualidade dos frutos de pimenta bode vermelha por meio da determinação de comprimento, diâmetro, volume, massa, textura, cor, pH, acidez total, ácido ascórbico, compostos bioativos e Microscopia Eletrônica de Varredura (MEV);

Elaborar biofilmes à base de soro de leite líquido associado à fécula de mandioca;

Caracterizar biofilmes através da determinação da solubilidade em água, propriedades mecânicas, cor, opacidade, análises térmicas e MEV;

Selecionar o melhor biofilme para ser usado nos sistemas de embalagem de pimenta bode vermelha;

Armazenar frutos de pimenta em embalagens biodegradáveis à base de soro de leite líquido e fécula de mandioca;

Avaliar a qualidade pós-colheita de pimentas bode vermelha submetidas ao armazenamento por 1, 3, 5, 7, 9, 11 e 13 dias nas temperaturas de 16 °C e 24 °C, através da determinação da perda de massa, cor, sólidos solúveis e acidez titulável.

### 3. CAPÍTULO I

#### EFEITO DO ESTÁDIO DE MATURAÇÃO SOB AS CARACTERÍSTICAS FÍSICAS E QUÍMICAS DE PIMENTAS BODE VERMELHA

**Resumo:** Objetivou-se avaliar os aspectos físicos e físico-químicos de cinco estádios de maturação (EM) de pimentas bode vermelha do gênero *Capsicum chinense*. Os parâmetros físicos diâmetro, comprimento, massa e volume demonstraram o quanto a espécie é heterogênea, independente do estágio de maturação. A firmeza diminuiu a partir do EM alaranjado. A cor dos frutos tenderam para a cor vermelho escuro, significando a gradual ausência do pigmento clorofila e surgimento de carotenóides. Os parâmetros físico-químicos foram influenciados pelo período de maturação, se tornando mais ácidos e com menor quantidade de ácido ascórbico. Os compostos bioativos tiveram maiores valores para os EM vermelho claro e vermelho, sendo os estádios melhores avaliados para consumo.

**Palavras-Chave:** *Capsicum chinense* Jacq., Compostos bioativos, Vitamina C, Qualidade.

**Abstract:** The aim of this research was to evaluate five stages of maturation of red bode peppers of the genus *Capsicum chinense* and to evaluate the effect of maturation on the physical and physicochemical aspects. The physical parameters diameter, length, mass and volume showed how much the species is heterogeneous, independent of the stage of maturation. The firmness decreased from the AM Orange. The color of the fruits tended to the dark red color, meaning the gradual absence of the pigment Chlorophyll and appearance of carotenoids. The physico-chemical parameters were influenced by the maturation period, becoming more acidic and with less amount of ascorbic acid. The bioactive compounds had higher values for light red and red MS, and the stages were better evaluated for consumption.

**Keywords:** *Capsicum chinense* Jacq., Bioactive compounds, Vitamin C, Quality.

### 3.1 INTRODUÇÃO

As pimentas do gênero *Capsicum*, originam-se de zonas tropicais e úmidas da América Central e do Sul, pertencem à família Solanaceae que inclui pimentas de valor econômico importante. Existem várias espécies, das quais três são amplamente divulgadas, sendo frutos de alta pungência: *Capsicum annuum*, *Capsicum pubescens* e *Capsicum chinense*. A cor de cada variedade é ampla, sendo verde, amarelo ou branco para a fruta verde, e voltando-se para vermelho, vermelho escuro, marrom e às vezes quase preto na fase madura. Os frutos podem exibir uma gama de cores do branco ao vermelho escuro (HA *et al.*, 2007).

Pimentas do gênero *Capsicum* são muito populares em muitas partes do mundo devido a cor, pungência e aroma (SOUSA *et al.*, 2006). São utilizadas industrialmente como agentes corantes e aromatizantes em molhos, sopas, carnes processadas, doces e bebidas alcoólicas (PINO *et al.*, 2007; KOLLMANNNSBERGER *et al.*, 2011).

No Brasil a pimenta bode, da espécie *Capsicum chinense*, é popular na região Sudeste. Os frutos são redondos ou achatados, com cerca de 1 cm de diâmetro, coloração amarela ou vermelha, forte aroma e alta pungência (IBURG, 2005).

O valor nutritivo da *Capsicum* é elevado e excelente fonte de vitaminas C (ácido ascórbico), A, B e complexo E, juntamente com minerais como molibdênio, manganês, ácido fólico, tiamina e potássio. Contém sete vezes mais vitamina C do que a laranja. Os beta-carotenos e vitaminas C em pimentas são poderosos antioxidantes, se ligando aos radicais livres e tornando-os inativos (SIMONNE *et al.*, 1997).

As pimentas, além de micro e macronutrientes, possuem uma série de substâncias com propriedades antioxidantes, que podem ter impacto significativo na prevenção de doenças degenerativas, incluindo câncer, doenças cardiovasculares, cataratas e o funcionamento do sistema imune. Dentre tais substâncias, destacam-se os compostos fenólicos, ácido ascórbico e carotenoides, constituintes cujos níveis podem variar de acordo com a espécie, genótipo e grau de maturação das pimentas (HOWARD *et al.*, 2000, DAVIS *et al.*, 2007).

As fases de desenvolvimento dos frutos são caracterizados por alterações, tanto na estrutura como na fisiologia e bioquímica das células, que culminam com a maturação, amadurecimento e, finalmente senescência. O amadurecimento constitui a fase final da maturação, que é caracterizada pelo amolecimento da polpa e desenvolvimento do aroma e sabor dos frutos (PINO *et al.*, 2006).

A avaliação da influência dos estádios da maturação de pimentas bode vermelha

nas características físicas e propriedades funcionais não foram realizados no Estado de Goiás, caracterizado como região de Cerrado, tornando-se, portanto, uma oportunidade para conhecer e divulgar as propriedades nutricionais da espécie, além de promover a agregação de valor ao produto..

Nesse contexto, objetivou-se caracterizar e determinar o efeito da maturação sobre os frutos de pimentas bode vermelha, bem como encontrar o melhor estágio de maturação para consumo, em que seja aproveitado todo o potencial bioativo.

## **3.2 MATERIAL E MÉTODOS**

### **3.2.1 Obtenção das Pimentas Bode Vermelha**

Os frutos de pimenta bode vermelha (*Capsicum chinense* Jacq. var.) foram coletados no Laboratório de Olericultura do Instituto Federal Goiano - *Campus* Rio Verde, GO, Brasil. Após a coleta, foram encaminhados para o Laboratório de Produtos de Origem Animal, do IF Goiano, selecionados visualmente quanto ao estágio de maturação (EM) (ANEXO I), baseado na coloração dos frutos, separando os em cinco estádios: verde (estádio 1); alaranjado (estádio 2); vermelho-claro (estádio 3); vermelho (estádio 4) e vermelho-carmesim (estádio 5) conforme Gonçalves *et al.*, (2015). Em seguida, foram imersos em solução de hipoclorito de sódio a 100 ppm por 15 minutos, secos com papel toalha, colocados em bandeja plástica e transportados para estufa incubadora tipo B.O.D. regulada com temperatura a  $10\text{ }^{\circ}\text{C} \pm 1\text{ }^{\circ}\text{C}$  e umidade relativa de  $90\% \pm 2\%$ , local em que permaneceram até que as análises se concluíssem.

### **3.2.2 Caracterização Física dos Frutos**

As análises de caracterização física dos frutos foram realizadas utilizando parcela experimental de 60 frutos por estágio de maturação.

Para avaliação das medidas físicas dos frutos de pimenta bode, foram eliminadas as sujidades com papel toalha. O comprimento (mm) e diâmetro equatorial (mm) foram medidos com uso de paquímetro digital. O volume foi determinado com imersão do fruto em jarra de polipropileno graduada com água destilada, anotando-se o volume (mL) de líquido deslocado.

A massa dos frutos foi determinada com pesagem em balança analítica com precisão de três casas decimais, e os resultados expressos em gramas (g).

### 3.2.3 Firmeza

Foi utilizado equipamento Brookfield modelo CT3 Texture Analyzer e os dados coletados através do programa Texture Expert for Windows - Versão 1.20 (Stable Micro Systems). Utilizou-se a técnica do ensaio de compressão uniaxial a altas deformações da amostra, com probe cilíndrica de acrílico (modelo TA25/100) a uma velocidade de compressão de  $2 \text{ mms}^{-1}$  e 50% de deformação da amostra, obtendo resultados a serem expressos em  $\text{Nm}^{-2}$ ). A análise foi realizada em 30 frutos por estágio de maturação.

### 3.2.4 Determinação de Cor

Para avaliação da cor dos frutos de pimenta bode nos estádios de maturação 1, 2, 3, 4 e 5, os frutos foram divididos em quatro quadrantes, com 30 frutos por estágio de maturação.

Os parâmetros de cor foram analisados em Colorímetro Hunter Lab, modelo Color Flex EZ, no Laboratório de Pós-Colheita de Produtos Vegetais do Instituto Federal Goiano - *Campus* Rio Verde. A quantificação objetiva de cor foi feita por meio de colorímetro triestímulo, com leitura direta de reflectância das coordenadas de cromaticidade “L” (luminosidade), “a” (tonalidades de verde -60 a vermelho +60) e “b” (tonalidades de azul -60 a amarelo +60), empregando-se escala Hunter-Lab (BORGES, 2013). Os termos L, C e  $h^\circ$  indicam brilho (“lightness”), cromaticidade e ângulo Hue, respectivamente (CASSETARI, 2012).

Para avaliação da cromaticidade C e ângulo Hue (Equações 1 e 2), foram utilizadas as coordenadas  $a^*$  e  $b^*$  (KONICA, 1998).

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

$$h = \arctan\left(\frac{b^*}{a^*}\right) \quad (2)$$

Onde:  $C^*$ : Chroma (adimensional);  $h$ : Hue ( $^\circ$ );  $L^*$ : luminosidade (adimensional);  $a^*$ : Cromaticidade verde-vermelho (adimensional);  $b^*$ : Cromaticidade azul-amarelo (adimensional).



### **3.2.5 pH**

O pH foi determinado em pHmêtro digital de bancada modelo W38 (Bel Engineering®), com leitura automática e correção automática de temperatura, segundo método n° 981.12 da AOAC, (2010).

### **3.2.6 Acidez Titulável Total**

A acidez titulável (AT) foi realizada por titulação, segundo método n° 942.15 da AOAC (2010), e expressa em gramas de ácido cítrico/100 g de amostra.

### **3.2.7 Determinação do teor de ácido ascórbico**

A quantificação do ácido ascórbico (vitamina C), foi realizada segundo Instituto Adolfo Lutz (2008), com resultados expressos em miligramas de ácido ascórbico/100 g de polpa, pelo método volumétrico por óxido-redução com iodato de potássio a 0,1 N. A amostra de 5 g  $\pm$  0,5 g de fruto de pimenta bode vermelha foram suspensos em 15 mL de água destilada e utilizados 5 mL para cada titulação, em triplicata. Em 5 mL de polpa diluída foram acrescentados 10 mL de ácido sulfúrico a 20%, 1 mL da solução de iodeto de potássio a 10% e 1 mL da solução de amido a 1%. A solução foi titulada com iodeto de potássio até a coloração azul. Os valores foram expressos em mg de vitamina C/100g de polpa.

### **3.2.8 Compostos bioativos**

#### **3.2.8.1 Obtenção dos Extratos**

Os extratos de pimenta bode vermelha foram obtidos em triplicata, conforme descrito por Bloor (2001) com adição de 10 mL de etanol 80% (v/v) a 1,0 g do material liofilizado. A extração foi conduzida em aparelho ultrassom por 30 minutos, sob vibração constante e temperatura ambiente. Em seguida, procedeu-se a centrifugação a 5000 x g durante 15 minutos e, após filtração, o sobrenadante foi recuperado e utilizado para análises químicas.

#### **3.2.8.2 Compostos Fenólicos Totais**

A análise dos compostos fenólicos totais dos extratos foi realizada de acordo com o método espectrofotométrico de Folin-Ciocateau descrito por Kruawan & Kangsadalampai (2006), utilizando ácido gálico como padrão.

Os extratos foram adequadamente diluídos, e uma alíquota de 20 µL da amostra diluída foi transferida para cada poço de uma microplaca e adicionado 100 µL do reagente Folin-Ciocateau 10% em água. A mistura permaneceu em repouso por 5 minutos, sendo, posteriormente, adicionados 75 µL de solução de carbonato de sódio a 4% em água. A leitura foi realizada a 740 nm após 40 minutos de reação. Uma amostra em branco foi conduzida nas mesmas condições e os resultados dos compostos fenólicos totais foram expressos em equivalentes de ácido gálico.

### 3.2.8.3 Sequestro do radical peroxil (ORAC)

A determinação da atividade antioxidante pelo ORAC (*Oxygen Radical Absorbance Capacity*), foi realizada de acordo com Chisté *et al.*, (2011). Foram adicionados em microplacas, na seguinte ordem: 30 µL do extrato devidamente diluído, 60 µL de fluoresceína 508,25 mM e 110 µL de AAPH (2,2'-azobis (2-amidino-propano) diidroclorido) 76 mM. Para obtenção da curva padrão ( $R^2 > 0,99$ ), o volume do extrato foi substituído por soluções de Trolox nas concentrações de 25 µM, 50 µM, 100 µM, 200 µM e 400 µM.

A mistura foi mantida a 37 °C para promover a termodecomposição do AAPH e, por consequência a geração de radicais peroxila, enquanto isso, o sinal da fluorescência foi monitorado a cada minuto até o completo decaimento para todas as amostras (aproximadamente 2 horas). Para tanto, os comprimentos de onda de excitação e de emissão utilizados foram de 485 nm e 528 nm, respectivamente.

Os resultados, expressos em equivalente a µmol de Trolox/g em base seca, foram determinados por meio da diferença dos valores entre a amostra e o controle no que diz respeito à área sob a curva do decaimento da fluorescência (intensidade x tempo).

Todos os extratos e soluções foram diluídos em tampão fosfato 75mM (pH = 7,4), a importância do tampão se deve ao fato de haver significativa diminuição na intensidade da fluorescência quando o pH tem valores menores que 7 (OU *et al.*, 2001).

### 3.2.8.4 Atividade antioxidante pelo método ABTS<sup>+</sup>

A atividade antioxidante pelo método ABTS [2,2'-azinobis-(3-etilbenzotiazolin-6-ácido sulfônico)] foi realizada conforme metodologia descrita por Al-Duais *et al.*, (2009). O radical ABTS<sup>+</sup> foi formado pela reação de 140 mM de persulfato de potássio com 7 mM de ABTS e, armazenado no escuro, a temperatura ambiente, por 16 horas. Uma vez formado, o radical foi diluído em tampão fosfato de potássio 7,5 Mm (pH =

7,4) até obtenção do valor de absorvância de  $0,700 \text{ nm} \pm 0,020 \text{ nm}$  em comprimento de onda de 734 nm. A partir do extrato, foram preparadas três diluições diferentes. Em ambiente escuro, foram adicionados em microplacas, alíquota de 20  $\mu\text{L}$  de cada diluição do extrato da amostra e adicionou-se 220  $\mu\text{L}$  do radical ABTS<sup>+</sup>. As absorvâncias foram lidas à 734 nm, após 6 minutos de reação, utilizando tampão fosfato de potássio 7,5 mM (pH = 7,4) como branco. Como referência, utilizou-se Trolox, antioxidante sintético análogo a vitamina E, nas concentrações de 12,5  $\mu\text{M}$  a 200  $\mu\text{M}$ . Os resultados foram expressos em  $\mu\text{M}$  Trolox/g de extrato (atividade antioxidante equivalente ao Trolox).

### **3.2.9 Microscopia Eletrônica de Varredura**

A análise microestrutural foi realizada no Laboratório Multiusuário de Microscopia de Alta Resolução da Universidade Federal de Goiás, através de microscópio eletrônico de varredura eletrônica (JSM-6610/ Jeol<sup>®</sup>), equipado com EDS, ThermoScientific NSS SpectralImaging. As amostras de pimenta foram previamente desengorduradas por extração em Soxhlet, método n° 1.122 (IUPAC, 1979), alocadas em *stubs* de alumínio com fita dupla face, e banhadas por filme ultrafino de ouro, permitindo o princípio de funcionamento do MEV, por emissão de feixes de elétrons com voltagem de aceleração de 5 kV por um filamento de tungstênio.

### **3.2.10 Análises Estatísticas**

O delineamento experimental foi inteiramente casualizado, com cinco tratamentos (Estádios de maturação 1, 2, 3, 4 e 5). Para as análise de comprimento, diâmetro, massa, volume, firmeza e cor, a parcela experimental foi de 30 frutos por Tratamento, para cor foram realizadas três mensurações por frutos. As análises de pH, acidez titulável, ácido ascórbico e compostos bioativos foram realizadas com três repetições e triplicata de análises. Os dados foram submetidos à análise de variância, utilizando-se o SISVAR<sup>®</sup> (FERREIRA, 2011). Os estádios de maturação dos frutos foram comparados pelo teste de Tukey ao nível de 5% de probabilidade. Os dados foram apresentados em valor médio e desvio padrão.

### 3.3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

#### 3.3.1 Caracterização Física dos Frutos

Em relação ao comprimento, observaram-se valores de 11,74 mm a 13,66 mm, com diferença entre os estádios, com exceção dos estágios vermelho e vermelho-carmesim, com os maiores valores, 13,66 e 13,50, respectivamente. Quanto à largura do fruto, a variação foi de 18,18 mm a 19,63 mm, havendo diferença do estádio alaranjado (18,18) quando comparado aos demais estádios (Tabela 1).

**TABELA 1** - Valores médios e desvio padrão do comprimento (mm), diâmetro (mm), massa (g), volume (mL), firmeza (N), parâmetros instrumentais de cor, L (luminosidade), a\* (-60 verde a +60 vermelho), b\* (-60 azul a +60 amarelo), Chroma, Hue, pH e acidez titulável (AT) de frutos de pimentas bode (*Capsicum chinense* Jacq. var.) em cinco estádios de maturação.

Variáveis	Estádios de maturação					CV %
	Verde	Alaranjado	Vermelho claro	Vermelho	Vermelho-carmesim	
Comprimento	12,62±1,51 b	11,74±1,34c	13,26±1,69a b	13,66±1,77 a	13,50±2,19a	12,66
Diâmetro	19,40±1,86 a	18,18±2,44b	20,11±2,54a	19,63±2,54 a	18,99±2,20a b	12,12
Massa	6,24±1,27a	5,20±1,79b	6,91±1,66a	6,76±1,98a	6,57±2,14a	28,36
Volume	3,21±0,86a	2,55±1,22b	3,65±1,02a	3,25±0,93a	3,26±0,96a	31,73
Firmeza	11,31±2,31 a	9,19±2,66b	9,08±2,00b	8,52±2,10b	7,99±2,18 b	24,58
L	32,66±3,46 a	28,88±2,25b	26,50±1,97c	23,76±2,81 d	23,72±1,99d	9,46
a*	- 2,58±2,33c	16,22±3,96b	18,90±1,79a	18,75±1,44 a	15,71±1,76b	18,23
b*	20,18±4,64 a	19,51±18,85 a	14,92±2,41b	10,23±1,60 c	7,02±1,20d	19,10
Chroma	20,53±4,56 c	25,65±2,85a	24,19±1,93 b	21,41±1,73 c	17,23±1,96d	12,90
Hue	- 1,01±0,96d	0,85±0,23a	0,66±0,09b	0,49±0,06c	0,41±0,05c	156,90
pH	4,63±0,07a	4,58±0,14a	4,6±0,05a	4,46±0,05a	4,21±0,07b	1,92
AT	0,79±0,15c	0,81±0,14c	1,39±0,19a	1,34±0,23a b	1,10±0,29b	19,38

Letras distintas na linha diferem entre si ao nível de 5% de probabilidade de acordo com teste de Tukey.

Os resultados obtidos para massa e volume variaram de 5,20 mm a 6,91 mm e 2,55 mm a 3,65 mm, respectivamente. Os valores médios observados em massa e volume apresentaram o mesmo comportamento, com diferença do estádio alaranjado em relação aos demais estádios.

Nos frutos de pimenta bode vermelha, em relação ao comprimento, diâmetro, massa e volume, o estágio de maturação alaranjado diferiu, sendo o estágio com menor valor dentre os parâmetros físicos analisados.

Os valores obtidos neste trabalho para comprimento foram de 11,74 mm a 13,66 mm e para diâmetro de 18,18 mm a 19,63 mm, portanto, próximos aos valores encontrados por Borges *et al.* (2015) ao estudarem seis variedades de pimentas *Capsicum spp* com resultados para o gênero *Capsicum chinense* variando de 9,99 mm a 66,92 mm para comprimento e 9,97 mm a 20,10 mm de diâmetro.

Jarret & Berke (2008) observaram variação de 8 mm a 114 mm para comprimento e de 6 mm a 40 mm para largura dos frutos de pimenta nos acessos avaliados. Segundo Batista (2014) a grande variedade de formas e tamanhos dos frutos observados nos diferentes acessos de pimentas demonstra a existência de ampla variabilidade genética entre estas.

Os valores de comprimento e massa de frutos de pimenta bode vermelha corroboram com Fonseca *et al.* (2008), em estudo sobre a caracterização morfológica e diversidade genética de 38 genótipos de *C. chinense* Jacq., relataram desde frutos com comprimentos inferiores a 10 mm (2,6%) até frutos entre 80 mm e 120 mm (12,6%) de comprimento, porém, a maioria dos genótipos estudados, cerca de 79%, apresentaram frutos com comprimento variando entre 20 mm e 80 mm. No mesmo estudo, a massa dos frutos variou de 3 g a 9 g (5,3 %), 9 g a 27 g (5,3 %) e 27 g a 81 g (89,4 %).

Os resultados da avaliação instrumental de textura apresentaram diferença somente para o EM Verde em comparação aos demais estádios, significando que neste estágio foi necessário maior força (11,31) para romper a parte exterior do fruto, ficando mais fácil a medida que o fruto amadurecia.

Segundo Sethu *et al.* (1996) durante o amadurecimento de pimentas *Capsicum* ocorre mudanças nas atividades de várias hidrolases da parede celular, sendo que a atividade de poligalacturoase (PG) aumenta, fazendo com que a atividade pectina metilesterase (PME) aumente, diminuindo assim, a firmeza do fruto.

Neste trabalho a firmeza obteve valores de 7,99 a 11,31, Guinè & Barroca (2012) ao avaliarem pimentas verdes com diferentes tratamentos de temperatura, obteve valores de firmeza próximos, com 13,81 e 10,88 para pimentas *in natura*.

O parâmetro de textura firmeza/dureza quantifica a resistência do fruto às forças envolvidas na destruição da textura e pode influenciar fatores como colheita, transporte, processamento e desenvolvimento de novos produtos.

Ao longo do período de maturação houve decréscimo da firmeza, tendo significância do EM Verde e demais estádios. Na sua maioria, a perda progressiva da firmeza ou o amaciamento ocorre como consequência do amadurecimento normal, um processo complexo que envolve diferentes mecanismos tais como perda do turgor celular, redução no tamanho e distribuição dos polímeros das paredes celulares e ação de enzimas hidrolíticas (CHITARRA & CHITARRA, 2005).

O parâmetro de luminosidade ( $L^*$ ) diferiu nos três primeiros estádios de maturação, significando que a cor aparente ganhou tons mais escuros, se distanciando do 0 (branco) e se aproximando do 100 (preto). Os valores dos estádios vermelho e vermelho-carmesim não diferiram, sendo os menores valores de luminosidade, atribuído ao fim da maturação. O EM vermelho-carmesim resultou em frutos de cor mais escura, o que é comprovado pelo maior valor de luminosidade (23,72) e cor vermelha como a cor observável ( $h^\circ$  próximo a  $0^\circ$ ).

Quanto aos valores de  $a^*$ , o estágio verde obteve valores negativos que comprovam a cor verde claro e maior quantidade de clorofila. Os estádios vermelho e vermelho-claro apresentaram os maiores valores e não diferiram entre si, indicando maior quantidade de carotenóides. O último EM teve valor semelhante ao estágio alaranjado, mudando apenas a intensidade da cor vermelha. A cromaticidade  $b^*$  obteve valores decrescentes de acordo com os EM, com os estádios Verde e Alaranjado com maiores valores e não diferindo entre si e dos demais estádios com valores que diferiam entre si. O decréscimo dos valores significa a mudança da tonalidade amarelo para uma cor próxima ao tom de azul.

O parâmetro  $C^*$  diferiu nos EM alaranjado, vermelho claro e vermelho-carmesim, com o maior valor para alaranjado (25,62) e o menor para vermelho-carmesim (17,23) enquanto os EM verde e vermelho não diferiram entre si, mas sim dos outros estádios. A saturação ( $C^*$ ) tem variação do 0 (cinza neutro) a 100 (cor pura, sem cinza) (DENT, 1999), significando que o estágio de maturação mais próximo a cor pura observável é o alaranjado, com o maior valor dentre os estádios analisados.

O chroma ( $C^*$ ) expressa a saturação ou intensidade da cor, enquanto o ângulo de matiz ( $h^\circ$ ) indica a cor observável e é definido como iniciando no eixo  $+a^*$ , em graus, em que  $0^\circ$  é  $+a^*$  (vermelho),  $90^\circ$  é  $+b^*$  (amarelo),  $180^\circ$  é  $-a^*$  (verde), e  $270^\circ$  é  $-b^*$  (azul) (HUNTERLAB, 1996; GAYA & FERRAZ, 2006).

Os valores de  $h^\circ$  apresentam as seguintes correspondências quanto às cores da superfície do tecido vegetal:  $0^\circ$ /vermelho,  $90^\circ$ /amarelo,  $180^\circ$ /verde e  $270^\circ$ /azul.

Demonstrando que os parâmetros L\*, a\* e b\* podem ser utilizados como ferramenta para a determinação da concentração de clorofila (CASSETARI, 2012). A cor do fruto vai depender da capacidade de sintetizar carotenóides e da retenção dos pigmentos clorofílicos (COLLERA-ZÚÑIGA *et al.*, 2005).

No amadurecimento de pimentas bode vermelha, os frutos apresentam coloração verde e no início da maturação passa gradativamente pelas cores alaranjado e vermelho, intensificando a cor vermelho até o amadurecimento. Os frutos degradam a clorofila e sintetizam carotenoides ao longo do amadurecimento.

O pH do frutos variou de 4,21 a 4,68, somente diferindo no EM vermelho-carmesim, com o menor valor avaliado.

Os resultados de pH encontrados nesse estudo foram mais baixos em relação aos observados por Braga *et al.* (2013), que encontraram valores de 5,13 a 5,57 em frutos de cinco genótipos de pimenta malagueta. Os mesmos autores consideraram o pH uma característica importante para deterioração do produto, devido a presença e crescimento de microrganismos nocivos à saúde.

Borges *et al.* (2015) ao caracterizarem pimentas em Roraima obtiveram valores de 4,98 a 5,45 e consideraram que frutos mais ácidos são naturalmente mais estáveis quanto a deterioração do que aqueles que apresentam pH próximo à neutralidade.

### 3.3.2 Compostos Bioativos

Os valores encontrados para ácido ascórbico na Tabela 2, constatou-se variações entre os estádios de maturação de 52,83 mg/100g a 78,27 mg/100g, sendo maior no estágio de maturação alaranjado (78,27 mg/100g).

Braga *et al.* (2013) ao caracterizarem cinco acessos de pimentas cultivadas no município de Sobral-Ceará, relatou valores discrepantes aos deste trabalho, com valores de 21,46 mg/100g a 26,36 mg/100g de ácido ascórbico.

A determinação do conteúdo de ácido ascórbico em vegetais é um importante indicador da preservação dos demais nutrientes decorrentes da característica termolábil, pois além do papel fundamental na nutrição humana, a degradação pode favorecer o escurecimento não enzimático e causar o aparecimento de sabores desagradáveis (ALVES *et al.*, 2010).

O teor de ácido ascórbico (vitamina C) variou de 52,83 mg/100g a 78,27 mg/100g, caracterizando o fruto como boa fonte desta vitamina, uma vez que os valores estão de acordo com a recomendação de ingestão diária da FAO (Food and Agriculture

Organization) que para crianças é 35 mg, adultos 45 mg, grávidas 55 mg e lactantes 70 mg (FAO, 2001). Para consumidores de pimentas, o gênero bode vermelha apresenta grande vantagem em relação à ingestão de vitamina C, estando acima da recomendação diária da FAO.

Durante o amadurecimento, o teor de ácido ascórbico aumenta nos estádios iniciais de desenvolvimento, até a maturação total, mas, quando excessivamente maduro, esse conteúdo diminui significativamente. Esse fato ocorre em função da desorganização da parede celular, levando à oxidação do ácido ascórbico, provavelmente devido à ação das enzimas polifenoloxidase e ácido ascórbico oxidase (VAZQUEZ-OCHOA & COLINAS-LEON, 1990). Ao considerar os valores encontrados neste trabalho, pode-se concluir que no estágio de maturação alaranjado os frutos de pimenta apresentaram maturação total, pois é o estágio com maior teor de ácido ascórbico e nos estádios subsequentes houveram decréscimo deste valor.

Acidez titulável e ácido ascórbico são indicadores de qualidade em frutos e vegetais. A acidez total inclui ácidos orgânicos dissociados e não dissociados, influenciando o sabor e conteúdo nutricional. O ácido ascórbico é parte da nutrição essencial para a saúde humana e pode ser obtido a partir de frutos e legumes (LI *et al.*, 2017).

**TABELA 2** - Valores médios e desvio padrão de ácido ascórbico (MG/100g), teor de compostos fenólicos (mg/g de amostra), atividade antioxidante (AA) ( $\mu\text{mol}$  de Trolox/ g de amostra liofilizada) de frutos de pimentas bode (*Capsicum chinense* Jacq. var.) em cinco estádios de maturação (EM).

EM	Ácido Ascórbico	Fenólicos	AA	
			ABTS	ORAC
Verde	70,44±12,45 ab	21,81 ±1,56 a	120,24±3,73c	300,64 ±28,51c
Alaranjado	78,27±9,28 a	19,07 ±2,79 a	115,73±1,25c	262,85 ±8,56 c
Vermelho claro	66,53±7,76 bc	20,00 ±0,61 a	145,09 ±1,03b	382,73± 9,65 a
Vermelho	58,70±8,80 cd	21,12 ±2,29 a	177,99 ±2,38a	348,08± 9,85 ab
Vermelho-carmesin	52,83±0 d	23,95 ±1,53 a	149,62 ±2,54b	343,19 ±1,10 b
<b>CV%</b>	<b>13,32</b>	<b>9,00</b>	<b>1,70</b>	<b>4,48</b>

Letras distintas na coluna diferem entre si ao nível de 5% de probabilidade de acordo com teste de Tukey.

Os valores de compostos fenólicos não apresentaram diferença ( $p>0,05$ ), variando de 19,07 mg/g a 23,95 mg/g. Apesar disso, o menor valor (19,07 mg/g) corresponde ao segundo estágio de maturação (alaranjado) e o maior (23,95 mg/g) ao último estágio (vermelho-carmesin) (Tabela 2), apoiando o trabalho de Kays (1991) que



relatou que o aumento do teor de compostos fenólicos está relacionado a maturação dos frutos, pois estes compostos são responsáveis pela coloração e sabor de grande maioria dos frutos.

Os valores de compostos fenólicos obtidos neste trabalho para pimentas bode vermelha variaram de 19,07 mg/100g a 23,95 mg/100g, corroborando com valores encontrados na literatura. Ao avaliarem compostos fenólicos de pimentas *Capsicum chinense* em diferentes processos, Loizzo *et al.* (2015) obtiveram resultados de 2,3 mg/100g a 71,4 mg/100g para pimentas frescas, 1,5 mg/100g a 37,3 mg/100g para pimentas congeladas e 0,5 mg/100g a 44,9 mg/100g para amostras cozidas.

As propriedades antioxidantes dos polifenóis estão relacionadas, principalmente às propriedades redox, que permitem atuar como agentes redutores, doadores de hidrogênio e supressores do oxigênio singlete (RICE-EVANS *et al.*, 1996). Esses compostos também possuem a capacidade de complexação de íons metálicos, decomposição de peróxidos, inibição de enzimas responsáveis pela geração de espécies reativas de oxigênio ou de nitrogênio e modulação de vias sinalizadoras celulares (RAHMAN *et al.*, 2006).

Segundo Müller *et al.* (2011) os métodos utilizados para determinação da atividade antioxidante podem produzir resultados muito divergentes, devido as diferentes sensibilidades de cada método, dessa forma tal atividade antioxidante deve ser mensurada por mais de um método.

Os métodos ABTS e ORAC são similarmente indicados para medir a atividade antioxidante de compostos de natureza hidrofílica e lipofílica, sendo o método ORAC muito aplicado na indústria de suplementos alimentares (DÁVALOS *et al.*, 2004; KUSKOSKI *et al.*, 2005).

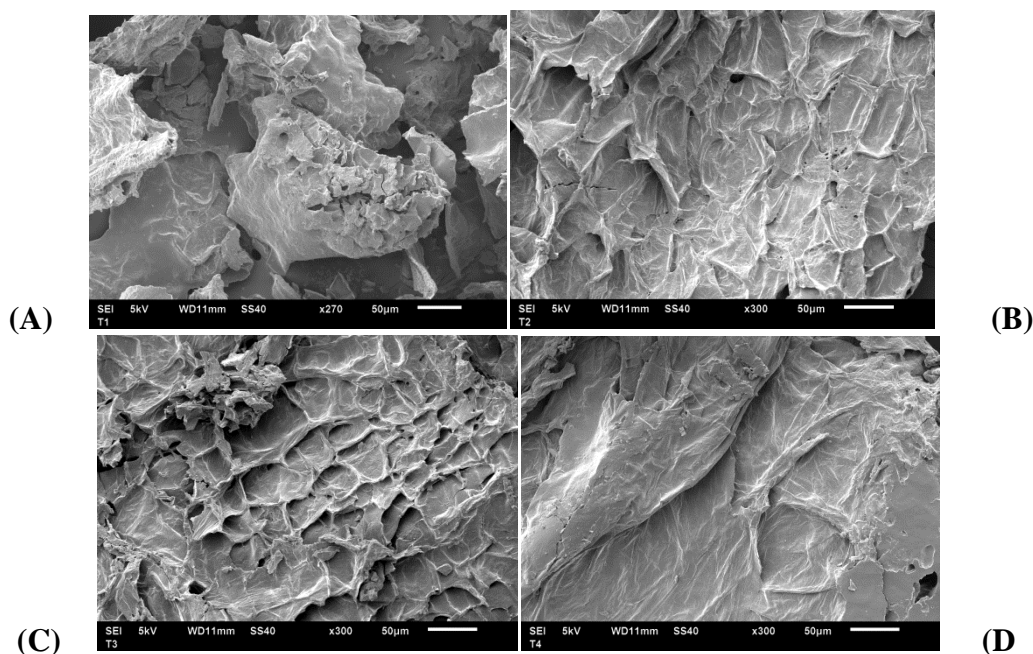
A capacidade antioxidante feita pelos métodos ABTS e ORAC apresentou similaridade no comportamento de acordo com o aumento da maturidade das pimentas. Os EM verde e alaranjado obtiveram os menores valores tanto para o método ABTS (120,24  $\mu\text{mol}$  de Trolox/g e 115,73  $\mu\text{mol}$  de Trolox/g) quanto para ORAC (300,64  $\mu\text{mol}$  de Trolox/g e 262,85  $\mu\text{mol}$  de Trolox/g), assim como o estágio vermelho-carmesim obteve valores intermediários (149,62  $\mu\text{mol}$  de Trolox/g e 343,19  $\mu\text{mol}$  de Trolox/g) para os mesmo métodos. Pelo método ABTS o EM Vermelho se destacou por ter a maior capacidade antioxidante (177,99  $\mu\text{mol}$  de Trolox/ g), já o método ORAC apresentou maior valor no EM vermelho claro.

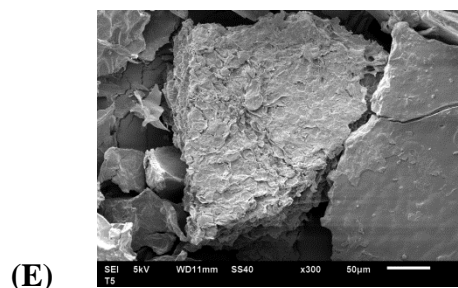
Os estádios verde e alaranjado foram semelhantes entre si e diferiram em relação aos outros EM, apresentando os valores mais baixos da análise. O mesmo ocorreu para os EM vermelho claro e vermelho-carmesim, porém, estes obtiveram valores medianos, não se destacando positivamente nos valores de antioxidantes. No método ABTS (2,2'-azino-bis (ácido 3-etilbenziazoline-6-sulfônico), pode-se medir a atividade antioxidante total em substâncias puras, em fluidos corporais e em material vegetal (ANTOLOVICH *et al.*, 2002).

Guil-Guerrero (2006) afirmaram que pimentas, de um modo geral, são constituídas de nutrientes importantes para a dieta humana, por exemplo, excelente fonte de vitaminas A e C bem como de compostos fenólicos. Oliveira (2011) relatou que os níveis de antioxidantes podem variar de acordo com o genótipo e maturação e são influenciados pelas condições de crescimento e perdas pós-processamento.

### 3.3.3 MEV

O EM verde (A) apresentou maior resistência na parede celular, portanto, por conta da maceração e liofilização a imagem obtida evidenciou desorganização e rompimento celular (Figura 1). Os EM alaranjado (B) e vermelho claro (C) demonstraram ligeira desorganização celular mas não houve rompimento, associado a uma diminuição da rigidez da parede celular. Os dois últimos EM vermelho (D) e vermelho-carmesim (E) apresentaram células naturalmente desorganizadas e rompidas.





**FIGURA 1** - Micrografia eletrônica de varredura de frutos de pimenta bode vermelha liofilizados em cinco estádios de maturação: (A) Verde, (B) Alaranjado, (C) Vermelho claro, (D) Vermelho e (E) Vermelho-carmesim. Aproximação de 300X.

As imagens obtidas demonstraram porosidade das partículas secas por liofilização, coerentes com o que se espera do processo de liofilização, tendo em vista que durante a retirada de água são formados poros microscópicos criados pela sublimação dos cristais de gelo (EZHILARASI *et al.*, 2013).

### 3.4 CONCLUSÃO

Os frutos de pimenta bode vermelha são muito heterogêneos entre si, justificando a diferença de tamanho, comprimento, diâmetro e volume.

A variedade de pimenta bode vermelha oferece níveis relevantes de compostos bioativos, com maiores quantidades nos estádios Vermelho Claro e Vermelho.

### 3.5 REFERÊNCIAS

- AL-DUAIS, M.; MULLER, L.; BOHM, V.; JETSCHKE, G. Antioxidant capacity and total phenolics of *Cyphostemma digitatum* before and after processing: use of different assays. *Eur. Food Res Technol*, 228: 813-821, 2009.
- ALVES, Juliana Alvarenga et al. Cinética de degradação de vitamina c em mangas 'palmer' minimamente processadas armazenadas em diferentes temperaturas. **Ciênc. agrotec.**, Lavras, v. 34, n. 3, p. 714-721, Junho. 2010
- ANTOLOVICH, M., PRENZLER, P. D., PATSALIDES, E., MACDONALD, S., ROBARDS, K. Methods for testing antioxidant activity. *J. Royal Soc. Chem.*, v. 127, p. 183-198, 2002.
- AOAC – Association of Official Analytical Chemists. Official methods of Analysis. 18<sup>a</sup> ed. 3<sup>a</sup> rev. Washington DC USA, 1096 p. 2010.
- ARRIETA, M. P.; PELTZER, M. A.; GARRIGÓSA, M. DEL C.; Jiménez A. Structure and mechanical properties of sodium and calcium caseinate edible active films with carvacrol. *Journal of Food Engineering*. Volume 114, Issue 4, February, Pages 486–494, 2013.
- BATISTA, M. R. A; SILVA FILHO, D. F. da. Caracterização morfoagronômica de pimentas não pungentes do gênero *Capsicum* spp., da Amazônia. *Revista Agro@mbiente On-line*, v. 8, n. 2, p. 204-211, 2014.
- BLOOR, S. J. Overview of methods for analysis and identification of flavonoids. *Methods in Enzymology*, New York, v. 25, p. 3-14, 2001.
- BORGES K. M.; VILARINHO L. B. O.; FILHO A. A. M.; MORAIS B. S.; RODRIGUES R. N. S. Caracterização morfoagronômica e físico-química de pimentas

- em Roraima. *Revista Agro@mbiente On-line*, v. 9, n. 3, p. 292-299, 2015.
- BORGES, J. T. S.; PIROZI, M. R.; VIDIGAL, J. G.; PAULA, C. D.; SILVA, N. A. S. Utilização de farinhas mistas de trigo e quinoa na elaboração de bolos. *Revista Brasileira de Tecnologia Agroindustrial*, Ponta Grossa, v. 7, n. 2, p. 1034-1048, 2013
- BRAGA TR; PEREIRA RCA; SILVA LR; CRISOSTOMO, JR; SILVEIRA MRS; BEZERRA, FC; OLIVEIRA MMT.. Caracterização físico-química de progênies de pimentas cultivadas em Sobral-CE. *Hortic. bras.*, v. 30, n. 2, 2013
- Carbohydrate Polymers, 58 pp. 475-481. 2004.
- CASSETARI, L. D. Teores de clorofila e  $\beta$ -caroteno em cultivares e linhagens de alface. 67 p. Dissertação (mestrado)- Universidade Federal de Lavras, 2012.
- CHEN, H. Functional properties and applications of edible films made of milk proteins. *Journal of Dairy Science*, v. 78, n. 11, p. 2563-2583, 1995.
- CHISTÉ, R.C.; MERCADANTE, A.Z.; GOMES, A.; FERNANDES, E.; LIMA, J.L.F.C. *In vitro* scavenging capacity of anatto seed extracts against reactive oxygen and nitrogen species. **Food Chemistry**, Barking, v. 127, n. 2, p. 419-426, 2011.
- CHITARRA, M. I. F.; CHITARRA, A. B. Pós-colheita de frutas e hortaliças: fisiologia e manuseio. 2. ed. Lavras: UFLA, 2005.
- CHO, S.Y.; PARK, J.W.; RHEE, C. Properties of laminated films from whey powder and sodium caseinate mixtures and zein layers. *Lebensmittel-Wissenschaft und-Technologie*, v.35, p.135-139, 2002.
- COLLERA-ZÚÑIGA, O.; JIMÉNEZ, F.G.; GORDILLO, R. M. Comparative study of carotenoid composition in three mexican varieties of *Capsicum annum* L. *Food Chemistry*, v. 90, p. 109-114, 2005.
- DÁVALOS, A.; GÓMEZ-CORDOVÉS, C.; BARTOLOMÉ, B. Extending applicability of the oxygen radical absorbance (ORAC) assay. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, Washington, v. 52, n. 1, p. 48-54, 2004.
- DAVIS, C. B. et al. Determination of capsaicinoids in Habanero peppers by chemometric analysis of UV spectral data. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, Washington, DC, v. 55, n. 15, p. 5925-5933, 2007.
- DENT, B. D. Cartography thematic map design. 5. ed. Estados Unidos: WCB/McGraw-Hill, 417 p.1999
- EZHILARASI, P. N.; INDRANI, D.; JENA, B. S.; ANANDHARAMAKRISHNAN, C. Freeze drying technique for microencapsulation of *Garcinia* fruit extract and its effect on Bread quality. *Journal of Food Engineering*, v. 117, n. 4, 2013.
- FAO/OMS. Human Vitamin and Mineral Requirements. In: Report 7th Joint FAO/OMS Expert Consultation. xxii + 286p. Bangkok, Thailand, 2001.
- FERREIRA, D.F. Sisvar: a computer statistical analysis system. **Cienc Agrotec**, Lavras, v. 35, n. 6, p. 1039-1042, nov./dez. 2011.
- FONSECA, R. M.; LOPES, R. W. S.; LOPES, M. T. G.; FERREIRA, F. M. Morphologic characterization and genetic diversity of *Capsicum chinense* Jacq. Accessions along the upper Rio Negro – Amazonas. *Crop Breeding and Applied Biotechnology*, Viçosa, v. 8, n. 3, p. 187-194, 2008.
- GAYA, LG; FERRAZ, JBS. Aspectos genético-quantitativos da qualidade da carne em frangos. *Ciência Rural*, Santa Maria. v.36, n.1, p. 439-356, 2006.
- GONÇALVES, V. A.; MULLER, D. H.; FAVA, C. L. F.; CAMILI, E. C. Maturação fisiológica de sementes de pimenta ‘bode vermelha’. **Revista Caatinga**, Mossoró, v. 28, n. 3, p. 137 – 146, jul. – set., 2015
- GUIL-GUERRERO, J. L., MARTINEZ-GUIRADO, C., REBOLLOSO-FUENTES, CARRIQUE-PÉREZ, A. Nutrient composition and antioxidant activity of 10 pepper. *Eur.Food Res. Technol*, n. 224, p. 1-9, 2006.

- GUINÈ, R. P. F.; BARROCA, M.; J. Effect of drying treatments on texture and color of vegetables (pumpkin and Green pepper). *Food and Bioproducts Processing*. 90, 58-63, 2012.
- HA, S.H. KIM, J.B. PARK, J.S. LEE, S.W. CHO, K.J. A comparison of the carotenoid accumulation in *Capsicum* varieties that show different ripening colours: deletion of the capsanthin–capsorubin synthase gene is not a prerequisite for the formation of a yellow pepper. *Journal of Experimental Botany*, 58 pp. 3135–3144, 2007.
- HOWARD, L. R. et al. Changes in phytochemical and antioxidant activity of selected pepper cultivars (*Capsicum* species) as influenced by maturity. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, Washington, DC, v. 48, n. 5, p. 1713-1720, 2000.
- HUNTERLAB. CIE L\*a\*b\* color scale: applications note, v.8, n.7, 1996.
- IBURG, A. Especiarias de A-Z. São Paulo: Lisma, 2005.
- INSTITUTO ADOLFO LUTZ. Métodos físico-químicos para análise de alimentos. coordenadores Odair Zenebon, Neus Sadocco Pascuet e Paulo Tiglea -- São Paulo: Instituto Adolfo Lutz, 2008.
- International Union of Pure and Applied Chemistry (IUPAC); *Standard methods for the analysis of oils, fats and derivatives*, 6<sup>th</sup> ed., Pergamon Press: Oxford, 1979.
- JARRET RL; BERKE T. Variation for fruit morphological characteristics in a *Capsicum chinense* Jacq. germplasm collection. *HortScience* 43: 1694-1697.2008
- KAYS, S. J. Postharvest physiology of perishable plant products. New York: Van Nostrand Reinhold, 1991.
- KOLLMANNBERGER, H. RODRIGUEZ-BURRUEZO, A. NITZA, S. NUEZ, F. Volatile and capsaicinoid composition of ají (*Capsicum baccatum*) and rocoto (*Capsicum pubescens*), two Andean species of chile peppers. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 91 , pp. 1598–1611, 2011.
- KONICA, M. S. Inc. Comunicação precisa da cor: Controle de qualidade da percepção à instrumentação, 59 p. . 1998
- KRUAWAN, K.; KANGSADALAMPAI, K. Antioxidant activity, phenolic compound contents and antimutagenic activity of some water extract of herbs. **Thai Journal of Pharmaceutical Sciences**, Bangkok, v. 30, n. 2, 2006.
- KUSKOSKI, E. M.; ASUERO, A. G.; TRONCOSO, A. M.; MANCINI-FILHO, J.; FETT, R.; Aplicación de diversos métodos químicos para determinar actividad antioxidante en pulpa de frutos. ; *Ciênc. Tecnol. Aliment.*; 25; 726-732; 2005.
- LI, R., LI, D. W., LIU, H. P., HONG, C. L., SONG, M. Y., DAI, Z. X., LIU, J. W., ZHOU, J. WENG, H. X. Enhancing iodine content and fruit quality of pepper (*Capsicum annuum* L.) through biofortification. **Scientia Horticulturae**, v. 214, p. 165-173, 2017.
- LOIZZO, M. R.; PUGLIESE, A.; BONESI, M.; MENICHINI, F.; TUNDIS R. Evaluation of chemical profile and antioxidant activity of twenty cultivars from *Capsicum annuum*, *Capsicum baccatum*, *Capsicum chacoense* and *Capsicum chinense*: A comparison between fresh and processed peppers. *LWT - Food Science and Technology* 64 623e631, 2015.
- MOREIRA, G. R. et al. Espécies e variedades de pimentas. *Informe Agropecuário, Belo Horizonte*, v. 27, n. 235, p. 16-29, 2006.
- MÜLLER, L.; FRÖHLICH, K.; BÖHM, V. Comparative antioxidant activities of carotenoids measured by ferric reducing antioxidant power (FRAP), ABTS bleaching assay (aTEAC), DPPH assay and peroxy radical scavenging assay. *Food Chemistry*, v.129, p.139-148. 2011.
- OLIVATO, J. B.; MALI, S.; GROSSMANN, M. V. E. **Efeito de embalagem biodegradável de amido no armazenamento de queijo processado**. *Semina: Ciências*

Agrárias, Londrina, v. 27, n. 1, p. 81-88, jan./mar. 2006.

OLIVEIRA, A. M. C. Caracterização Química, Avaliação da Atividade Antioxidante In Vitro e Atividade Antifúngica de Pimentas do Gênero Capsicum spp. 82f. Dissertação (Mestrado em Alimentos e Nutrição)– Centro de Ciências da Saúde, Universidade Federal do Piauí, Teresina, 2011.

OU, B.; HAMPSCH-WOODILL, M.; PRIOR, R.L. Development and validation of an improved oxygen radical absorbance capacity assay using fluorescein as the fluorescent probe. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, Easton, v. 49, n. 10, p. 4619-4626, 2001.

PARRA D.F. ; TADINI C.C. ; PONCE P. ; LUGÃO A.B. **Mechanical properties and water vapour transmission in some blends of cassava starch edible films**

PINO, J. GONZALEZ, M. CEBALLOS, L. CENTURION-YAH, A.R. TRUJILLO-AGUIRRE, J. LATOURNERIE-MORENO, L. Characterization of total capsaicinoids, colour and volatile compounds of habanero chilli pepper (*Capsicum chinense* Jack.) cultivars grown in Yucatan. *Food Chemistry*, 104 (4) pp. 1682–1686, 2007.

PINO, J.; SAURI-DUCH, E.; MARBOT, R. Changes in volatile compounds of Habanero chilli pepper (*Capsicum chinense* Jacq. Cv Habanero) at two ripening states. *Food Chemistry*, Oxford, v. 94, n. 3, p. 394-398, Feb. 2006.

RAHMAN, I.; BISWAS, S. K.; KODE, A. Oxidant and antioxidant balance in the airways and airway diseases. *European Journal of Pharmacology*.v.533, p.222239, 2006.

RICE-EVANS, C. A.; MILLER, N. J.; PAGANGA G. Structure-antioxidant activity relationships of flavonoids and phenolic acids. *Free Radical Biology and Medicine*, v.20, n. 7, p.933-956, 1996.

RIVEROS C.G. ; MESTRALLET M.G. ; QUIROGA P.R. ; NEPOTE V. ; GROSSON.R. **Preserving sensory attributes of roasted peanuts using edible coatings** *International Journal of Food Science and Technology*, 48 , pp. 850-859. 2013

SETHU, K.M. P.; PRABHA, N.T.; THARANATHAN, R.N. Post-harvest biochemical changes associated with the softening phenomenon in capsicum annum fruits. *Phytochemistry*, v.42, n.4, p.961-966, 1996.

SIMONNE, A.H. SIMONNE, E.H. EITENMILLER, R.R. MILLS, H.A. GREEN, N.R. Ascorbic acid and pro-vitamin A contents in unusually colored bell peppers (*Capsicum annum* L.). *Food Compo Anal*, 10 ,pp. 299–311, 1997.

SOUSA, E.T. RODRIGUES, F.M. MARTINS, C.C. OLIVEIRA, F.S. PEREIRA, P.A.P. ANDRADE, J.B. Multivariate optimization and HS-SPME/GC–MS analysis of VOCs in red, yellow and purple varieties of *Capsicum chinense* sp. Peppers. *Microchemical Journal*, 82 (2), pp. 142–149, 2006.

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

VAZQUEZ-OCHOA, R. I.; COLINAS-LEON, M. T. Changes in guavas of three maturity stages in response to temperature and relative humidity. *HortScience*, Alexandria, v. 25, n. 1, p. 86-87, 1990.

VILA, M. T. R. Qualidade pós-colheita de goiaba ‘Pedro Sato’ armazenadas sob refrigeração e atmosfera modificada por biofilme de fécula de mandioca. 66p. Dissertação, Universidade Federal de Lavras, Lavras.2004.

YANG, L.; PAULSON, A. T.; Mechanical and water vapour barrier properties of edible gellan films. *Food Research International*, v. 33, p. 563-570. 2000.

## 4. CAPÍTULO II

### OBTENÇÃO E CARACTERIZAÇÃO DE BIOFILMES À BASE DE SORO DE LEITE

**Resumo:** O trabalho teve com objetivo a obtenção e caracterização de biofilmes elaborados com quantidades decrescentes de soro de leite líquido e quantidades crescentes de fécula de mandioca. A solubilidade dos filmes é um parâmetro que pode indicar a biodegradabilidade dos mesmos, sendo assim, as formulações obtidas neste trabalho podem ser consideradas biodegradáveis, visto que todas as formulações obtiveram valores de solubilidade acima de 50%. Para aplicação de filmes em que necessita de baixa permeabilidade ao vapor d'água, o Tratamento com 66,25% de soro de leite é o mais indicado pela maior solubilidade, indicando maior hidrofiliicidade do filme. A opacidade dos filmes indica a quantidade de luz que passa através do filme, significando que quanto maior sua opacidade, maior será a capacidade do filme de proteger o alimento da luminosidade, como o Tratamento com 65% de soro de leite, indicado para alimentos que oxidam com facilidade. As análises de propriedades mecânicas determinaram que a formulação do Tratamento com 63,75% de soro é a indicada para filmes utilizados como embalagem primária, sendo este de maior maleabilidade e resistência. As análises térmicas de DSC e TG apresentaram a estabilidade térmicas de todas as amostras de filmes, independente da quantidade de proteínas de soro de leite adicionadas. Os filmes obtidos tiveram várias possíveis aplicações na indústria de alimentos, variando desde filme de cobertura à embalagem primária.

**Palavras-chave:** Embalagem, Biodegradabilidade, Indústria de alimentos.

**Abstract:** The objective of this work was to obtain and characterize biofilms prepared with decreasing quantities of liquid whey and increasing amounts of manioc starch. The solubility of the films is a parameter that can indicate the biodegradability of the films, thus, the formulations obtained in this work can be considered biodegradable, since all the formulations obtained values of solubility above 50%. For application of films that require low water vapor permeability, the treatment with 66.25% of whey is the most indicated by the greater solubility, indicating greater hydrophilicity of the film. The opacity of the films indicates the amount of light that passes through the film, meaning that the higher its opacity, the greater the film's ability to protect the food from light, such as the 65% whey treatment indicated for foods that Oxidize with ease. The analysis of mechanical properties determined that the treatment formulation with 63.75% of serum is indicated for films used as primary packaging, which is of greater malleability and resistance. Thermal analysis of DSC and TG showed the thermal stability of all film samples, regardless of the amount of whey proteins added. The films obtained had several possible applications in the food industry, ranging from cover film to primary packaging.

**Key words:** Packaging, Biodegradability, Food industry.

## 4.1 INTRODUÇÃO

Os biofilmes ou filmes biodegradáveis são materiais finos e flexíveis produzidos a partir de biopolímeros, que podem atuar, quando utilizados como embalagem, como barreira a elementos externos e proteger o produto embalado de danos físicos e biológicos aumentando a vida útil. Ainda, podem ser utilizados como material de suporte no encapsulamento ou imobilização de materiais que necessitem retardação no processo de liberação de princípios ativos ou nutrientes (HENRIQUE *et al.*, 2008).

As características estruturais e composição química do biopolímero utilizado na elaboração dos filmes biodegradáveis são muito importantes. Nesse sentido as proteínas são mais interessantes que os polissacarídeos (homopolímeros), por possuírem na estrutura até 20 monômeros diferentes (aminoácidos) que conferem uma gama maior de propriedades funcionais e potenciais por formar ligações intra e intermoleculares diferindo nas posições, tipo e energia (GONTARD & GUILBERT, 1996).

O polímero biodegradável natural é derivado de quatro fontes principais: animal (proteína/colágeno/gelatina), frutos do mar (quitina/quitosana), microbiana (ácido polilático e polihidroxicanoatos) e origem agrícola (lipídios, hidrocolóides, proteínas e polissacarídeos) (KOLYBABA *et al.*, 2008; THARANATHAN, 2003).

As proteínas do soro são solúveis em ampla faixa de pH, apresentam estrutura globular e contêm pontes dissulfeto, que conferem determinado grau de estabilidade estrutural (AIMUTIS, 2004). As duas principais frações proteicas do soro são  $\beta$ -lactoglobulina ( $\beta$ -Lg) e  $\alpha$ -lactoalbumina ( $\alpha$ -La) que estão presentes em maior concentração e constituem, aproximadamente, 70% das proteínas totais do soro. Além dessas, são encontradas a albumina do soro bovino (BSA), imunoglobulina (Ig), glicomacropéptido (GMP) e subfrações, que se apresentam em pequenas concentrações no leite, como lactoferrina, lisozima, lactoperoxidase, entre outras (HARAGUCHI *et al.*, 2006; METSÄMUURONEN & NYSTRÖM, 2009).

As blendas poliméricas, do ponto de vista do desenvolvimento e aplicações comerciais, representam um crescente segmento da tecnologia de polímeros. Desta forma, a escolha de um par polimérico para a constituição de uma blenda deve obedecer aos critérios de custo, processabilidade e propriedades em questão (JACOB, 2006).

Existem várias estratégias para melhorar as propriedades dos filmes. A maioria dessas são modificações no pré-tratamento, onde as mudanças são feitas na solução



filmogênica. Os métodos mais comuns são: a adição de plastificantes, a reticulação e o uso de blendas (GOMES, 2008). Com base em estudos prévios, objetivou-se a obtenção de formulações de biofilmes à base de soro de leite líquido e fécula de mandioca com o intuito de agregar valor ao subproduto e verificar a aplicabilidade em filmes biodegradáveis

## 4.2 MATERIAL E MÉTODOS

### 4.2.1 Obtenção dos Biofilmes

As suspensões filmogênicas foram preparadas segundo metodologia proposta por Vicentini (2003). A técnica utilizada foi a tipo *casting*, definida como sendo aquela em que uma suspensão filmogênica é desidratada em uma placa.

Os tratamentos de biofilmes à base de soro de leite foram denominados conforme a Tabela 1.

**TABELA 1** - Formulações de biofilmes à base de soro de leite líquido, fécula de mandioca e plastificante glicerol.

Ingredientes (%)	Tratamentos			
	T1	T2	T3	T4
Soro de leite	67,50	66,25	65,00	63,75
Fécula de mandioca	7,50	8,75	10,00	11,25
Glicerol	5,00	5,00	5,00	5,00
Ácido acético	20,00	20,00	20,00	20,00

A fécula de mandioca foi solubilizada em soro de leite líquido, seguida de homogeneização até total solubilização. Após, foi adicionado o plastificante e ácido acético conforme os tratamentos (Tabela 1). As soluções filmogênicas foram aquecidas à temperatura de  $90\text{ }^{\circ}\text{C} \pm 3\text{ }^{\circ}\text{C}$  por 30 minutos em banho-maria para desnaturação das proteínas. A solução foi homogeneizada com mixer a cada cinco minutos até chegar a temperatura de  $85\text{ }^{\circ}\text{C}$  para total solubilização da fécula de mandioca. As soluções filmogênicas foram dispersas em placas de Petri de plástico com diâmetro de 9 cm. O controle de espessura foi efetuado pelo volume aplicado na placa, em que T1 = 40 mL, T2 = 40 mL, T3 = 30 mL e T4 = 20 mL. A etapa seguinte correspondeu à evaporação do solvente pela secagem na temperatura de  $42\text{ }^{\circ}\text{C} \pm 2\text{ }^{\circ}\text{C}$ , por um período de 60 horas, garantindo evaporação lenta e consequente formação dos biofilmes (ANEXO II).

Os biofilmes foram armazenados em B.O.D LIMATEC® com temperatura de 23 °C ±2 °C e umidade relativa de 50 °C ±10 °C regulada com solução super saturada de cloreto de cálcio de acordo com a norma ASTM 882-10 (2010). A umidade e temperatura foram averiguadas com termohigrômetro TERMO HYGRO®.

## 4.2.2 Caracterização dos Biofilmes

### 4.2.2.1 Solubilidade em Água

A determinação da solubilidade dos biofilmes em água foi realizada de acordo com a metodologia adaptada, descrita por Bertuzzi *et al.*, (2007). Primeiramente, os biofilmes foram cortados em forma de círculos com 4 cm de diâmetro, secos em estufa a 45 °C por 24 horas e pesados para a determinação da massa inicial. Em seguida, em erlenmeyers, as amostras foram imersas em 50 mL de água destilada e mantidos sob agitação lenta e constante em mesa agitadora a 25 °C por 24 horas. Após este período, a água foi retirada e o biofilme foi novamente seco em estufa a 45 °C por 24 horas e pesado, determinando-se desta forma a quantidade de biofilme não solubilizada. A solubilidade do biofilme foi expressa em porcentagem de massa solubilizada em relação à massa inicial, conforme a Equação 1:

$$S(\%) = \frac{MI - MF}{MI} \times 100 \quad (1)$$

### 4.2.2.2 Propriedades Óticas

A cor da superfície dos biofilmes foi medida utilizando Colorímetro Hunter Lab, modelo Color Flex EZ, no Laboratório de Pós-Colheita de Produtos Vegetais do Instituto Federal Goiano - *Campus* Rio Verde. As amostras de biofilme foram divididas em quatro quadrantes e efetuada três leituras em cada quadrante, sendo realizada triplicata de análises. Foram obtidos os parâmetros L, a\* e b\* e calculados os parâmetros C, h° e ΔE. Os termos L, C e h° indicam brilho (“lightness”), cromaticidade e ângulo hue, respectivamente (CASSETARI, 2012).

Para a avaliação do ângulo hue e cromaticidade C\*, foram utilizadas as coordenadas a\* e b\* (KONICA, 1998), conforme as fórmulas (2) e (3):

$$C^* = \sqrt{a^{*2} + b^{*2}} \quad (2)$$

$$h = \arctan\left(\frac{b^*}{a^*}\right) \quad (3)$$

A diferença de cor total ( $\Delta E$ ) utilizou como padrão as medidas obtidas no primeiro dia de análise como referência para as medições de cor, e foi calculada conforme a Equação 4:

$$\Delta E = \sqrt{(\Delta L)^2 + (\Delta a)^2 + (\Delta b)^2} \quad (4)$$

Onde:  $\Delta L$ ,  $\Delta a$ , e  $\Delta b$  são as diferenças entre valores de cor de cada amostra e placa de cor .

A opacidade do biofilme foi mensurada a partir do parâmetro L, utilizando Colorímetro Hunter Lab, modelo Color Flex EZ e fonte de luz diurna D65. As determinações foram realizadas após a calibração do equipamento usando fundos padrão preto e branco, sendo obtida através da fórmula:

$$OP = \left(\frac{OPP}{OPB}\right) * 100 \quad (5)$$

Onde: Op representou a percentagem de opacidade do biofilme, OPP representou a opacidade do biofilme contra o fundo preto e OPB representou a opacidade do biofilme contra um fundo branco. Os valores de opacidade variam de 0% a 100%, de acordo com Sobral, (2000).

#### 4.2.2.3 Espessura

A espessura de cada amostra foi obtida através de paquímetro digital. O biofilme foi dividido em quatro quadrantes e em cada quadrante foi obtido três mensurações, totalizando doze mensurações por biofilme.

#### 4.2.2.4 Propriedades Mecânicas

As análises de tensão de ruptura, módulo de elasticidade (módulo Young) e alongação dos biofilmes foram realizadas de acordo com o método padrão de ASTM D882-10 (2010). Os biofilmes, com dimensão de 11 cm x 2 cm, foram acondicionados a 23 °C  $\pm$  2 °C e 53%  $\pm$  2% de umidade relativa durante 48 horas antecedente à análise. A separação inicial do aperto e velocidade mecânica foram ajustadas em 50 mm e 5mm/min, respectivamente (ANEXO III). A análise foi realizada com oito repetições.

#### 4.2.2.5 Análises térmicas

As análises foram realizadas para investigar a estabilidade térmica dos biofilmes de soro de leite utilizando o equipamento Shimadzu, modelo DTG 60/60H, com amostras de 5 a 10 g.

Para a análise de TG, amostras foram colocadas em forno TG para realização das medições em atmosfera de nitrogênio com fluxo de 100 mL/min, taxa de aquecimento de 10 °C/min e temperatura de 25 °C a 600 °C. A perda de massa das amostras foram medidas em função da temperatura. DTG é a primeira derivada da curva de TG em função do tempo.

A TG pode ser aplicada para determinação de pureza, teores de umidade, voláteis e resíduos, composição de blendas e copolímeros, estudo da decomposição térmica de substâncias ou materiais, eficiência de retardantes de chama e antioxidantes, estudos cinéticos e curvas de adsorção e de absorção (SOUSA, 1997)

A análise térmica por DSC ocorreu com taxa de aquecimento de 10°C/min, temperatura de 35 °C a 350 °C e fluxo de nitrogênio a 50 mL/min.

A DSC é capaz de registrar todos os eventos térmicos, incluindo as reações químicas, transições físicas, liberação de deformações, perdas por volatilidade e decomposição. Pode ser utilizada para medir a temperatura de transição vítrea (Tg) de uma substância. Na curva térmica da transição, a Tg corresponde à temperatura do ponto de inflexão (GRULKE, 1994).

#### 4.2.2.6 Microscopia Eletrônica de Varredura (MEV)

A análise microestrutural foi realizada no Laboratório Multiusuário de Microscopia de Alta Resolução da Universidade Federal de Goiás, através de microscópio eletrônico de varredura eletrônica (JSM-6610/ Jeol®), equipado com EDS, ThermoScientific NSS SpectralImaging.

As amostras foram alocadas em *stubs* de alumínio com fita dupla face, e banhadas por um filme ultrafino de ouro, permitindo o princípio de funcionamento do MEV, por emissão de feixes de elétrons com voltagem de aceleração de 5 kV por um filamento de tungstênio.

### 4.2.3 Análises Estatísticas

O delineamento experimental foi inteiramente casualizado, com quatro Tratamentos. Para as análises de propriedades ópticas, opacidade os biofilmes e espessura foram divididos em quatro quadrantes e cada quadrante realizado três mensurações. A análise de solubilidade foram realizadas em triplicata de análises. Os dados obtidos de TG e DSC foram compilados pelo programa OriginPro 8 e apresentados em forma de gráficos. Os dados foram submetidos à análise de variância, utilizando-se o SISVAR<sup>®</sup> (FERREIRA, 2011). Os biofilmes foram comparados pelo teste de Tukey ao nível de 5% de probabilidade. Os dados foram apresentados com valor médio e desvio padrão.

## 4.3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

### 4.3.1 Solubilidade em água, Propriedades ópticas, Espessura e Propriedades mecânicas

A solubilidade em água é fator determinante para biodegradabilidade e permeabilidade ao vapor d'água, sendo que quanto mais hidrofílico o biofilme for, maior degradabilidade e mais permeabilidade ao vapor d'água.

Os elementos para a obtenção dos biofilmes elaborados neste trabalho (soro de leite, fécula de mandioca e glicerol) são hidrofílicos, porém, ao misturá-los a solução entrou em equilíbrio, resultando em solubilidade aproximada de 50% para todos os tratamentos.

Como mostra a Tabela 1, os tratamentos com maior porcentagem de soro de leite (T1: 68,75% e T2: 67,5%) obtiveram maiores valores de solubilidade. O maior valor de solubilidade foi para o tratamento 2, resultado de solução filmogênica com parcelas intermediárias de soro de leite (67,5%) e fécula de mandioca (7,50%), o que pode ter ocasionado maior eficiência para esta análise.

Para a utilização de biofilmes como embalagem primária, é desejável que o biofilme tenha maior barreira à umidade, com menor hidrofilicidade, sendo assim, os melhores resultados para biofilmes de barreira são os Tratamentos T3 e T4, com maiores valores de fécula de mandioca na elaboração (T3: 8,75% e T4: 10%). Segundo Turhan & Sahbaz (2004) e Mathew *et al.* (2006) a dissolução de um polímero hidrofílico envolve a penetração ou difusão da água no interior do mesmo e

intumescimento devido à ruptura das ligações presentes na cadeia com consequente relaxamento do polímero.

Os tratamentos com maior porcentagem de soro de leite (T1 e T2) não diferiram nos valores de Chroma e o mesmo ocorreu para os tratamentos com menor porcentagem de soro (T3 e T4). Entretanto houve diferença entre os dois grupos, diminuindo os valores de acordo com a redução da porcentagem de soro de leite e aumento da porcentagem de fécula de mandioca utilizada nas formulações (Tabela 2).

**TABELA 2** - Valores médios e desvio padrão de solubilidade, Chroma (C), Hue (h°), opacidade (OP), variação total de cor ( $\Delta E$ ) e espessura de biofilmes à base de soro de leite.

Variáveis	Tratamentos				CV%
	T1	T2	T3	T4	
Solubilidade (%)	53,63±4,64ab	57,06±6,04a	42,95±9,84c	46,43±6,92bc	14,22
Chroma	1,86±0,69a	1,98±0,62a	0,98±0,34b	1,16±0,36b	35,51
h°	1,07±0,48a	1,12±0,43a	0,40±0,66b	0,89±0,53a	61,63
OP	73,98±3,31ab	70,57±2,43c	75,01±4,19a	72,05±3,46bc	4,68
$\Delta E$	58,38±3,27b	62,32 ±2,35a	56,20±1,77c	59,02±1,32b	3,90
Espessura	0,70±0,10a	0,79±0,22a	0,71±0,07a	0,58 ±0,11b	20,21

Letras distintas na linha diferem entre si ao nível de 5% de probabilidade de acordo com teste de Tukey.

Quanto menor o valor do chroma C\*, menos perceptível será a diferenciação entre as tonalidades. Assim, o aumento nos valores de Chroma C\* indicam tendência da coloração se tornar mais homogênea (BASSETTO *et al.*, 2005, MUSKOVICS *et al.*, 2006, HERNÁNDEZ *et al.*, 2007). A fécula de mandioca em maiores porcentagens dificultou a homogeneização, influenciando diretamente este parâmetro.

O parâmetro Hue (h°) não diferiu entre os tratamentos, exceto o tratamento T4, que obteve o menor valor. Este parâmetro define a tonalidade da cor, sendo influenciada pelo comprimento de luz que o objeto reflete ou emite. Quanto mais próximo de zero, mais branco é a cor real, estando em concordância com os resultados obtidos para opacidade.

A opacidade dos biofilmes foi maior que 70% em todos os tratamentos, havendo diferença entre os Tratamentos T2 e T3, com 70,57% e 75,01%, respectivamente. Os mesmos Tratamentos (T2 e T3) tiveram comportamento inversamente proporcional à análise de solubilidade. Isso pode ser explicado pela cadeia polimérica formada pelo biofilme. Quanto mais hidrofílico maior a facilidade da matriz filmogênica de se ligar à

água e menor a opacidade. Quanto mais hidrofóbico, maior a difração dos raios luminosos que atravessam o biofilme.

A variação total de cor ( $\Delta E$ ) não apresentou diferença entre os Tratamentos com maior concentração de soro de leite (T1 - 67,5) e menor concentração de soro de leite (T4- 63,75), porém diferiu dos biofilmes com porcentagens intermediárias com o maior (62,32) e menor (56,20) valores de  $\Delta E$ , T2 e T3, respectivamente.

A opacidade tem a mesma tendência, os extremos tem valores intermediários e os Tratamentos com concentrações de soro de leite médias tem valores extremos. Tal variação de cor pode ser atribuída ao parâmetro L, utilizado para determinar a opacidade e  $\Delta E$ . Quanto maior a variação de L, maior será a variação total de cor.

O controle da espessura dos biofilmes é importante para se avaliar a uniformidade dos materiais, a repetibilidade da medida das propriedades, bem como a validade das comparações entre biofilmes. A partir da espessura é possível obter informações sobre a resistência mecânica e propriedades de barreira ao vapor d'água do material (OLIVEIRA *et al.*, 1996). O controle da espessura foi realizado pelo volume colocado na placa e apesar deste controle, os valores foram bastante discrepantes.

A espessura média dos biofilmes foi de 0,58 mm a 0,79 mm. A espessura foi controlada pelo volume disperso em cada placa, sendo obtido em testes anteriores. Os Tratamentos não apresentaram valores com diferença, com exceção do Tratamento T4, que foi utilizado volume de 20 mL. Este tratamento apresentou viscosidade maior, portanto, foi necessário menor volume para equiparar a espessura com os demais tratamentos.

As análises de propriedades mecânicas somente puderam ser realizadas por completo, fazendo oito repetições, no tratamento T4. A fragilidade dos biofilmes dos tratamentos T1, T2 e T3 possibilitou fazer três repetições pela pouca sensibilidade do aparelho para mensurar valores para estes biofilmes.

Através destas análises pode-se selecionar o biofilme com melhores propriedades mecânicas para ser utilizado como embalagem primária (Tabela 3), pois a análise simula situações reais do comportamento do biofilme como embalagem.

**TABELA 3** - Valores médios e coeficiente de variação de tensão de ruptura, módulo de elasticidade (módulo Young) e alongação de biofilme à base de soro de leite.

<b>Tratamento</b>	<b>Tensão de ruptura (MPa)</b>	<b>Módulo de elasticidade (MPa)</b>	<b>Elongação (%)</b>
T4	0,02	0,81	19,17
<b>CV (%)</b>	<b>95,37</b>	<b>22,42</b>	<b>27,81</b>

Na obtenção da solução filmogênica, quanto maior a adição de fécula de mandioca, maior foi a viscosidade. A mesma tendência ocorreu na retirada dos biofilmes das placas de suporte, as maiores concentrações de fécula de mandioca se desprendiam com maior facilidade e por consequência, tinham maior resistência material.

O Tratamento T4 tem maior concentração de fécula de mandioca e menor concentração de soro de leite. Esta combinação permitiu que dentre os demais biofilmes, essa fosse a formulação com melhores propriedades mecânicas.

Os biofilmes obtidos neste trabalho conferiam pH em torno de 4,5, justificando o menor valor encontrado para tensão de ruptura e alongação, 0,02 MPa e 19,17%, respectivamente. Yoshida & Antunes (2009) ao avaliarem biofilmes proteicos à base de soro de leite concluíram que biofilmes com pH mais básicos formam estruturas com maiores valores de tensão de ruptura (2,25 MPa a 3,75 MPa) e alongação (44,80% a 72,52%), portanto, maior resistência.

As propriedades mecânicas podem ser diretamente afetadas por vários fatores, como a natureza do material filmogênico e a coesão da estrutura da matriz polimérica, que está relacionada com a distribuição e concentração inter e intramolecular na estrutura filmogênica (CUQ *et al.*, 1996).

Fernandes (2014) ao submeter biofilmes de proteínas do soro de leite à irradiação e modificação de pH obteve valores para tensão de ruptura entre 1 MPa a 6 MPa, módulo de elasticidade de 1 MPa a 2,5 MPa e alongação entre 0,5% e 10%. Os maiores valores estavam interligados a pH mais alcalino, apoiando o relato de outros autores.

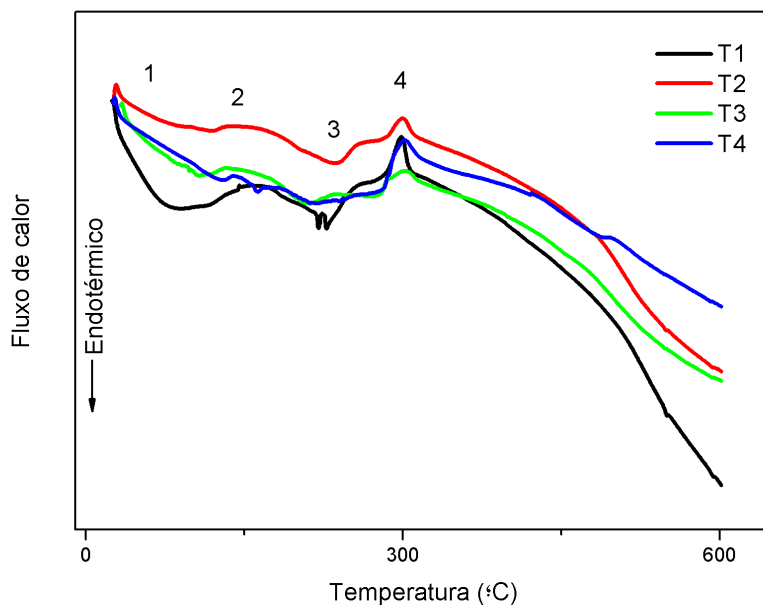
#### **4.3.2 Análises Térmicas**

Nas curvas de DSC (Figura 2) são igualmente perceptíveis 4 eventos: 1-grande desvio da linha de base, sendo um evento endotérmico; 2- transições; 3- aparente fusão associada a fusão vítrea; 4- pico exotérmico durante aquecimento antes da temperatura de decomposição.



O primeiro evento representa a perda de massa inicial das amostras, em que é utilizado o calor ambiente para a retirada da água livre nas amostras.

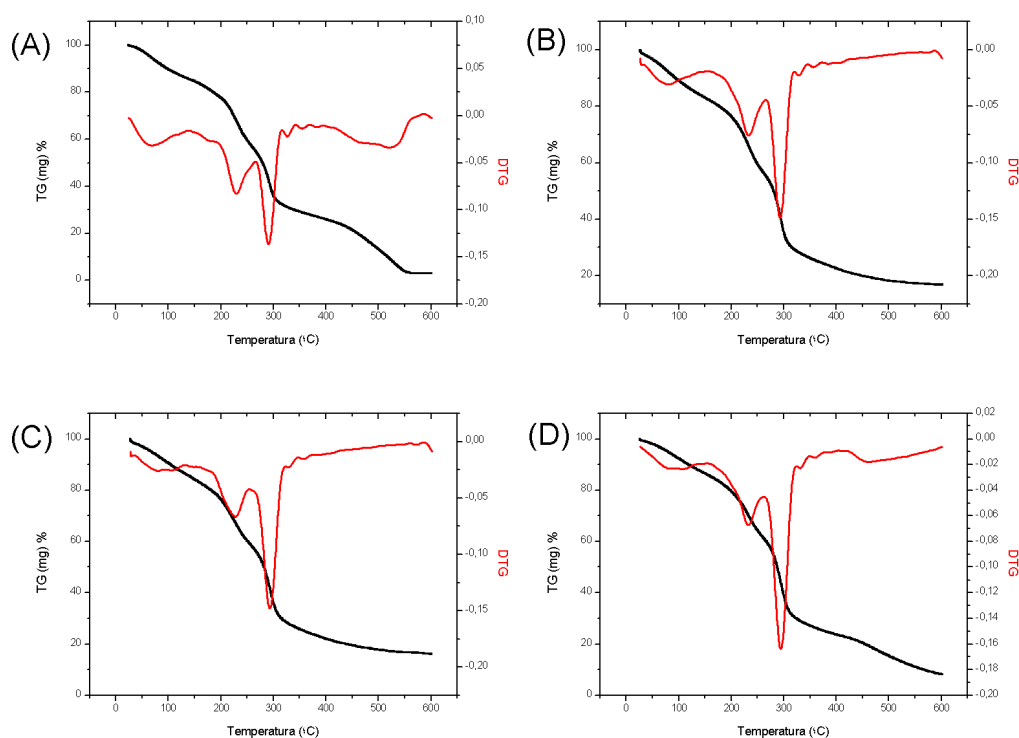
No segundo evento há variação do comportamento da curva referente ao tratamento T4 e as demais curvas. Nos tratamentos 1, 2 e 3 há um evento endotérmico, enquanto que T4 é exotérmico. Esse evento se refere à capacidade calorífica da amostra.



**FIGURA 1-** Curvas e eventos de DSC obtidas de filmes à base de soro de leite e fécula de mandioca, com taxa de aquecimento de  $10^{\circ}\text{C}/\text{min}$  e variação de temperatura entre  $35^{\circ}\text{C}$  e  $350^{\circ}\text{C}$ .

O terceiro evento é a fusão dos componentes da amostra. A curva T1 se diferenciou das demais, revelando dois picos neste evento enquanto outras curvas apresentavam somente um. Os picos de T1 no terceiro evento se refere à uma fusão incompleta dos elementos, em que foi necessário um segundo pico com maior temperatura para que a fusão fosse concluída. A maior quantidade de proteína do soro de leite pode ter influenciado esse evento, pois ao comparar as curvas, quando menor era a quantidade de soro de leite, menor era a definição do pico do evento.

No quarto evento ocorre uma reação exotérmica em que há a decomposição dos elementos residuais. A entalpia do pico muda de acordo com a formulação das amostras, sendo a maior entalpia para T1 e a menor para T3.



**FIGURA 2-** Curvas de TG e DTG de filmes elaborados com soro de leite e fécula de mandioca. (A): T1, (B): T2, (C): T3 e (D): T4.

Observa-se que na Figura 3 e Tabela 4 o perfil de perda de massa para todas as amostras estudadas é muito semelhante, pois são observadas três perdas de massa principais acompanhadas por três eventos endotérmicos.

A primeira perda refere-se à desidratação das amostras. A perda de massa tem início de 30,5 °C a 32°C e término 94°C a 111°C, atribuído à massa absorvida e ligada correspondendo a uma porcentagem de perda de massa de aproximadamente 8,1 % a 9,3% entre as amostras. Segundo Liu et al., (2009) a porcentagem de perda de massa nesta fase depende do teor de umidade presente nas amostras.

Segundo Bisinella *et al.*, (2016) ao estudar as curvas obtidas de TG e DTG de amostras de concentrado protéico de soro de leite relatou que a partir de 138°C há desnaturação da proteína com decomposição que ocorre simultaneamente, seguido por decomposição e oxidação da matéria orgânica.

Neste trabalho o segundo estágio de perda de massa tem início entre 160°C a 201°C e maior perda de massa para o tratamento com maior porcentagem de soro de leite.

**TABELA 4-** Temperatura e perda de massa referente aos estágios das curvas de TG/DTG de filmes elaborados com soro de leite e fécula de mandioca.

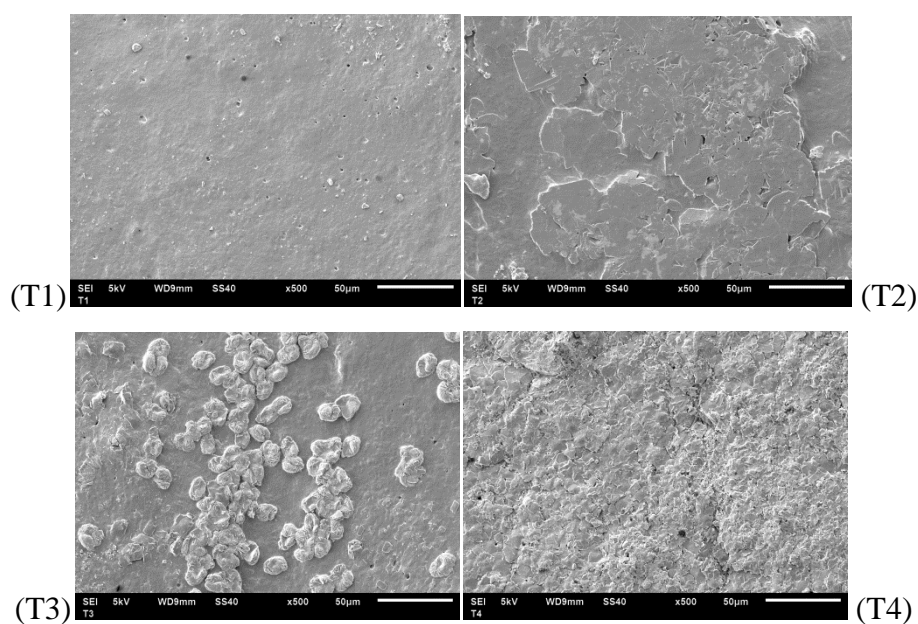
Amostra	Primeiro Estágio		Segundo Estágio		Terceiro Estágio	
	Temperatura (°C)	Perda de Massa (%)	Temperatura (°C)	Perda de Massa (%)	Temperatura (°C)	Perda de Massa (%)
T1	32	99,5- 90,2= 9,3	201	74,5- 54,5= 20	267	55-37= 18
T2	31	99-90= 9	193	79,2- 58= 21,2	264	56-32= 24
T3	31	99-89= 9	183	80-69= 11	263	57,2- 31= 26,2
T4	30,5	99,3- 91,2= 8,1	160	85,4- 70,5= 14,9	260	62-32= 30

A terceira perda é atribuída à decomposição térmica da amilose e da amilopectina, teve início entre 260°C e 267°C e apresentou perda de massa entre 18% e 30% para as amostras estudadas. Esta etapa tem maior perda de massa e corresponde à eliminação de grupos hidroxílicos e decomposição do amido.

A temperatura de início da decomposição térmica do amido é considerada alta e indica que os filmes possuem alta resistência à decomposição térmica (MARQUES *et al.*, 2006). Os mesmos autores obtiveram temperaturas de início de degradação aproximadas de 250°C em filmes elaborados com amido, corroborando com os resultados obtidos neste trabalho. O filme com maior porcentagem de fécula de mandioca obteve o maior índice de perda de massa, indicando ser o filme com maior resistência térmica.

#### 4.3.3 MEV

A Figura 3 relacionada ao tratamento T1, apresentou pontos de ruptura, demonstrando os caminhos utilizados para evaporação do solvente. Entretanto, apesar dos pontos, a superfície apresentou-se homogênea e lisa, sem rachaduras superficiais.



**FIGURA 3** - Micrografia eletrônica de varredura de biofilmes a base de soro de leite, com aproximação de 500X.

As imagens de T2 e T4 apresentam influências da alta temperatura, evidenciando placas e rachaduras ao longo de toda a superfície. Para tais tratamentos a temperatura ou tempo de exposição à temperatura deveriam ter sido menores para não alterar a estrutura física dos biofilmes.

Os biofilmes do tratamento T3 demonstraram supersaturação de fécula de mandioca, onde os grânulos de amido foram depositados na superfície, dificultando sua homogeneidade.

A temperatura e/ou tempo de exposição do biofilme na fase de evaporação do soluto prejudicaram a superfície dos biofilmes, causando rachaduras em algumas formulações e evidenciando a supersaturação de amido em outras.

#### 4.4 CONCLUSÃO

A solubilidade dos biofilmes indica a capacidade de dissociação dos componentes, tornando-se um pré-requisito para a biodegradabilidade dos mesmos, sendo assim, as formulações obtidas neste trabalho obtiveram valores de solubilidade acima de 50%. Para aplicação de biofilmes em que necessita de baixa permeabilidade ao vapor d'água, o Tratamento T2 é o mais indicado pela maior solubilidade, indicando maior hidroflicidade do biofilme.

O Tratamento T3 é recomendado para alimentos que oxidam com facilidade pois sua opacidade alta indica grande capacidade de vedação à luz.

As análises de propriedade mecânicas determinaram que a formulação T4 é a indicada para biofilmes utilizados como embalagem primária, por apresentar maior maleabilidade e resistência.

Nos resultados de TG e DSC houve pouca influência da diminuição da porcentagem de soro de leite sobre a estabilidade térmica das amostras, significando que estão aptas a serem utilizadas em diversas aplicações.

#### 4.5 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- AIMUTIS, W. R. Bioactive properties of milk proteins with particular focus on anticarcinogenesis. *The Journal of Nutrition*, v. 134, p. 989s-995s, 2004.
- ASTM Standard test method for tensile properties of thin plastic sheeting (D882-10). In *Annual Book of ASTM Standards*. American Society for Testing Materials, Philadelphia, PA. 2010.
- BASSETTO, E. et al. Delay of ripening of ‘Pedro Sato’ guava with 1-methylcyclopropene. *Postharvest Biology and Technology*, Wageningen, v. 35, n. 3, p. 303-308, 2005.
- BERTUZZI, M. A.; ARMADA, M.; GOTTIFREDI, J. C. Physicochemical characterization of starch based films. *Journal of Food Engineering*, v. 82, n. 01, p. 17-25, set. 2007.
- BISINELLA R. Z. B.; OLIVEIRA C. S.; ZAPPANI P. S. C.; SCHNITZLER E.; MASSON M. L. Thermal analysis as screening technique to assess spray-drying process of encapsulated “yacon” juice. *JOURNAL OF THERMAL ANALYSIS AND CALORIMETRY*, Volume 126, Number 3, pp. 1841-1849(9), 2016.
- CUQ, B.; GONTARD, N.; CUQ, J. L.; GUILBERT, S. Functional properties of myofibrillar protein – based biopackaging as affected by film thickness. *Journal of Food Science*, Chicago, v. 61, n. 3, p. 580- 584, 1996.
- FERNANDES, A. P. S. AVALIAÇÃO E CARACTERIZAÇÃO DAS PROPRIEDADES FILMOGÊNICAS DE PROTEÍNAS DO SORO DE LEITE SUBMETIDAS À IRRADIAÇÃO E MODIFICAÇÃO DE ph. Dissertação de mestrado em Ciência e Tecnologia de Alimentos. Universidade Federal de Goiás, Goiânia, 2014.
- FERREIRA, D.F. Sisvar: a computer statistical analysis system. *Cienc Agrotec*, Lavras, v. 35, n. 6, p. 1039-1042, nov./dez. 2011.
- GOMES, Anida. M. M. Preparação, Caracterização e Avaliação da biodegradabilidade de Blendas de Amido/Quitosana/PVA. 2008. 176 f. Tese (Doutor em Química Inorgânica) – Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, 2008.
- GONTARD, N.; GUILBERT, S. Bio-packaging: technology and properties of edible and/or biodegradable material of agricultural origin. *Boletim da Sociedade Brasileira de Ciência e Tecnologia de Alimentos*, Campinas, v.30, n.1, p.3-15, 1996.
- GRULKE, E. A. *Polymer Process Engineering*, PTR PH, New Jersey, 1994
- HARAGUCHI, F. K.; ABREU, W. C. de; PAULA, H. de. Proteínas do soro do leite: composição, propriedades nutricionais, aplicações no esporte e benefícios para a saúde humana. *Revista de Nutrição*, v. 19, n. 4, p. 479-488, 2006.

- 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*, Campinas, v. 28, p. 231-240, mar. 2008.
- HERNÁNDEZ, M. S.; MARTÍNEZ, M. S.; FERNÁNDEZTRUJILLO, J. P. Behavior of arazá (*Eugenia stipitata* Mc Vaugh) fruit quality traits during growth, development and ripening. *Scientia Horticulturae*, Amsterdam, v. 111, n. 3, p. 220-227, 2007.
- JACOB, Ricardo F. Estudo das Propriedades das Blendas de Amido Termoplástico e Látex Natural. 2006. 137 f. Tese (Doutor em Ciências – Físico-Química) – Instituto de Química de São Carlos. Universidade de São Paulo, São Paulo, 2006.
- KOLYBABA, M.; TABIL, L. G.; PANIGRAHI, S.; CRERAR, W. J.; POWELL, T.; WANG, B. Biodegradable Polymers; Past, Present, and Future. CSAE/ ASAE Annual Intersectional Meeting Sponsored by the Red River Section of ASAE Quality Inn & Suites 301 3<sup>rd</sup> Avenue North Fargo, North Dakota, USA October 3-4, 2008.
- LIU, H. et al. Thermal processing of starch-based polymers. *Progress in Polymer Science*, v. 34, n. 12, p. 1348-1368, dez. 2009.
- MARQUES, P. T. et al. Thermal properties and stability of cassava starch films crosslinked with tetraethylene glycol diacrylate. *Polymer Degradation and Stability*, v. 91, n. 04, p. 726-732, abri. 2006.
- MATHEW, S.; BRAHMAKUMAR, M.; ABRAHAM, T.E. Microestructural imaging and characterization of the mechanical, chemical, thermal, and swelling properties of starchchitosan blend films. *Biopolymers*, v. 82, p. 176-187, 2006.
- METSÄMUURONEN, S; NYSTYÖM, M. Enrichment of  $\alpha$ -lactalbumin from diluted whey with polymeric ultrafiltration membranes. *Journal of Membrane Science*, v. 337, n. 1-2, p. 248-256, 2009.
- MUSKOVICS, G. et al. Changes in physical properties during fruit ripening of Hungarian sweet cherry (*Prunus avium* L.) cultivars. *Postharvest Biology and Technology*, Amsterdam, v. 40, n. 1, p. 56-63, 2006.
- OLIVEIRA, L. M.; SARANTÓUPOLOS, C. I. G. L.; CUNHA, D. G.; LEMOS, A. B. Ensaio para avaliação de embalagens plásticas flexíveis. Campinas: Centro de Tecnologia de Embalagem, 1996.
- SOBRAL, P. J. DO A. Influencia da espessura de biofilmes feitos a base de proteínas miofibrilares sobre suas propriedades funcionais. *Pesquisa agropecuária brasileira*, Brasília, v.35, n.6, p.1251-1259, 2000
- SOUSA, R. G. Caracterização Estrutural do Gel Termossensível Poli(Nisopropilacrilamida) e seus Copolímeros com a Acrilamida. Tese de Doutorado, Universidade Federal de Minas Gerais – Belo Horizonte, MG, Brasil, 1997
- THARANATHAN, R. N. Biodegradable films and composite coatings; past, present and future. *Trends in Food Science & Technology*, v. 14, p. 71-78, 2003.
- TURHAN, K. N.; SAHBAZ, F. Water vapor permeability, tensile properties and solubility of methycellulose-based edible films. *Journal of Food Engineering*, v. 61, p. 459-466, 2004.
- VICENTINI, N. M. Elaboração e caracterização de filmes comestíveis a base de fécula de mandioca para uso em pós-colheita. Tese de doutorado em agronomia. Faculdade de Ciências Agrônômicas da UNESP, São Paulo, 2003.
- YOSHIDA, C. M. P. ANTUNES, A. J. Aplicação de filmes proteicos à base de soro de leite. *Ciênc. Tecnol. Aliment.*, Campinas, 29(2): 420-430, abr.-jun. 2009

## 5. CAPÍTULO III

### USO DE BIOFILME À BASE DE SORO DE LEITE COMO PARTE DE SISTEMA DE EMBALAGEM NO ARMAZENAMENTO DE PIMENTAS BODE VERMELHA

**Resumo:** Objetivou-se avaliar a influência do uso de filme à base de soro de leite como parte de sistema de embalagem e compará-lo ao sistema aberto em temperatura de 16°C e 24°C para armazenamento de pimentas bode vermelha. O filme elaborado com soro de leite teve a propriedade de evitar trocas gasosas, isso foi perceptível na temperatura de 16°C para as análises de pH, perda de massa, hue e Chroma das pimentas bode vermelha. Na temperatura de 24°C o comportamento foi o mesmo para as análises de acidez titulável,  $\Delta E$  e hue. Em ambas as temperaturas, o sistema de armazenamento com biofilme (fechado) obteve os maiores resultados, significando que o sistema impediu as trocas gasosas das pimentas e propiciou a degradação em maior velocidade no período de maturação.

**Palavras-chave:** *Capsicum chinense* Jacq., Biofilme, Pós-colheita.

**Abstract:** This work aimed to evaluate the influence of the use of whey-based film as part of a packaging system and to compare it to the open system at a temperature of 16°C and 24°C. The film elaborated with whey had the property of avoiding gas exchanges, this was noticeable in the temperature of 16°C for the analyzes of pH, loss of mass, hue and Chroma in the red goat peppers. At the temperature of 24°C the behavior was the same, being for the titratable acidity analyzes,  $\Delta E$  and hue. At both temperatures, the biofilm (closed) storage system obtained the highest results, meaning that the system prevented the gas exchange of the peppers and allowed the degradation at a higher rate in the maturation period.

**Key words:** *Capsicum chinense* Jacq., Biofilm, Post-harvest.

#### 5.1 INTRODUÇÃO

Após ser colhida, a maioria das frutas e hortaliças, especialmente em ambiente tropical, apresenta aceleração da maturação e deterioração em consequência das mudanças bioquímicas e fisiológicas, bem como de procedimentos de acondicionamento e práticas de manuseio inadequadas (LUVIELMO & LAMAS, 2012).

As embalagens podem ser sintéticas como as de polietileno de baixa densidade (PEBD), naturais e comestíveis. Embalagens comestíveis são utilizadas com finalidades

protetoras uma vez que auxiliam no controle da perda de massa pela transpiração reduzindo as trocas gasosas pela respiração. Também melhoram a aparência do fruto armazenado conferindo brilho como fator atraente para o consumidor, além de serem atóxicas (RIBEIRO *et al.*, 2005).

A modificação da atmosfera na conservação pós-colheita de frutos é sugerida como importante técnica para reduzir a perda de água, além de proporcionar outros efeitos desejáveis, como a manutenção da firmeza e cor através da alteração da composição de gases que circundam os frutos. O uso de atmosfera modificada pelo envolvimento do fruto com embalagens semi permeáveis associado ao efeito da temperatura, evitam ou retardam os processos fisiológicos possibilitando o prolongamento da vida útil durante o armazenamento. Ainda, consiste em metodologia de baixo custo (BARKAI-GOLAN, 2001; CARVALHO FILHO *et al.*, 2006).

O princípio de conservação de vegetais por meio de atmosfera modificada é diferente daqueles produtos que não respiram, como carne, massas e queijos, pois diferentemente dos outros alimentos, estes produtos continuam respirando após a colheita e durante a sua comercialização (SARANTÓPOULOS, 1997). Depois do processo de embalagem, as frutas e hortaliças consomem O<sub>2</sub> e produzem CO<sub>2</sub> e vapor d'água. Se houver um equilíbrio entre o O<sub>2</sub> e o CO<sub>2</sub> no interior da embalagem, poder-se-á criar, de forma passiva, uma atmosfera modificada favorável (PARRY, 1993).

A modificação da atmosfera no interior da embalagem pode ser conseguida mediante mecanismos ativos ou passivos. A modificação ativa envolve duas técnicas diferentes: gás *flushing* e vácuo compensado. As modificações passivas, no caso de frutas e vegetais, ocorrem como consequência da respiração ou do metabolismo de micro-organismos associados com o alimento. A estrutura da embalagem normalmente é constituída por um biofilme polimérico e a permeabilidade dos gases através do biofilme também influencia a composição da atmosfera que se desenvolve (BLAKISTONE, 1999; ROBERTSON, 2006).

O uso de sistemas de embalagem para acondicionamento de frutos de pimenta bode vermelha não foi estudado, portanto, torna-se atrativo conhecer o efeito de sistemas tendo como base biofilmes de soro de leite, e os efeitos na qualidade pós-colheita de frutos.

Desta forma, objetivou-se avaliar o comportamento pós-colheita de pimentas bode vermelha em dois sistemas de embalagem, com biofilme e aberto, expostos à duas temperaturas durante armazenamento.



## 5.2 MATERIAL E MÉTODOS

O trabalho foi desenvolvido no Laboratório de Produtos de Origem Animal do IF Goiano - *Campus* Rio Verde sendo analisados frutos de pimenta bode vermelha obtidos no comércio local.

O estágio de maturação escolhido para este experimento foi o Vermelho, por obter os melhores valores de antioxidantes. Para a sanitização dos frutos foi utilizado solução de hipoclorito de sódio a 100 ppm/15 minutos, enxugados, colocados em bandeja plástica para divisão dos tratamentos. A parcela utilizada foi de 9 frutos, com peso aproximado de 20,0 g  $\pm$  5,0 g por embalagem.

Os frutos de pimenta bode vermelha foram armazenados em duas temperaturas (16°C e 24°C), dois sistemas de embalagem (aberto e coberto com biofilme) (ANEXO IV) e sete tempos de armazenamento (1, 3, 5, 7, 9, 11 e 13 dias).

Os biofilmes utilizados neste experimento foram à base de soro de leite, fécula de mandioca e plastificante glicerol. A melhor formulação de biofilme foi escolhida de acordo com as características tecnológicas obtidas no Experimento 2, sendo T4 - 63,75% de soro de leite, 11,25% de fécula de mandioca, 5% de glicerol e 20% de ácido acético. O objetivo foi constatar as características tecnológicas pelo comportamento prático como embalagem alimentícia.

### 5.2.1 Perda de Massa

A perda de massa da matéria fresca foi determinada em balança semi-analítica com precisão de 0,001g, sendo a perda de massa de matéria fresca, em relação à massa inicial do fruto, expressa em porcentagem (%).

### 5.2.2 Determinação da Cor

A cor dos frutos foi mensurada em três pontos distintos por fruto, sendo determinada a variação de cor ao longo dos dias estocagem ( $\Delta E$ ), Chroma e Hue.

### 5.2.3 Sólidos Solúveis

Os valores de sólidos solúveis foram aferidos através do extrato aquoso de pimenta bode vermelha, obtidos por refratômetro digital de bancada e expressos em °Brix.

### **5.2.4 Acidez Titulável**

A análise de acidez titulável (AT) foi realizada por titulação, segundo método nº 942.15 da AOAC, (2010), e expressa em gramas de ácido cítrico/100 g de amostra.

### **5.2.5 pH**

O pH foi determinado em pHmêtro digital de bancada modelo W38 (Bel Engineering®), com leitura automática e correção automática de temperatura, segundo método nº 981.12 da AOAC, (2010).

## **5.3 Análises Estatísticas**

As análises foram realizadas utilizando de métodos de regressão. Em cada temperatura, foi realizada a análise de regressão para cada Tratamento (Biofilme e Controle), considerando o tempo como variável independente. Nesta primeira etapa, diferenças estatísticas foram consideradas significativas quando diferentes ordens de polinômios foram determinadas para cada Tratamento.

Caso a mesma ordem tenha sido selecionada nesta etapa para ambos os tratamentos, procedeu-se uma análise de identidade considerando dois modelos: a) modelo 1: uma única regressão é necessária para explicar as variações nos dados e; b) modelo 2: utilizando de variáveis dummy, uma curva de regressão para cada tratamento foi avaliada. A seleção do modelo nesta etapa é realizada utilizando de teste F, como em análise de variância. Para todas as análises foram utilizados o programa estatístico R, em nível de significância de 5% de probabilidade.

## **5.4 RESULTADOS E DISCUSSÃO**

No decorrer dos dias de análise as pimentas armazenadas nos sistemas de embalagem tiveram perda de massa e a partir do 5º dia de análise houve aparecimento de fungos no sistema aberto na temperatura de 24°C e no mesmo sistema na temperatura de 16°C ao 6º dia de análise (Tabela 1).

Nas análises com temperatura de 16°C, o parâmetro perda de massa teve variação no comportamento dos sistemas de embalagem aberto e com biofilme, sendo que a temperatura também influenciou na análise ao longo da estocagem de pimentas bode vermelha.

**TABELA 1** - Equações de regressão para os tratamentos biofilme e controle nas temperaturas de 16°C e 24°C, representando pH, acidez titulável, sólidos solúveis, perda de massa (%),  $\Delta E$ , Hue ( $h^\circ$ ) e Chroma (C) de pimentas bode vermelha.

Variável	Parâmetros	Temperaturas (°C)			
		16		24	
		Biofilme	Controle	Biofilme	Controle
pH	<b>Equação</b>	$Y=4.627+0.204X-0.028X^2$	ns	$Y=5.624-0.435X+0.064X^2$	$Y=5.382-0.387X+0.066$ a
	<b>R2</b>	0.233	-	0.278	0.212
Acidez titulável	<b>Equação</b>	$Y=0.580+0.287X-0.034X^2$	$Y=0.449+0.276X-0.027X^2$	$Y=1.164-0.092X+0.016X^2$	$Y=0.538+0.361X-0.050X^2$
	<b>R2</b>	0.305	0.438	0.220	0.569
Sólidos solúveis	<b>Equação</b>	$Y=0.135+0.270X-0.027X^2$	$Y=0.352+0.133X-0.009X^2$	$Y=0.557+0.018X+0.002X^2$	$0.305+0.171X-0.017X^2$ a
	<b>R2</b>	0.741	0.746	0.356	0.577
Perda de massa (%)	<b>Equação</b>	$Y=0.206-0.085X+0.0097X^2$	$Y=0.027-0.005X+0.002X^2$	$Y=0.235-0.105X+0.0128X^2$	$Y=0.233-0.105X+0.013X^2$
	<b>R2</b>	0.563	0.612	0.650	0.698
$\Delta E$	<b>Equação</b>	$Y=1.425+3.849X-0.347X^2$	$Y=4.349+2.788X-0.243X^2$	$Y=14.302-1.320X+0.169X^2$	$Y=10.315+0.532X$ b
	<b>R2</b>	0.783	0.873	0.978	0.795
$h^\circ$	<b>Equação</b>	$Y=0.587-0.054X+0.006X^2$	ns	$Y=0.404+0.016X$ a	$Y=0.381+0.021X$ a
	<b>R2</b>	0.894	-	0.784	0.827
C	<b>Equação</b>	ns	$Y=6.456+1.856X-0.200X^2$	$Y=1.508+3.745X-0.416X^2$	$Y=4.751+2.093X-0.261X^2$
	<b>R2</b>	-	0.544	0.755	0.773

Letras distintas na coluna diferem entre si ao nível de 5%, de acordo com teste de Tukey. ns = não significativo.

As perdas de massa fresca em frutos armazenados ocorrem em decorrência da água eliminada por transpiração causada pela diferença de pressão de vapor entre o fruto e o ar no ambiente (SOUSA *et al.*, 2000). Sendo assim, o sistema fechado aumentou essa diferença de pressão de vapor, aumentando a perda de massa dos frutos de pimenta bode.

Na temperatura de 24°C os sistemas de embalagem tiveram o mesmo comportamento, indicando que o sistema de embalagem não influenciou a análise mas a temperatura sim, indicando que esta temperatura não é adequada para armazenamento de frutos de pimenta bode vermelha.

Fantuzzi *et al.* (2004) constataram que o repolho minimamente processado apresentou-se em condições adequadas de consumo aos 20 dias de estocagem, a 1 °C e 5 °C, nas embalagens de atmosfera modificada passivas com biofilmes de alta permeabilidade ao O<sub>2</sub>. Quando acondicionado em bandejas plásticas transparentes, seladas com filme de PVC termoencolhível, o produto apresentou, no 20º dia, a 5 °C,

características sensoriais indesejáveis. Temperaturas mais baixas são mais indicadas para um período de armazenamento mais prolongado.

A variação de cor ( $\Delta E$ ), teve a mesma tendência de comportamento nos sistemas de embalagem e nos dias de estocagem quando estavam submetidos à temperatura de 16°C. O mesmo não foi observado na temperatura de 24°C, onde foi percebido a influência da temperatura no sistema de embalagem com biofilme, podendo ser justificado pela barreira à troca de gases que foi formado no sistema fechado, sendo possível ter acelerado o processo de degradação do fruto.

A diferença das frutas e vegetais para outros produtos perecíveis refrigerados embalados em atmosfera modificada é que essas continuam respirando após a colheita. Os produtos da respiração aeróbia são CO<sub>2</sub> e o vapor de água, enquanto que os produtos da fermentação, tais como etanol, acetaldeído e ácidos orgânicos, são produzidos durante a respiração anaeróbia. Se o alimento está embalado em um filme impermeável, os níveis de O<sub>2</sub> no interior da embalagem poderiam diminuir a concentrações muito baixas, iniciando-se a respiração anaeróbia, com o acúmulo dos produtos resultantes dessa respiração. O etanol, o acetaldeído e os ácidos orgânicos normalmente estão relacionados com odores e sabores desagradáveis e com a deterioração do produto. Além disso, nessas condições, haverá o risco de crescimento de patógenos anaeróbios como *C. botulinum*. Assim, recomenda-se um mínimo de 2% a 3% de O<sub>2</sub>. Se o filme possui alta permeabilidade, haverá pouca ou nenhuma alteração na atmosfera no interior da embalagem e a perda da umidade poderia provocar perda da qualidade das frutas e vegetais pelo murchamento e perda de frescor. Nesse caso, o filme indicado é de permeabilidade intermediária, que permite um equilíbrio na atmosfera (DAY, 1993).

A cromaticidade Hue modificou a tendência de acordo com os sistemas de embalagem e dias de estocagem, não sendo significativos no sistema aberto da temperatura de 16°C. Na temperatura de 24°C não houve influência significativa no tempo de estocagem e nem no sistema de embalagem.

Na temperatura de 16°C a cromaticidade Chroma teve comportamento inverso de Hue, em que no sistema com biofilme o período de estocagem não foi significativo mas foram detectadas mudanças no sistema aberto. As embalagens cobertas por biofilme modificaram significativamente os valores de Chroma, diferindo tanto na temperatura de 24°C, quanto do sistema aberto.

Os valores obtidos para sólidos solúveis não demonstraram significância no comportamento ao comparar com os sistemas de estocagem e nem com as temperaturas de 16°C e 24°C, apontando sua resistência à muitos sistemas de armazenamento.

Agostini *et al.* (2009) ao avaliarem a conservação de jaboticabas em diferentes condições de embalagens e temperaturas, notaram que o controle (frutos não embalados) apresentou os maiores teores de sólidos solúveis, diferindo dos dados obtidos neste trabalho em que não houve diferença entre os sistemas de armazenamento e nem com as temperaturas.

Já Scalon *et al.* (2004) em estudo de conservação pós-colheita de uvaia, observaram que as diferentes embalagens avaliadas também não influenciaram de forma significativa os teores de sólidos solúveis, informações que corroboram com este estudo.

A análise de acidez titulável não diferiu quanto ao comportamento nos sistemas de armazenamento na temperatura de 16°C, demonstrando que somente os dias de estocagem foram significativos.

Os sistemas de embalagem com biofilme e aberto diferiram na temperatura de 24°C, demonstrando mais uma vez que o sistema fechado interferiu no resultado das análises e que o biofilme utilizado na embalagem evitou a troca gasosa do sistema, provocando uma aceleração no processo de degradação do fruto. De acordo com Luengo *et al.* (2007) a vida útil das hortaliças diminui quanto mais elevada for a temperatura, pois a velocidade das reações bioquímicas aumentam, dessa forma o alimento murcha e deteriora-se mais rapidamente.

Nas análises com temperatura de 16°C, o parâmetro pH teve comportamento diferente entre biofilme e controle, sendo que o Tratamento controle não diferiu ao longo dos dias de estocagem.

Os sistemas de embalagem fechados contribuíram para a não proliferação de microorganismos e demonstrou que os biofilmes evitam trocas gasosas. O armazenamento de frutos de pimenta bode na temperatura de 24°C acelerou o processo de degradação do fruto, enquanto que na temperatura de 16°C a degradação foi mais lenta e a perda de massa menor.

## 5.5 CONCLUSÃO

O biofilme elaborado com soro de leite teve a propriedade de evitar trocas gasosas, isso foi perceptível na temperatura de 16°C para as análises de pH, perda de massa, hue e Chroma. Na temperatura de 24°C o comportamento foi o mesmo, sendo para as análises de acidez titulável,  $\Delta E$  e hue. Em ambas as temperaturas, o sistema de armazenamento com biofilme (fechado) obteve os maiores resultados, significando que o sistema impediu as trocas gasosas e propiciou a degradação em maior velocidade no período de maturação.

## 5.6 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- AGOSTINI, J.S. et al. Atmosfera modificada e condições de armazenamento nas características físico-químicas de jaboticabas da cultivar 'paulista'. *Ciência Rural*, Santa Maria, v.39, n.9, p.2601-2608, 2009.
- AOAC – Association of Official Analytical Chemists. **Official methods of Analysis**. 18ª ed. 3ª rev. Washington DC USA, 1096p. 2010.
- BARKAI-GOLAN, R. Postharvest diseases of fruits and vegetables– development and control. New York: Elsevier, 2001. 418p.
- BLAKISTONE, B. A. Principles and applications of modified atmosphere packaging of Foods. New York: Chapman & Hall, 1999.
- CARVALHO FILHO, C. D.; HONÓRIO, S. L.; GIL, J. M. Qualidade pós-colheita de cerejas cv. Ambrunés utilizando coberturas comestíveis. *Revista Brasileira de Fruticultura*, v.28, n.2, p.180-184, 2006.
- DAY, B. P. F. Frutas y hortalizas. In: PARRY, R. T. Envasado de los alimentos em atmosfera modificada. Madrid: A. Madrid Vicente, 1993. p. 133-154.
- FANTUZZI, E. et al. Microbiota contaminante em repolho minimamente processado. *Ciência e Tecnologia de Alimentos*, v. 24, n. 2, p. 207-211, 2004
- LUENGO, R. F. A. et al. Pós-colheita de hortaliças. Brasília: Embrapa, v. 1. 100 p. 2007
- Luvielmo, M.M.; Lamas, S.V. Revestimentos comestíveis em frutas. *Estudos Tecnológicos em Engenharia*, 8(1):8-15. 2012
- PARRY, R. T. Introducción. In: PARRY, R. T. Envasado de los alimentos em atmosfera modificada. Madrid: A. Madrid Vicente, 1993. p. 13-31.
- RIBEIRO, V. G.; ASSIS, J. S.; SILVA, F. F.; SIQUEIRA, P. P. X.; VILARONGA, C. P. P. Armazenamento de goiabas „Paluma“ sob refrigeração e em condição ambiente, com e sem tratamento com cera de carnaúba. *Revista Brasileira de Fruticultura*, v. 27, n. 2, p. 203-206, 2005.
- ROBERTSON, G. L. Modified atmosphere packaging. In: ROBERTSON, G. L. *Food packaging: principles and practice*. 2006.
- SARANTÓPOULOS, C. I. G. L. Embalagens para vegetais minimamente processados – Fresh Cut. *Boletim de Tecnologia e Desenvolvimento de Embalagens*, v. 9, n. 5, p. 4, 1997.

SCALON, S.P.Q. et al. Temperatura e embalagens na conservação pós-colheita de Eugênia uvalha Cambess-Mirtaceae. *Ciência Rural*, Santa Maria, v.34, n.6, p.1965-1968, 2004.

SOUSA, R. F. de; FILGUEIRAS, H. A. C.; COSTA, J. T. A.; ALVES, R. E.; OLIVEIRA, A. C. de. Armazenamento de ciriguela (*Spondia purpurea* L.) sob atmosfera modificada e refrigeração. **Revista Brasileira de Fruticultura**, Jaboticabal, v. 22, n. 3, p. 334-338, 2000.

**ANEXO I- Estádios de maturação utilizados na pesquisa: Verde, Alaranjado, Vermelho-claro, Vermelho e Vermelho carmesin.**



**ANEXO II- Formulações de biofilmes na estufa para evaporação do soluto.**





**ANEXO III- Realização da análise de propriedades mecânicas utilizando o aparelho Texturômetro (Texture Analyser, TA-XT Plus, Surrey, England)**



**ANEXO IV- Sistema de embalagem fechado utilizando biofilme.**

**ANEXO V- Sistema de embalagem fechado ao 6º dia de armazenamento**



**ANEXO VI- Pimentas bode vermelha no 7º dia de armazenamento no sistema fechado (com biofilme), na temperatura de 16°C.**



**ANEXO VII- Pimentas bode vermelha no 7º dia de armazenamento no sistema aberto (sem biofilme), na temperatura de 16°C.**



**ANEXO VIII- Pimentas bode vermelha no 7º dia de armazenamento no sistema fechado (com biofilme), na temperatura de 24°C.**



**ANEXO IX- Pimentas bode vermelha no 7º dia de armazenamento no sistema aberto (sem biofilme), na temperatura de 24°C.**

