

UNIVERSIDADE ESTADUAL DE GOIÁS  
UNIDADE UNIVERSITÁRIA DE CIÊNCIAS EXATAS E TECNOLÓGICAS  
MESTRADO STRICTO SENSU EM ENGENHARIA AGRÍCOLA

CURVAS DE SECAGEM, PROPRIEDADES TECNOLÓGICAS E APLICAÇÃO  
PÓS-COLHEITA DE FILMES BIODEGRADÁVEIS DE FÉCULA DE INHAME  
(*Dioscorea ssp.*) E GLICEROL

Renata Cunha dos Reis

ANÁPOLIS – GO  
MARÇO DE 2011

**CURVAS DE SECAGEM, CARACTERIZAÇÃO E APLICAÇÃO PÓS COLHEITA  
DE FILMES BIODEGRADÁVEIS DE FÉCULA DE INHAME E GLICEROL**

RENATA CUNHA DOS REIS

Orientador: IVANO ALESSANDRO DEVILLA

Coorientador: DIEGO PALMIRO RAMIREZ ASCHERI

Dissertação apresentada à  
Universidade Estadual de Goiás –  
UEG, Unidade Universitária de  
Ciências Exatas e Tecnológicas de  
Anápolis, como parte das exigências  
do Programa de Pós-Graduação  
em Engenharia Agrícola – Engenharia  
de Sistemas Agroindustriais, para  
obtenção do título de MESTRE.

Anápolis

2011

Reis, Renata Cunha.

Curvas de secagem, propriedades tecnológicas e aplicação pós-colheita de filmes biodegradáveis de fécula de inhame (*Dioscorea* spp.) e glicerol/ Renata Cunha dos Reis. - 2011. 109 f. il.

Orientador: Prof. Dr. Ivano Alessandro Devilla.

Dissertação (Mestrado) – Universidade Estadual de Goiás, 2011.

Bibliografia.

Tecnologia de amido. 2. Difusividade. 3. Biodegradabilidade. I. Título.

**CURVAS DE SECAGEM, CARACTERIZAÇÃO E APLICAÇÃO PÓS COLHEITA  
DE FILMES BIODEGRADÁVEIS DE FÉCULA DE INHAME E GLICEROL**

POR  
Renata Cunha dos Reis

Dissertação apresentada como parte de exigência para obtenção do título de MESTRE EM  
ENGENHARIA AGRÍCOLA

Aprovada em: \_\_\_ / \_\_\_ / \_\_\_

---

Prof. D. Sc. Ivano Alessandro Devilla  
Orientador

---

Prof. D. Sc. Manoel Soares Soares Junior – UFG  
Membro da Banca

---

Prof. D. Sc. Ernandes Rodrigues Alencar – UNB  
Membro da Banca

## DEDICATÓRIA

A Deus, pelas suas bênçãos, por sempre guiar-me e proteger-me.

Aos meus amados pais, Celina e Renato, e irmã Rafaela por todo apoio, amor e confiança depositados em mim.

Ao meu noivo, Diego, pelo amor, companheirismo, compreensão e incentivo.

## AGRADECIMENTOS

Ao Professor Ivano Alessandro Devilla por todo ensinamento, incentivo, amizade e por tantas oportunidades ao longo do mestrado.

Ao Professor Diego Palmiro Ramirez Ascheri pela coorientação, pelas novas idéias, correções de trabalhos e amizade.

Ao Professor Paulo Corrêa por toda atenção, orientação, diponibilidade de uso de seu laboratório e acolhida no Centerinar da UFV.

Aos amigos de mestrado, em especial, Ludmilla, Carla e João Paulo pela amizade verdadeira, pela força e carinho em todos os momentos.

As graduandas de Engenharia Agrícola Ana Cláudia e Athina pela ajuda e companheirismo nos experimentos.

A Professora Sueli Freitas, por toda ajuda e companheirismo em Viçosa.

Aos funcionários, Valdeir e Eliete pela disposição de ajudar sempre.

À Coordenação de Aperfeiçoamento do Pessoal de Nível Superior - CAPES pela bolsa concedida, pelo financiamento da pesquisa por meio dos recursos do Programa Especial e do Procad.

À Fapeg pela ajuda financeira no desenvolvimento do trabalho.

A todos que, de alguma forma, contribuíram para a realização desse trabalho.

## SUMÁRIO

LISTA DE TABELAS .....	ix
LISTA DE FIGURAS .....	x
RESUMO .....	xii
ABSTRACT .....	xiv
INTRODUÇÃO GERAL .....	16
CAPÍTULO 1_ Filmes biodegradáveis da fécula de inhame e glicerol: caracterização da fécula, formação e secagem, propriedades físicas e mecânicas e aplicação pós-colheita .....	20
1.1 Importância das embalagens: materias para substituição do plástico .....	21
1.2 Filmes comestíveis .....	21
1.3 Propriedade requeridas em coberturas comestíveis .....	22
1.4 Fécula de Inhame .....	24
1.5 Importância do estudo da secagem das soluções filmogênicas.....	25
REFERÊNCIAS BIBLIOGRAFICAS .....	27
CAPÍTULO 2_ Propriedades químicas e funcionais da fécula de inhame ( <i>Dioscorea</i> ssp.) cultivar São Bento .....	29
RESUMO .....	30
ABSTRACT .....	31
1 INTRODUÇÃO .....	32
2 MATERIAL E MÉTODOS .....	35
3 RESULTADOS E DISCUSSÃO .....	38
4 CONCLUSÃO .....	43
5 REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS .....	44
CAPITULO 3_ Secagem das soluções filmogênicas de fécula de inhame ( <i>Discorea</i> ssp.) e glicerol em diferentes temperaturas .....	47
RESUMO .....	48
ABSTRACT .....	49
1 INTRODUÇÃO .....	50
2 MATERIAL E MÉTODOS .....	52
3 RESULTADOS E DISCUSSÃO .....	56
4 CONCLUSÃO .....	63
5 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....	64
CAPITULO 4_ Propriedades mecânicas, permeabilidade e solubilidade de filmes biodegradáveis de fécula de inhame e glicerol .....	66
RESUMO .....	67
ABSTRACT .....	68
1 INTRODUÇÃO .....	69

2	MATERIAL E MÉTODOS .....	71
3	RESULTADOS E DISCUSSÃO .....	74
4	CONCLUSÕES .....	82
5	BIBLIOGRAFIA .....	83
	CAPITULO 5_ Aplicação de revestimento comestível em tomates cereja.....	86
	RESUMO .....	87
	ABSTRACT .....	88
1	INTRODUÇÃO .....	89
2	MATERIAIS E MÉTODOS .....	91
3	RESULTADOS E DISCUSSÃO .....	95
4	CONCLUSÃO .....	104
5	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....	105
	ANEXO .....	109

## LISTA DE TABELAS

TABELA 2.1. Médias das características químicas da fécula de inhame da cultivar São Bento $\pm$ erro-padrão.	38
TABELA 2.2. Propriedades de viscosidade de pasta de fécula de inhame cultivar São Bento.	40
TABELA 2.3. Propriedades tecnológicas de fécula de inhame. Médias seguidas de seus erro padrão do	42
TABELA 3.1. Níveis das variáveis codificadas e valores reais dos teores de fécula de inhame e glicerol utilizados no planejamento experimental para o preparo das soluções filmogênicas para posterior secagem.	52
TABELA 3.2. Erros e Parâmetros obtidos com ajuste do modelo.	57
TABELA 3.3. Valores da difusividade ( $D_{ef}$ ) das soluções filmogênicas de fécula de inhame e glicerol em diferentes temperaturas.	59
TABELA 3.4. Resumo da análise de variância para os principais parâmetros de secagem.	59
TABELA 4.1. Níveis das variáveis fécula de inhame e glicerol codificados e reais para o planejamento experimental do preparo das soluções filmogênicas para secagem.	71
TABELA 4.2. Deformação (D), força de ruptura (FR), tensão (TE), alongação (E), permeabilidade (P) e solubilidade (S) dos filmes de fécula de inhame e glicerol secas nas temperaturas de 25, 30, 35, 40 e 45°C.	74
TABELA 4. 3. Resumo da análise de variância para os dados de deformação, força de ruptura, tensão e alongação dos filmes de fécula de inhame e glicerol.	75
TABELA 4. 4. Resumo da Análise de Variância para os dados de solubilidade e permeabilidade dos filmes de fécula de inhame e glicerol.	78
TABELA 5.1. Níveis das variáveis do preparo das soluções filmogênicas para secagem.	91
TABELA 5.2. Análise de variância para o efeito das coberturas de fécula de inhame e glicerol e do tempo de armazenamento na perda de massa dos frutos de tomate.	95
TABELA 5.3. Análise da interação tratamento vs tempo para o efeito das coberturas de fécula de inhame e glicerol e do tempo de armazenamento na perda de massa dos frutos de tomate.	95
TABELA 5.4. Análise de variância para o efeito das coberturas de fécula de inhame e glicerol e do tempo de armazenamento na relação SST/AAT do tomate cereja.	97
TABELA 5.5. Análise da interação para o efeito dos tratamentos no mesmo tempo de armazenamento na relação SSA/AT dos frutos de tomate.	98
TABELA 5.6. Análise de variância para o efeito das coberturas de fécula de inhame e glicerol e do tempo de armazenamento na firmeza dos tomates.	100

**LISTA DE FIGURAS**

FIGURA 2.1. Perfil de viscosidade de pasta de fécula de Inhame.	39
FIGURA 3.1. Valores experimentais e estimados correspondentes às curvas de secagem das soluções filmogênicas do Tratamento 1.	56
FIGURA 3.2. A - Comportamento da umidade inicial ( $W_0$ ); B – Parâmetro $n$ ; C – Umidade crítica ( $W_c$ ) ; D – Difusividade Efetiva ( $D_{ef}$ ) em função do teor de fécula de inhame e temperatura.	60
FIGURA 4.1. Esquema do teste de perfuração em filmes.	72
FIGURA 4.2. A - Superfície de deformação do filme (%) em função da temperatura (T) e teor de glicerol (G), fixando o teor de fécula em 7,5%; B – Força de ruptura (Fr) em função da temperatura e teor de glicerol; C – Tensão de ruptura em função do teor de fécula e glicerol; D – Elongação dos filmes em função da temperatura e glicerol.	76
FIGURA 4.3. A - Superfície de solubilidade em água (S) de filme de fécula de inhame e glicerol fixando-se a temperatura em 35 °C; B – Permeabilidade em água (P) em função da temperatura e glicerol fixando-se o teor de fécula de inhame em 7,5%.	79
FIGURA 5.1. Perda de massa dos tomates cereja submetidos aos tratamentos controle, T8, T6 e T9 durante o tempo de armazenamento de 18 dias a 25 ± 1°C.	96
FIGURA 5.2. Relação de sólidos solúveis totais (SST) e acidez total titulável (ATT) dos tomates cereja submetidos aos tratamentos controle, T8, T6 e T9 durante o armazenamento por 18 dias a 25 ± 1°C.	98
FIGURA 5.3. Firmeza dos tomates cereja submetidos aos tratamentos controle, T8, T6 e T9 durante o tempo de armazenamento por 18 dias a 25 ± 1°C.	100

**LISTA DE UNIDADES E ABREVIATURAS**

m/m: massa/massa  
μm: micra  
RVA Analizador rápido de viscosidade  
IAA: índice de absorção de água  
IAO: índice de absorção de óleo  
ISA: índice de solubilidade em água  
VI: volume de intumescimento  
dag kg<sup>-1</sup>: %  
cv.: cultivar  
VM: viscosidade máxima  
QV: quebra de viscosidade  
VF: viscosidade final  
TR: tendência a retrogradação  
Trat: tratamento  
T: temperatura  
G: glicerol  
F: fécula de inhame  
P: erro médio padrão da estimativa  
SE: erro médio relativo  
R<sup>2</sup>: coeficiente de determinação  
R-ajus: coeficiente de determinação ajustado  
W<sub>0</sub>: umidade inicial  
n: taxa de secagem no período constante  
t<sub>c</sub>: tempo crítico  
W<sub>c</sub>: umidade crítica  
k: taxa de secagem no período decrescente  
D: deformação  
FR: força de ruptura  
TE: tensão  
E: alongação  
PM: perda de massa  
SS/AT: relação sólidos solúveis / Acidez total = Ratio

REIS, R.C. **Curvas de secagem, caracterização e aplicação pós colheita de filmes biodegradáveis de amido de inhame (*Dioscorea sp.*) e glicerol**. 2011. 109p. (Mestrado em Engenharia Agrícola) – Universidade Estadual de Goiás (UEG), Anápolis.

## RESUMO

A embalagem tem como função principal a proteção do produto contra danos mecânicos e perda de umidade. O uso de filmes plásticos propicia forte impacto ambiental, pois é uma matéria prima esgotável e não biodegradável. Existe um grande interesse no desenvolvimento de biofilmes comestíveis ou degradáveis biologicamente. Entretanto, não são encontradas na literatura informações sobre a cinética da secagem desses materiais. Após a colheita, o tomate apresenta-se como um fruto altamente perecível. O revestimento comestível é uma barreira física utilizada para reduzir a perda de massa causada pela perda de água e para evitar contaminações por agentes externos e evitar um amadurecimento precoce. Objetivou-se neste trabalho avaliar as características químicas e funcionais da fécula de inhame extraído com ácido oxálico e oxalato de amônia e compará-las com as características de amidos convencionais; Obter e modelar as curvas de secagem das soluções filmogênicas às temperaturas de 25, 30, 35, 40 e 45°C com diferentes teores de fécula e glicerol do processo de secagem; Estudar e otimizar o efeito da concentração de fécula de inhame e plastificante e da temperatura de processo sobre as propriedades mecânicas em teste de perfuração e testes de tração, e também em testes de solubilidade e permeabilidade em filmes elaborados a partir de fécula de inhame e glicerol a partir de um delineamento composto central, utilizando o método de superfície resposta e; Avaliar a manutenção da qualidade em tomates cerejas cobertos com películas comestíveis fabricadas de fécula de inhame e glicerol. Para verificar o efeito das coberturas, realizou-se análises de perda de massa, sólidos solúveis, acidez total e firmeza por 18 dias, além da caracterização inicial e final de polifenóis totais, atividade antioxidante e teor de licopeno nos tomates revestidos. Dos resultados obtidos, conclui-se que a fécula de inhame extraído com ácido oxálico e oxalato de amônia possui quantidades significativas de proteínas e açúcares redutores, bem como baixa solubilidade a água a frio, é mais estável ao aquecimento e agitação, tem tendência intermediária a retrogradação, além de ter baixo poder de inchamento e solubilidade em óleo a frio; Os modelos para as duas fases distintas (período constante e decrescente de secagem) adequaram-se bem a todas as temperaturas de secagem e teores dos componentes, com valores de P inferiores a 10%; A interação entre o teor de fécula de inhame e a temperatura influenciou os parâmetros de taxa de secagem no período constante e os valores do coeficiente de difusão; A porcentagem de fécula influenciou os teores de umidade inicial enquanto a umidade crítica variou em função do teor de fécula e da temperatura durante a secagem das soluções filmogênicas; A quantidade de glicerol não influenciou nenhum parâmetro analisado; As propriedades mecânicas dos filmes de fécula de inhame e glicerol foram altamente influenciados pelo plastificante. Propriedades de deformação e alongação tiveram maiores valores quanto a interação entre menores temperaturas e maiores níveis de glicerol aconteceram. Já a força na ruptura o efeito foi contrário, a medida que o nível de glicerol decresceu e a temperatura de secagem aumentou a variável independente aumentou. A tensão foi influenciada pela interação entre fécula e glicerol, de forma que o fator que mais influenciou foi o plastificante, que em menores níveis aumentou a força de tensão nos filmes. A solubilidade foi influenciada pela interação entre fécula e glicerol de forma que maiores níveis de fécula e glicerol aumentam a solubilidade dos filmes. Para a permeabilidade nenhuma interação foi

significativa, com a temperatura e glicerol de forma isolada influenciando positivamente esta propriedade e; O tratamento 9 (7,5% de fécula e 30% de glicerol), que possui menor quantidade de glicerol, foi o tratamento mais eficiente para todas as análises estudadas, visto que, obteve a menor perda de massa, menor relação de sólidos totais e acidez titulável (evidenciando menor amadurecimento do fruto). Também foi o tratamento que obteve valores mais próximos de compostos fenólicos, atividade oxidante e licopeno em relação ao fruto analisado inicialmente. Portanto este tratamento foi eficiente para conservação da vida de prateleira do tomate cereja, visto que, manteve as qualidades físicas, químicas e nutricionais do fruto.

**PALAVRAS-CHAVE:** Tecnologia de amido, Difusividade; Umidade crítica, Tensão, Perfuração, Biodegradabilidade, Conservação, Vida-de-prateleira.

REIS, R.C. **Drying curves, characterization and application of biodegradable films post-harvest yamstarch (*Dioscorea sp.*) and glycerol.** 2011. 109p. (Master's in Agricultural Engineering, ) - Universidade Estadual de Goiás (UEG), Anápolis.

## ABSTRACT

The package is has main function to protect them against mechanical damage and moisture loss. The use of plastic film provides a strong environmental impact because it is an exhaustible raw materials and no biodegradable. Thus there is great interest in the development of biofilms edible or biologically degradable. However, are not found in the literature about the kinetics of drying of these materials. Despite having excellent properties of strength and flexibility, the use of plastic film provides a strong environmental impact due to their composition coming from the oil that besides being an exhaustible raw material is not biodegradable. After harvesting, the tomato is presented as a very perishable fruit. The edible coating is a physical barrier used to reduce the weight loss caused by water loss and to avoid contamination by external agents and to avoid an early ripening. This study aims to evaluate the chemical and functional characteristics of yam starch extracted with oxalic acid and oxalate of ammonia and compares them with the characteristics of conventional starches; Obtain model the drying curves of the filmogenic solutions the temperatures of 25, 30, 35, 40 and 45°C with different amounts of starch and glycerol of the drying process; Study and optimize the effect of the starch and plasticizer and process temperature on the mechanical properties in puncture tests and tensile tests, and also in tests of solubility and permeability in films made from starch yam and glycerol from a central composite delineameto using the response surface method and; Evaluated the maintenance of quality in cherry tomatoes topped with edible films made from yam starch and glycerol. To determine the effect of hedges, there was analysis of weight loss, soluble solids, acidity and firmness for 18 days beyond the final and initial characterization of total polyphenols, antioxidant activity and lycopene content in tomatoes coated. Concluded that the yam starch extracted with oxalic acid and ammonium oxalate has a significant amount of protein and sugars, and low solubility in cold water, is more stable to heat and agitation, has intermediate retrogradation tendency in addition to low power swelling and solubility in cold oil; The models for the two phases (time constant and decreasing drying) have adapted well toall the drying temperatures and concentrations of components, with P-values below 10%. The interaction between starch content and temperature influenced the parameters of drying rate in the period constant and the values of the diffusion coefficient. The percentage of starch influenced the initial moisture contents while the critical moisture varied depending on the starch content and temperature during film formation of the solutions. The amount of glycerol did not affect any parameter analyzed; The mechanical properties of yam starch and glycerol films were highly influenced by the plasticizer. Properties of deformation and strain had higher values for the interaction between lower temperatures and higher levels of glycerol occurred. The power was in effect break the contrary, as the level of glycerol decreased and increased drying temperature increased the independent variable. The tension was influenced by the interaction between starch and glycerol, so that the most important factor involved was the plasticizer, which at lower levels increased the tensile strength of the films. The solubility was influenced by the interaction between starch and glycerol so that higher levels of starch and glycerol increase the solubility of the films. For the permeability was no significant

interaction with temperature and glycerol in isolation positively influencing this property and; The treatment 9 (7,5% de starch and 30% de glycerol), which has a lower amount of glycerol, was the most efficient viewer for all analysis studied since, had the smallest loss of weight, lower ratio of total solids and acidity (showing smaller fruit ripening). Also the treatment they received closest values of phenolic compounds, and atividante oxidant lycopene in relation to the pulp initially. Therefore this treatment was effective for maintenance of shelf life of tomato, since, maintained their physical, chemical and nutritional properties of fruit.

**KEYWORDS:** Starch technology, Diffusivity, Critical humidity, Stress, Drilling, Biodegradability, Conservation, Shelf-life.

## INTRODUÇÃO GERAL

O uso de embalagens está presente na maioria dos alimentos desempenhando funções de proteção e de marketing para o produto. A maioria das embalagens são fabricadas de plásticos, oriundos do petróleo, que é uma matéria-prima esgotável, trazendo grandes impactos ambientais. Esses tipos de materiais dificultam a compactação dos materiais no solo, retardando a degradação de outros compostos degradáveis, além de chegarem até a costa marinha e serem ingeridos pela população marinha.

Vários materiais vêm sendo desenvolvidos a fim de substituir os plásticos e uma alternativa amplamente estudada é a fabricação, caracterização e aplicação de filmes biodegradáveis. O biofilme é uma fina película que tem a função de proteger um produto contra ações externas e para formação desses filmes é necessário pelo menos um polímero. Exemplos de polímeros naturais muito utilizados são os amidos, as proteínas, os lipídeos e as blendas poliméricas, que constituem misturas de dois ou mais polímeros. A escolha do tipo de polímero depende do produto a ser aplicado.

Os amidos ou féculas são bastante utilizados para a formação das películas comestíveis. Oriundos de recursos renováveis, constituem matéria-prima barata e de fácil obtenção, visto que são os principais carboidratos de reserva dos vegetais. As proteínas também são utilizadas na fabricação de biofilmes por possuírem propriedades de barreira aos gases.

O inhame é uma tuberosa amilácea cultivada para consumo direto de grande importância para a economia da região nordeste brasileira. Com cerca de 80% de amido, constitui matéria-prima de alto rendimento para a extração do mesmo, sendo o produto aplicável para a fabricação de filme biodegradável.

Filmes de amido quando aplicados sobre a superfície de frutos realçam o brilho e não interferem em suas propriedades sensoriais, além de vários estudos, terem detectado aumento da vida-de-prateleira. Esta última propriedade depende da composição química e funcional do filme de amido utilizado. Características como baixa solubilidade em água e resistência ao aumento de temperatura, devem ser atendidas. E após a aplicação, os filmes fabricados a partir desse polissacarídeo devem atender as exigências em termos de propriedades mecânicas e de permeabilidade ao vapor de água, além das características sensoriais dos

produtos aos quais são submetidos, a fim de não modificarem características naturais das frutas e aumentarem sua vida-de-prateleira.

Essas propriedades dependem do produto a ser recoberto. Caso o produto a receber o bifilme necessite realizar a respiração, como uma fruta fresca, menor barreira a gases deve possuir. Se for um produto que oxida-se rapidamente, deve existir alta barreira ao oxigênio. Se a aplicação for feita em produto desidratado o filme aplicado deve apresentar baixa solubilidade em água. Sendo assim, é primordial que após o desenvolvimento, seja realizada a caracterização dos filmes elaborados.

Características mecânicas como a resistência a perfuração e a tração e flexibilidade também são requeridas, pois a embalagem tem como função básica a proteção, devendo ser flexível a ponto de envolver o produto. Agentes como os plastificantes são utilizados para diminuir a quebra dos filmes providos de amido ou fécula. Esses por terem afinidade com a água, aumentam a hidroflicidade e conseqüentemente a solubilidade em água e a permeabilidade ao vapor de água dos biofilmes, o que pode não ser desejável para certos produtos.

Outro fato a ser considerado na fabricação das coberturas comestíveis é a secagem da solução filmogênica. Solução filmogênica nada mais é do que o gel formado a partir da mistura de amido, água e plastificante submetido a tempo e temperatura pré definidos. Quando secam formam os filmes comestíveis.

Para facilitar a aplicação, futas podem ser imersas em soluções filmogênicas e postas a secar, enquanto para a formação da embalagem, as soluções filmogênicas são secas, por meio de secadores experimentais ou industriais e em seguidas utilizadas.

Para a obtenção de coberturas, com melhor qualidade, os parâmetros de secagem devem ser considerados, pois a variação de umidade, além de contribuir para a variação da espessura influencia também as propriedades mecânicas devido ao efeito plastificante da água. Além de a obtenção de informações teóricas a respeito do produto em estudo, durante a remoção de água, permite o desenvolvimento e aperfeiçoamento de equipamentos utilizados na secagem.

Devido as soluções filmogênicas serem compostas principalmente por água, o período de taxa constante prevalece durante a secagem, seguida por um período decrescente, caracterizado pela formação de uma curva exponencial no final da mesma. Sendo assim, um novo modelo pode ser proposto, visto que, os modelos clássicos, seguem modelamento de

curvas exponenciais, o que não se aplica à cinética das curvas de secagem das soluções filmogênicas.

Com aplicação do modelo de período constante seguido do decrescente foi possível detectar para cada curva de secagem, que variou em função da quantidade de fécula de inhame e de glicerol, a umidade inicial e a crítica, a taxa de secagem no período constante e a taxa no período decrescente. A validação do modelo foi realizada por meio da magnitude do erro médio relativo (P) e do desvio-padrão da estimativa (SE).

Este trabalho foi apresentado em capítulos, descritos sinteticamente a seguir:

Capítulo 1 - **“Filmes biodegradáveis da fécula de inhame e glicerol: caracterização da fécula, formação e secagem, propriedades físicas e mecânicas e aplicação pós-colheita.”** Este apresenta revisão bibliográfica sobre coberturas comestíveis como substitutos ao plástico. Formação do biofilme, itens necessários, características e processo de fabricação. Aborda a importância da secagem, para que as soluções filmogênicas se transformem em filmes com qualidades físicas e mecânicas para a aplicação pós-colheita.

Capítulo 2 - **“Propriedades químicas e funcionais da extração da fécula de inhame (*Dioscorea* spp.) da cultivar São Bento.”** Estudou-se o rendimento da extração e as propriedades químicas e funcionais da fécula de inhame cultivar São Bento, para posteriormente aplicá-lo na fabricação das soluções filmogênicas.

Capítulo 3 - **“Secagem das soluções filmogênicas de fécula de inhame (*Dioscorea* spp.) e glicerol em diferentes temperaturas.”** Teve como objetivo caracterizar e modelar as curvas de secagem das soluções filmogênicas à temperaturas de 25, 30, 35, 40 e 45°C com diferentes teores de fécula de inhame e glicerol a fim de obter maiores informações sobre o processo de secagem de filmes comestíveis.

Capítulo 4 - **“Propriedades mecânicas, permeabilidade e solubilidade de filmes biodegradáveis de fécula de inhame e glicerol.”** Estudou-se a partir de um delineamento central rotacional, utilizando o método de superfície resposta, as propriedades mecânicas em teste de perfuração e testes de tração, e também a solubilidade e a permeabilidade em função das concentrações de fécula de inhame e de plastificante (glicerol) e da temperatura de processo para elaboração dos biofilmes.

Capítulo 5 - **“Aplicação de revestimento comestível em tomates cereja.”** Avaliou-se a manutenção da qualidade de tomates cerejas cobertos com películas comestíveis de fécula de inhame e glicerol, verificando-se o efeito das coberturas em relação às perdas de massa, teores de sólidos solúveis, acidez total e firmeza durante 18 dias, além da

caracterização inicial e final de polifenóis totais, atividade antioxidante e teor de licopeno nos tomates revestidos.

## **CAPÍTULO 1**

### **FILMES BIODEGRADÁVEIS DA FÉCULA DE INHAME E GLICEROL: CARACTERIZAÇÃO DA FÉCULA, FORMAÇÃO E SECAGEM, PROPRIEDADES FÍSICAS E MECÂNICAS E APLICAÇÃO PÓS-COLHEITA**

### **1.1 Importância das embalagens: materias para substituição do plástico**

As frutas e hortaliças *in natura* são altamente perecíveis e vários são os problemas relacionados à sua conservação, desde o momento em que são colhidas, quando se dá início a uma série de processos que influenciam na qualidade do produto e nas suas consequentes perdas, até que o mesmo chegue ao consumidor. Algumas técnicas são utilizadas visando aumentar a vida-de-prateleira das frutas e hortaliças, dentre elas pode-se citar o aumento da umidade relativa do ar, diminuição da temperatura e o uso de embalagens. Outra técnica amplamente utilizada é o uso de atmosfera modificada (AM), que contribui para o decréscimo das perdas pós-colheita, por meio da redução da atividade metabólica e da perda de água refletindo no aumento do período de comercialização (LEMOS et al., 2008).

O plástico é um material proveniente de resinas geralmente sintéticas e derivadas do petróleo. Sob o ponto de vista ambiental, o uso do plástico é considerado problemático pela sua alta durabilidade e grande volume na composição total do lixo. Quando depositado em lixões, apresentam risco pela queima indevida e sem controle, que pode resultar em descargas de gases tóxicos na atmosfera. Quando colocados em aterros sanitários, o plástico dificulta a compactação do material e aumenta o tempo de decomposição dos elementos biologicamente degradáveis, prejudicando os processos fermentativos e impedindo a circulação de líquidos e gases, necessários à biodegradação. O acúmulo indevido de polímeros sintéticos também atinge ambientes marinhos, causando inúmeros problemas, como a ingestão de sacos plásticos por tartarugas marinhas e baleias, dentre outros (CHEN et al., 2008).

A obtenção do biofilme é uma alternativa potencial à elaboração de filmes protetores a serem usados na conservação de frutas, hortaliças e flores. A utilização de películas comestíveis tem sido bastante explorada para revestimento de frutas e hortaliças frescas, visando minimizar a perda de umidade e reduzir as taxas de respiração, além de conferir aparência brilhante e atraente. A função a ser desempenhada pelo filme depende do produto alimentício e principalmente do tipo de deterioração a que este produto está submetido (AZEREDO, 2003).

### **1.2 Filmes comestíveis**

Biofilme é um filme fino preparado a partir de materiais biológicos que age como barreira a elementos externos (fatores como umidade, óleo e gases) e, conseqüentemente, protege o produto e aumenta a sua vida-de-prateleira. São geralmente produzidos a partir de

macromoléculas como polissacarídeos, proteínas, lipídios e derivados. As coberturas comestíveis são aplicadas e formadas diretamente no produto alimentício, enquanto os biofilmes são aplicados após serem formados separadamente (TANADA-PALMU; GROSSO, 2003).

De acordo com Maia et al. (2000), os revestimentos comestíveis com gelatina reduzem a migração de oxigênio, umidade e óleo ou podem carrear agentes antioxidantes ou antimicrobianos. O colágeno, proteína fibrosa encontrada no tecido animal, é o filme comestível de proteína mais usado comercialmente, pois tem sido empregado como invólucro substituto da tripa natural em salsichas. Filmes de colágeno apresentam excelente barreira ao oxigênio.

A elaboração dos biofilmes normalmente exige o uso de plastificantes, que reduzem as interações intermoleculares entre as cadeias adjacentes do amido. Como consequências, percebem-se em termos macroscópicos, alterações das propriedades físicas ou funcionais dos filmes biodegradáveis. Os plastificantes devem ser compatíveis com o biopolímero e os mais estudados em combinação com os filmes de amido são o glicerol e sorbitol (SHIMAZU et al., 2007). Outro efeito do uso dos plastificantes é o aumento da hidrofilicidade e permeabilidade ao vapor de água dos filmes (MALI et al., 2004).

Segundo Azeredo (2003), para biofilmes elaborados a partir de polissacarídeos espera-se mínima propriedade de barreira contra umidade, devido a sua natureza hidrofílica. Contudo, alguns podem retardar a perda de umidade de alguns alimentos, quando aplicados na forma de gel, que age como agente sacrificante, ou seja, a umidade do gel evapora antes da desidratação do alimento revestido. Estes biofilmes apresentam bom aspecto, não são pegajosos, são brilhantes e transparentes, melhorando o aspecto visual dos frutos. Como não são tóxicos, podem ser ingeridos juntamente com o produto protegido, sendo removidos com água e são considerados produtos comerciais de baixo custo.

### **1.3 Propriedade requeridas em coberturas comestíveis**

O uso de amido e proteína em embalagens para alimentos vai depender, além do custo e disponibilidade, de suas propriedades funcionais: mecânicas (resistência e flexibilidade), ópticas (cor e opacidade), barreira (permeabilidades ao vapor de água, ao O<sub>2</sub> e ao CO<sub>2</sub>), solubilidade em água e propriedades sensoriais. Essas propriedades dependem do biopolímero usado (conformação, peso molecular, distribuição de cargas, polaridade), das condições de fabricação (pH, concentração de proteínas na solução filmogênica, tratamento térmico da

solução, tipo e teor de aditivos, como os plastificantes) e das condições ambientais (temperatura e umidade relativa), importantes por causa da natureza higroscópica dos biopolímeros e do plastificante usados. Outro parâmetro que influencia as propriedades dos biofilmes é a espessura (MONTERREY-QUINTERO; SOBRAL, 2000).

Para muitas aplicações em alimentos, a característica funcional mais importante do filme ou revestimento comestível é a resistência à umidade, seguida das propriedades de barreira ao oxigênio em alimentos, visando estender a vida de prateleira e reduzir o custo da embalagem. A perda de água de produtos armazenados não só resulta em perda de peso, mas também em perda de qualidade, principalmente pelas alterações na textura. Uma pequena perda de água pode ser tolerada, mas àquelas responsáveis pelo murchamento ou enrugamento devem ser evitadas. O transporte de gases como o oxigênio e o dióxido de carbono, tal como a transmissão de umidade, pode influenciar a estabilidade do armazenamento de alimentos, já que o oxigênio é meio de sua deterioração pela oxidação de lipídios, vitaminas, pigmentos e componentes de *flavor* (RIGO, 2006).

As propriedades requeridas para os biofilmes e coberturas comestíveis dependem principalmente das características do produto alimentício que será coberto ou embalado. Entretanto, baixa permeabilidade ao oxigênio é requerida em produtos sensíveis à oxidação como gorduras poliinsaturadas. Uma propriedade de transferência de massa desejada, por exemplo, é permitir a respiração da fruta ou hortaliça (trocas de oxigênio, gás carbônico e etileno), e limitar sua desidratação durante a estocagem ou evitar a penetração de soluto durante a desidratação osmótica de frutas. Além de eficientes à barreira, os filmes comestíveis devem ser compatíveis sensorial e funcionalmente com os alimentos (TANADA-PALMU; GROSSO, 2003).

Uma película muito permeável ao vapor de água poderá ser indicado para embalagens de vegetais frescos, enquanto um filme pouco permeável poderá ser indicado para produtos desidratados (SOBRAL, 1999), entre os fatores que reduzem a taxa de permeabilidade ao vapor de água (TPVA) de películas comestíveis, melhorando sua barreira à umidade, destacam-se o aumento de espessura das películas (SOBRAL, 2000). Por outro lado, os plastificantes, aditivos utilizados para melhorar a flexibilidade de filmes, comprometem a barreira à umidade (SOBRAL et al., 2001).

A solubilidade em água é uma propriedade importante dos filmes comestíveis. Em produtos semi-prontos destinados ao preparo por cocção, torna-se útil o uso de filmes comestíveis que se desintegram ao entrar em contato com a água. Por outro lado, muitas

aplicações dos filmes em alimentos têm por objetivo reduzir a transferência de água do meio externo para o produto, aumentando assim sua integridade (BATISTA; TANADA-PALMU, 2005).

Um filme com boas propriedades de barreira pode ser ineficiente se suas propriedades mecânicas não permitirem a manutenção da integridade do filme durante o processo de manipulação, empacotamento e transporte. Assim, a resistência mecânica e a deformabilidade dos biofilmes deve ser determinada (TANADA-PALMU; GROSSO, 2003). Os filmes comestíveis para embalagem devem apresentar adequada resistência à ruptura e à abrasão permitindo uma boa proteção do alimento sem perder qualidade por manuseio. Devem ser flexíveis o suficiente para se adaptar às eventuais deformações dos alimentos, sem danos mecânicos. O teste mais comumente realizado para a determinação da resistência mecânica é o teste de tensão versus deformação sob tração. Normalmente, a maior concentração de plastificante resulta em filmes com menor tensão na ruptura e maior alongação. Os valores da tensão e da deformação na ruptura também são fortemente influenciados pela umidade relativa e temperatura no momento das medições. Filmes acondicionados em ambiente de 50 a 55% são mais frágeis que aqueles equilibrados em ambientes com menor umidade relativa, devido ao efeito plastificante das moléculas de água (CHEN, 1995).

#### **1.4 Fécula de Inhame**

A cultura do Inhame (*Dioscorea* spp.) apresenta grande importância socioeconômica para a região Nordeste do Brasil, sobretudo para os Estados da Paraíba, Pernambuco, Alagoas, Bahia e Maranhão, por constituir um negócio agrícola muito promissor, dada a excelente qualidade nutritiva e energética de suas túberas e a grande utilidade para a alimentação humana, já sendo utilizadas na dieta de todas as classes da sociedade brasileira. É uma tuberosa de expressivo potencial, altamente energética e rica em vitamina do complexo B (tiamina, riboflavina, niacina e piridoxina), carboidratos principalmente amido e minerais. Apresenta baixo teor gorduras, sendo ainda bom estimulante do apetite e excelente depurador do sangue. Algumas espécies vêm sendo utilizadas para extração de sapogeninas esteróides e de material de partida para a síntese de cortisona (SANTOS, 1996).

O processo de extração da fécula de inhame consiste na trituração do tubérculo a fim de romper as células vegetais e liberar o amido de seu interior. Segue-se a separação do bagaço em peneiras com diferentes malhas e a posterior concentração por decantação

(DAIÚTO e CEREDA, 2003). Para facilitar a extração da fécula de Inhame realizaram ensaios para verificar a ação de produtos químicos citados na literatura e verificaram que o tratamento com ácido oxálico permitiu uma maior extração e um maior teor de proteína na fécula extraída em relação às extraídas em relação ao metabissulfito e hidróxido de sódio.

### **1.5 Importância do estudo da secagem das soluções filmogênicas**

Os parâmetros da secagem das soluções filmogênicas devem ser considerados na elaboração dos filmes biodegradáveis. De modo geral, a variação de umidade, além de contribuir para a variação da espessura dos filmes, influencia também as propriedades mecânicas, devido ao efeito plastificante da água (TORRES, 1994).

No desenvolvimento e no aperfeiçoamento de equipamentos utilizados para a secagem é de fundamental importância a simulação e a obtenção de informações teóricas a respeito do comportamento de cada produto. As curvas de secagem variam com a espécie, variedade, condições ambientais, métodos de preparo pós-colheita, dentre outros fatores. Nesse sentido, diversos modelos matemáticos têm sido utilizados para descrever o processo de secagem de produtos agrícolas (CORRÊA et al., 2007).

A evolução das transferências simultâneas de calor e de massa no decorrer da operação de secagem faz com que essa seja dividida esquematicamente em três períodos: período de indução, período em taxa constante e período em taxa decrescente de secagem. O período de taxa decrescente de secagem é quase sempre o único observado para a secagem de produtos agrícolas e alimentícios. A complexidade dos fenômenos de secagem conduz os pesquisadores a proporem numerosas teorias e múltiplas fórmulas empíricas para predizerem a taxa de secagem (OLIVEIRA et al., 2006).

A teoria difusional apóia-se exclusivamente sobre a lei de Fick, que expressa que o fluxo de massa por unidade de área é proporcional ao gradiente de concentração de água. O coeficiente de difusão ( $D_{ef}$ ) é uma difusividade efetiva que engloba os efeitos de todos os fenômenos que podem intervir sobre a migração da água, e seu valor é sempre obtido pelo ajuste de valores experimentais. Como a difusividade varia conforme mudam as condições de secagem (temperatura e velocidade do ar), ela não é intrínseca ao material. Assim, convencionou-se chamá-la de difusividade efetiva (OLIVEIRA et al., 2006).

Tápia-Blácido et al. (2005), ao secar soluções filmogênicas compostas de farinha de amaranto e glicerol e/ou sorbitol verificaram que as curvas de secagem apresentaram amplo período de taxa constante. Stupa et al. (2003) secaram um polímero disperso chamado Anid. Ao observar dois períodos distintos de secagem, elaboraram duas equações: A primeira para demonstrar a umidade variando de forma linear até atingir umidade crítica e a segunda para a taxa de secagem que diminui exponencialmente.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- AZEREDO, H.M.C. Películas comestíveis em frutas conservadas por métodos combinados: potencial da aplicação. **Boletim do CEPPA**, Curitiba, v.21, n.2, p.267-278, 2003.
- BATISTA, J.A.; TANADA-PALMU, P.S. Efeito da adição de ácidos graxos em filmes à base de pectina. **Ciência e Tecnologia de Alimentos**, Campinas, v.25, n.4, p.781-788, 2005.
- CHEN, H. Functional properties and applications of edible films made of milk proteins. **Journal of Dairy Science**, Champaign, v.78, n.11, p.2563-2583, 1995.
- CHEN, Y.; ZHU, X.; TAN, L.; SU, J. Melting bulk reaction between poly(butylene terephthalate) and poly(ethylene glycol)/DL-oligo(lactic acid). **Journal of Applied Polymer Science**, Malden, v.108, n.4, p. 2171–2179, 2008.
- CORRÊA, P.C.; RESENDE, O.; MARTINAZZO, A.P.; GONELI, A.L.D.; BOTELHOS, F.M. Modelagem matemática para a descrição do processo de Secagem do feijão (*Phaseolus vulgaris* L.) em camadas delgadas. **Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v.27, n.2, p.501-510, 2007.
- DAIÚTO, E.R.; CEREDA, M.P. Extração da fécula de inhame (*Dioscorea ssp*). In: CEREDA, M.P.; VILPOUX, O.; TAKAHASHI, M. **Tecnologia, usos e potencialidades de tuberosas amiláceas Latino Americanas**. São Paulo: Fundação Cargill, 2003. v.3, cap.8, p.176-190.
- MAIA, L.H.; PORTE, A.; SOUZA, V.F. de. Filmes comestíveis: aspectos gerais, propriedades de barreira à umidade e oxigênio. **Boletim do CEPPA**, Curitiba, v.18, n.1, p.105-128, 2000.
- MALI, S.; GROSSMANN, M.V.E.; GARCÍA, M.A.; MARTINO, M M.; ZARITZKY, N.E. Barrier, mechanical and optical properties of plasticized yam starch films. **Carbohydrate Polymers**, Barking, v.56, p.129-135, 2004.
- MONTERREY-QUINTERO, E.S.; SOBRAL, P.J.A. Preparo e caracterização de proteínas miofibrilares de tilápia-do-Nilo para elaboração de biofilmes. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Pirassununga, v.35, n.1, p.179-189, 2000.
- LEMO, O.L.; REBOUÇAS, T.N.H.; SÃO JOSÉ, A.R.; VILA, M.T.R.; SILVA, K.S.; BARRETO, A.P.P.; BOMFIM, M.P. Conservação do pimentão 'Magali R' em duas condições de armazenamento associada à atmosfera modificada. **Magistra**, Cruz das Almas, v.20, n.1, p.06-15, 2008.
- OLIVEIRA, R.A.; OLIVEIRA, W.P.; PARK, K.J. Determinação da difusividade efetiva de raiz de chicória. **Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v.26, n.1, p.181-189, 2006.
- TANADA-PALMU, P.S.; GROSSO, C.R.F. Development and characterization of edible films based on gluten from semi-hard and soft Brazilian wheat flours. **Ciência e Tecnologia de Alimentos**, Campinas, v.23, n.2, p.264-269, 2003.

RIGO, L.N. **Desenvolvimento e caracterização de biofilmes comestíveis**. 2006. 130p. (Mestrado em Engenharia de Alimentos) - Universidade Regional Integrada, Erechim.

SANTOS, E.S. **Inhame (*Dioscorea spp.*): aspectos básicos da cultura**. João Pessoa: EMEPA, SEBRAE. 158 p. 1996.

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

SOBRAL, P.J.A.; MENEGALLI, F.C.; HUBINGER, M.D.; ROQUES, M.A. Mechanical, water vapor barrier and thermal properties of gelatin based edible films. **Food Hydrocolloids**, Lisboa, v.15, p.423-432, 2001.

SOBRAL, P.J.A. Influência da espessura de biofilmes feitos à base de proteínas miofibrilares sobre suas propriedades funcionais. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.35, n.6, p. 1251-1259, 2000.

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

STUPA, M.V.; PLATONOV, E.K.; MILKHAILOV, V.T. Mathematical model of drying of granulated anid. **Fiber Chemistry**, Nova York, v.35, n.3, p.233-236, 2003.

TÁPIA-BLACIDO, D.; SOBRAL, P. J. ; MENEGALLI, F. C. Effects of drying temperature and relative humidity on the mechanical properties of amaranth flour films plasticized with glycerol. **Brazilian Journal of Chemical Engineering**, São Paulo, v.22, n.2, p.249-256, 2005.

TORRES, J.A. Edible films and coatings from proteins. In: HETTIARACHCHY, N.S.; ZIEGLER, G.R. (Eds.). **Protein unctinality in Food Systems**. New York: Marcel Dekker, 1994. p.467-507.

## **CAPÍTULO 2**

### **PROPRIEDADES QUÍMICAS E FUNCIONAIS DA FÉCULA DE INHAME (*Dioscorea ssp.*) CULTIVAR SÃO BENTO**

## **Propriedades químicas e tecnológicas da fécula de inhame (*Dioscorea* ssp.) cultivar São Bento**

### **RESUMO**

A fécula de inhame apresenta características tecnológicas desejáveis como a estabilidade às altas temperaturas. Objetivou-se neste trabalho avaliar as características químicas e funcionais da fécula de inhame extraído com ácido oxálico e oxalato de amônia e compará-las com as características de amidos convencionais. Dos resultados conclui-se que a fécula de inhame extraída com ácido oxálico e oxalato de amônia possui quantidades significativas de proteínas e açúcares redutores, bem como baixa solubilidade na água a frio, é estável ao aquecimento e agitação, tem tendência intermediária à retrogradação, além de ter baixo poder de inchamento e solubilidade em óleo a frio.

**PALAVRAS-CHAVE:** *Dioscorea* ssp.; Tuberosas; Tecnologia de amido; Composição centesimal.

**Physical and chemical properties of tuber and functional starch from yam (*Dioscorea* spp.) cultivar São Bento**

**ABSTRACT**

Yam starch has desirable technological characteristics such as stability at high temperatures. This study aims to evaluate the chemical and functional characteristics of yam starch extracted with oxalic acid and oxalate of ammonia and compares them with the characteristics of conventional starches. Concluded that the yam starch extracted with oxalic acid and ammonium oxalate has a significant amount of protein and sugars, and low solubility in cold water, is more stable to heat and agitation, has intermediate retrogradation tendency in addition to low power swelling and solubility in cold oil.

**KEYWORDS:** *Dioscorea* spp., tuberous, starch technology, proximal composition.

## 1 INTRODUÇÃO

O amido ou fécula é o principal carboidrato de reserva em todas as plantas superiores. Em seu estado nativo é insolúvel em água fria, seus grânulos são parcialmente cristalinos cuja morfologia, composição química e estrutura molecular são características de cada espécie em particular, sendo abundante em grãos de cereais (40% a 90% da massa seca), leguminosas (30% a 50% da massa seca), tubérculos (65% a 85% da massa seca) e frutas imaturas ou verdes (40% a 70% da massa seca) (LAJOLO; MENEZES, 2006).

Por ser um homopolissacarídeo neutro, o amido é formado por apenas duas frações: amilose e amilopectina. A primeira é composta de unidades de glucose com ligações glicosídicas  $\alpha$ -1,4, formando, assim, unidades de maltose; a segunda, por unidades de glucose unidas em  $\alpha$ -1,4 com cadeias de glucose ligadas em  $\alpha$ -1,6, de modo que, além de unidades de maltose, apresenta menor proporção de isomaltose nos pontos de ramificação (BOBBIO; BOBBIO, 2001).

Quando aquecido, o amido aumenta enormemente a quantidade de água absorvida. Com isso, obtém-se a um sistema em que não há mais água livre, pois toda ela estará ligada às cadeias de amilose e amilopectina, ou presa nos espaços entre os grânulos formando uma solução com a amilose. A viscosidade do sistema aumenta até o máximo, assim como a transparência. Após se formar gel, moléculas de amilose poderão se aproximar suficientemente para se unirem e formar zonas micelares cristalinas. Essa transformação denomina-se retrogradação. Durante o processo de retrogradação no grânulos de amido formam novamente partes cristalizadas como aquelas destruídas na formação do gel e com isso, há diminuição de volume e expulsão de água ligada às moléculas (BOBBIO; BOBBIO, 2001).

Na indústria alimentícia, o amido é utilizado em função de suas propriedades como a viscosidade, poder geleificante, adesão, tendência a retrogradação, entre outras propriedades que são influenciadas pela proporção amilose/amilopectina, teor de proteína e gordura, além da estrutura, forma e tamanho dos grânulos. Embora o amido seja quimicamente constituído apenas por glicose, em sua extração comercial permanecem resíduos da estrutura celular vegetal, na forma de impurezas (DAIUTO et al., 2002). A quantidade destes resíduos no amido comercial depende da composição da planta e do método de extração e purificação. Quanto menor o teor destas substâncias, melhor a qualidade do amido. Teores menores também refletem processos de extração e purificação mais eficientes (FRANCO et al., 2001).

Os amidos comerciais que possuem quantidades significativas de lipídeos fixam a cor, desenvolvem aromas e complexam-se. Os componentes fibras, açúcares totais e proteína são

denominados na literatura de fração não amido. Menor fração não amido proporciona maiores rendimentos de extração e processos industriais mais simples. Por outro lado, a fração não amido proporciona interessantes co-produtos e reduz o custo de extração (FRANCO et al., 2001).

Frente a este fato, as pesquisas em torno de novas matérias-primas amiláceas têm se intensificado nos últimos anos. Neste ponto, os países em regiões tropicais, como o Brasil, apresentam grande vantagem em relação aos principais produtores de amido no mundo, que estão localizados em regiões temperadas, devido à variedade de culturas tropicais amiláceas (LEONEL; CEREDA, 2002).

O inhame (*Dioscorea* spp.) é uma amilácea bastante cultivada para o consumo direto, sendo produzido a mais de 2000 anos em regiões de clima tropical e subtropical (ABRAMO, 1990). A cultura do inhame alcança no Nordeste do Brasil grande importância socioeconômica, essencialmente nos Estados de Pernambuco e Paraíba, que destacam-se como maiores produtores. De alto valor energético e nutritivo, tendo larga aceitação pelas diversas camadas da sociedade brasileira (OLIVEIRA, 2002).

Por meio da proposta de padronização da nomenclatura do “inhame” e do “cará”, no “I Simpósio Nacional sobre as Culturas do Inhame e do Cará”, ficou estabelecido que os órgãos governamentais, universidades, empresas de pesquisas e de extensão rural, Sociedade de Olericultura do Brasil e demais entidades ligadas ao setor agrícola, oficializem e divulguem, no âmbito técnico-científico nacional, a nova nomenclatura, onde “inhame” (*Colocasia esculenta*) passa a ter a denominação definitiva de “taro” e as Dioscoreáceas (*Dioscorea* spp.), chamadas popularmente no norte/nordeste brasileiro de “carás” e “inhames”, passam a ter a denominação definitiva de “inhame”. As espécies de “carás” cultivadas serão consideradas como variedades de inhame (PEDRALLI et al., 2002).

A relevância do uso de inhame como matéria-prima para a produção de amido já havia sido apontado por Cereda (2002) como uma das formas de valorização da cultura, com utilização possível do descarte, que não consegue classificação como hortaliça.

Em função do seu rendimento agrícola, o inhame apresenta um grande potencial para produção industrial de fécula. No entanto, as dificuldades de extração de sua fécula, em razão da presença de mucopolissacarídeo, prejudicam a utilização desta fécula. Leonel e Cereda (2002) citam que o estabelecimento de um processo de extração eficiente e o aproveitamento do mucopolissacarídeo como espessante, na mesma ordem que as gomas e mucilagens tradicionais, poderiam viabilizar a extração comercial da fécula de inhame.

Atribui-se às mucilagens a capacidade de atuar como substâncias de reserva e como as principais substâncias de armazenamento de água. Na indústria alimentícia, é utilizada na confecção de geléias e doces diversos e na indústria farmacêutica para a correção do gosto de outros fármacos, para dar estabilidade à emulsão e às pomadas. Gomas diferem das mucilagens, pois elas se dissolvem rapidamente em água, ao passo que as mucilagens formam massas viscosas e são produtos fisiológicos, enquanto que as gomas são produtos patológicos. Quando combinada a glicosídeos, é usada na indústria alimentar, pois, formam um tipo de gel que possibilita espessar e modificar a textura do alimento (HOU, et al., 2002).

Anani et al. (2000) avaliaram diferentes espécies de *inhames*: *Dioscorea rotundata*, *D. alata*, *D. bulbifera*, *D. esculenta*, *D. cayenensis* e *D. dumetorum*. As féculas de todas as espécies apresentaram redução da viscosidade durante congelamento. Ocorreu variabilidade de teor de amilose. As féculas de *D. dumetorum* (17% de amilose) e *D. esculenta* (15% de amilose), depois de aquecidas desenvolveram géis com excelentes condições de resistência às condições ácidas, melhor que amidos nativos e modificados comerciais. Estas características os indicariam para o preparo de alimentos ácidos, como os produtos de tomate e molhos ácidos, como os temperos de salada. Neste contexto, objetivou-se com o presente trabalho estudar as propriedades químicas e tecnológicas da fécula de inhame da cultivar São Bento.

## 2 MATERIAL E MÉTODOS

Os experimentos foram realizados nos laboratórios de Química e de Engenharia Agrícola da Unidade Universitária de Ciência Exatas e Tecnológicas da Universidade Estadual de Goiás (Anápolis – GO). Foram adquiridos 75 kg de tubérculos de Inhame da cultivar São Bento no Ceasa de Anápolis (GO). Os inhames foram acondicionados em caixas plásticas e conduzidos para o laboratório de Enzimologia e Tecnologia das Fermentações.

Os tubérculos foram selecionados de acordo com sua firmeza, sendo descartados aqueles que possuíam danos mecânicos e microbiológicos. Os tubérculos foram lavados em água corrente para retirada de detritos tais como palha, terra, insetos, etc. Posteriormente foram imersos em solução de hipoclorito de sódio a 200 ppm para sua assepsia. Após a assepsia, os inhames foram descascados e cortados em tamanho menores fazendo o uso de faca de aço inoxidável para facilitar a moagem. A extração da fécula foi feita conforme Cereda et al. (2003), modificando-se as concentrações dos reagentes usados. Os pedaços foram acondicionados em baldes plásticos contendo solução de 1% de mistura de oxalato de amônia e ácido oxálico 1:1 (m/m). A moagem foi realizada em um macro moinho de rotor circular com facas móveis e fixas (Marconi, MA-580), usando malha com furos de 1 mm de diâmetro. A fase leitosa, contendo a fécula, foi separada da massa moída em pano alvejado para a retirada das partes grosseiras. O pH da fase leitosa foi ajustado para um valor próximo a neutralidade, usando-se solução de NaOH 0,1 M para evitar a degradação da fécula. A dispersão da fécula foi passada por peneiras com malhas finas, de orifícios com 75 a 250  $\mu\text{m}$  e decantou por 12 h, retirando-se posteriormente o sobrenadante. A fécula assim obtido foi purificado por meio de lavagens sucessivas com água destilada, posteriormente filtrado a vácuo e seco em estufa de circulação de ar forçado (Marconi, MA 035), a 45°C, até massa constante, resfriado a temperatura ambiente, acondicionado em frascos até sua posterior utilização.

O rendimento da extração foi calculado como porcentagem de massa de fécula obtida, com umidade de 7%, em relação à massa bruta de tubérculos empregada, com a sua umidade original (cerca de 70%).

A fécula foi caracterizada quanto ao teor de água, cinzas, lipídeos, proteína, fibra total, açúcares totais, redutores e não redutores e percentual de fécula, segundo metodologias da AOAC (2000). Todas as análises foram realizadas em triplicata.

A viscosidade de pasta da fécula foi determinada em um *Rapid Visco Analyser* (RVA), seguindo-se sua metodologia para materiais amiláceos descrita no manual do equipamento. Para a

determinação da viscosidade da fécula foi utilizada a metodologia de ASCHERI et al. (2006). Foi preparada uma suspensão aquosa de 3 g de fécula em 25 mL de água destilada e a mesma foi submetida à leitura da viscosidade em RVA.

Foi utilizado o seguinte regime de tempo/temperatura: 50°C por 1 min, seguido de aquecimento até 95°C a uma taxa de 6°C min<sup>-1</sup>. Houve manutenção da pasta a 95°C por 5 min e resfriamento de 95 a 50°C a uma taxa de 6°C min<sup>-1</sup>. A viscosidade foi expressa em cP (centipoise). Do gráfico obtido foram detectados a temperatura e o tempo de viscosidade máxima, utilizados para gelatinização da pasta de fécula.

Seguiu-se os métodos descritos por Guillon e Champ (2000) para determinação do índice de absorção de água (IAA), índice de absorção de óleo (IAO), índice de solubilidade em água (ISA) e volume de intumescimento (VI) para fécula a 7% de umidade. Para IAA foram utilizadas amostras de 0,001 kg de fécula, suspensas em 2,5 x 10<sup>-5</sup> m<sup>3</sup> de água destilada a 303,15 K, em tubos de centrífuga de 10<sup>-4</sup> m<sup>3</sup>, previamente tarados, submetidos à agitação por 1800 s e centrifugados a 2500 rpm por um período de 600 s. O sobrenadante foi transferido para uma placa de petri de massa conhecida e o tubo contendo o precipitado foi pesado. O IAA, em kg de água por kg de matéria seca, foi obtido pela relação da massa de fécula hidratada pela fécula desidratada conforme Equação 1.

$$IAA = \frac{mah}{mad} \quad (1)$$

Em que: IAA é o índice de absorção de água, kg kg<sup>-1</sup>; mah é a massa de fécula hidratada, kg e mad é a massa de fécula desidratada, kg.

O índice de solubilidade em água (ISA) foi obtido com a mesma metodologia do IAA. As placas de petri com o sobrenadante foram colocadas na estufa por aproximadamente 15 h e o ISA foi calculado pela divisão da massa do sólido do sobrenadante desidratado pela massa de fécula conforme Equação 2.

$$ISA = \frac{mad}{ma} \quad (2)$$

Em que: mad é a massa de fécula desidratada, kg e ma é a massa do fécula, kg.

Para obtenção do índice de absorção de óleo (IAO), as amostras contendo 0,001 kg de fécula foram suspensas em 2,5 x 10<sup>-5</sup> m<sup>3</sup> de óleo de soja a 298,15 K, colocados em tubos de

centrifugas de  $5,0 \cdot 10^{-5} \text{ m}^3$  previamente pesados, com agitação permanente durante 1800 s e centrifugados a 2500 rpm por um período de 600 s. O líquido sobrenadante de cada amostra foi descartado e o índice, expresso em kg de óleo por kg de material seca, calculado conforme Equação 3.

$$\text{IAO} = \frac{\text{mri}}{\text{mad}} \quad (3)$$

Em que: mri é a massa de resíduo insolúvel, kg e mad é a massa de fécula desidratada.

O volume de intumescimento (VI) foi determinado em uma proveta graduada contendo 1 g de amostra, foi adicionada água destilada em excesso. A suspensão foi agitada por 30 min, para atingir uma completa hidratação da amostra, logo após, foi deixada em repouso por aproximadamente 15 h. O volume ocupado pela amostra na proveta, ao final do intumescimento, foi denominado VI e é expresso em  $\text{m}^3 \text{ kg}^{-1}$  de matéria seca, que foi calculado pela diferença entre o volume inicial da amostra desidratada e o volume final da fécula intumescida conforme Equação 4.

$$\text{VI} = \frac{\text{vf} - \text{vi}}{\text{ms}} \quad (4)$$

Em que: VI é o volume de intumescimento,  $\text{m}^3 \text{ kg}^{-1}$ ; vf é o volume final da amostra,  $\text{m}^3$  e ms é a massa seca da fécula, kg.

Todas as análises foram determinadas em triplicata. Os dados experimentais das características químicas e funcionais da fécula foram expressos por meio das médias  $\pm$  erro padrão.

### 3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Nas condições estabelecidas no presente estudo para a extração da fécula obteve-se um rendimento de 13,96%. Esse rendimento foi superior ao obtido por Liporacci et al. (2005) obtiveram 7% de fécula de inhame quando extraída com metabissulfito de sódio a 10% e hidróxido de sódio a 0,1%, e 13% de rendimento quando a fécula foi extraída nas mesmas condições deste trabalho, apenas com concentração de ácido oxálico e oxalato de amônio (1:1) a 10%, e não a 1%.

A composição centesimal da fécula de inhame da cultivar São Bento está descrita na Tabela 2.1. O teor de água da fécula foi de 7,61% (b.u.), este valor está abaixo do estabelecido pela Resolução RDC nº 263, de 22 de setembro de 2005 (BRASIL, 2005), que é no máximo de 14%. Isso porque acima deste teor de água o desenvolvimento de bactérias, principalmente fungos e leveduras é favorecido.

TABELA 2.1. Médias das características químicas da fécula de inhame da cultivar São Bento ± erro-padrão.

Parâmetros	Valores (dag kg <sup>-1</sup> )
Umidade <sup>1</sup>	7,61 ± 0,17
Cinzas <sup>2</sup>	0,92 ± 0,00
Lipídeos <sup>2</sup>	0,64 ± 0,02
Proteínas <sup>2</sup>	3,21 ± 0,11
Fibra Bruta <sup>2</sup>	0,17 ± 0,03
Açúcares Totais <sup>2</sup>	1,63 ± 0,03
Açúcares Redutores <sup>2</sup>	0,28 ± 0,01
Açúcares não-redutores <sup>2</sup>	1,35 ± 0,01
Fécula <sup>2</sup>	84,00 ± 0,02

<sup>1</sup> base úmida; <sup>2</sup> base seca

A quantidade de cinzas presente na fécula de inhame foi de 0,92 dag kg<sup>-1</sup> superior as obtidas por Cereda et al. (2001) que foi de 0,22%. Este fato pode estar associado às cultivares, bem como as impurezas do resíduo do inhame que não foram previamente separadas durante o processo de extração da fécula. O teor de lipídeos foi de 0,64 dag kg<sup>-1</sup> valor superior ao encontrado por Silva et al. (2007) que obtiveram 0,06% de lipídeos para fécula de inhame. O elevado teor de lipídeos da amostra em estudo pode estar associada às resinas contidas na casca, que por não ter ocorrido, uma lavagem prévia da fécula com álcool etílico ficaram retidas na fécula.

O teor de proteína obtido neste trabalho foi menor do que o encontrado por Daiuto e Cereda (2003), que estudaram a extração com adição de oxálico e oxalato de amônio (1:1) a 10% na fécula de inhame e obtiveram 4,19% de proteína. Isso pode estar associado à concentração dos reagentes usados na extração, já que segundo os autores o tratamento adotado deixou maior teor de nitrogênio residual, devido à provável quebra dos polimucosacarídeos (mucilagem) ter liberado a fração protéica, que ficou ligada em parte a fração de fécula e em parte do bagaço.

Na avaliação de fibra bruta total, o teor encontrado neste estudo para a fécula de inhame foi maior que a verificado por Manzano (2007) que obteve 0,02% de fibra total para fécula de inhame.

Cereda (2002) caracterizaram a fécula de inhame e relataram menor valor para açúcares redutores 0,11%. A maior quantidade de açúcares redutores obtida neste trabalho pode estar associada ao fato de maior tempo de decantação que o mesmo ficou submetido, pois os micro-organismos presente na fécula provavelmente provocaram o início de fermentação, degradando parte da fécula e produzindo açúcares redutores.

O viscoamilograma de pasta da fécula de inhame estabelecidos pelo RVA é apresentado na Figura 2.1.

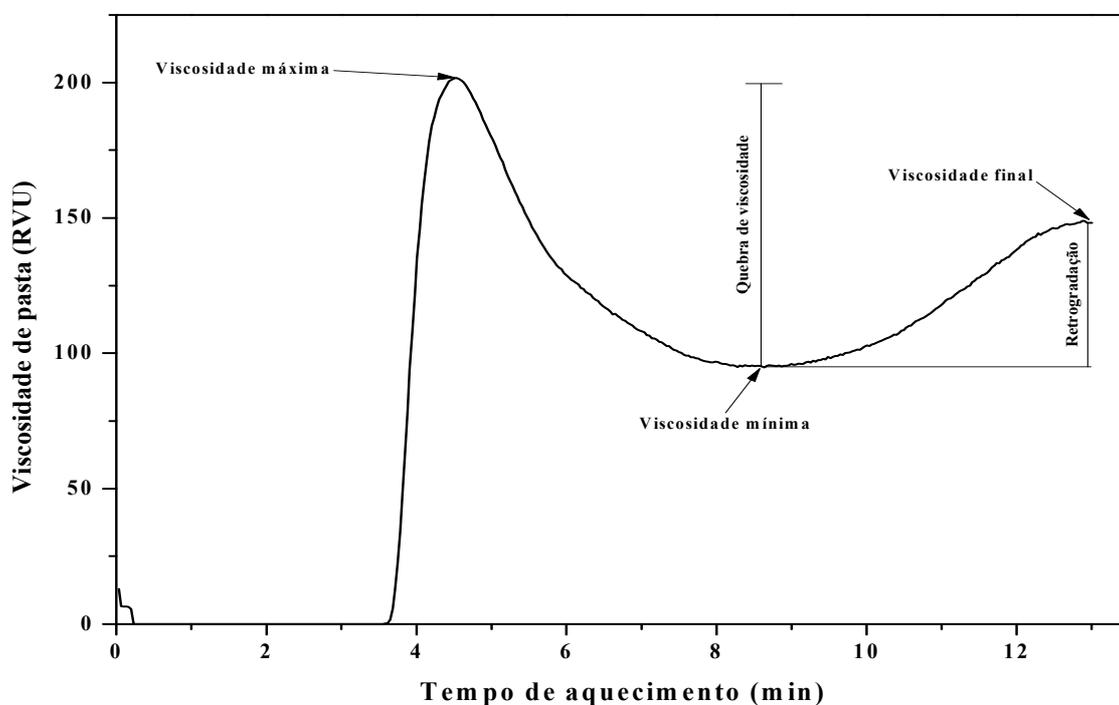


FIGURA 2.1. Perfil de viscosidade de pasta de fécula de Inhame.

Para melhor visualização das características de viscosidade de pasta da fécula de inhame foi elaborada a Tabela 2.2, juntamente com as médias de amidos e féculas de outras matérias-primas obtidos na literatura para comparação.

TABELA 2.2. Propriedades de viscosidade de pasta de fécula de inhame cultivar São Bento.

Amido/Fécula	Viscosidade (RVU)				Temperatura de pasta (° C)
	Viscosidade de máxima	Quebra da viscosidade	Viscosidade Final	Tendência a Retrogradação	
Inhame cv. São Bento	201,67	106,88	148,33	53,50	81,30
Batata <sup>1</sup>	753,60	540,20	261,20	47,80	64,80
Mandioca <sup>1</sup>	247,80	153,10	169,6	74,90	66,70
Arroz <sup>2</sup>	413,69	268,36	226,83	93,50	-
Milho <sup>3</sup>	208,33	138,76	215,12	145,55	-

Fonte: <sup>1</sup> LEONEL et al. (2002); <sup>2</sup> Fonte: LIMBERGER et al. (2008); <sup>3</sup> Fonte: LUSTOSA et al. (2009).

A viscosidade de pasta é uma das propriedades mais importantes dos materiais amiláceos. A curva de viscosidade representa o seu comportamento durante o aquecimento e permite avaliar as características da pasta formada, pelas modificações estruturais das moléculas de amido, e também a tendência a retrogradação durante o resfriamento (LUSTOSA et al., 2009). Leonel et al. (2002) citam que na presença de água e calor, os grânulos de amido expandem-se, embebendo água. Com o aquecimento gradual, a temperatura de gelatinização é atingida e uma pasta é formada. O pico de viscosidade ou viscosidade máxima (VM) ocorre após o início do aquecimento e antes do início do resfriamento da suspensão no visco-analisador. Durante o ciclo de aquecimento até 92,25°C ocorre intumescimento e gelatinização dos grânulos de amido, que atingem a viscosidade máxima nesta etapa.

A fécula de inhame obtém viscosidade máxima menor em relação aos amidos de batata, mandioca, arroz e milho (Tabela 2.3), o que indica que ela possui pequena capacidade de retenção de água antes dos grânulos se romperem, ao contrário do amido de batata que possui grande capacidade de retenção. Plevicz e Demiate (2007), determinando propriedades de pasta dos amidos de mandioca nativos e modificados, verificaram diferença entre amostras de polvilho azedo e doce, o PV do polvilho azedo ficou abaixo dos encontrados para os polvilhos doces e justificando que este fato ocorreu devido às alterações causadas pelo ácido nos grânulo de amido durante a fermentação, resultando em grânulos danificados. Portanto, durante a extração pode ter ocorrido algum dano aos grânulos de fécula de inhame.

EL-SAIED et al. (1979) constataram que o conteúdo de proteína foi negativamente correlacionado com a VM. A proteína pode atuar como uma barreira física para o intumescimento do amido, uma vez que os grânulos de amido são encaixados na matriz de proteína. Logo, o alto teor de proteína da fécula de inhame justifica o baixo pico de viscosidade.

A quebra de viscosidade (QV) permite avaliar a estabilidade do produto em altas temperaturas, em agitação mecânica (LEONEL et al., 2002). Na fécula em estudo foi detectado a menor QV, logo esta fécula pode ser considerada mais estável ao aquecimento apresentando quebra reduzida quando comparada ao amido de arroz e batata, conforme Tabela 2.3. Segundo Sing et al. (2003), a altura do PV a uma dada concentração reflete a habilidade dos grânulos de inchar livremente antes da quebra física e os amidos que são capazes de inchar a um alto grau também são menos resistentes à QV no cozimento exibindo diminuição significativa na viscosidade depois de atingir o PV.

A viscosidade final (VF) da fécula de Inhame foi considerada baixa quando comparada aos outros amidos apresentados na Tabela 2.3. Logo, um produto elaborado com esta fécula será um produto menos viscoso do que os elaborados com os demais tipos de amido.

A retrogradação é basicamente um processo de cristalização das moléculas de amido que ocorre pela forte tendência de formação de pontes de hidrogênio entre moléculas adjacentes. A associação das moléculas do amido propicia o desenvolvimento de uma rede tridimensional mantida coesa pelas áreas cristalinas. Esta rede é formada por grânulos de amido parcialmente inchados e componentes do amido em solução. A formação desta rede durante o resfriamento resulta no aparecimento de gel (HOOVER, 2001). Baixa tendência a retrogradação (TR) indica severidade do tratamento, com degradação dos polímeros, rompimento das estruturas moleculares e redução da capacidade de recristalização dos mesmos (LEONEL et al., 2002). Durante o resfriamento da pasta de amido, o aumento de viscosidade observado é governado pela TR. A TR observada na fécula de inhame teve valor intermediário em relação ao amido de batata (menor TR) e mandioca (maior TR). De acordo com Mali et al. (2004), a fécula de inhame, em função do seu teor médio de amilose, em torno de 30%, tem alta taxa de retrogradação, com cerca de 40% de perda de peso em géis armazenados por 24 h.

Os valores do índice de absorção de água (IAA), índice de absorção de óleo (IAO), índice de solubilidade em água (ISA) e volume de intumescimento (VI) da fécula de inhame cv. São Bento encontram-se na Tabela 2.3.

TABELA 2.3. Propriedades tecnológicas de fécula de inhame. Médias seguidas de seus erro padrão do

Propriedade Funcional	Quantidade
Poder de Inchamento (dag kg <sup>-1</sup> )	0,49 ± 0,01
Índice de absorção de água (kg kg <sup>-1</sup> )	2,22 ± 0,06
Índice de absorção de óleo (kg kg <sup>-1</sup> )	2,39 ± 0,03
Índice de Solubilidade (dag kg <sup>-1</sup> )	1,78 ± 0,15
Volume de Intumescimento (dag kg <sup>-1</sup> )	0,77 ± 0,12

Nunes, Santos e Cruz (2009) ao analisarem poder de inchamento e índice de solubilidade em fécula de mandioca da variedade Manteiga encontraram valores de 0,71 dag kg<sup>-1</sup> e 4,52 dag kg<sup>-1</sup> ambos valores maiores do que os encontrados neste trabalho. Os mesmos autores relacionam o teor de amilose ao poder de inchamento e a solubilidade, indicando que amidos ricos em amilose possuem inchamento e solubilidade restritos, mesmo após um período prolongado de aquecimento, já que a fécula de mandioca da variedade Manteiga possui alto teor de amilose (32,09%) e baixos poder de inchamento e solubilidade como mencionado anteriormente. Ainda segundo esses autores, o poder de inchamento expressa o ganho de peso da amostra final em relação à massa de amostra inicial e segundo Guillon e Champ (2000) a solubilidade tem efeito na funcionabilidade do amido e, principalmente, na estabilidade da viscosidade. Portanto, os valores obtidos nesse trabalho para estes índices foram pequenos indicando a baixa capacidade da fécula da fécula de inhame de ganhar peso e a baixa estabilidade.

Robertson et al. (2000) ressaltam que o volume de intumescimento (VI) é definido como o volume ocupado por uma massa conhecida de amido e a capacidade de retenção de água, como a quantidade de água retida em uma quantidade de amido conhecida. A média dos valores de VI para a fécula de inhame foi baixa, podendo ser considerada uma fécula com baixa capacidade de retenção de água.

O Índice de Absorção de Água (IAA) está relacionado à disponibilidade de grupos hidrofílicos (-OH) em se ligar às moléculas de água e à capacidade de formação de gel das moléculas de amido (COLONNA et al., 1984). LUSTOSA et al. (2009) ao analisarem amido de milho de 2 marcas comerciais encontraram para as mesmas 2,38 e 2,05 kg kg<sup>-1</sup>, considerando baixos estes valores. Em comparação ao presente trabalho os valores estão próximos aos citados acima. Sendo assim a capacidade de absorção de água da fécula de inhame a frio é baixa. O índice de absorção de óleo na fécula de inhame foi baixo quando comparado aos resultados citados acima, o que também indica baixa solubilidade desta fécula em óleo.

#### 4 CONCLUSÃO

Nas condições do presente estudo, conclui-se que a fécula de inhame extraído com ácido oxálico e oxalato de amônia (1:1) possui quantidades significativas de proteínas e açúcares redutores, bem como baixa solubilidade em água a frio, é mais estável ao aquecimento e agitação, tem tendência intermediária a retrogradação, além de ter baixo poder de inchamento e solubilidade em óleo a frio em relação a amidos de mandioca e milho.

## 5 REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

ANANI, N.G. et al. Native yam (*Dioscorea* sp) starches as a functional ingredient in food products. In: INTERNATIONAL SOCIETY OF TUBER AND ROOTS CROP, 12., 2000. Tsukuba: **Proceedings...**, International Society of Tuber and Roots Crop, 2002. p.398-400.

ASCHERI, D.P.R.; ANDRADE, C.T.; CARVALHO, C.W.P.; ASCHERI, J.L.R. Obtenção de farinhas mistas pré-gelatinizadas a partir de arroz e bagaço de jabuticaba: efeito das variáveis de extrusão nas propriedades de pasta. **Boletim do CEPPA**, Curitiba, v.24, n.1, p. 115-144, 2006.

AOAC International. 2000. **Official methods of analysis of AOAC International**. 17th edition. Gaithersburg, MD, USA, Association of Analytical Communities.

ABRAMO, M.A. Taioba. In: ABRAMO, M.A. **Taioba, cará, inhame: o grande potencial inexplorado**. Campinas: Ícone Editora, 1990. Série II, p.57-63.

BOBBIO, P. A.; BOBBIO, F. O. **Química do processamento de alimentos**. 3. ed. São Paulo: Varela, 2001, 143p.

BRASIL. Resolução RDC n. 263 de 22 de setembro de 2005 da Agência Nacional de Vigilância Sanitária do Ministério da Saúde. Aprova o Regulamento Técnico para Produtos de Cereais, Amidos, Farinhas e Farelos. **Diário Oficial da União**, Brasília, DF, 23 set. 2005. Seção 1, p.368-369.

CEREDA, M.P. Importância, modo de consumo e perspectivas para raízes e tubérculos de hortícolas no Brasil. In: CARMO, C.A.S. **Inhame e taro: sistema de produção familiar**. Vitória: Instituto Capixaba de Pesquisa, Assistência Técnica e Extensão Rural, 2002. p.27-32.

CEREDA, M.P.; DAIÚTO, E.R.; LEONEL, M.; SILVEIRA, S.R.S. Avaliação da qualidade da fécula de inhame (*Dioscorea* sp) obtida por diferentes processos de extração. In: SIMPÓSIO EM CIÊNCIA DE ALIMENTOS, 2003, Florianópolis. **Anais...** Florianópolis: UFSC, 2003. p.866-870.

CEREDA, M.P.; FRANCO, C.M.L.; DAIUTO, E.R.; DEMIATE, I.M.; CARVALHO, L.J.B.; LEONEL, M.; VILPOUX, O.F.; SARMENTO, S.B.S. **Propriedades gerais do amido**. Campinas: Fundação Cargill, 2001, v.1., 221p.

COLONNA, P.; DOUBLIER, J.L.; MELCION, J.P.; MONREDON, F.; MERCIER, C. Extrusion cooking and drum drying of wheat starch. I. Physical and macromolecular modifications. **Cereal Chemistry**, St Paul, v.61, n.6, p.538-543, 1984.

DAIUTO, E.R.; CEREDA, M.P.; CARVALHO, L.J.C.B. Características e propriedades do amido extraído de camadas do tecido da raiz de mandioca. **Brazilian Journal of Food Technology**, Campinas, v.5, p.217-223, 2002.

DAIÚTO, E.R.; CEREDA, M.P. Extração da fécula de Inhame (*Dioscorea* sp). In: CEREDA, M.P.; VILPOUX, O.; TAKAHASHI, M. **Tecnologia, usos e potencialidades de tuberosas amiláceas Latino Americanas**. São Paulo: Fundação Cargill, v.3, p.176-190, 2003.

EL-SAIED, H.M.; AHMED, E.A.; ROUSHDI, M.; EL-ATTAR, W. Gelatinization, pasting characteristics and cooking behaviour of Egyptian rice varieties in relation to amylose and protein contents. **Starch/Stärke**, Nova Work, v.31, n.8, p.270-274, 1979.

FRANCO, C.M.; DAIUTO, E.R.; DEMIATE, I.M.; CARVALHO, L.J.C.B.; LEONEL, M.; CEREDA, M.P.; VILPOUX, O.F.; SARMENTO, S.B.S. Propriedades gerais do amido. In: CEREDA, M.P. (coord.). **Série Cultura de tuberosas amiláceas latino americanas**. São Paulo: Fundação Cargill. 2001, 224p.

GUILLON, F.; CHAMP, M. Structural and physical properties of dietary fibres, and consequences of processing on human physiology. **Food Research International**, Selangor, v.33, p.233-245, 2000.

HOOVER, R. Composition molecular structure, and physicochemical properties of tuber and root starches: a review. **Carbohydrate Polymers**, Kidlington Oxford, v.45, n.3, p.253-267, 2001.

HOW, W.C.; HSU F.L.; LEE, M.H. (*Dioscorea atata*) tuber mucilage exhibited antioxidant activities in vitro. **Planta Medica**, Stuttgart, v.68, p.1072-1076, 2002.

LAJOLO, F.M.; MENEZES, E.W. **Carboidratos em alimentos regionales Iberoamericanos**. São Paulo: Universidade de São Paulo, 2006. 648p.

LEONEL, M.; CEREDA, M.P. Caracterização físico-química de algumas tuberosas amiláceas. **Ciência e Tecnologia de Alimentos**, Campinas, v.22, n.1, p.65-69, 2002.

LEONEL, M.; CEREDA, M.P.; SARMENTO, S.B.S. Processamento de araruta (*Maranta arundinacea*) para extração e caracterização da fração amilácea. **Journal Food Technology**, Campinas, v.5, p.151-155, 2002.

LIMBERGER, V.M.; SILVA, L.P.; EMANUELLI, T.; COMARELA, C.G.; PATIAS, L.D. Modificação química e física do amido de quirera de arroz para aproveitamento na indústria de alimentos. **Química Nova**, São Paulo, v.31, n.1, p.84-88, 2008.

LIPORACCI, J.S.N.; MALI, S.; GROSSMANN, M.V.E. Efeito do método de extração na composição química e nas propriedades funcionais do amido de inhame (*Dioscorea alata*), **Semina: Ciências Agrárias**, Londrina, v.26, n.3, p.345-352, 2005.

LUSTOSA, B.H.B.; LEONEL, M. LEITE, T.D.; FRANCO, C.M.L.; MISCHAN, M.M. Produção de farinha instantânea de mandioca: efeito das condições de extrusão sobre as propriedades térmicas e de pasta. **Acta Scientiarum Technology**, Maringá, v.31, n.2, p. 231-238, 2009.

MALI, S.; FERRERO, C.; REDIGONDA, V.; BALEIA, A.P.; GROSSMANN M.V.E.; ZARITZKY N.E. Influence of pH and hydrocolloids addition on yam (*Dioscorea alata*) starch pastes stability. **Lebensmittel-Wissenschaft und-Technologie**, Nova Work, v.36, p.475-481, 2003.

MALI, S.; GROSSMANN, M.V.E.; GARCÍA, M.A.; MARTINO, M.M.; ZARITZKY, N.E. Barrier, mechanical and optical properties of plasticized yam starch films. **Carbohydrate Polymers**, Barking, v.56, n.2, p.129-135, 2004.

MANZANO, G.P.P. **Aspectos sensoriais e físico-químicos de “iogurtes” de soja com espessantes/estabilizantes à base de fécula de inhame (*Dioscorea alata*), amido modificado e gelatina.** Araraquara – SP: UNESP, 2007. 93p. Dissertação (Mestrado em Alimentos)

NUNES, L.B.; SANTOS, W.J.; CRUZ, R.S. Rendimento de extração e caracterização química e funcional de féculas de mandioca da região do semi-árido baiano. **Alimentos e Nutrição**, Araraquara v.20, n.1, p.129-134, 2009.

OLIVEIRA, A.P. Nutrição e época de colheita do inhame (*Dioscorea* sp.) e seus reflexos na produção e qualidade de rizóforos. In: Simpósio nacional sobre as culturas do inhame e do Taro, 2002. João Pessoa, **Anais...** João Pessoa: EMEPA, 2002. p. 197-212.

SILVA, P. L.; GOMES, A. M. M.; RICARDO, N. M. P. S.; SILVA, C. E. M. Caracterização físico-química e reológica dos amidos de inhame (*Dioscorea* sp), araruta (*Maranta arundinacea*), cará (*Dioscorea alata*), jalapa (*Operculina macrocarpa* L. Urban) e feijão verde (*Phaseolus vulgaris* sp). In: CONGRESSO BRASILEIRO DE QUÍMICA, 47., 2007. Natal, **Resumo...** Fortaleza: UFC, 2 p.

PEDRALLI, G.; CARMO, C.A.S.; CEREDA, M; PUIATTI, M. Uso de nomes populares para as espécies de Araceae e Dioscoreaceae no Brasil. **Horticultura Brasileira**, Brasília, v.20, n. 4, p.530-532, 2002.

PLEVICZ, K.S.; DEMIATE, I.M. Caracterização de amidos de mandioca nativos e modificados e utilização em produtos panificados. **Ciência e Tecnologia de Alimentos**, Campinas, v.27, n.3, 2007.

ROBERTSON, J.A.; MONREDON, F.D.; DYSSSELER, P.; GUILLON, F.; AMADO, R.; THIBAUT, J.F. Hydration properties of dietary fibre and resistant starch: a European collaborative study. **Lebensmittel-Wissenschaft und Technologie**, Nova Work, v.33, p.72-79, 2000.

SINGH, N; SINGH, J.; KAUR, L.; SODHI, N.S.; GILL, B.S. Morphological, thermal and rheological properties of starches from different botanical sources. **Review Food Chemistry**, v.81, p.219-231, 2003.

### **CAPITULO 3**

#### **SECAGEM DAS SOLUÇÕES FILMOGÊNICAS DE FÉCULA DE INHAME (*Discorea ssp.*) E GLICEROL EM DIFERENTES TEMPERATURAS**

## Secagem das soluções filmogênicas de fécula de inhame (*discorea ssp.*) e glicerol em diferentes temperaturas

### RESUMO

A embalagem tem como função principal a proteção do produto contra danos mecânicos e perda de umidade. O uso de filmes plásticos propicia forte impacto ambiental, pois é uma matéria-prima esgotável e não biodegradável. Com isso, existe um grande interesse no desenvolvimento de biofilmes comestíveis ou degradáveis biologicamente. Entretanto, não são encontradas na literatura informações sobre a cinética da secagem desses materiais. O objetivo deste trabalho foi obter e modelar as curvas de secagem das soluções filmogênicas sob temperaturas de 25, 30, 35, 40 e 45°C com diferentes teores de fécula e glicerol. Os modelos para as duas fases distintas (período constante e decrescente de secagem) adequaram-se bem a todas as temperaturas de secagem e teores dos componentes, com valores do erro médio relativo inferiores a 10%. A interação entre o teor de fécula e a temperatura influenciou os parâmetros de taxa de secagem no período constante e os valores do coeficiente de difusão. A porcentagem de fécula de inhame influenciou os teores de umidade inicial enquanto a umidade crítica variou em função do teor de fécula e da temperatura durante a secagem das soluções filmogênicas. A quantidade de glicerol não influenciou nenhum parâmetro analisado.

**PALAVRAS-CHAVE:** Filmes biodegradáveis; Difusividade; Umidade crítica.

## Dry of filmogenic solution of yam (*Discorea* ssp.) starch and glycerol films in temperatures different

### ABSTRACT

The package is has main function to protect them against mechanical damage and moisture loss. The use of plastic film provides a strong environmental impact because it is an exhaustible raw materials and no biodegradable. Thus there is great interest in the development of biofilms edible or biologically degradable. However, are not found in the literature about the kinetics of drying of these materials. The aim was to obtain model the drying curves of the filmogenic solutions the temperatures of 25, 30, 35, 40 and 45°C with different amounts of starch and glycerol of the drying process. The models for the two phases (time constant and decreasing drying) have adapted well to all the drying temperatures and concentrations of components, with P values below 10%. The interaction between starch content and temperature influenced the parameters of drying rate in the period constant and the values of the diffusion coefficient. The percentage of starch influenced the initial moisture contents while the critical moisture varied depending on the starch content and temperature during film formation of the solutions. The amount of glycerol did not affect any parameter analyzed.

**KEYWORDS:** Biodegradable films, Diffusivity, Critical humidity

## 1 INTRODUÇÃO

A embalagem tem como função principal a proteção do produto contra danos mecânicos e perda de umidade (CHITARRA e CHITARRA, 2005). Apesar de possuírem excelentes propriedades de resistência e flexibilidade, o uso de filmes plásticos propicia forte impacto ambiental, devido à sua composição e serem oriundos do petróleo, que é uma matéria-prima esgotável, não é biodegradável (SOUZA e ANDRADE, 2000). Assim, existe um grande interesse no desenvolvimento de biofilmes comestíveis ou degradáveis biologicamente.

Na fabricação de filmes e coberturas comestíveis utilizam-se, principalmente, como matéria-prima os polissacarídeos, dentre os quais o amido ou fécula que confere ao filme ótimas qualidades sensoriais e mecânicas, além da biodegradabilidade, baixo custo de produção e obtenção a partir de recursos renováveis (THIRÉ et al., 2004).

Os parâmetros de secagem das soluções filmogênicas devem ser considerados na elaboração dos filmes biodegradáveis. De modo geral, a variação de umidade, além de contribuir para a variação da espessura dos filmes, influencia também as propriedades mecânicas devido ao efeito plastificante da água (TORRES, 1994).

Tápia-Blácido et al. (2005) ao secarem soluções filmogênicas compostas de farinha de amaranto e glicerol e/ou sorbitol verificaram que as curvas de secagem apresentaram amplo período de taxa constante. Stupa et al. (2003) secaram um polímero disperso chamado anid, ao observar dois períodos distintos de secagem, elaborou duas equações: a primeira, para demonstrar a umidade variando de forma linear até atingir umidade crítica, e a segunda para a taxa de secagem que diminui exponencialmente.

O período é chamado de taxa constante devido à variação de massa do produto com o tempo ser constante. Esse processo acontece quando a resistência interna para transporte de água é menor que a resistência para a sua remoção na superfície do produto (SANTOS et al., 2009). A umidade na qual a taxa de perda de água deixa de ser constante e passa a ser decrescente é chamado de umidade crítica.

No período de taxa decrescente de secagem a resistência ao transporte interno de água é maior do que a resistência de remoção de água na superfície, diminuindo assim a taxa de secagem. Os principais mecanismos de transporte interno de massa de água são: escoamento capilar, difusão de líquido e difusão de vapor (STRUMILLO; KUDRA, 1986).

Entretanto, não são encontradas na literatura informações sobre a cinética da secagem de filmes biodegradáveis, que são fundamentais para a otimização desta operação que resultaria em

diminuição nos custos e na elaboração de produtos finais de melhor qualidade. Objetivou-se com este trabalho a obtenção das curvas de secagem das soluções filmogênicas, bem como o ajustar modelos matemáticos para as taxas constante e decrescente de secagem. Analisou-se também a influência dos teores de fécula de inhame e glicerol e da temperatura nos parâmetros matemáticos obtidos do processo de secagem.

## 2 MATERIAL E MÉTODOS

O experimento foi realizado no Laboratório de Secagem e Armazenagem de Produtos Vegetais da Unidade Universitária de Ciências Exatas e Tecnológicas, da Universidade Estadual de Goiás - UEG, localizada em Anápolis – GO e no Laboratório de Propriedades Físicas e Qualidade de Produtos Agrícolas, da Universidade Federal de Viçosa – UFV, localizada em Viçosa - MG .

A fécula foi extraída do inhame (*Dioscorea ssp.*), cultivar São Bento. As soluções filmogênicas foram preparadas conforme Tabela 3.1. Após preparo, as soluções foram aquecidas por 4,5 min a 90 °C e ainda quentes, foram transferidos 0,01 L para placas de acrílico de diâmetro interno de 0,088 m. Os níveis das variáveis utilizadas no ensaio foram determinados a partir do modelo central rotacional composto, totalizando onze tratamentos (RODRIGUES; IEMMA, 2009), com cinco níveis para cada variável independente (teores de fécula de inhame e glicerol).

TABELA 3.1. Níveis das variáveis codificadas e valores reais dos teores de fécula de inhame e glicerol utilizados no planejamento experimental para o preparo das soluções filmogênicas para posterior secagem.

Ensaio	Fécula de inhame			Glicerol			Água
	Valor codificado	(%)	(g)	Valor codificado	(%)	(g)	(g)
1	-1,000	6,41	6,41	-1,000	15,86	1,02	92,57
2	-1,000	6,41	6,41	1,000	44,14	2,83	90,76
3	1,000	8,59	8,59	-1,000	15,86	1,36	90,05
4	1,000	8,59	8,59	1,000	44,14	3,79	87,62
5	-1,414	5,00	5,00	0,000	30,00	1,50	93,50
6	1,414	10,00	10,00	0,000	30,00	3,00	87,00
7	0,000	7,50	7,50	-1,414	10,00	0,75	91,75
8	0,000	7,50	7,50	1,414	50,00	3,75	88,75
9	0,000	7,50	7,50	0,000	30,00	2,25	90,25
10	0,000	7,50	7,50	0,000	30,00	2,25	90,25
11	0,000	7,50	7,50	0,000	30,00	2,25	90,25

Para definir os níveis de fécula de inhame e glicerol utilizados nas soluções filmogênicas realizou-se estudos preliminares para verificar quais concentrações de fécula e glicerol que seriam utilizadas no ensaio. O teor de amido ou fécula geralmente varia até 3%, enquanto varios teores são utilizados para glicerol. Sendo assim fixou-se a faixa de 5 a 10% para fécula de inhame e de 10 a 50% para glicerol (baseados na quantidade de fécula de inhame utilizada). Os percentuais de glicerol usados são calculados em relação a quantidade, em gramas, de fécula utilizada.

A primeiro momento, o delineamento de tratamentos seria um fatorial  $2^2$ . Realizando-se três repetições seria um total de doze unidades experimentais.

Naturalmente, num experimento tão pequeno quanto este pode ser mais adequado, em termos de estimação do resíduo, repetir ensaios nos quatro pontos fatoriais. No entanto ensaios no ponto central podem fornecer informações muito úteis sobre o comportamento das respostas entre os níveis inicialmente atribuídos aos fatores, além de evidenciar a qualidade da repetibilidade do processo. A situação ideal é aquela na qual podemos repetir ensaios nos pontos fatoriais e, além disso, realizar alguns no ponto central. No entanto, isto em geral não é possível em ensaios com altos custos e grande demanda de equipamentos e/ou de tempo (RODRIGUES e IEMMA, 2009).

Pelo total de unidades experimentais e a fim de otimizar o processo de formação das soluções filmogênicas, inseriu-se o ponto central com três repetições (7,5% de fécula de inhame e 30% de glicerol) para estimativa do erro experimental.

No interesse de ajustar às respostas experimentais ao modelo de segunda ordem, que de modo geral apresenta a forma da Equação 1, é necessário que seis parâmetros sejam estimados.

$$y = \beta_0 + \sum_j \beta_j x_j + \sum_{i,j} \beta_{ij} x_i x_j + \sum_j \beta_{jj} x_j^2 + e \quad (1)$$

Em que:  $\beta$  são os parâmetros do modelo;  $x$  é o grau de ajuste do modelo;  $0$  é a média geral do modelo;  $j$  é o fator 1 do modelo e;  $i$  é o fator 2 do modelo.

Verificando a existencia de apenas cinco parâmetros foi necessário a adição de pontos axiais ( $2^k = 2^2 = 4$ ), ou seja, quatro pontos axiais no experimento, gerando um delineamento denominado Composto Central, em que há várias possibilidades para a escolha dos níveis nos pontos axiais (RODRIGUES e IEMMA, 2009).

Neste contexto foi utilizado pontos do tipo  $\pm \alpha$ , Onde:

$$\alpha = (2^k)^{1/4} = \pm 1,4142 \quad (2)$$

Em que:  $k$  é o número de fatores do experimento.

Sendo assim, os pontos axiais foram fixados em 5 e 10% para teores de fécula de inhame enquanto 10 e 50% para glicerol, sendo os menores valores fixados para valores de -1,41 e os maiores valores fixados para +1,41. Para definir valores de -1 e +1, interpolações foram feitas,

definindo valores de 6,41 e 8,59 para fécula de inhame e 15,86 e 44,14 para glicerol, conforme Tabela 3.1.

A secagem foi realizada em estufa de circulação de ar forçada (Marconi, MA 035) à temperaturas de 25, 30, 35, 40 e 45°C. Ou seja, o delineamento descrito na Tabela 3.1 foi aplicado em cada temperatura descrita acima, a fim de extrair maiores informações sobre a secagem das soluções filmogênicas no presente estudo.

A perda de massa das soluções filmogênicas foi monitorada em intervalos a cada 10 min. O final da secagem foi identificado quando em pelo menos três pesagens consecutivas a variação da massa foi menor do que a tolerância de  $10^{-6}$  kg. Posteriormente, as placas foram armazenadas em dessecadores, contendo sílica gel, à temperatura de  $\pm 21^\circ\text{C}$  por 24 h. A espessura dos biofilmes produzidos foi medida utilizando um micrômetro manual Tesa Isomaster® (+0,01 mm) modelo Swisscom precisão de  $10^{-5}$  m.

A modelagem da secagem das soluções filmogênicas foi realizada em duas fases: período de taxa constante e de taxa exponencial (Equação 3), separados pelo tempo crítico, conforme elaborado por Stupa et al. (2003). Para o ajuste dos modelos matemáticos foram realizadas análises de regressão não linear, pelo método Gauss Newton, utilizando-se o *software* STATISTICA 8.0® (STATSOFT, 2008).

$$\left. \begin{array}{ll} W_I = W_0 + (N t_I) & \text{para } t_I < t_{cr} \\ W_{II} = W_c e^{k(t_{II} - t_{cr})} & \text{para } t_{II} > t_{cr} \end{array} \right\} \quad (3)$$

Em que:  $W_I$  é a umidade no período de taxa constante de secagem,  $\text{kg kg}^{-1}$ , b.s.;  $W_0$  é a umidade inicial,  $\text{kg kg}^{-1}$ , b.s.;  $N$  é a taxa constante de secagem,  $\text{h}^{-1}$ ;  $t_I$  é tempo de secagem do período de taxa constante, h;  $t_{cr}$  é tempo crítico, transição do primeiro para o segundo período da secagem, h;  $W_c$  é a umidade crítica,  $\text{kg kg}^{-1}$ , b.s.;  $k$  é o coeficiente da taxa de secagem,  $\text{h}^{-1}$  e  $t_{II}$  é o tempo de secagem do período de taxa decrescente, h.

O grau de ajuste do modelo considerou a magnitude do coeficiente de determinação ( $R^2$ ), a magnitude do erro médio relativo (P) e do desvio-padrão da estimativa (SE). O erro médio relativo e o desvio-padrão da estimativa para cada um dos modelos foram calculados utilizando as equações 4 e 5 respectivamente.

$$P = \frac{100}{n} \sum_{i=1}^n \frac{|Y - Y_0|}{Y} \quad (4)$$

$$SE = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (Y - Y_0)^2}{GLR}} \quad (5)$$

Em que: Y é o valor observado experimentalmente;  $Y_0$  é o valor calculado pelo modelo; n é o número de observações experimentais, e GLR é o número de graus de liberdade do modelo.

Aos coeficientes obtidos pelo ajuste do modelo ( $W_0$ , n,  $W_c$ ) e para o coeficiente de difusão realizaram-se análises de regressão a 5% de probabilidade de erro, por meio de método de superfície resposta, utilizando os modelos linear, quadrático, linear + interação e quadrático + interação, tendo como critério a não significância da falta de ajuste, a fim de obter a melhor relação entre os parâmetros avaliados com os teores de fécula de inhame, de glicerol e de cada temperatura.

O coeficiente de difusividade efetiva foi estimado pela Equação 6 considerando a geometria do produto como aproximação a uma placa plana.

$$RU = \frac{U - U_e}{U_i - U_e} = \frac{8}{\pi^2} \sum_{n=0}^{\infty} \frac{1}{(2n+1)^2} \exp - \left[ \frac{(2n+1)^2 \cdot \pi^2 \cdot D_{ef} \cdot t}{4} \cdot \left( \frac{S}{V} \right)^2 \right] \quad (6)$$

Em que:  $D_{ef}$  é o coeficiente de difusão efetivo,  $m^2 s^{-1}$ ; k é o coeficiente da taxa de secagem,  $h^{-1}$ ; V é o volume do biofilme,  $m^3$ ; S é a área da placa equivalente,  $m^2$ ; t é o tempo, h; e n é o número de termos necessários pra tornar o  $D_{ef}$  constante.

Para tempos longos de secagem e espessura da amostra muito pequena ( $< 0,005$  m), considerou-se apenas o primeiro termo da lei de Fick (Equação 7) utilizando-se o valor da constante de secagem k ( $h^{-1}$ ) do modelo matemático ajustado.

$$D_{ef} = \frac{K 4L^2}{\pi^2} \quad (7)$$

Em que:  $D_{ef}$  é o coeficiente de difusão efetivo,  $m^2 s^{-1}$ ; L é a espessura do material, m.

### 3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Como exemplo, uma vez que a mesma tendência foi observada em todos os tratamentos, as curvas de umidade em base seca (b.s.) em função do tempo obtidas para o tratamento 1 (T1) e ajustadas pelo modelo proposto encontram-se na Figura 1.

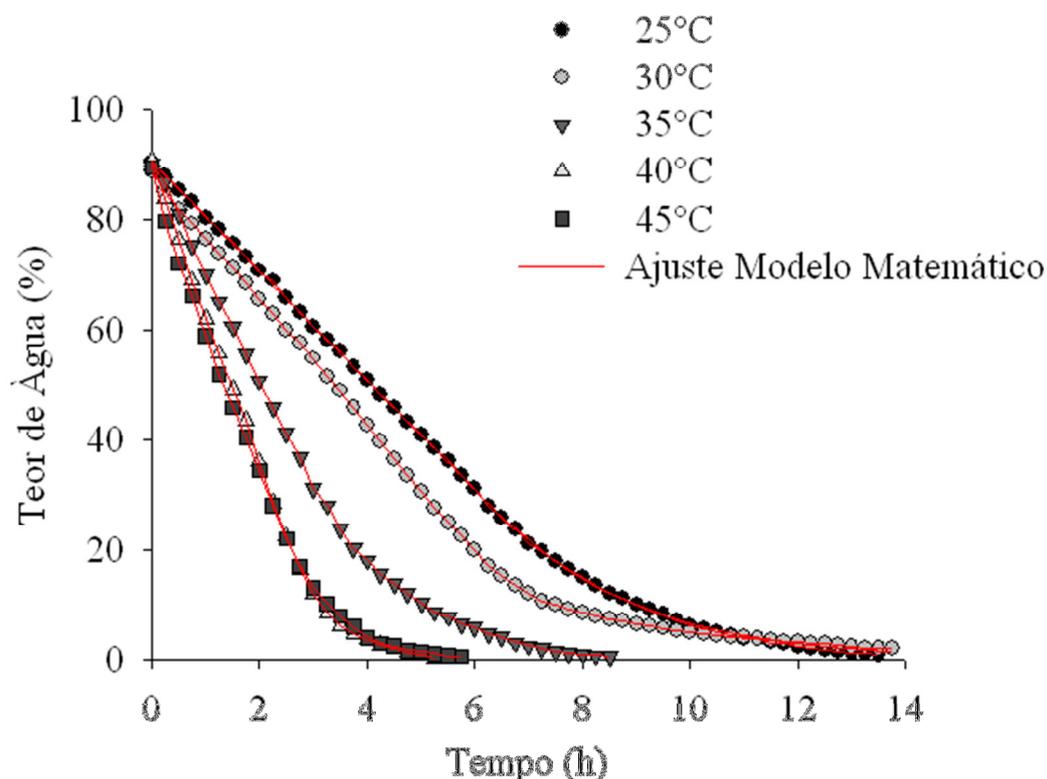


FIGURA 3.1. Valores experimentais e estimados correspondentes às curvas de secagem das soluções filmogênicas do Tratamento 1.

Na Figura 3.1., são evidenciados os distintos períodos de secagem das soluções filmogênicas. As demais curvas correspondentes aos outros tratamentos encontram-se no Anexo. À medida que a temperatura de secagem aumenta, o tempo de secagem diminui, as curvas adquirem uma menor inclinação, uma vez que, em maiores temperaturas, há maior quantidade de calor transferido do ar para o material e conseqüentemente, ocorre aumento na velocidade de migração da água presente no interior para a superfície do produto. Na Tabela 3.2,  $T$  é o tratamento,  $T$  é a temperatura,  $P$  é o erro médio relativo,  $SE$  é o erro médio estimado,  $R^2$  é o coeficiente de determinação,  $W_0$  é a umidade inicial das soluções filmogênicas,  $N$  é a taxa de secagem do período constante,  $t_c$  e  $W_c$  é o tempo e umidade crítica, e  $k$  a taxa de secagem no período decrescente.

TABELA 3.2. Erros e Parâmetros obtidos com ajuste do modelo.

Trat.	T(°C)	P(%)	SE(decimal)	R <sup>2</sup> (%)	W <sub>0</sub> (%)	N	t <sub>c</sub> (h)	W <sub>c</sub> (%)	K
T1	25	8,08	0,38	99,99	90,57	-28,56	6,75	19,26	0,27
	30	2,78	0,42	99,99	88,45	-27,20	6,50	21,46	0,40
	35	10,08	0,50	99,98	90,99	-20,01	3,00	23,24	0,59
	40	7,69	0,57	99,99	90,99	-11,43	2,50	25,60	1,27
	45	4,08	0,96	99,95	88,63	-9,93	2,50	27,67	1,10
T2	25	7,57	0,36	99,98	88,80	-30,33	8,25	19,98	0,61
	30	4,48	0,33	99,99	86,18	-21,32	7,50	21,53	0,67
	35	7,62	0,55	99,98	88,30	-15,83	4,00	23,20	0,73
	40	4,97	0,65	99,97	86,79	-12,22	3,50	25,10	1,15
	45	10,09	0,69	99,95	86,80	-8,94	2,00	27,40	1,45
T3	25	9,92	0,75	99,98	90,40	-21,52	8,00	15,71	0,60
	30	5,43	0,42	99,99	87,30	-19,82	8,00	17,80	0,59
	35	6,88	0,60	99,96	85,95	-18,86	3,75	19,53	0,68
	40	4,73	0,78	99,97	85,08	-9,35	3,25	21,81	0,70
	45	6,42	0,93	99,93	85,98	-8,90	2,50	23,00	0,76
T4	25	8,42	0,91	99,96	87,41	-21,11	6,25	16,92	0,55
	30	5,47	0,63	99,97	86,29	-17,61	6,00	18,20	0,58
	35	8,01	0,87	99,95	88,95	-16,11	4,50	20,77	0,64
	40	5,05	0,46	99,98	86,88	-9,95	4,00	22,99	0,80
	45	9,78	0,17	99,92	85,41	-9,16	3,00	25,02	0,96
T5	25	5,36	0,55	99,94	92,60	-28,48	6,50	22,62	0,33
	30	6,81	0,53	99,97	90,95	-23,64	6,25	24,80	0,58
	35	4,92	0,88	99,91	89,13	-14,35	5,00	26,98	0,69
	40	7,35	0,55	99,96	91,33	-11,86	3,00	29,00	0,77
	45	10,06	0,83	99,96	89,15	-9,88	2,25	31,05	1,25
T6	25	8,30	0,92	99,96	87,14	-25,82	7,25	11,55	0,59
	30	10,18	0,63	99,96	87,09	-20,04	5,00	13,73	0,57
	35	5,81	0,77	99,95	86,34	-15,90	4,25	15,52	0,66
	40	7,65	0,60	99,96	86,18	-14,35	4,00	17,19	0,72
	45	4,36	0,76	99,96	86,97	-10,23	3,50	19,84	0,78
T7	25	8,00	0,95	99,93	88,50	-27,54	5,00	17,94	0,40
	30	6,73	0,58	99,97	88,50	-22,48	4,50	19,94	0,33
	35	8,52	0,62	99,96	87,53	-17,22	4,25	21,50	0,76
	40	3,94	0,66	99,96	89,98	-13,82	3,50	23,02	0,71
	45	9,73	0,89	99,93	88,55	-13,22	2,00	25,76	1,61
T8	25	3,89	0,55	99,99	91,93	-24,75	6,00	19,99	0,50
	30	9,86	0,55	99,97	85,49	-22,15	5,75	22,93	0,63
	35	8,40	0,66	99,91	87,50	-16,05	4,75	25,85	0,64
	40	7,46	0,39	99,99	87,22	-12,35	3,00	27,98	0,81
	45	7,26	0,93	99,96	86,95	-12,27	2,75	30,02	1,13
T9	25	3,61	0,47	99,99	91,52	-18,60	8,00	19,87	0,77
	30	9,65	0,54	99,98	90,16	-18,60	6,25	22,57	0,49
	35	9,32	0,79	99,95	87,12	-15,51	4,50	25,05	0,82
	40	4,51	0,58	99,97	88,64	-12,09	4,00	26,69	1,37
	45	4,51	0,58	99,97	88,64	-9,45	4,00	28,09	1,37
T10	25	1,90	0,37	99,98	89,96	-17,37	7,25	19,97	0,29
	30	4,87	0,44	99,96	90,03	-15,57	6,75	22,98	0,52
	35	7,28	0,81	99,94	86,00	-14,87	5,00	25,21	0,95
	40	5,02	0,47	99,97	88,65	-10,70	4,25	26,91	1,00
	45	6,52	0,92	99,96	88,15	-9,04	3,75	28,94	1,31
T11	25	3,23	0,87	99,96	93,67	-19,10	6,75	19,58	0,38
	30	4,66	0,54	99,96	88,97	-17,83	6,25	22,83	0,68
	35	7,02	0,49	99,98	90,27	-17,47	4,25	25,31	0,89
	40	4,88	0,61	99,97	89,47	-12,70	4,00	27,35	1,09
	45	9,69	0,88	99,96	87,27	-11,42	3,50	29,17	1,43

A umidade inicial ( $W_0$ ) das soluções filmogênicas encontra-se entre 85 e 92% b.s., o que favorece os longos períodos de taxa de secagem constante. Segundo Razin (2006), o período de taxa constante é verificado em materiais completamente úmidos onde o escoamento da água do interior para a superfície ocorre devido ao gradiente hidráulico. A superfície do material permanece com temperatura próxima a temperatura de bulbo molhado (temperatura quando o ar é saturado adiabaticamente por evaporação de água) durante este período. Assim, a taxa de secagem é dependente apenas das condições externas do processo de secagem (temperatura e da vazão de ar) que foram mantidas constantes para cada tratamento e temperatura em questão.

A umidade crítica, que também é influenciada pela temperatura de secagem, caracteriza o período de transição, onde a camada externa laminar de água diminui e a temperatura na superfície começa a aumentar, tendendo a se igualar à do ambiente externo. Quando a difusão de água começa a ocorrer do interior do material e a temperatura da superfície tende a se igualar à temperatura do ambiente externo, a taxa de secagem passa a decrescer exponencialmente de forma acentuada caracterizando o fim da transição e o início do período decrescente (ARNOSTI JÚNIOR et al., 1999).

No período de taxa decrescente, a transferência de calor não é compensada pela transferência de massa, fator que limita a redução da migração de umidade do interior para a superfície do produto. A temperatura do produto aumenta, podendo atingir a temperatura do ar de secagem. Quando o produto atinge o teor de umidade de equilíbrio em função da umidade do ar de secagem, o processo é encerrado (BROOKER et al., 1992).

Os valores de  $R^2$ , P e SE correspondentes encontram-se na Tabela 3.2. O coeficiente de determinação ( $R^2$ ) variou de 99,91 a 99,99, valores bem próximos a 100%. Segundo Madamba et al. (1996), este coeficiente sozinho, não constitui um bom critério para a seleção de modelos não lineares, para isso os valores para o erro médio estimado (SE) e erro médio relativo (P) foram considerados. O desvio-padrão da estimativa variou de 0,167 a 0,958, valores inferiores a 1 indicando o bom ajuste do modelo. Valores do erro médio relativo encontrados para todos os modelos, em todas as temperaturas foram inferior a 10%. Segundo Kashani-Nejad et al. (2007) valores de P indicam o desvio dos valores observados em relação à curva estimada pelo modelo. Valores inferiores a 10% são recomendados para a seleção de modelos (MOHAPATRA E RAO, 2005). Portanto, o modelo ajustado adequou-se satisfatoriamente aos dados observados.

Na Tabela 3.3 são apresentados os coeficientes de difusão efetivo para cada temperatura de secagem com aumento da temperatura houve aumento da taxa de secagem das soluções filmogênicas, como era de se esperar. O coeficiente de difusão ( $D_{ef}$ ) representa a difusividade

efetiva, que engloba os efeitos de todos os fenômenos que podem intervir sobre a migração de umidade do centro para a periferia do produto, podendo-se entender a difusividade como a facilidade com que a água é removida do material e que varia conforme mudam as condições de secagem (OLIVEIRA et al., 2006).

TABELA 3.3. Valores da difusividade ( $D_{ef}$ ) das soluções filmogênicas de fécula de inhame e glicerol em diferentes temperaturas.

Tratamento	$D_{ef}$ ( $10^{-12} \text{ m}^2 \text{ s}^{-1}$ )				
	25°C	30°C	35°C	40°C	45°C
T1	2,77	4,41	6,67	12,13	14,84
T2	6,58	7,52	8,14	13,28	16,31
T3	6,49	6,80	7,74	8,27	8,72
T4	2,75	6,72	7,00	9,26	11,44
T5	3,62	6,44	7,63	8,61	13,77
T6	6,43	6,50	7,58	8,26	9,19
T7	1,81	3,77	4,27	7,91	8,54
T8	5,48	7,12	7,30	9,45	13,37
T9	5,45	8,51	9,21	15,45	15,63

Para verificar a influência das variáveis independentes (teores de fécula de inhame e glicerol e temperatura) nos parâmetros obtidos pelo modelo e nos valores de  $D_{ef}$ , aplicou-se análise de regressão por meio do método de superfície resposta (Tabela 3.4).

TABELA 3.4. Resumo da análise de variância para os principais parâmetros de secagem.

Fontes de Variação	$W_0$ ( $\text{kg kg}^{-1}$ )		$n$ ( $\text{h}^{-1}$ )		$W_c$ ( $\text{kg kg}^{-1}$ )		$D_{ef}$ ( $\text{m}^2 \text{ s}^{-1}$ )	
	GL	QM	GL	QM	GL	QM	GL	QM
Fécula (F)	1	31,568*	1	19,543 <sup>ns</sup>	1	363,932*	1	$6,84 \times 10^{-24\text{ns}}$
Temperatura(T)	-	-	1	1432,232*	1	480,951*	1	$4,81 \times 10^{-22*}$
F <sup>2</sup>	-	-	-	-	1	52,198*	-	-
T <sup>2</sup>	-	-	-	-	1	0,419 <sup>ns</sup>	-	-
F x T	-	-	1	29,469*	-	-	1	$3,01 \times 10^{-23*}$
Falta de Ajuste	4	4,313 <sup>ns</sup>	21	9,063 <sup>ns</sup>	20	2,788 <sup>ns</sup>	21	$3,70 \times 10^{-24\text{ns}}$
Erro Puro	47	2,698	30	5,697	30	1,751	30	$5,53 \times 10^{-24}$

$W_0$  é a umidade inicial das soluções filmogênicas,  $N$  é a taxa de secagem do período constante,  $t_c$  e  $W_c$  é o tempo e umidade crítica, e  $k$  a taxa de secagem no período decrescente.

\*teste F significativo a 5% de probabilidade; <sup>ns</sup> teste F não significativo a 5% de probabilidade

A umidade inicial das soluções filmogênicas foi influenciada apenas pela quantidade de fécula de inhame, apresentando relação linear entre estas variáveis. O parâmetro “ $n$ ” representa a taxa de secagem existente no período constante, sendo que o melhor modelo ajustado para esta variável foi o modelo linear com interação, onde a interação entre fécula de inhame e temperatura

foi significativa. Para a umidade crítica ( $W_c$ ) ajustou-se o modelo quadrático em que a fécula de inhame influenciou tanto linear quanto quadraticamente e a temperatura, apenas linearmente. E por fim, o coeficiente de difusão ( $D_{ef}$ ) calculado a partir do parâmetro de secagem “ $k$ ”, que representa a taxa de secagem no período decrescente, foi ajustado ao modelo linear com interação, sendo a interação entre fécula de inhame e temperatura significativa. Para melhor visualizar os efeitos citados acima, elaborou-se a Figura 3.2.

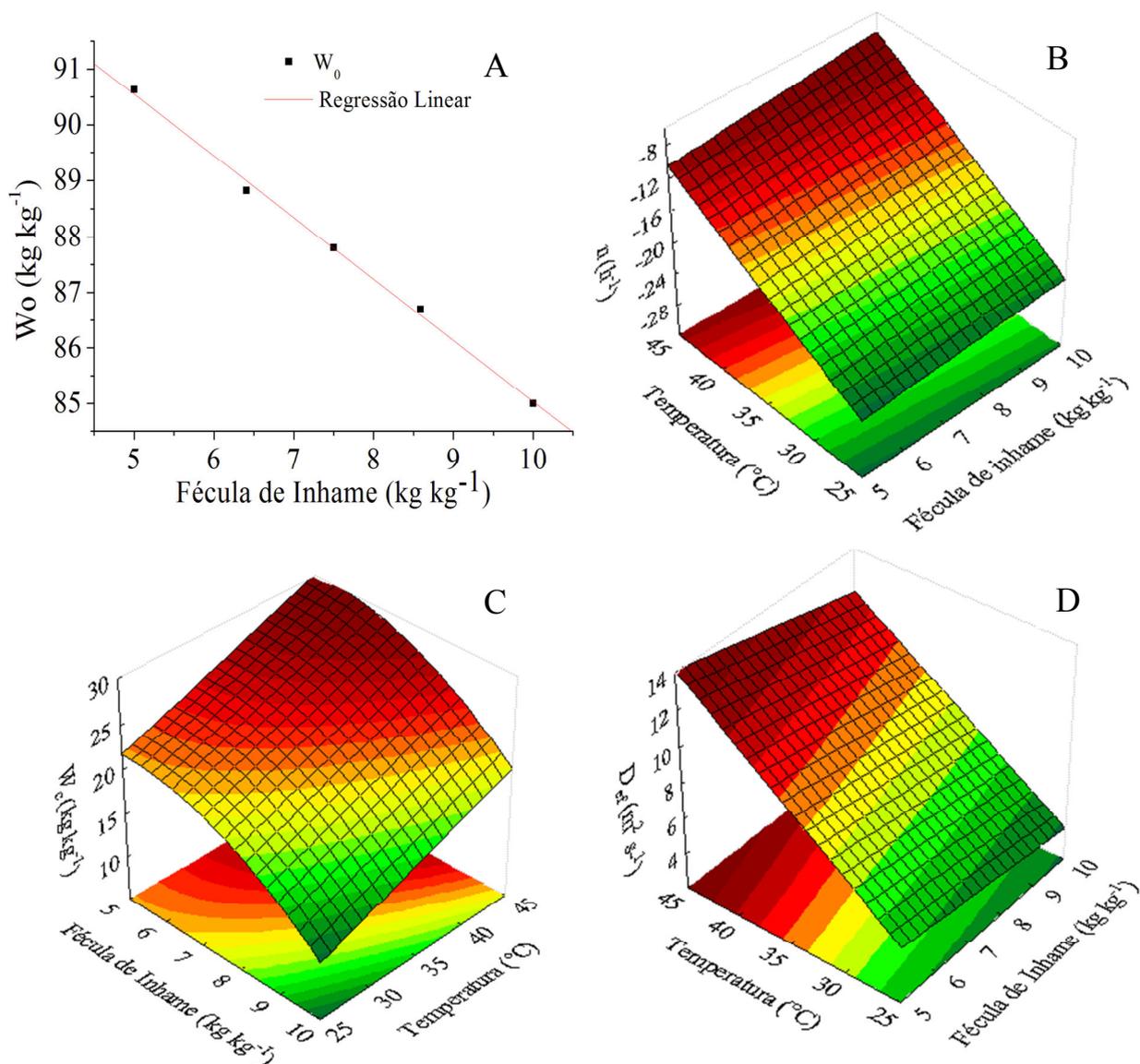


FIGURA 3.2. A - Comportamento da umidade inicial ( $W_0$ ); B – Parâmetro  $n$ ; C – Umidade crítica ( $W_c$ ); D – Difusividade Efetiva ( $D_{ef}$ ) em função do teor de fécula de inhame e temperatura.

Os modelos de regressão foram significativos a 5% ( $P \leq 0,05$ ) e foram expressos na forma de equações. Encontram-se nas equações 8 a 11 representando os modelos para umidade inicial ( $W_0$ ), parâmetro  $n$ , umidade crítica ( $W_c$ ) e coeficiente de difusividade ( $D_{ef}$ ).

$$W_0 = 96,05 - 1,10 F; (R^2 = 99,86\%) \quad (8)$$

$$n = -41,89 + 0,65 T + 0,01 AT; (R\text{-aj} = 80,40\%) \quad (9)$$

$$W_c = 0,11 + 4,38F - 0,43F^2 + 0,42T; (R\text{-aj} = 89,23\%) \quad (10)$$

$$D_{ef} = - 5,97 + 0,50 T - 0,01 AT; (R\text{-aj} = 83,45\%) \quad (11)$$

Não houve interação do glicerol em nenhum parâmetro da secagem. O glicerol é um plastificante hidrofílico bastante empregado na elaboração de filmes biodegradáveis. O plastificante interage com as cadeias de amido, aumentando a mobilidade molecular e, conseqüentemente, a hidrofilicidade e a flexibilidade dos filmes plastificados (MALI et al, 2004). O fato do glicerol e sua interação com a fécula de inhame não ter sido significativa para  $W_0$  (Figura 3.2-A) e demais parâmetros da secagem das soluções filmogênicas pode ser explicada pela pequena quantidade de plastificante em relação ao fécula, uma vez que, sua porcentagem é em relação ao teor de fécula e não ao total de solução filmogênica.

Considerando “ $n$ ” a taxa de secagem do período constante (Figura 3.2-B), é possível inferir que a redução de fécula e maiores temperaturas aumentam a taxa de secagem, fazendo com que as soluções filmogênicas se transformem em filmes plásticos mais rapidamente. Segundo Averous (2002), a gelatinização do amido ocorre quando grãos, insolúveis, são aquecidos em água, acima de uma determinada temperatura, o que leva ao seu inchamento e posterior rompimento. Com isso, a fécula dificulta a reposição da água diminuindo conseqüentemente o teor de umidade limite para a taxa de secagem constante, ou seja, do teor de umidade crítico.

Na Figura 3.2-C nota-se que a umidade crítica foi influenciada negativamente pelo teor de fécula de inhame e positivamente pela temperatura. A umidade crítica é definida como o ponto de encerramento da taxa de secagem constante, quando a migração de água para superfície não consegue mais suprir a água livre evaporada da superfície e o começo da taxa decrescente (CHIRIFE, 1983). Portanto a transição entre os períodos de secagem das soluções filmogênicas adquirem maiores valores à medida que a quantidade de fécula diminui na formulação e a secagem é processada a maiores temperaturas. Kannan et al. (1994) observaram que na secagem em leiteo fluidizado, o teor de umidade crítica do material aumentou com o aumento da temperatura, como também o com o aumento do teor de umidade inicial do material.

Waje et al. (2004) estudaram características da secagem de gel de ácido acrílico e acrilamida e constataram que sua  $W_c$  aumentou com a temperatura de secagem e diminuiu com a espessura do gel, concordando com os resultados do presente trabalho.

Os valores de  $D_{ef}$ , representados na Figura 3.2-D, foram resultados da interação significativa do teor de fécula e temperatura nos intervalos utilizados. Foi possível observar que, a interação de menores porcentagens de fécula de inhame e maiores temperaturas implica no aumento dos valores do coeficiente de difusão. Sendo assim, a quantidade de fécula utilizada na interação se diferenciou da taxa de secagem no período constante (que aumentou com a interação do aumento de F e aumento de T).

O período constante caracterizado pela secagem da água livre presente na superfície do material e automaticamente repostada durante o processo. A fécula de inhame diminuiu a água livre presente na superfície, portanto seu aumento favoreceu o aumento da taxa de secagem. No período decrescente, a secagem acontece no interior do material, logo, quanto maior a quantidade de fécula maior foi a barreira encontrada para a secagem da água no material e conseqüentemente menor foi a taxa de secagem.

Park et al. (2003) estudaram a secagem de sílica gel e encontraram valores de  $D_{ef}$  que variaram de  $1.33 \times 10^{-10}$  a  $2.12 \times 10^{-11}$ , para temperaturas de 40 a 70°C respectivamente. Waje et al. (2004) verificaram aumento da difusividade efetiva com o aumento da temperatura, e diminuição da  $D_{ef}$  com o aumento da concentração de ácido acrílico em géis formulados com ácido acrílico e acrilamida. Efeitos que comprovam os resultados da interação da quantidade de fécula de inhame e da temperatura encontrados no presente trabalho.

#### 4 CONCLUSÃO

Do presente trabalho conclui-se que o modelo ajustado para as duas fases distintas (período constante e decrescente) de secagem adequou-se bem a todas as temperaturas e tratamentos, com valores de  $P$  iguais ou inferiores a 10%. A interação entre o teor de fécula e a temperatura influenciou o parâmetro  $n$  e o coeficiente de difusão da secagem. A porcentagem de fécula de inhame influenciou o teor de umidade inicial, enquanto a umidade crítica variou em função do teor de fécula e da temperatura durante a secagem das soluções filmogênicas. A quantidade de glicerol não influenciou nenhum dos parâmetros avaliados no presente estudo.

## 5 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ARNOSTI JUNIOR, S.; INNOCENTINI, M.D.M.; PANDOLFELLI, V.C. Variáveis críticas no processo de secagem de concretos refratários. **Cerâmica**, São Paulo, v.45 n.2 p.292-293, 1999.

AVEROUS, L. **Estude de systèmes polymers multiphases: approche des relations matériaux-procédés-propriétés**. Habilitation à diriger des recherches: Université de Reims, Reims, 2002. 46p.

BROOKER, D.B.; BAKKER-ARKEMA, F.W.; HALL, C.W. **Drying and storage of grains and oilseeds**. Westport: The Avi Publishing Company, 1992. 450p.

CHIRIFE, J. Fundamentals of the drying mechanism during air of foods. **In: MUJUMDAR, A.S. (ed). Advances in drying**. Washington: Hemisphere Publishing Corporation, v.1, p.73-102. 1983.

CHITARRA, M.I.F.; CHITARRA, A.B. **Pós-colheita de frutos e hortaliças: fisiologia e manuseio**. 2.ed. Lavras: UFLA, 2005. 785 p.

KANNAN, C.S.; RAO, S.S.; VERMA, Y.B.G. A kinetic model for drying of solids in batch fluidized beds. **Industrial and Engineering Chemistry Research**, Washington, v.33, p.363-370, 1994.

KASHANI-NEJAD, M.A.; MORTAZAVI, A.; SAFEKORDI, A.G. Thin-layer drying characteristics and modeling of pistachio nuts. **Journal of Food Engineering**, London, v.78, n.1, p. 98-108, 2007.

MADAMBA, P.S.; DRISCOLL, R.H.; BUCKLE, K.A. Thin-layer drying characteristics of garlic slices. **Journal of Food Engineering**, London, v.29, n.1, p.75-97, 1996.

MALI, S.; GROSSMANN, M.V.E.; GARCÍA, M.A.; MARTINO, M.M.; ZARITZKY, N.E. Barrier, mechanical and optical properties of plasticized yam starch films. **Carbohydrate Polymers**, Barking, v.56, n.2, p.129-135, 2004.

MOHAPATRA, D.; RAO, P.S. A thin layer drying model of parboiled wheat. **Journal of Food Engineering**, London, v.66, n.4, p.513-18, 2005.

OLIVEIRA, R.A.; OLIVEIRA, W.P.; PARK, K.J. Determinação da difusividade efetiva de raiz de chicória. **Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v.26, n.1, p.181-189, 2006.

PARK, Y.S.; SHIN, H.N.; LEE, D.H.; KIM, J.H.; LEE, Y.K.; SIM, S.J. CHOI, K.B. Drying characteristics of particles using thermogravimetric analyzer. **Chemical Engineering Science**, São Paulo, v.20, n. 6, p.1170 -1175, 2003.

RAZIN, M. M. Specific features of the processes of drying and evaporation in the absence of an analogy between external heat and mass exchange. **Journal of Engineering Physics and Thermophysics**, Nova York, v.79, n.2, 2006.

RODRIGUES, M.I.; IEMMA, A.F. **Planejamento de experimentos e otimização de processos**. 2 ed. Campinas: Ed. Cárita, 2009. 358p.

SANTOS, E.S.; CORRÊA, P.C.; BOTELHO, F.M.; OLIVEIRA, G.H.H. Modelagem matemática do período de taxa constante e decrescente de desidratação de fatias de maçã "gala" por infravermelho. In: CONGRESO ARGENTINO DE INGENIERÍA RURAL Y II DEL MERCOSUR, 10., 2009. Actas. **Resumo...** Rosario, 2009. v. 1. p. 2220-2226.

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

STATSOFT: Statistics [computer program]. Versão 8.0. Tulsa: StatSoft; 2007.

STUPA, M.V.; PLATONOV, E.K.; MILKHAILOV, V.T. Mathematical model of drying of granulated anid. **Fiber Chemistry**, Nova Work, v.35, n.3, p. 233-236, 2003.

STRUMILLO, C.Z.; KUDRA, T. **Drying**: principles, applications and desing. Gordon and Breach: Science Publisher, 1986, v.3, 448p.

TAPIA-BLACIDO, D.; SOBRAL, P.J.; MENEGALLI, F.C. Effects of drying temperature and relative humidity on the mechanical properties of amaranth flour films plasticized with glycerol. **Brazilian Journal of Chemical Engineering**, São Paulo, v.22, n.21, p. 249-256, 2005.

THIRÉ, R.M.S.M.; SIMÃO, R.A.; ARAÚJO, P.J.G.; ACHETE, C.A.; ANDRADE, C.T. Redução da hidroflicidade de filmes biodegradáveis à base de amido por meio de polimerização por plasma. **Polímeros**, São Carlos, v.14, n.1, p. 57-62. 2004.

TORRES, J.A. Edible films and coatings from proteins. In: HETTIARACHCHY, N.S.E ZIEGLER, G.R. (Eds.). **Protein functionality in food systems**, New York: Marcel Dekker, 1994, p.467-507.

WAJE, S.S.; MESHRAM, M.W.; CHAUDHARY, V.; PANDEY, R.; MAHANAWAR, P.A.; THORAT, B.N. Drying characteristics of hydrophilic polymer gel: Co-polymer of acrylic acid and acrylamide. In: DRYING: PROCEEDINGS OF THE INTERNATIONAL DRYING SYMPOSIUM, 14., 2004. **Proceedings...**São Paulo. v.B, p. 1182-1189.

## **CAPITULO 4**

### **PROPRIEDADES MECÂNICAS, PERMEABILIDADE E SOLUBILIDADE DE FILMES BIODEGRADÁVEIS DE FÉCULA DE INHAME E GLICEROL**

## **Propriedades mecânicas, permeabilidade e solubilidade de filmes biodegradáveis de fécula de inhame e glicerol**

### **RESUMO**

Apesar de possuírem excelentes propriedades de resistência e flexibilidade, o uso de filmes plásticos propicia forte impacto ambiental, devido à sua composição oriunda do petróleo que além de ser uma matéria-prima esgotável, não é biodegradável. O objetivo deste capítulo foi estudar o efeito da concentração de fécula, de plastificante e da temperatura de processo sobre as propriedades mecânicas, de solubilidade e de permeabilidade dos filmes elaborados a partir dessas matérias-primas utilizando delineamento rotacional central composto, utilizando o método de superfície resposta. Dos resultados conclui-se que as propriedades mecânicas dos filmes de fécula de inhame e glicerol foram altamente influenciados pelo teor de plastificante. Propriedades de deformação e alongação obtiveram maiores valores quando a interação entre menores temperaturas e maiores níveis de glicerol aconteceram. Já em relação a força na ruptura, o efeito foi contrário, a medida que o nível de glicerol decresceu e a temperatura de secagem aumentou a variável independente aumentou. A tensão foi influenciada pela interação entre a fécula e o glicerol, de forma que o fator que mais influenciou foi o plastificante, que em menores níveis aumentou a força de tensão nos filmes. A solubilidade em água foi influenciada pela interação entre fécula e glicerol de forma que maiores níveis de fécula e glicerol aumentam a solubilidade dos filmes. Para a permeabilidade nenhuma interação foi significativa, com a temperatura e glicerol de forma isolada influenciando positivamente esta propriedade.

**PALAVRAS-CHAVE:** Tensão, Perfuração, Biodegradabilidade.

## **Mechanical properties, permeability and solubility biodegradable yam starch and glycerol**

### **ABSTRACT**

Despite having excellent properties of strength and flexibility, the use of plastic film provides a strong environmental impact due to their composition coming from the oil that besides being an exhaustible raw material is not biodegradable. The purpose of this chapter was to study and optimize the effect of the starch and plasticizer and process temperature on the mechanical properties in puncture tests and tensile tests, and also in tests of solubility and permeability in films made from starch yam and glycerol from a central composite delineameto using the response surface method. From the results it is concluded that the mechanical properties of yam starch and glycerol films were highly influenced by the plasticizer. Properties of deformation and strain had higher values for the interaction between lower temperatures and higher levels of glycerol occurred. The power was in effect break the contrary, as the level of glycerol decreased and increased drying temperature increased the independent variable. The tension was influenced by the interaction between starch and glycerol, so that the most important factor involved was the plasticizer, which at lower levels increased the tensile strength of the films. The solubility was influenced by the interaction between starch and glycerol so that higher levels of starch and glycerol increase the solubility of the films. For the permeability was no significant interaction with temperature and glycerol in isolation positively influencing this property.

**KEYWORDS:** Stress, Drilling, Biodegradability.

## 1 INTRODUÇÃO

A embalagem tem como função principal a proteção do produto contra danos mecânicos e perda de umidade (CHITARRA; CHITARRA, 2005). Apesar de possuírem excelentes propriedades de resistência e flexibilidade, o uso de filmes plásticos propicia forte impacto ambiental, devido à sua composição oriunda do petróleo que além de ser uma matéria-prima esgotável, não é biodegradável (SOUZA; ANDRADE, 2000).

O Brasil produz cerca de 240.000 t de lixo por dia, número inferior ao produzido nos EUA (607.000 t dia<sup>-1</sup>), porém muito superior a países como Alemanha (85.000 t dia<sup>-1</sup>) e a Suécia (10.400 t dia<sup>-1</sup>) o Brasil, a maior parte desses resíduos vai para lixões a céu aberto (VILPOUX; AVEROUS, 2003). Assim, existe um grande interesse no desenvolvimento de biofilmes comestíveis ou degradáveis biologicamente.

Na fabricação de filmes e coberturas comestíveis utilizam-se, principalmente, como matéria-prima os polissacarídeos, dentre os quais o amido ou fécula confere ao filme ótimas qualidades sensoriais e mecânicas, além da biodegradabilidade, baixo custo de produção e obtenção a partir de recursos renováveis (THIRÉ et al., 2004). A fécula de inhame apresenta um alto teor de amilose que o torna adequado para a extração deste polímero (SILVA et al., 2007).

Segundo Azeredo (2003), para biofilmes elaborados a partir de polissacarídeos espera-se mínima propriedade de barreira contra umidade, devido a sua natureza hidrofílica. Contudo, alguns tipos podem retardar a perda de umidade de alguns alimentos, quando aplicados na forma de gel, que age como agente sacrificante, ou seja, a umidade do gel evapora antes da desidratação do alimento revestido. Estes biofilmes apresentam bom aspecto, não são pegajosos, são brilhantes e transparentes, melhorando o aspecto visual dos frutos. Como não são tóxicos, podem ser ingeridos juntamente com o produto protegido, sendo removidos com água e são considerados como um produto comercial de baixo custo.

O uso de biofilmes em embalagens para alimentos vai depender, além de parâmetros como custo e disponibilidade, de suas propriedades mecânicas, ópticas, de barreira, solubilidade em água e propriedades sensoriais. Essas propriedades dependem do biopolímero usado, das condições de fabricação e das condições ambientais, importantes por causa da natureza higroscópica dos biopolímeros e do plastificante usados. Outro parâmetro que influencia as propriedades dos biofilmes é a espessura (MONTERREY-QUINTERO; SOBRAL, 2000).

Ponce et al. (2005) estudaram o efeito do plastificante e do glutaraldeído (agente reticulante) nas propriedades mecânicas e na permeabilidade ao vapor de água dos filmes de

mandioca. Conteúdos acima de 1g de glicerol aumentaram a permeabilidade ao vapor de água e filmes feitos com níveis acima de 0,5 g de glutaraldeído apresentam baixa permeabilidade ao vapor de água.

Mali et al. (2005) avaliaram o efeito da espessura, concentração de glicerol e concentração de fécula na solução formadora de filmes, nas propriedades mecânicas dos filmes de fécula de inhame. Filmes com maior espessura, maior concentração de fécula e menor concentração de glicerol foram mais resistentes.

Para muitas aplicações em alimentos, a característica funcional mais importante do filme ou revestimento comestível é a resistência à umidade seguida das propriedades de barreira ao oxigênio, visando estender a vida-de-prateleira e reduzir o custo da embalagem. A perda de água de produtos armazenados não só resulta em perda de peso, mas também em perda de qualidade, principalmente pelas alterações na textura. Uma pequena perda de água pode ser tolerada, mas aquelas responsáveis pelo murchamento ou enrugamento devem ser evitadas (RIGO, 2006).

O objetivo deste capítulo foi estudar o efeito da concentração de fécula, de plastificante e da temperatura de processo sobre as propriedades mecânicas em teste de perfuração e testes de tração, e também em testes de solubilidade e permeabilidade em filmes elaborados a partir de fécula de inhame e glicerol.

## 2 MATERIAL E MÉTODOS

O experimento foi realizado no Laboratório de Secagem e Armazenagem de Produtos Vegetais e no Laboratório de Enzimologia, da Unidade Universitária de Ciências Exatas e Tecnológicas, da Universidade Estadual de Goiás - UEG, localizada em Anápolis – GO e no Laboratório de Propriedades Físicas e Qualidade de Produtos Agrícolas, da Universidade Federal de Viçosa – UFV, localizada em Viçosa - MG .

A fécula foi extraído do Inhame cultivar São Bento, conforme Cereda et al. (2003), modificando-se as concentrações dos reagentes usados (solução de 1% de oxalato de amônia e ácido oxálico na proporção de 1:1 (m/m)). As soluções filmogênicas foram preparadas conforme as formulações apresentadas na Tabela 4.1. Após preparo, as soluções foram aquecidas por 4,5 min a 90 °C e ainda quentes, foram transferidos 10<sup>-3</sup> L para placas de acrílico de diâmetro interno de 88x10<sup>-3</sup> m. Os níveis das variáveis utilizadas nos ensaios foram determinados a partir de um planejamento rotacional central composto, com três repetições no ponto central, totalizando onze tratamentos, com cinco níveis para cada variável independente (teor de fécula de inhame e teor de glicerol), para cada temperatura.

TABELA 4.1. Níveis das variáveis fécula de inhame e glicerol codificados e reais para o planejamento experimental do preparo das soluções filmogênicas para secagem.

Ensaio	Fécula de inhame			Glicerol			Água
	Valor codificado	(%)	(g)	Valor codificado	(%)	(g)	(g)
1	-1,000	6,41	6,41	-1,000	15,86	1,02	92,57
2	-1,000	6,41	6,41	1,000	44,14	2,83	90,76
3	1,000	8,59	8,59	-1,000	15,86	1,36	90,05
4	1,000	8,59	8,59	1,000	44,14	3,79	87,62
5	-1,414	5,00	5,00	0,000	30,00	1,50	93,50
6	1,414	10,00	10,00	0,000	30,00	3,00	87,00
7	0,000	7,50	7,50	-1,414	10,00	0,75	91,75
8	0,000	7,50	7,50	1,414	50,00	3,75	88,75
9	0,000	7,50	7,50	0,000	30,00	2,25	90,25
10	0,000	7,50	7,50	0,000	30,00	2,25	90,25
11	0,000	7,50	7,50	0,000	30,00	2,25	90,25

A secagem foi realizada em uma estufa (Marconi, MA 035) de circulação de ar forçada. Todos os tratamentos foram submetidos à temperaturas de 25, 30, 35, 40 e 45 °C. Posteriormente, as placas foram armazenadas em dessecadores contendo sílica gel, à temperatura de 21±2 °C por 24 h.

A espessura dos biofilmes produzidos foi medida utilizando-se um micrômetro manual Tesa Isomaster® (+0,01 mm) modelo Swisscom precisão de  $10^{-5}$  m.

Os testes mecânicos foram realizados utilizando um texturômetro TA.HDi empregando-se o programa “Texture Expert Exceed” versão 2.64 - English (*Stable Micro System*). As amostras foram analisadas foram realizadas em cinco repetições. Os parâmetros utilizados para cada teste foram escolhidos de acordo com a norma da ASTM D882-95 (1995).

Para o teste de perfuração utilizou-se metodologia proposta por Gontard et al. (1994) sendo medidas a força e a deformação na ruptura. Os filmes foram cortados em forma de disco com  $6 \times 10^{-2}$  m de diâmetro e fixados em uma célula com abertura circular na tampa de  $34 \times 10^{-3}$  m de diâmetro. Utilizou-se para a perfuração do filme, um probe cilíndrico de  $3 \times 10^{-3}$  m de diâmetro, com velocidade constante de  $3,6 \times 10^{-3}$  km h<sup>-1</sup> até a ruptura do filme. A Figura 4.1. apresenta o esquema do teste.

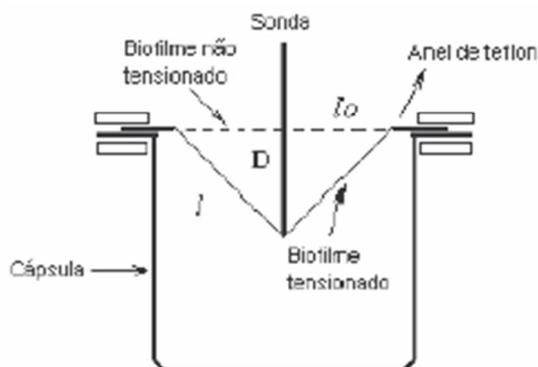


FIGURA 4.1. Esquema do teste de perfuração em filmes.

Os valores da força ( $F$ ) na ruptura e do deslocamento ( $d$ ) da sonda foram determinados diretamente da curva obtida da força em função da distância deslocada. A deformação na ruptura foi determinada por meio da Equação 1.

$$D = \frac{(d^2 + l_0)^{\frac{1}{2}} - l_0}{l_0} \quad (1)$$

Em que,  $D$  é a deformação na ruptura, %;  $d$  é a distancia penetrada pelo probe, m;  $l_0$  é o raio da superfície do filme, m;

O teste de tração foi determinado por meio da força e da deformação na ruptura. Para realização do teste, corpos de prova foram cortados em  $10^{-1}$  m de comprimento e  $25 \times 10^{-2}$  m de

largura. Posteriormente, foram submetidos a uma velocidade de tração de  $3,6 \times 10^{-3} \text{ km h}^{-1}$ , partindo-se de uma distância inicial dos probes de  $8 \times 10^{-2} \text{ m}$ , até que os filmes fossem rompidos. A tensão e a elongação na ruptura foram obtidas diretamente da curva de tensão em função da elongação, conhecidas as dimensões iniciais dos corpos de prova.

A permeabilidade ao vapor de água foi determinada gravimetricamente de acordo com metodologia proposta por Gontard (1992). Os filmes biodegradáveis elaborados foram colocados em célula contendo sílica gel (UR = 0%; 0 mm Hg de pressão de vapor), constituindo uma membrana. A célula então colocada dentro de um dessecador contendo água destilada (UR = 100%; 32,23 mm Hg de pressão de vapor), em sala climatizada a temperatura de  $21 \pm 2^\circ\text{C}$  foi pesada em balança analítica a cada 24 h; Calculou-se a permeabilidade por meio da Equação 2.

$$P = \frac{G e}{A T (p_1 - p_2)} \quad (2)$$

Em que, P é a permeabilidade ao vapor d'água, g.mm/m<sup>2</sup>.dia.mmHg; G é o ganho de massa da célula durante 24 horas, g; e é a espessura média do filme, mm; A é a área de permeação do filme, m<sup>2</sup>; T é o tempo, dias; p<sub>1</sub>- p<sub>2</sub> é o gradiente de pressão de vapor entre as superfícies do filme, 32,23 mmHg.

A análise de solubilidade em água foi realizada seguindo o método proposto por Gontard et al. (1994). Filmes com  $2 \times 10^{-2} \text{ m}$  de diâmetro foram imersos em  $5 \times 10^{-2} \text{ L}$  de água destilada, mantidos sob agitação lenta e periódica por 24 h à temperatura ambiente (25°C) em banho-maria. Retirou-se e secou-se em estufa (105°C, 24 h) os fragmentos de filme restantes do banho para a determinação da massa seca final, e comparada à massa seca inicial.

### 3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os resultados dos testes mecânicos, de permeabilidade ao vapor de água e de solubilidade em água dos filmes de fécula de inhame e glicerol encontram-se na Tabela 4.2.

TABELA 4.2. Deformação (D), força de ruptura (FR), tensão (TE), alongação (E), permeabilidade (P) e solubilidade (S) dos filmes de fécula de inhame e glicerol secas nas temperaturas de 25, 30, 35, 40 e 45°C.

Temp (°C)	Trat	D (%)	FR (N)	TE (Mpa)	E (%)	S (%)	P ( $10^{-7} \text{ g m}^{-1} \text{ h}^{-1} \text{ Pa}^{-1}$ )
25	T1	24,40	8,66	1,18	33,36	16,96	1,30
25	T2	37,23	4,81	0,30	75,14	19,57	1,07
25	T3	26,63	7,88	1,03	39,54	16,96	1,12
25	T4	53,22	1,29	0,21	93,90	34,82	1,14
25	T5	29,40	6,50	0,92	50,97	17,50	1,19
25	T6	39,53	3,54	0,30	79,17	23,44	1,12
25	T7	26,20	9,99	1,38	30,99	13,09	1,18
25	T8	43,98	2,98	0,26	93,82	23,86	9,37
25	T9	31,09	5,18	0,47	65,21	19,05	1,14
25	T10	30,78	5,27	0,37	65,24	17,99	1,10
25	T11	31,81	5,50	0,53	65,24	17,79	1,13
30	T1	17,46	7,99	1,29	30,80	17,33	1,64
30	T2	29,49	5,30	0,39	73,70	21,22	1,63
30	T3	20,15	8,00	1,12	37,19	17,33	1,60
30	T4	45,17	2,30	0,26	90,04	30,66	1,54
30	T5	24,56	7,00	0,98	47,46	17,99	1,69
30	T6	32,03	5,00	0,33	75,00	25,77	1,45
30	T7	15,98	8,65	1,47	27,26	15,87	1,63
30	T8	40,16	3,78	0,30	89,25	25,32	1,51
30	T9	26,13	5,82	0,71	61,86	21,00	1,54
30	T10	28,35	6,98	0,59	63,99	18,92	1,50
30	T11	25,99	6,51	0,72	61,10	18,82	1,67
35	T1	14,23	9,21	1,33	27,71	18,78	1,28
35	T2	24,18	6,12	0,44	69,17	23,32	1,59
35	T3	16,09	9,00	1,27	35,53	18,78	1,17
35	T4	37,29	3,56	0,33	86,87	35,93	1,20
35	T5	19,35	6,49	1,00	38,91	19,23	1,07
35	T6	28,92	4,99	0,41	73,79	26,99	1,15
35	T7	10,92	9,97	1,58	23,22	18,09	1,28
35	T8	33,18	4,39	0,39	81,08	26,34	1,20
35	T9	20,01	7,78	0,76	52,87	23,01	1,22
35	T10	23,83	6,99	0,77	53,94	20,92	1,17
35	T11	20,70	7,10	0,70	55,46	20,99	1,09
40	T1	4,03	10,82	1,37	24,87	19,98	2,76
40	T2	18,74	6,80	0,64	65,09	25,46	4,24
40	T3	9,01	9,09	1,57	32,74	19,08	3,04
40	T4	29,87	4,03	0,51	84,58	37,23	5,02
40	T5	12,79	8,88	1,14	36,37	20,92	3,15
40	T6	21,83	5,54	0,61	61,37	28,12	4,37
40	T7	6,93	11,91	1,67	19,09	19,05	2,54
40	T8	23,07	4,55	0,54	79,45	29,99	4,99
40	T9	14,97	7,98	0,90	47,92	24,87	3,76
40	T10	13,05	7,89	0,91	48,19	22,12	3,76
40	T11	14,92	8,77	0,85	51,20	21,89	3,76
45	T1	2,38	10,02	1,66	20,88	21,02	1,07

TABELA 4.2 – Continuação

Temp (°C)	Trat	D (%)	FR (N)	TE (Mpa)	E (%)	S (%)	P ( $10^{-7} \text{ g m}^{-1} \text{ h}^{-1} \text{ Pa}^{-1}$ )
45	T2	13,07	8,27	0,72	60,94	25,44	9,56
45	T3	4,32	9,90	1,58	29,91	22,92	9,00
45	T4	22,26	6,28	0,59	81,54	39,88	9,56
45	T5	7,69	9,04	1,66	34,37	23,76	1,02
45	T6	16,54	7,20	0,70	59,59	31,22	1,02
45	T7	3,02	10,88	1,79	15,99	20,00	1,06
45	T8	18,40	6,99	0,65	68,91	33,23	9,18
45	T9	8,27	9,01	1,14	43,00	25,09	1,40
45	T10	9,30	9,32	1,12	44,94	24,92	8,63
45	T11	11,64	9,22	1,02	48,19	24,45	9,87

Para verificar a influência do teor de fécula de inhame e glicerol e da temperatura nas propriedades mecânicas dos filmes de fécula de inhame e glicerol apresenta-se na Tabela 4.3 o resumo da análise de variância dos testes.

TABELA 4.3. Resumo da análise de variância para os dados de deformação, força de ruptura, tensão e alongação dos filmes de fécula de inhame e glicerol.

Fontes de Variação	D(%)		FR(N)		TE(MPa)		E(%)	
	GL	QM	GL	QM	GL	QM	GL	QM
Temperatura (T)	1	3863,51*	1	71,1891*	1	1,74*	1	2062,23*
T <sup>2</sup>	-	-	-	-	-	-	-	-
Fécula (F)	-	-	1	5,5969*	-	-	1	17,07*
F <sup>2</sup>	-	-	-	-	-	-	-	-
Glicerol (G)	1	2699,31*	1	200,2088*	1	8,39*	1	19843,60*
G <sup>2</sup>	1	34,29*	-	-	1	0,49*	1	29,84*
T x G	1	26,27*	1	3,0409*	-	0,02*	1	21,09*
T x F	-	-	-	-	-	-	-	-
F x G	1	48,85*	-	-	1	-	-	-
Falta de Ajuste	39	3,878 <sup>ns</sup>	40	0,3841 <sup>ns</sup>	40	0,008 <sup>ns</sup>	39	7,27 <sup>ns</sup>
Erro Puro	10	2,073	10	0,1625	10	0,003	10	2,82

\* teste F significativo a 5% de probabilidade; <sup>ns</sup> teste F não significativo a 5% de probabilidade; D = deformação; FR = força de ruptura; TE = tensão e E = alongação

Os melhores modelos ajustados para as propriedades mecânicas (deformação, força de ruptura, tensão e alongação) possuíram efeitos de segundo grau mais interação.

Para verificar o comportamento de cada variável mecânica estudada plotou-se gráficos de superfície resposta, apresentados na Figura 4.2.

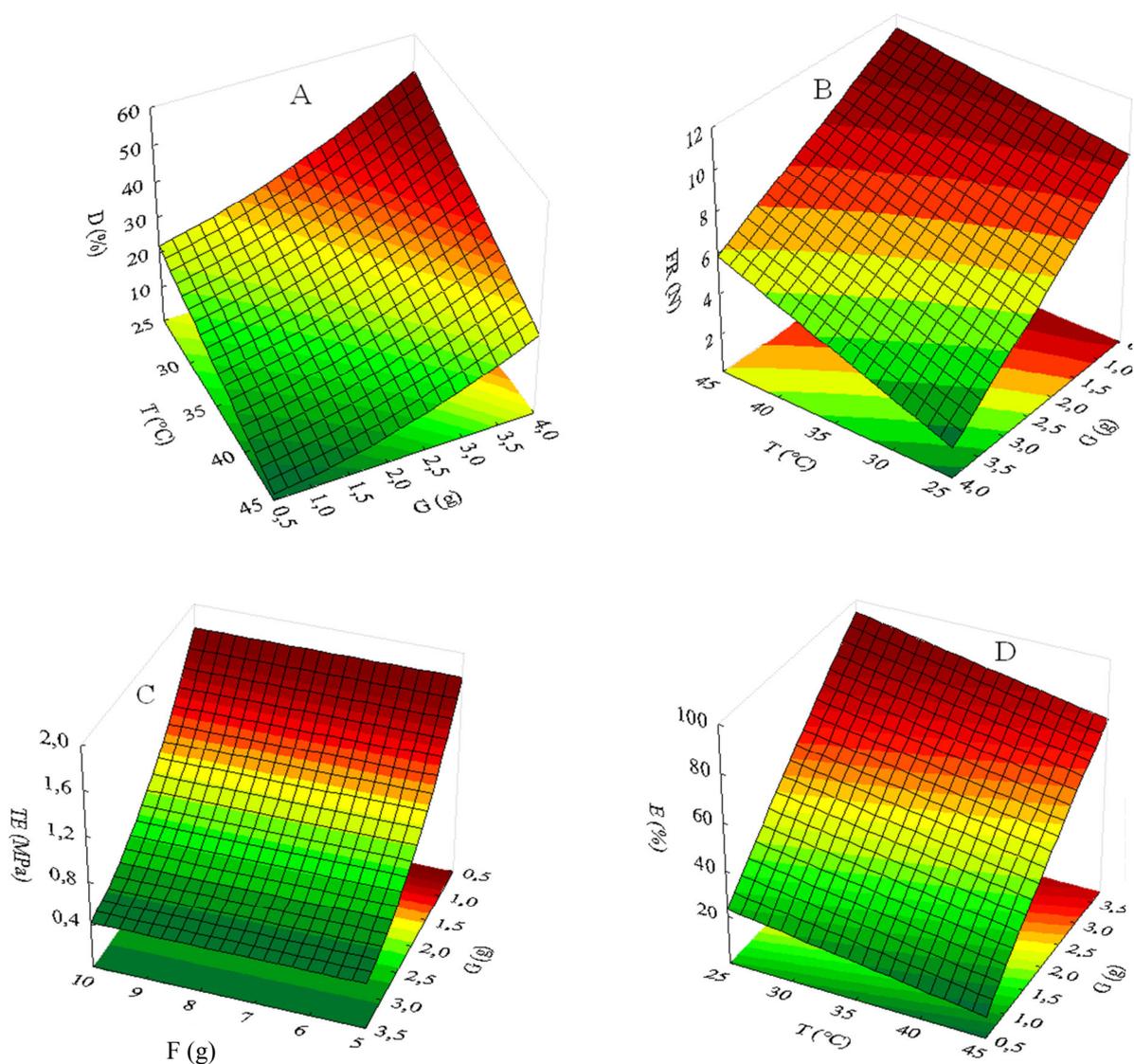


FIGURA 4.2. A - Superfície de deformação do filme (%) em função da temperatura (T) e teor de glicerol (G), fixando o teor de fécula em 7,5%; B – Força de ruptura (Fr) em função da temperatura e teor de glicerol; C – Tensão de ruptura em função do teor de fécula e glicerol; D – Elongação dos filmes em função da temperatura e glicerol.

Os modelos de regressão foram significativos a 5% ( $P \leq 0,05$ ) e foram expressos na forma de equações. Encontram-se nas equações 3 a 6 representando os modelos para deformação, força de ruptura, tensão e alongação.

$$D = 43,95 - 0,96T + 4,97G + 1,04G^2 - 0,10TG \quad (R\text{-aj} = 96,78\%) \quad (3)$$

$$FR = 8,42 + 0,08T - 3,09G + 0,03TG \quad (R\text{-aj} = 91,40\%) \quad (4)$$

$$TE = 0,76 + 0,50T - 1,22G + 0,49G^2 - 0,15FG \quad (R\text{-aj} = 96,34\%) \quad (5)$$

$$E = 31,04 - 0,66T - 0,48F + 27,75G - 0,82G^2 - 0,09TG \quad (R\text{-aj} = 98,63\%) \quad (6)$$

Em que, G é a influencia do teor de glicerol; T é a influencia da temperatura e F é a influencia do teor de fécula de inhame.

A deformação nos filmes de fécula de inhame e glicerol (D) variou de 2,38 a 53,21% e foi influenciada pela interação entre a quantidade de glicerol presente nas soluções filmogênicas e a temperatura de secagem. Menores valores de glicerol combinados com maiores temperaturas produziram menor deformação no filme.

Valores de 1,29 a 11,03 N foram obtidos para força na ruptura (FR) dos filmes em estudo, que foi influenciada pela interação entre temperatura e glicerol. Em maiores teores de glicerol e menores temperaturas notou-se que FR diminuiu. Este comportamento pode ser explicado pelo fato de maiores níveis de glicerol e menores temperaturas tornarem os biofilmes mais elásticos, diminuindo assim sua FR e aumentando sua deformação. Segundo Mali et al. (2010) as propriedades mecânicas dos filmes dependem fortemente da formulação (macromolécula, solvente, plastificante, ajuste de pH).

O plastificante reduz as interações intermoleculares entre cadeias adjacentes do biopolímero utilizado para a fabricação do filme, resultando no aumento da mobilidade dessas cadeias e, conseqüentemente, em materiais flexíveis; como consequência percebe-se, em termos macroscópicos, alterações de todas as propriedades físicas ou funcionais dos filmes (Sobral et al., 2002; Gontard et al., 1993). Filmes de amido sem plastificantes são resistentes e elásticos e, à medida que se aumenta o teor de plastificante, estes materiais se tornam mais flexíveis e deformáveis (MALI et al., 2004, 2005).

Tapia-Blácido et al. (2005) encontraram para FR valores de 0,73 a 1,60 N e de deformação, 17,71 a 36,04%, em filmes de farinha de amaranto (4%) e glicerol (30 a 40%), variando também a umidade relativa de armazenamento do produto (40 a 70%). Valores menores de FR podem ter sido encontrados pelo autor acima devido a alta umidade relativa de armazenamento dos filmes comparada aos do presente trabalho (que foram armazenados apenas em dessecador). Para deformação, os filmes de fécula de inhame e glicerol obtiveram uma faixa mais ampla, devido à maior variação de glicerol utilizada neste trabalho.

A tensão na ruptura (TE) dos produtos da secagem das soluções filmogênicas de fécula de inhame e glicerol decresceu à medida que aumentou-se a quantidade de glicerol nas soluções, obtendo valores entre 0,21 a 1,78 MPa. Este comportamento foi observado por Sobral (2000), ao estudar-se o efeito do glicerol sobre as propriedades mecânicas de filmes feitos a partir de amido.

Shimazu et al. (2007) estudaram a influência do teor de glicerol nas propriedades mecânicas dos filmes de fécula de mandioca e glicerol, com 3% e 0 a 40%, respectivamente e atividade de água entre 0,11 a 0,90, verificando valores de tensão entre 0,5 e 25 MPa, notando também que filmes plastificados com glicerol apresentaram tendência de queda na resistência a tração à medida que maiores concentrações de plastificante foi adicionado. Os valores de tensão encontrados pelos autores acima tiveram uma ampla faixa de resultados. Maiores valores foram obtidos com baixa atividade de água.

Por fim, a elongação dos biofilmes neste trabalho foi afetada pela interação entre a temperatura e o glicerol. Maiores valores de glicerol combinados com menores temperaturas aumentaram a elongação dos filmes; tornando-os, mais flexíveis.

O quadro de Análise de Variância para as superfícies de respostas para solubilidade em água e permeabilidade ao vapor de água dos filmes em função das variáveis independentes estudadas encontram-se na Tabela 4.4 e Figura 3, respectivamente.

TABELA 4. 4. Resumo da Análise de Variância para os dados de solubilidade e permeabilidade dos filmes de fécula de inhame e glicerol.

Fontes de Variação	S (%)		P (g (m h Pa) <sup>-1</sup> )	
	GL	QM	GL	QM
Temperatura (T)	1	295,59*	1	8,77 x 10 <sup>-13</sup> *
T <sup>2</sup>	-	-	-	2,45 x 10 <sup>-13</sup> *
Fécula (F)	1	26,60*	-	-
F <sup>2</sup>	1	6,24*	-	-
Glicerol (G)	1	720,02*	1	2,84 x 10 <sup>-13</sup> *
G <sup>2</sup>	1	30,16*	-	-
T x G	-	-	-	-
T x F	-	-	-	-
F x G	1	57,60*	-	-
Falta de Ajuste	38	3,11 <sup>ns</sup>	42	6,76 x 10 <sup>-14</sup> <sup>ns</sup>
Erro Puro	10	1,25	10	5,23 x 10 <sup>-14</sup>

\* teste F significativo a 5% de probabilidade; <sup>ns</sup> teste F não significativo a 5% de probabilidade; S = solubilidade; P = permeabilidade

A solubilidade dos filmes analisados no presente estudo foi influenciada pela interação entre fécula e glicerol sendo o melhor modelo ajustado, o de segundo grau mais interação. Já para a permeabilidade, o melhor modelo ajustado foi o linear, sem interação, onde as variáveis temperatura e glicerol influenciam a permeabilidade isoladamente. Os modelos que representam o comportamento para ambas variáveis de solubilidade e permeabilidade nas equações 4.1 e 4.2.

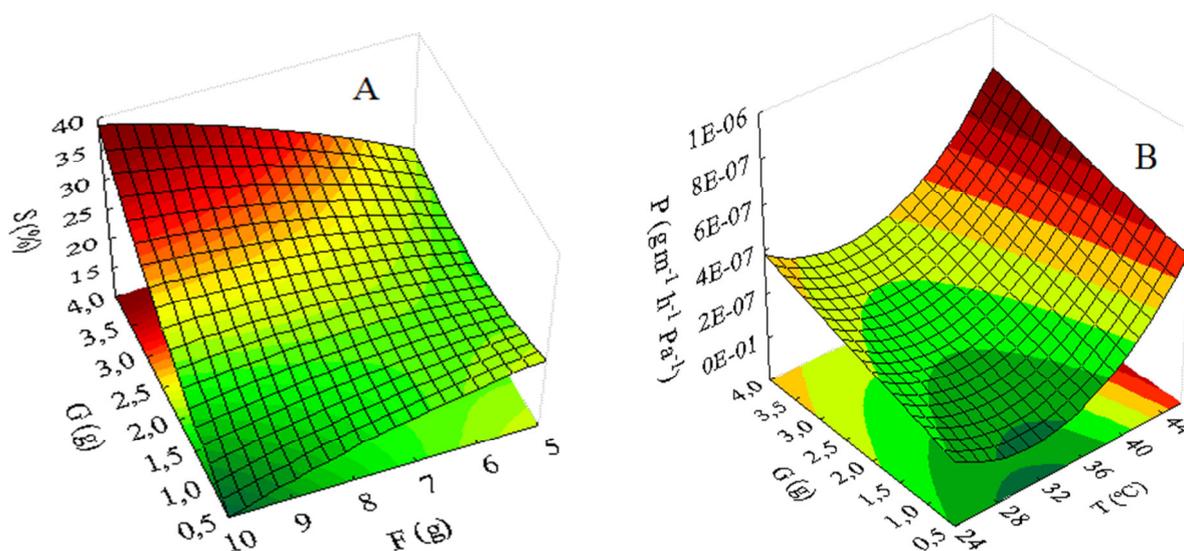


FIGURA 4.3. A - Superfície de solubilidade em água (S) de filme de fécula de inhame e glicerol fixando-se a temperatura em 35 °C; B – Permeabilidade em água (P) em função da temperatura e glicerol fixando-se o teor de fécula de inhame em 7,5%.

$$S = 16,60 + 0,33T + 0,23F^2 - 12,75G + 0,94G^2 + 1,67FG \quad (R\text{-aj} = 91,70\%) \quad (7)$$

$$P = 2,15 \times 10^{-7} - 1,44 \times 10^{-7}T + 2,28 \times 10^{-9}T^2 + 8,17G \quad (8)$$

A solubilidade em água dos filmes de fécula de inhame e glicerol variou de 13 a 40% sendo influenciada pela interação entre a fécula e o glicerol. Maiores níveis de solubilidade foram encontrados em maiores níveis de glicerol e fécula de inhame. Menores níveis desta variável foram encontrados em menores teores de glicerol e maiores teores de fécula. Percebeu-se que existiu grande influência da quantidade de glicerol sobre a solubilidade de água dos filmes, visto que, até 2 g de glicerol toda a região correspondente a variação de fécula permanece com menores valores de solubilidade. Acima de 3 g de glicerol e de 7 g de fécula maiores valores podem ser observados.

Prates (2010) analisou filmes de amido de fruta do lobo e sorbitol (0,1 a 0,3%) e encontraram valores de solubilidade em água entre 26 e 29%, com forte influência do plastificante, devido a sua característica hidrofílica, seu aumento, causou aumento da solubilidade. Tapia-Blácido (2006) avaliou a solubilidade em água de filmes de farinha de amaranto e glicerol (19 a 36%) e encontraram valores entre 33 e 77%, sendo dependente da temperatura a 5% de probabilidade, Esse autor verificou que a solubilidade aumentou com o incremento da temperatura. Fatores estes que comprovam os resultados do presente estudo com fécula de inhame.

Pela equação 7 foi possível verificar que o aumento da temperatura e glicerol causaram aumento da solubilidade em água.

O fato de menor solubilidade ter sido encontrada no presente trabalho pode estar relacionado ao fato da fécula de inhame utilizado para a elaboração dos filmes ser pouco solúvel em água. O capítulo 2 mostrou que o índice de solubilidade da fécula de inhame do presente trabalho foi de 1,78%, valor este bem abaixo dos encontrados para outros amidos, como o de mandioca (NUNES et al., 2009). A temperatura de pasta também é outro fator que influencia a solubilidade do mesmo, visto que, para a fécula do presente trabalho, a temperatura foi de 81,30 °C, sendo bem superior a amidos de outras fontes, como batata, 64,80 °C e mandioca 66,70 °C (LEONEL et al., 2002). Logo a fécula de inhame precisa de maior temperatura para solubilizar em água, indicando que na temperatura do teste (25 °C) é pouco solúvel em água.

Esta propriedade indica a aplicação do biofilme como embalagem de produtos alimentícios. Em alguns casos, a sua total solubilização em água pode ser benéfica, como nos produtos semiprontos destinados ao preparo sob cozimento. Entretanto, quando o alimento é líquido ou então exsuda uma solução aquosa, biofilmes de elevada solubilidade não são indicados (FAKHOURI, et al., 2007). Logo, as características de solubilidade dos filmes estudados os direcionam para aplicação em vegetais frescos.

A solubilidade influencia a propriedade de barreira ao vapor de água dos filmes biodegradáveis. Para obter-se uma baixa permeabilidade ao vapor de água (dentro de uma grande faixa de umidade relativa), torna-se necessário a utilização de material insolúvel ou pouco solúvel em água (FAKHOURI et al., 2003).

Segundo Sobral (2000), material muito permeável, como é o caso dos filmes de amido, poderam ser indicado para embalagem de vegetais frescos, enquanto que filmes pouco permeáveis poderam ser indicados para produtos desidratados. A permeabilidade variou de  $1,02 \times 10^{-7}$  a  $9,87 \times 10^{-7} \text{ g m}^{-1} \text{ h}^{-1} \text{ Pa}^{-1}$ . Não houve interação significativa para a permeabilidade, portanto cada fator contribuiu isoladamente. À medida que aumentou-se a quantidade de glicerol, aumentou-se a permeabilidade, fato este já esperado, devido sua afinidade pela água, o mesmo comportamento foi evidenciado pela influencia da temperatura.

Ferreira et al. (2009), ao analisarem filmes biodegradáveis produzidos por extrusão de fécula de inhame e glicerol, encontraram como valor médio,  $1,7 \times 10^{-10} \text{ g m}^{-1} \text{ s}^{-1} \text{ Pa}^{-1}$ , ou seja,  $6,12 \times 10^{-7} \text{ g m}^{-1} \text{ h}^{-1} \text{ Pa}^{-1}$  para filmes providos de solução filmogênica com 4 g de amido e 1,3 g de glicerol. Valor este próximo aos obtidos neste trabalho.

O aumento da temperatura também causou aumento da permeabilidade. Segundo Donhowe e Fennema (1994) com o aumento da temperatura, a permeabilidade ao vapor de água aumenta, e estas variações são dependentes do teor de água do material.

Um filme com boas propriedades de barreira pode ser ineficiente se suas propriedades mecânicas não permitirem a manutenção da integridade do filme durante o processo de manipulação, empacotamento e transporte. Assim, os filmes comestíveis para embalagem devem apresentar adequada resistência à ruptura e à abrasão permitindo uma boa proteção do alimento sem perder qualidade por manuseio (TANADA-PALMU et al., 2003). Devem ser flexíveis o suficiente para se adaptar às eventuais deformações dos alimentos, sem danos mecânicos. Logo, no presente trabalho, filmes elaborados com valores intermediários de glicerol e temperatura atendem tanto os requisitos de força de ruptura e tensão, quanto de deformação e alongação. Para a permeabilidade ao vapor de água, valores intermediários de temperatura e glicerol também são indicados para utilização em vegetais frescos.

#### 4 CONCLUSÕES

Do presente trabalho conclui-se que as propriedades mecânicas dos filmes de fécula de inhame e glicerol foram altamente influenciados pelo plastificante. Propriedades de deformação e alongação tiveram maiores valores quanto a interação entre menores temperaturas e maiores níveis de glicerol aconteceram. Já a força na ruptura o efeito foi contrário, a medida que o nível de glicerol decresceu e a temperatura de secagem aumentou a variável independente aumentou. A tensão foi influenciada pela interação entre fécula de inhame e glicerol, de forma que o fator que mais influenciou foi o plastificante, que em menores níveis aumentou a força de tensão nos filmes. A solubilidade foi influenciada pela interação entre fécula e glicerol de forma que maiores níveis de fécula de inhame e glicerol aumentam a solubilidade dos filmes. Para a permeabilidade nenhuma interação foi significativa, com a temperatura e glicerol de forma isolada influenciando positivamente esta propriedade. Logo, filmes elaborados com valores intermediários de glicerol e temperatura atendem tanto os requisitos de força de ruptura e tensão, quanto de deformação e alongação. Para a permeabilidade ao vapor de água, valores intermediários de temperatura e glicerol também são indicados para utilização em vegetais frescos.

## 5 BIBLIOGRAFIA

AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIAL (ASTM). **Standard Test Methods for Tensile Properties of Thin Plastic Sheeting. ASTM D882-91**. Philadelphia (USA): ASTM, 1995.

AZEREDO, H.M.C. Películas comestíveis em frutas conservadas por métodos combinados: potencial da aplicação. **Boletim do CEPPA**. Curitiba, v.21, n.2, 2003.

CEREDA, M.P.; DAIÚTO, E.R.; LEONEL, M.; SILVEIRA, S.R.S. Avaliação da qualidade da fécula de inhame (*Dioscorea* sp) obtida por diferentes processos de extração. In: SIMPÓSIO EM CIÊNCIA DE ALIMENTOS, 2003, Florianópolis. **Anais...** Florianópolis: UFSC, 2003. p. 866-870.

CHITARRA, M.I.F.; CHITARRA, A.B. **Pós-colheita de frutos e hortaliças: fisiologia e manuseio**. 2. ed. Lavras: UFLA, 2005. 785 p.

DONHOWE, I.G.; FENNEMA, O.R. Edible films and coatings: characteristics, formation, definitions and testing methods. In: KROCHTA, J. M.; BALDWIN, E. A.; NISPEROS-CARRIEDO, M.O. (Ed.). **Edible coatings and films to improve food quality**. Lancaster: Technomic Publishing Co., 1994, p.1-25.

FAKHOURI, F.M.; BATISTA, J.A.; GROSSO, C. Efeito de coberturas comestíveis aplicadas em goiabas in natura (*Psidium Guajava* L.) I. Desenvolvimento e caracterização de filmes comestíveis de gelatina, triacetina e ácidos graxos. **Brazilian Journal of Food Technology**, São Paulo, s.l., v. 6, n. 2, p.301-308, 2003.

FAKHOURI, F.M. FONTES, L.C.B.; GONÇALVES, P.V.M.; MILANEZ, C.R.; STEEL, C.J.; COLLARES-QUEIROZ, F.P. Filmes e coberturas comestíveis compostas à base de amidos nativos e gelatina na conservação e aceitação sensorial de uvas Crimson. **Ciência e Tecnologia de Alimentos**, Campinas, v.27, n.2, p.369-375, 2007.

FERREIRA, F.A.B.; GROSSMANN, M.V.E.; MALI, S.; YAMASHITA, F.; CARDOSO, L.P. Effect of Relative Humidities on Microstructural, Barrier and Mechanical Properties of Yam Starch-Monoglyceride Films. **Brazilian Archives of Biology and Technology, Curitiba**, v.52, n.6, p.1505-1512, 2009.

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

GONTARD, N.; GUILBERT, S.; CUQ, J.L. Edible wheat gluten films: influence of the main process variables on film properties using response surface methodology. **Journal of Food Science**, Malden, v. 57, n. 1, p. 190-199. 1992.

GONTARD, N.; GUILBERT, S.; CUQ, J.L. Water and glycerol as plasticizer affect mechanical and water vapor barrier properties of an edible wheat gluten film. **Journal of Food Science**, Malden, v.58, n.1, p.206-211, 1993.

LEONEL, M.; CEREDA, M.P. Caracterização físico-química de algumas tuberosas amiláceas. **Ciência e Tecnologia de Alimentos**, Campinas, v.22, n.1, p.65-69, 2002.

MALI, S., GROSSMANN, M.V.E., GARCÍA, M. A., MARTINO, M. M.; ZARITZKY, N. E. Barrier, mechanical and optical properties of plasticized yam starch films. **Carbohydrate Polymers**, Barking, v.56, n.2, p.129-135, 2004.

MALI, S.; GROSSMANN, M.V.E.; YAMASHITA, F. Filmes de amido: produção, propriedades e potencial de utilização. **Semina: Ciências Agrárias**, Londrina, v.31, n.1, p. 137-156, 2010.

MALI, S.; SAKANAKA, L.S.; YAMASHITA, F.; GROSSMANN, M.V.E. Water sorption and mechanical properties of cassava starch films and their relation to plasticizing effect. **Carbohydrate Polymers**, v.60, p.283-289, 2005.

MONTERREY-QUINTERO, E.S.; SOBRAL, P.J.A. Preparo e caracterização de proteínas miofibrilares de Tilápia-do-Nilo para elaboração de biofilmes. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.35, n.1, p. 179-189, 2000.

NUNES, L.B.; SANTOS, W.J.; CRUZ, R.S. Rendimento de extração e caracterização química e funcional de féculas de mandioca da região do semi-árido baiano. **Alimentos e Nutrição**, Araraquara, v.20, n.1, p.129-134, 2009.

PONCE, P.; PARRA, D.F.; CARR, L.G.; SATO, J.S.; LUGÃO, A.B. Influência da radiação ionizante e do uso de plastificantes nas propriedades mecânicas e de barreira de filmes biodegradáveis. In: INTERNATIONAL NUCLEAR ATLANTIC CONFERENCE; ENCONTRO NACIONAL DE APLICACOES NUCLEARES, 2., 2005, Santos, SP. **Anais...** São Paulo: ABEN, 2005.

PRATES, M.F.O. **Elaboração e caracterização de filmes biodegradáveis de amido de fruta-de-lobo e sorbitol e aplicação da cobertura em frutos de morango**. 2010. 97p. (Mestrado em Engenharia Agrícola) - Universidade Estadual de Goiás, Anápolis.

RIGO, L. N. **Desenvolvimento e Caracterização de Biofilmes Comestíveis**. (Mestrado em Engenharia de Alimentos). 2006, 130p. Universidade Regional Integrada - Campus Erechim, 2006.

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

SILVA, P.L. GOMES, A.M.M.; RICARDO, N.M.P.S.; SILVA, C.E.M. Caracterização físico-química e reológica dos amidos de Inhame (*Dioscorea sp*), Araruta (*Maranta arundinacea*), Cará (*Dioscorea alata*), Jalapa (*Operculina macrocarpa L. Urban*) e feijão verde (*Phaseolus vulgaris sp*). In: CONGRESSO BRASILEIRO DE QUÍMICA, 47., 2007. Natal. **Resumo...** Fortaleza – CE, 2 p., 2007.

SOBRAL, P.J.A. Influência da espessura de biofilmes feitos à base de proteínas miofibrilares sobre suas propriedades funcionais. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 35, n. 6, p. 1-14, 2000.

SOBRAL, P.J.A.; MONTERREY-QUINTERO, E.S.; HABITANTE, A.M.Q.B. Glasstransition of Nile tilapia myofibrillar protein films plasticized by glycerin and water. **Journal of Thermal Analysis and Calorimetry**, v. 67, n. 2, 499-504, 2002.

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

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

TANADA-PALMU, P.S.; GROSSO, C.R.F. Development and characterization of edible films based on gluten from semi-hard and soft Brazilian wheat flours. **Ciência e Tecnologia de Alimentos**, Campinas, v.23, n.2, p.264-269, 2003.

TÁPIA-BLÁCIDO, D.R. **Filmes a base de derivados do amaranto para uso em alimentos**. 2006. 351 p. (Doutorado em Engenharia de Alimentos) – Universidade Estadual de Campinas, Campinas.

TÁPIA-BLÁCIDO, D.; SOBRAL, P.J.; MENEGALLI, F.C. Effects of drying temperature and relative humidity on the mechanical properties of amaranth flour films plasticized with glycerol. **Brazilian Journal of Chemical Engineering**, v.22, n.2, p.249-256, 2005.

THIRÉ, R. M. S. M.; SIMÃO, R. A.; ARAÚJO, P. J. G.; ACHETE, C. A.; ANDRADE, C. T. Redução da Hidrofilicidade de Filmes Biodegradáveis à base de Amido por meio de polimerização por Plasma. **Polímeros: Ciência e Tecnologia**, v. 14, n.1, p.57 – 62. 2004.

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

## **CAPITULO 5**

### **APLICAÇÃO DE REVESTIMENTO COMESTÍVEL EM TOMATES CEREJA**

## **Aplicação de revestimento comestível em tomates cereja**

### **RESUMO**

Após a colheita, o tomate apresenta-se como um fruto altamente perecível. O revestimento comestível é uma barreira física utilizada para reduzir a perda de massa causada pela perda de água, para evitar contaminações por agentes externos e evitar amadurecimento precoce. Este estudo visou avaliar a manutenção da qualidade em tomates cerejas cobertos com películas comestíveis de fécula de inhame e glicerol. Para verificar o efeito das coberturas, realizou-se análises de perda de massa, sólidos solúveis totais, acidez titulável total e firmeza por 18 dias, além da caracterização inicial e final de polifenóis totais, atividade antioxidante e teor de licopeno nos tomates revestidos. O revestimento com 7,5% de fécula de inhame e 30% de glicerol, que possuía menor quantidade de glicerol, foi o mais eficiente para todas as análises estudadas, visto que, obteve a menor perda de massa, menor relação de sólidos solúveis totais e acidez titulável total, evidenciando o menor amadurecimento do fruto. Também foi o revestimento que obteve valores mais próximos de compostos fenólicos, atividade oxidante e licopeno em relação ao fruto analisado inicialmente. Portanto, este revestimento foi eficiente para conservação da vida-de-prateleira do tomate cereja, visto que, manteve mais as qualidades físicas, químicas e funcionais do fruto.

**PALAVRAS-CHAVE:** Conservação, antioxidantes, perecível, vida de prateleira.

## **Application of edible coatings cherry tomatoes**

### **ABSTRACT**

After harvesting, the tomato is presented as a very perishable fruit. The edible coating is a physical barrier used to reduce the weight loss caused by water loss, to avoid contamination by external agents and to avoid an early ripening. This study evaluated the maintenance of quality in cherry tomatoes topped with edible films made from yam starch and glycerol. To determine the effect of hedges, there was analysis of weight loss, soluble solids, acidity and firmness for 18 days beyond the final and initial characterization of total polyphenols, antioxidant activity and lycopene content in tomatoes coated. Edible coatings 7,5% de starch and 30% de glycerol, which has a lower amount of glycerol, was the most efficient viewer for all analysis studied since, had the smallest loss of weight, lower ratio of total solids and acidity, showing smaller fruit ripening. Also the edible coatings they received closest values of phenolic compounds, and atividante oxidant lycopene in relation to the pulp initially. There fore this edible coatings was effective for maintenance of shelf life of tomato, since, maintained their physical, chemical and functional properties of fruit.

**KEYWORDS:** Conservation, antioxidants, perishable, shelf-life.

## 1 INTRODUÇÃO

O tomateiro é uma das mais importantes hortaliças produzidas no mundo (Santos, 2009). O Brasil destaca-se como um dos maiores produtores desta hortaliça, quando se trata de produção destinada à indústria, com uma área colhida de aproximadamente 64 mil ha em 2009 e uma produção de cerca de 4.000.000 toneladas, ou seja, uma produtividade de 63 t ha<sup>-1</sup> (AGRIANUAL, 2010).

A produção de tomate (*Solanum lycopersicon* L.) para o consumo *in natura* no Brasil sofreu grandes transformações tecnológicas ao longo dos últimos 25 anos, incluindo o melhoramento genético, com desenvolvimento de novas cultivares (SOUZA, 2006). Para Alvarenga (2004), as cultivares de tomate de mesa estão divididas em cinco grupos, Santa Cruz, Salada ou Caqui, Saladinha, Saladete ou Italiano e Cereja.

O tomate do grupo cereja, conhecido pelo mercado consumidor brasileiro desde a década de 90, é caracterizado, principalmente, por suas propriedades sensoriais, pelo excelente sabor e pela atrativa coloração vermelha e uniforme (ROCHA et al., 2009). Esses frutos, ultimamente, têm apresentado demanda crescente, sendo utilizados na ornamentação de pratos, bem como em restaurantes (ALVARENGA, 2004).

Após a colheita, o tomate apresenta-se como um fruto altamente perecível. O fruto apresenta elevado conteúdo de água, estando sujeito às variações de temperatura e umidade relativa do ambiente onde se encontra. A perda de água ocasiona perda de massa e de aparência do fruto (CHIUMARELLI; FERREIRA, 2006).

A utilização de películas comestíveis para revestir produtos hortifrutícolas mostra-se eficaz na redução de perda de água e manutenção da qualidade fruto (OJEDA, 2001).

De acordo com Azeredo (2003), as películas comestíveis podem ser classificadas em filmes e coberturas. Embora os termos sejam muitas vezes utilizados indiscriminadamente, a diferença básica é que os filmes são pré-formados, separadamente do produto. Já as coberturas são formadas sobre a própria superfície do alimento, o que pode ser efetuado, por exemplo, por imersão ou aspersão. Estas barreiras físicas com o ambiente são utilizadas para reduzir a perda de massa causada pela perda de água, para evitar contaminações por agentes externos, além de evitar as trocas gasosas com o meio ambiente e evitar amadurecimento precoce.

O revestimento pode ser realizado em frutas inteiras (CHIEN et al., 2007a; HAN et al., 2004; QIUPING; WENSHUI, 2007; JIANG; LI, 2001), descascadas (DONG et al., 2004) ou cortadas em pedaços (CHIEN et al., 2007b; CHIEN et al., 2007c). Estes trabalhos mostraram que

o revestimento de frutas inteiras é capaz de preservar a fruta por períodos de até seis meses e, para frutas cortadas, este período é da ordem de dias. Por outro lado, se a fruta cortada foi revestida e mantida em embalagem fechada, o período de preservação é da ordem de algumas semanas.

Para verificar a qualidade dos frutos de tomate revestidos, alguns parâmetros têm sido empregados: a acidez; o teor de sólidos solúveis; o teor de açúcar; o teor de licopeno; a aparência; a textura; o sabor; o tamanho e a suculência (MONTEIRO et al., 2008).

A análise da textura de alimentos se baseia num conjunto de propriedades mecânicas, geométricas e das características superficiais de um produto, perceptíveis pelos receptores mecânicos, táteis e, em certos casos, por receptores visuais e auditivos. É caracterizada por diferentes aspectos, como por exemplo, a firmeza, a fibrosidade, a resistência, a elasticidade e outros (CHITARRA; CHITARRA, 2005).

Assumido o *status* de alimento funcional, o tomate contém substâncias antioxidantes como o ácido ascórbico, o licopeno, o caroteno e os compostos fenólicos, que exercem papel preventivo, especialmente contra certos tipos de câncer e doenças crônicas não transmissíveis (GEORGE, 2004).

Neste contexto, este estudo visou avaliar o melhor tratamento de películas comestíveis de fécula de inhame e glicerol em relação à manutenção da qualidade em tomates cerejas destinados ao consumo *'in natura'* durante 18 dias de armazenamento, considerando a qualidade inicial (imediatamente após a colheita) do tomate.

## 2 MATERIAIS E MÉTODOS

Tomates do tipo cereja em estágio de maturação ideal para consumo, oriundos da região de Viçosa-MG foram adquiridos no comércio da cidade, no mês de outubro de 2010 e transportados em bandejas plásticas para o laboratório Centreinar, da Universidade Federal de Viçosa onde o experimento foi realizado.

Como descrito no capítulo 3, soluções filmogênicas foram elaboradas, variando teores de fécula de inhame e de glicerol. Após secas, as soluções transformaram-se em filmes comestíveis, Características visuais e mecânicas detectaram que, baixas quantidades de plastificante produzem filmes pouco flexíveis, característica não desejável a revestimentos visto que, a flexibilidade deve estar presente para contornar as variadas formas dos vegetais.

Sendo assim, os níveis de fécula de inhame foram fixados em 7,5% e teores de glicerol variaram entre 30 a 50%. Os tratamentos 6, 8 e 9 foram escolhidos para a aplicação pós-colheita, com modificações. Para o tratamento 6, alterou-se a porcentagem de fécula de inhame de 10 para 7,5%, a fim de fixar-se o teor de fécula e a quantidade de glicerol em 40% sobre a quantidade de fécula, para que a quantidade em gramas de plastificante fosse a mesma dos Capítulos 3 e 4. Na Tabela 5.1 encontram-se os níveis de fécula de inhame e glicerol utilizados.

TABELA 5.1. Níveis das variáveis do preparo das soluções filmogênicas para secagem.

Ensaio	Fécula de inhame		Glicerol	
	(%)	(g)	(%)	(g)
T 6	7,50	7,50	40,00	3,00
T 8	7,50	7,50	50,00	3,75
T 9	7,50	7,50	30,00	2,25

Após preparo, as soluções foram aquecidas por 4,5 min a 90°C e permaneceram em repouso até atingirem uma temperatura próximo à do ambiente (25°C).

Em seguida, os tomates foram imersos nas soluções filmogênicas por 5 minutos, suspensos, acomodados em bandejas de poliestireno expandido e mantidos sob condições ambiente até a cobertura secar. A parcela experimental foi composta por dez frutos. As bandejas, contendo os frutos com as coberturas fixadas e secas, foram armazenados por 18 dias em câmara incubadora tipo Biochemical Demand of Oxygen -B.O.D. (Marconi, MA415), a temperatura de  $25 \pm 1,0^\circ\text{C}$ . As bandejas não foram recobertas com outro material de embalagem, de forma que as coberturas fossem a única barreira entre os frutos e o meio ambiente. Além dos tratamentos citados foi avaliado um controle, sem cobertura.

Todas as análises foram feitas em cinco repetições. Anterior à realização de cada análise química os frutos foram lavados com água destilada para remoção das coberturas. Não houve destruição das amostras na avaliação da perda de massa. Somente as análises químicas foram destrutivas para as amostras.

Para as análises químicas foram utilizadas metodologia recomendadas pelo Instituto Adolf Lutz (BRASIL, 2005), sendo os frutos amassados e coados. O teor de sólidos solúveis totais foi medido em refratômetro digital (CETI, Belgium), com precisão de 0,1, sendo a leitura direta por meio da colocação de algumas gotas na placa do refratômetro e resultados foram determinados em °Brix. A acidez total titulável foi obtida por titulação com solução de hidróxido de sódio a 0,1 mol L<sup>-1</sup>.

A perda de massa foi avaliada em todos os períodos de armazenamento utilizando-se balança digital (SCIENETECH, AS-210), com precisão de 10<sup>-6</sup> kg, sendo os resultados expressos em porcentagem (Equação 1).

$$PM = \frac{(m_0 - m)}{m} \times 100 \quad (1)$$

Em que: PM é a perda de massa, %; m<sub>0</sub> é a massa inicial da amostra, kg e; m é a massa a cada intervalo de tempo, kg.

Para as análises de compostos fenólicos e de atividade antioxidante, as amostras foram submetidas à extração com metanol 50 % (v/v), seguida por extração com acetona 70% (v/v), segundo metodologia descrita por Rufino et al., (2007), obtendo-se o extrato bruto para ser utilizado na determinação do conteúdo de compostos fenólicos e nos testes de atividade antioxidante.

Cada amostra de 2 x 10<sup>-3</sup> Kg foi transferida para um béquer de 10<sup>-1</sup> L adicionando-se 4 x 10<sup>-2</sup> L de metanol 50% (v:v). Utilizou-se um triturador de haste de aço para homogeneizar. Em seguida, manteve-se em repouso por 1 h à temperatura ambiente. O sobrenadante foi transferido para um balão volumétrico de 10<sup>-1</sup> L. A partir do resíduo da primeira extração, adicionou-se 4 x 10<sup>-2</sup> L de acetona 70% (v:v), homogeneizou-se e deixou-se em repouso por mais 1 h à temperatura ambiente. Logo após o novo sobrenadante foi transferido para o mesmo balão volumétrico que continha o primeiro sobrenadante e completou-se o volume para 10<sup>-1</sup> L com água destilada.

A determinação do conteúdo de compostos fenólicos foi baseada no método colorimétrico de Folin-Denis. Este método baseou-se na redução do reagente fomicolídico-fosfotúngstico

(reagente Folin-Denis) para um complexo de coloração azul em solução alcalina pelos compostos fenólicos (Silva, 2003). Os valores de fenólicos totais foram expressos como equivalentes de ácido gálico (mg equivalente de ácido gálico por kg de amostra).

Para avaliação da atividade antioxidante pelo método DPPH (2,2-difenil-1-picrilhidrazila) utilizou-se as metodologias descritas por Duarte-Almeida et al. (2006); Andrade et al. (2007) e Meda et al. (2005), para avaliação da atividade sequestradora do radical livre DPPH<sup>\*</sup>, com um tempo de reação de 0,5 h, sendo a absorbância mensurada em 517 nm. Como controle foi utilizada solução etanólica de DPPH 1 M. Para avaliar a atividade captadora de radical foi obtida a porcentagem de inibição, conforme a Equação 2:

$$AA = \frac{Abs_c - Abs_a}{Abs_c} \times 100 \quad (2)$$

Em que: AA é a atividade antioxidante, %; Abs<sub>c</sub> é a leitura da absorbância do controle; e Abs<sub>a</sub> é a leitura da absorbância da amostra.

Para análise química do licopeno utilizou-se 10<sup>-2</sup> kg do tomate triturado, onde foi acrescentado 4 x 10<sup>-2</sup> L de acetona por um período de 1,5 h. Em seguida, procedeu-se a filtragem a vácuo, com o auxílio de um Kitassato protegido com papel alumínio, para evitar a foto-oxidação dos pigmentos. No decorrer da filtragem, realizaram-se três lavagens com 25 x 10<sup>-3</sup> L de acetona, para obter a total extração dos pigmentos. Estes pigmentos foram transferidos em pequenas frações para um funil de separação, seguidos de frações de água destilada, funil este contendo 45 x 10<sup>-3</sup> L de éter de petróleo. Então surgiram de duas fases distintas, uma com éter de petróleo e carotenóides e outra com água e acetona. Este extrato foi lavado quatro vezes com água destilada, descartando-se sempre a fase inferior. O extrato foi transferido para um balão volumétrico de 0,1 L, sendo seu volume completado até 80 x 10<sup>-3</sup> L e levado então para a leitura em espectrofotômetro no comprimento de onda específico para licopeno, 470nm. Utilizou-se a fórmula 3 para o cálculo do teor de licopeno em µg x g<sup>-1</sup>:

$$Lic = \frac{A \times V \times 10^{-6}}{A_{1cm1\%} \times M} \times 100 \quad (3)$$

Em que: A é a medida da absorbância; V é o volume final da solução, L; A<sub>1cm1%</sub> é o coeficiente de extinção do pigmento em um solvente específico; e M é a massa da amostra, kg.

O experimento foi inteiramente casualizado com parcelas subdivididas no tempo para perda de massa, relação sólidos solúveis, acidez titulável total e firmeza. Os níveis do tratamento principal (concentração de glicerol contido na solução filmogênica) formaram as parcelas, e os níveis do tratamento secundário (tempo de armazenamento) foram fixados dentro de cada parcela, formando as subparcelas. Foram considerados três tratamentos de frutos com cobertura de solução filmogênica (T6, T8 e T9) e um tratamento de frutos sem cobertura. Considerou-se dez períodos de armazenamento dos frutos (0, 2, 4, 6, 8, 10, 12, 14, 16 e 18 dias).

Os resultados foram submetidos a análise de variância a 5% de probabilidade ( $p \leq 0,05$ ). Para descrição das características das amostras em função dos períodos de armazenamento foram feitas análises de regressão de primeiro e segundo grau, sendo a escolha do melhor modelo feita observando-se a significância do teste F para cada modelo, em nível de 5% de significância. Para o desenvolvimento das análises estatísticas e dos gráficos foi utilizado o programa SAS - Statistical Analysis System, versão 9.1, licenciado para a Universidade Federal de Viçosa – 2006 (SAS, 1991).

O grau de ajuste do modelo de regressão considerou a magnitude do coeficiente de determinação ( $R^2$ ), a magnitude do erro médio relativo (P) e do desvio-padrão da estimativa (SE). O erro médio relativo e o desvio-padrão da estimativa para cada um dos modelos foram calculados utilizando as equações 4 e 5 respectivamente.

$$P = \frac{100}{n} \sum_{i=1}^n \frac{|Y - Y_0|}{Y} \quad (4)$$

$$SE = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (Y - Y_0)^2}{GLR}} \quad (5)$$

Em que: Y é o valor observado experimentalmente;  $Y_0$  é o valor calculado pelo modelo; n é o número de observações experimentais, e GLR é o número de graus de liberdade do modelo.

Compostos fenólicos, atividade antioxidante e licopeno em virtude de terem sido analisados somente durante o período inicial e final, foram analisados por estatística descritiva.

### 3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Para verificar a influência do revestimento e do tempo sobre a perda de massa, ocorrida nos tomates cereja, aplicou-se análise de variância conforme Tabela 5.2.

TABELA 5.2. Análise de variância para o efeito das coberturas de fécula de inhame e glicerol e do tempo de armazenamento na perda de massa dos frutos de tomate.

Fonte de Variação	GL	QM	F	P
Tratamento	3	73,57	2817,07	$< 10^{-4**}$
Erro a	4	0,03		
Tempo	9	73,99	13786,40	$< 10^{-4**}$
Tratamento X Tempo	27	1,86	346,30	$< 10^{-4**}$
Erro b	36	0,01		

\*\* Significativo a 1% de probabilidade; \* teste F significativo a 5% de probabilidade; <sup>ns</sup> teste F não significativo a 5% de probabilidade

Nota-se que a interação entre o tratamento aplicado ao tomate e o tempo de armazenamento foi significativa ( $P \leq 0,01$ ). Fixando-se o tempo e analisando o tipo de tratamento verifica-se que todos os tratamentos, incluindo o controle, diferenciam-se durante o tempo de estocagem (Tabela 5.3).

TABELA 5.3. Análise da interação tratamento vs tempo para o efeito das coberturas de fécula de inhame e glicerol e do tempo de armazenamento na perda de massa dos frutos de tomate.

Fonte de Variação	GL	QM	F	P
T9	9	11,60	2161,19	$< 10^{-4**}$
T6	9	12,23	2278,67	$< 10^{-4**}$
T8	9	18,30	3410,48	$< 10^{-4**}$
C	9	37,44	6974,98	$< 10^{-4**}$

\*\* Significativo a 1% de probabilidade; \* teste F significativo a 5% de probabilidade; <sup>ns</sup> teste F não significativo a 5% de probabilidade

Fixou-se o tempo para desdobrar-se os tratamentos a fim de verificar a influência dos tratamentos em cada tempo. O comportamento de perda de massa de cada tratamento durante o armazenameto foi analisado por análise de regressão, mostrada na Figura 1.

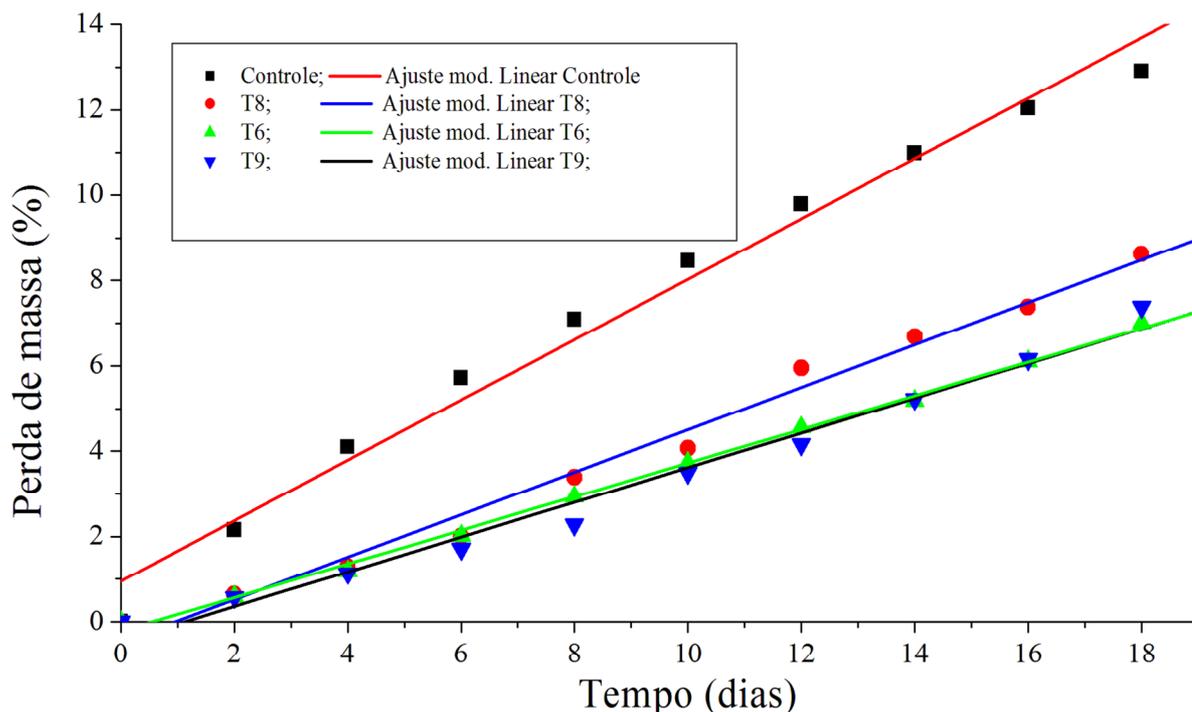


FIGURA 5.1. Perda de massa dos tomates cereja submetidos aos tratamentos controle, T8, T6 e T9 durante o tempo de armazenamento de 18 dias a  $25 \pm 1^\circ\text{C}$ .

A adequação da regressão linear no comportamento de todos os tratamentos utilizados no trabalho geraram equações de 6 a 9, todas as equações foram significativas a 5% de probabilidade.

$$PM_C = 0,96 + 0,71D^*; \quad R^2 = 99,24\%; \quad P = 2,53\%; \quad SE = 0,31 \quad (6)$$

$$PM_{T8} = - 0,47 + 0,49D^*; \quad R^2 = 99,38\%; \quad P = 1,03\%; \quad SE = 0,13 \quad (7)$$

$$PM_{T6} = - 0,45 + 0,40D^*; \quad R^2 = 99,13\%; \quad P = 0,96\%; \quad SE = 0,12 \quad (8)$$

$$PM_{T9} = - 0,21 + 0,39D^*; \quad R^2 = 99,87\%; \quad P = 0,13\%; \quad SE = 0,02 \quad (9)$$

Em que: \* = Significativo a 5% de probabilidade pelo teste F;  $PM_C$  é a perda de massa do tratamento controle;  $PM_{T8}$  é a perda de massa do tratamento 8;  $PM_{T6}$  é a perda de massa do tratamento 6 e;  $PM_{T9}$  é a perda de massa do tratamento 9; D é oarmazenamento me dias.

A perda de massa foi avaliada até 18 dias após a colheita do tomate cereja. No sexto dia de avaliação, o tratamento 8 obteve 65% mais eficiência em relação ao controle, enquanto o T6 e o T9 foram 65 e 70%, respectivamente. No 18º dia, os tratamentos T8, T6 e T9 obtiveram eficiencia de 33, 46 e 43% respectivamente. Dos tratamentos analisados nota-se que, os tratamentos com menos quantidade de plastificante são mais eficientes em relação ao controle.

Os frutos do tratamento controle após o décimo dia de armazenamento apresentaram-se murchos devido a maior perda de massa encontrada neste tratamento, sendo considerados

inadequados para comercialização. Já os frutos com revestimento, apresentaram esta característica após 14, 16 e 18 dias para os tratamentos T8, T6 e T9, respectivamente.

Pereira et al. (2006) avaliaram o efeito do revestimento de fécula de mandioca (1, 2 e 3%) sobre a perda de massa do mamão formosa e detectaram que não houve efeito dos tratamentos para a variável perda de massa, embora os valores absolutos tenham revelado menor perda com o aumento da concentração da fécula na suspensão, o que pode ser atribuído à provável redução na perda de água pelos frutos, gerada pelo aumento da espessura do revestimento. Já Scanavaca Júnior et al. (2007), verificaram que recobrimentos comestíveis com 0, 1, 2 e 3% de fécula de mandioca foram eficazes na redução da perda de massa de manga ‘Surpresa’ armazenada à temperatura ambiente.

No presente trabalho, 7,5% de fécula de inhame, independente da quantidade de glicerol reduziu a perda de massa nos tomates. Este fato pode estar associado à solubilidade da fécula de inhame (Cápítulo 2) ser baixa ( $1,78 \text{ dag kg}^{-1}$ ) quando comparado ao resultado obtido por Nunes et al. (2009) para fécula de mandioca variedade manteiga ( $4,52 \text{ dag kg}^{-1}$ ).

Comparando-se os tratamentos adotados nota-se que o plastificante influenciou a perda de massa dos tomates. Segundo Mali et al. (2004), o glicerol é um plastificante hidrofílico bastante empregado na elaboração de filmes biodegradáveis. Esta hidrofiliabilidade explica o fato do tratamento com maior porcentagem de glicerol obter maior perda de massa quando comparado aos demais tratamentos (com exceção do controle). Contudo, esta perda de massa foi bem inferior ao controle, mostrando-se eficaz para retardamento desta característica no tomate cereja.

O teor de sólidos solúveis totais (SST) e a acidez total titulável (ATT) estabelece, para frutos, a relação SST/ATT (°Brix/% de ácido). Assim, um alto valor da relação indica sabor suave, enquanto que baixos valores, sabor ácido (BOLZAN, 2008). A análise de variância para o efeito das coberturas de fécula de inhame e glicerol e do tempo de armazenamento na relação SST/ATT dos frutos de tomate está apresentada na Tabela 5.4.

TABELA 5.4. Análise de variância para o efeito das coberturas de fécula de inhame e glicerol e do tempo de armazenamento na relação SST/AAT do tomate cereja.

Fonte de Variação	GL	QM	F	P
Tratamento	3	91,21	51,35	$< 10^{-4**}$
Erro a	16	28,42		
Tempo	9	82,35	86,11	$< 10^{-4**}$
Tratamento X Tempo	27	5,21	5,35	$< 10^{-4**}$
Erro b	142	0,96		

\*\* Significativo a 1% de probabilidade; \* teste F significativo a 5% de probabilidade; <sup>ns</sup> teste F não significativo a 5% de probabilidade

Nota-se que, a interação entre os tratamentos e o tempo de armazenamento foi significativa. Desdobrando-se os tratamentos e fixando-se o tempo verifica-se na Tabela 5.5, que para o mesmo tempo, todos os tratamentos diferiram significativamente a 1% de probabilidade ( $P \leq 0,01$ ).

TABELA 5.5. Análise da interação para o efeito dos tratamentos no mesmo tempo de armazenamento na relação SSA/AT dos frutos de tomate.

Fonte de Variação	GL	QM	F	P
T6	9	9.746536	10.19	$< 10^{-4**}$
T8	9	7.372342	7.71	$< 10^{-4**}$
T9	9	37.680615	39.40	$< 10^{-4**}$
C	9	43.300523	45,28	$< 10^{-4**}$

\*\* Significativo a 1% de probabilidade; \* teste F significativo a 5% de probabilidade; <sup>ns</sup> teste F não significativo a 5% de probabilidade

A fim de verificar o comportamento da relação SST/AAT de cada tratamento sobre o tempo de armazenamento aplicou-se análise de regressão aos dados experimentais, Figura 2.

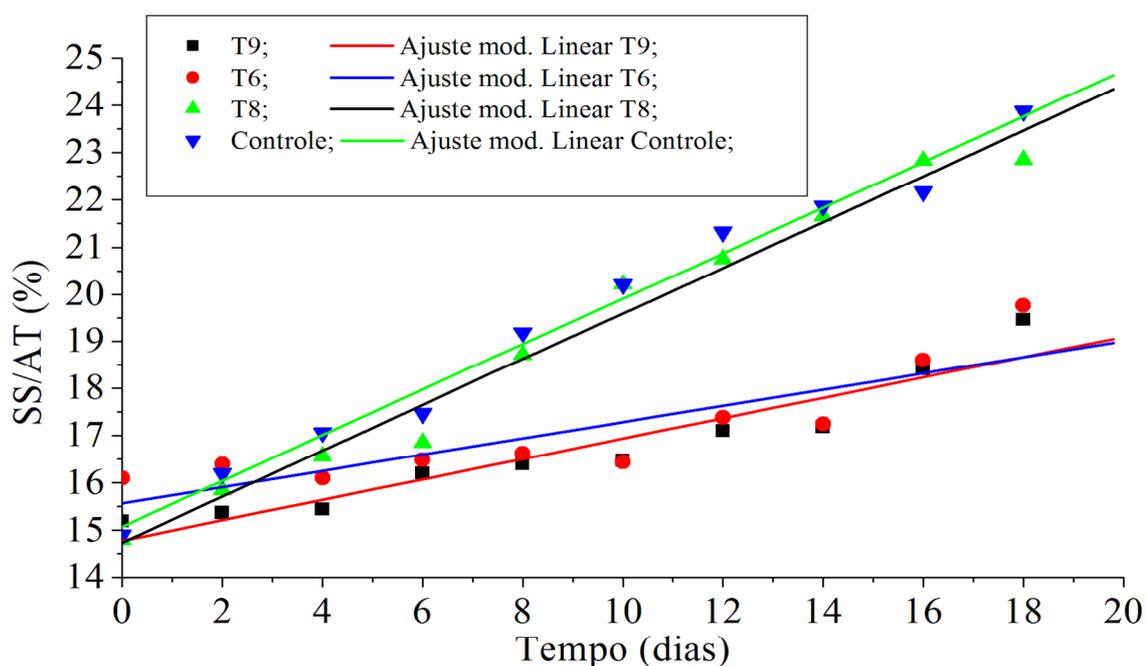


FIGURA 5.2. Relação de sólidos solúveis totais (SST) e acidez total titulável (ATT) dos tomates cereja submetidos aos tratamentos controle, T8, T6 e T9 durante o armazenamento por 18 dias a  $25 \pm 1^\circ\text{C}$ .

A acidez pode ser utilizada, em conjunto com a doçura, como ponto de referência do grau de maturação. Em muitas frutas, o equivalente entre os ácidos orgânicos e os açúcares é utilizado como critério de avaliação do *flavor*. Essa relação aumenta com o amadurecimento dos frutos,

devido ao decréscimo da acidez, o que permite uma relação elevada em frutos com alto teor de sólidos solúveis (CHITARRA; CHITARRA, 2005).

Maiores valores de SST/ATT foram encontrados no tratamento controle ao longo do tempo, significando que os tratamentos T9 e T6 reteram a maturação dos tomates avaliados, seguidos do Tratamento 8.

As equações de 10 a 13 foram geradas pela análise de regressão representando o comportamento da relação SST/ATT dos tratamentos estudados sobre o tempo. Todas as equações foram significativas a 5% de probabilidade.

$$SA_{T9} = 14,78267 + 0,2154D^*; R^2 = 90,52\%; P = 6,02\%; SE = 0,60 \quad (10)$$

$$SA_{T6} = 15,56909 + 0,17155D^*; R^2 = 86,54\%; P = 15,44\%; SE = 0,99 \quad (11)$$

$$SA_{T8} = 15,08 + 0,48258D^*; R^2 = 99,30\%; P = 9,53\%; SE = 0,70 \quad (12)$$

$$SA_C = 14,74345 + 0,48473D^*; R^2 = 98,97\%; P = 10,22\%; SE = 0,89 \quad (13)$$

Em que: \* = Significativo a 5% de probabilidade pelo teste F;  $SA_c$  é a relação entre SST e ATT do tratamento controle;  $SA_{T8}$  é a relação entre SST e ATT do tratamento 8;  $SA_{T6}$  é a relação entre SST e ATT do tratamento 6 e;  $SA_{T9}$  é a relação entre SST e ATT do tratamento 9.

Vieites et al. (1997) avaliaram biofilmes de fécula de mandioca em tomates e observaram tendência dos frutos revestidos apresentarem menor atividade metabólica através da manutenção da acidez.

Scanavaca Junior et al. (2007) avaliaram o uso de biofilmes de fécula de mandioca (1, 2 e 3%) para conservação da manga ‘Surpresa’ em temperatura ambiente e verificaram que não houve diferença estatística entre os tratamentos para SST, pH e para a relação SST/ATT, mas houve diferença para a ATT (1%).

A relação estudada obteve menores valores para os tratamentos 9 e 6, devido a influencia do plastificante, pois o teor de fécula de inhame foi o mesmo utilizado para todos os tratamentos e o T8 não diferiu visualmente do controle. No Capítulo 4 a permeabilidade dos filmes elaborados foi altamente influenciada pelo teor de glicerol. Películas comestíveis com menor concentração de glicerol foram menos permeáveis ao vapor de água, o que explica maior barreira aos vapores e possivelmente ao etileno.

Para verificar a influência do tratamento e tempo de armazenamento sobre a firmeza dos tomates realizou-se análise de variância mostrada na Tabela 5.6.

TABELA 5.6. Análise de variância para o efeito das coberturas de fécula de inhame e glicerol e do tempo de armazenamento na firmeza dos tomates.

Fonte de Variação	GL	QM	F	P
Tratamento	3	3.6037241	1,97	0,1585 <sup>ns</sup>
Erro a	16	1.8255470		
Tempo	9	23.6345766	9,96	<.0001*
Tratamento X Tempo	27	0.9914580	0,42	0,9951 <sup>ns</sup>
Erro b	143	2.3740897		

\*\* Significativo a 1% de probabilidade; \* teste F significativo a 5% de probabilidade; <sup>ns</sup> teste F não significativo a 5% de probabilidade

Por meio da anova foi possível verificar que a interação entre tempo e tratamento não foi significativo, sendo somente a influência do tempo significativa. Sendo assim, para verificar o comportamento da variável firmeza, elaborou-se o gráfico do comportamento de cada tratamento vs o tempo de armazenamento. A Figura 3 demonstra o comportamento da variável firmeza dos tratamentos aplicados ao tomate cereja durante o tempo de armazenamento.

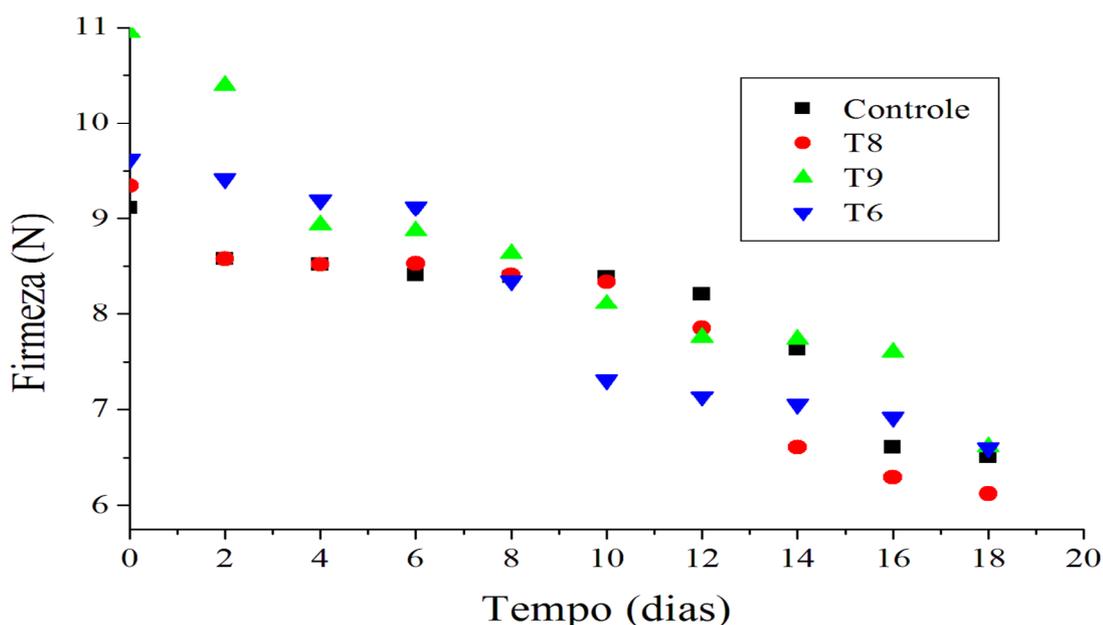


FIGURA 5.3. Firmeza dos tomates cereja submetidos aos tratamentos controle, T8, T6 e T9 durante o tempo de armazenamento por 18 dias a  $25 \pm 1^\circ\text{C}$ .

Os dados de firmeza obtidos nos tomates analisados não seguiram tendência que tornou possível o ajuste-se a regressão, por isto, somente os dados foram plotados. O que pode ser observado é que em todos os tratamentos a firmeza diminui com o tempo de armazenamento.

Segundo Oliveira e Cereda (2003), com o avanço da maturação durante o armazenamento e a chegada da senescência, espera-se um decréscimo nos valores de textura dos frutos, pois apesar de ser um parâmetro físico, está estreitamente relacionado com a solubilização das substâncias pecticas com o amadurecimento.

Pereira et al. (2006) avaliaram o amadurecimento de frutos de mamão Formosa em temperatura ambiente, revestidos com película comestível à base de fécula de mandioca, que foi aplicada por meio de imersão dos frutos inteiros em suspensões de 1%, 2% e 3%. Os resultados mostraram que os revestimentos com 1% e 3% prolongaram a vida útil pós-colheita por quatro dias sem afetarem a qualidade dos mesmos. Os tratamentos retardaram o amadurecimento dos frutos, cujas alterações de cor da casca, firmeza da polpa, sólidos solúveis e acidez titulável foram significativamente mais lentas que os frutos não tratados. As mesmas alterações foram percebidas neste trabalho.

Nunes et al. (2004) avaliaram a aplicação da fécula de mandioca a 3% em pêssegos e verificaram maiores valores de firmeza em relação ao controle. Para os tratamentos usados no presente trabalho o mesmo foi verificado. O uso de 7,5% de fécula de inhame em soluções filmogênicas retardou a perda de firmeza nos tratamentos T9, T6 e T8, sendo o tratamento 9 o que obteve maiores valores desta variável. A atividade antioxidante de plantas está correlacionada à quantidade de compostos fenólicos (CHEUNG et al., 2003). Deste modo é importante quantificar o teor de fenólicos totais, o potencial antioxidante de tomates e seus derivados. Na Tabela 5.7 são apresentados valores de polifenóis totais, da atividade antioxidante e do teor de licopeno no tomate que recebeu diversos tratamentos durante os 18 dias, em relação ao teor inicial.

TABELA 5.7. Médias  $\pm$  desvio padrão do teor de fenólicos totais em mg de equivalente de ácido gálico (mg EAG)  $100\text{ g}^{-1}$ , atividade antioxidante em % e licopeno em  $\mu\text{g g}^{-1}$  de tomates com zero dias de armazenamento (Natural), 18 dias sem tratamento (Controle), 18 dias com diferentes tratamentos variando fécula e glicerol (T6, T8 e T9).

Tratamento	Polifenóis Totais (mg EAG $100\text{ g}^{-1}$ )	Atividade Antioxidante (%)	Licopeno ( $\mu\text{g g}^{-1}$ )
Natural	278 $\pm$ 3,9	41 $\pm$ 2,2	29 $\pm$ 3,3
T9	213 $\pm$ 4,2	36 $\pm$ 2,7	25 $\pm$ 2,1
T6	158 $\pm$ 2,8	33 $\pm$ 3,4	23 $\pm$ 4,0
T8	101 $\pm$ 2,7	25 $\pm$ 2,9	19 $\pm$ 3,2
Controle	48 $\pm$ 3,3	20 $\pm$ 4,1	14 $\pm$ 4,2

Borguini & Ferraz (2009) avaliaram a quantidade de fenóis totais em tomates obtidos por sistema convencional e orgânico e encontraram valores de 163 e 210 mg de EAG  $100\text{ g}^{-1}$ , respectivamente. Valores estes inferiores a quantidade obtida para o tomate cereja do presente

trabalho. Guerra et al. (2008) analisaram três variedades de tomates comerciais: pêra, Débora e Caqui e encontraram valores de 540, 430 e 360 mg de EAG 100 g<sup>-1</sup> (b.s.). Visto que, em média, o tomate possui 90% de umidade, valores próximos a 54, 43 e 36 mg de EAG 100 g<sup>-1</sup> foram encontrados pelos autores. Fato este que mostra a variação de fenóis totais entre variedades de tomate.

Os compostos fenólicos nos frutos e vegetais podem produzir efeitos benéficos por eliminar radicais livres (Chun et al., 2003). Deste modo, os compostos fenólicos podem ajudar na proteção das células contra o dano oxidativo causado pelos radicais livres (WADA; OU, 2002). Sendo assim, o tomate analisado contém quantidade de fenóis totais superior quando comparada a outras variedades, o que pode ser fator positivo para a ingestão desta variedade.

A análise de compostos fenólicos aos 18 dias de armazenamento para os tratamentos T6, T8, T9 e controle detectou menores valores quando comparados ao valor médio inicial do fruto. Quanto aos frutos que não receberam nenhum tratamento, houve diminuição de 83% do valor de fenóis totais em relação ao inicial. Já os tratamentos T6, T8 e T9 diminuíram 64, 44 e 24% respectivamente.

Muitos estudos têm mostrado que os polifenóis geralmente diminuem em frutos climatérios, como tomates, bananas, mangas e goiabas durante o amadurecimento (HAARD; CHISM, 1996; MITRA; BALDWIN, 1997). Kim et al. (2007), trabalhando com atmosfera controlada em manga observaram que o fruto exibiu uma apreciável e consistente diminuição em polifenóis totais e capacidade antioxidante durante o amadurecimento.

Por meio da relação SST/ATT foi possível observar que houve amadurecimento do tomate cereja em todos os tratamentos, em conformidade com a diminuição dos compostos fenólicos. Logo, nota-se que o tratamento mais eficaz para a retenção deste composto no tomate durante 18 dias de armazenamento foi o T9, que possui menor quantidade de plastificante em relação aos demais. Portanto, a hidrofobicidade do revestimento, influenciou positivamente o contato do oxigênio com a superfície do fruto.

Monteiro et al. (2008) analisaram a atividade antioxidante do tomate italiano e encontraram valores de 8,65 e 5,94% para a polpa de tomate e o tomate inteiro, respectivamente, valores menores que os obtidos neste trabalho.

Pesquisas apontam que a atividade antioxidante dos alimentos está relacionada ao conteúdo de compostos fenólicos (MARTINEZ-VALVERDE et al., 2002; CHEUNG et al., 2003). Por isso, o mesmo comportamento dos fenólicos totais foi observado na atividade antioxidante, obtendo o T9 a maior atividade antioxidante em relação aos demais tratamentos. Houve

diminuição de 51, 40, 20 e 12% da atividade antioxidante dos tratamentos controle, T6, T8 e T9, respectivamente em relação ao tomate cereja armazenado a 0 dias.

O licopeno aparece atualmente como dos mais potentes antioxidantes, sendo sugerido na prevenção da carcinogênese e aterogênese por proteger moléculas como lipídios, lipoproteínas de baixa densidade (LDL), proteínas e DNA (SHAMI; MOREIRA, 2004).

Costa (2009) encontrou para tomate cereja maduro, teor de licopeno de  $23,9 \mu\text{g g}^{-1}$ . O mesmo autor avaliou a concentração deste composto em 30 dias e verificou que para o estágio maduro as quantidades foram diminuindo em função do tempo de armazenamento.

O licopeno é um carotenóide sem a atividade pró-vitamina A, lipossolúvel, composto por onze ligações conjugadas, sendo encontrado em um número limitado de alimentos de cor vermelha, como tomates e seus produtos, goiaba, melancia, mamão e pitanga (SILOCHI, 2009). A síntese e a decomposição dos carotenóides presentes em tomates são acentuadas na fase de transição entre a maturação e a senescência do fruto. A estabilidade dos carotenóides pode ser influenciada pelo pH, temperatura e pela oxidação (AWAD, 1993).

Malacrida et al. (2006) relataram diminuição no acúmulo de licopeno em tomates durante o amadurecimento normal e Perkins-Veazie e Collins (2004) indicaram que o conteúdo total de licopeno não foi modificado significativamente em qualquer cultivar armazenada por 2 dias a  $2^{\circ}\text{C}$ .

Verificando que houve diminuição de 14, 19, 32 e 51% dos tratamentos T9, T8, T6 e controle armazenados a 18 dias, respectivamente, em relação ao analisado imediatamente a pós-colheita, pode-se inferir que o T9 obteve menor contato com o ar atmosférico, visto que, neste tratamento houve menor oxidação do licopeno em relação aos demais, seguido dos tratamentos T8 e T6.

#### 4 CONCLUSÃO

Nas condições em que foram desenvolvidos este trabalho pode-se concluir que o tratamento 9, que possui menor quantidade de glicerol (7,5% de fécula de inhame e 30% de glicerol), foi o tratamento mais eficiente para todas as análises estudadas, visto que, obteve a menor perda de massa, menor relação de sólidos solúveis totais e acidez titulável total (evidenciando menor amadurecimento do fruto), sendo também o tratamento que obteve valores mais próximos de compostos fenólicos, atividade oxidante e licopeno em relação ao fruto analisado inicialmente. Portanto este tratamento foi eficiente para conservação da vida-de-prateleira do tomate cereja, pois manteve as qualidades físicas, químicas e funcionais do fruto.

## 5 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ANDRADE C.A.; COSTA C.K.; BORA K.M.; MIGUEL O,G,; KERBER, V.A.; Determinação do conteúdo fenólico e avaliação da atividade antioxidante de *Acacia podalyriifolia* A. Cunn. ex G. Don, Leguminosae-mimosoideae. **Brazilian Journal of Pharmacognosy**, v.17, p. 231-235, 2007.

AGRIANUAL: **Anuário da agricultura brasileira**. São Paulo: FNP Consultoria, 2010. p.348-491.

ALVARENGA, M. A R. **Tomate**: produção em campo, em casa de vegetação e em hidroponia. Lavras: Editora UFLA, 2004.

AZEREDO, H. M. C. Películas comestíveis em frutas conservadas por métodos combinados: potencial da aplicação. **Boletim do Centro de Pesquisa e Processamento de Alimentos**, v.21, n.2, p.267-278, 2003.

AWAD, M. **Fisiologia Pós-Colheita de Frutos**. São Paulo: Nobel, 1993.

BOLZAN, R.P. **Biofilmes comestíveis para conservação pós-colheita de tomate 'Dominador'**. 2008. 167p. Dissertação (mestrado em Agronomia) - Universidade Federal do Paraná, Curitiba

BORGUINI, R. G. ; Ferraz Da Silva Torres, Elizabeth . Tomatoes and Tomato Products as Dietary Sources of Antioxidants. **Food Reviews International**, v.25, p.313-325, 2009.

BRASIL. Ministério da Saúde. Agência Nacional de Vigilância Sanitária. **Métodos Físico-Químicos para Análise de Alimentos do Instituto Adolfo Lutz**. Brasília: Ministério da Saúde, 2005.

CEREDA, M.P.; DAIÚTO, E.R.; LEONEL, M.; SILVEIRA, S.R.S. Avaliação da qualidade da fécula de inhame (*Dioscorea* sp) obtida por diferentes processos de extração. In: SIMPÓSIO EM CIÊNCIA DE ALIMENTOS, 2003, Florianópolis. **Anais...** Florianópolis: Universidade Federal de Santa Catarina, 2003. p. 866-870.

CHIEN, P. J.; SHEU, F.; LIN, H. R. Coating citrus (Murcott tangor) fruit with low molecular weight chitosan increases postharvest quality and shelf life. **Food Chemistry**, v.100, p.1160–1164, 2007a.

CHIEN, P. J.; SHEU, F.; YANG, F. H. Effects of edible chitosan coating on quality and shelf life of sliced mango fruit. **Journal of Food Engineering**, v.78, p.225–229, 2007b.

CHIEN, P. J.; SHEU, F.; LIN, H. R. Quality assessment of low molecular weight chitosan coating on sliced red pitayas. **Journal of Food Engineering**, v.79, p.736–740, 2007c.

CHIUMARELLI, M.; FERREIRA, M.D. Qualidade pós-colheita de tomates 'Débora' com utilização de diferentes coberturas comestíveis e temperaturas de armazenamento. **Horticultura Brasileira**, v.24, n.3, p.381-385, 2006.

COSTA, F.F. **Avaliação da composição em micronutrientes do tomate consoante a variedade e modo de colheita.** Dissertação( Mestrado de nutrição clínica). (Universidade de Coimbra Faculdade de Medicina Coimbra, 2009.

CHEUNG, L. M., et al. Antioxidant activity and total phenolics of edible mushroom extracts. **Food Chemistry**; v.80, n.2, p.249-255, 2003.

CHUN, O.K.; KIM, D.O.; LEE, C.Y. Superoxide radical scavenging activity of the major polyphenols in fresh plums. **Journal Agriculture Food Chemical**, v.51, p.8067-8072, 2003.

CHITARRA, M.I.F.; CHITARRA, A.B. **Pós-colheita de frutos e hortaliças: fisiologia e manuseio.** 2. ed. Lavras: UFLA, 2005. 785 p.

DONG, H.; CHENG, L.; TAN, J.; ZHENG, K.; JIANG, Y. Effects of chitosan coating on quality and shelf life of peeled litchi fruit. **Journal of Food Engineering**, v. 64, p.355–358, 2004.

DUARTE-ALMEIDA, J.M. et al., Avaliação da Atividade Antioxidante Utilizando Sistema  $\beta$ -Caroteno/Ácido Linoléico e Método de Seqüestro de Radicais DPPH, **Ciência e Tecnologia de Alimentos**, Campinas, v.26, n.2, p.446-452, 2006.

MONTEIRO, C.S.; BALBI, ME.; MIGUEL, O.G.; PENTEADO, P.T.P; HARACEMIV, S.M.C. Qualidade nutricional e antioxidante do tomate “tipo italiano”. **Alimentos e Nutrição**, Araraquara, v.19, n.1, p. 25-31, jan./mar. 2008

GEORGE, B.; CAUR C.; KHURDIYA, D.S.; KAPOOR, H.C. Antioxidants in tomato (*Lycopersium esculentum*) as function of genotype. **Food Chemistry**, v.84, p.45-51, 2004

GUERRA, J.V.V. ; SOARES, S.; ANTONIO J.R.; AMORIM, M.B. ; KUSTER, R.M. Análise de Fenóis totais e licopeno de três variedades de tomates: pêra, débora e caqui. In: REUNIÃO ANUAL DA SOCIEDADE BRASILEIRA DE QUÍMICA, 31º, 2008, Águas de Lindóia. **Anais...** São Paulo: Universidade de São Paulo, 2008. p.15.

HAARD, N.F.; CHISM, G.W. Characteristics of edible plant tissues. In: FENNEMA, O.R. (Ed.). **Food chemistry.** 3.ed. New York: Marcel Dekker, 1996. p.943-1011.

HAN, C.; ZHAO, Y.; LEONARD, S. W.; TRABER, M. G. Edible coatings to improve storability and enhance nutritional value of fresh and frozen strawberries (*Fragaria ´ ananassa*) and raspberries (*Rubus ideaus*). **Postharvest Biology and Technology**, v.33, p.67–78, 2004.

KIM, Y.; BRECHT, J.K.; TALCOTE, S.T. Antioxidant phytochemical and fruit quality changes in mango (*Mangifera indica* L.) following hot water immersion and controlled atmosphere storage. **Food Chemistry**, v.105, p.1327-1334, 2007.

JIANG, Y.; LI, Y. Effects of chitosan coating on postharvest life and quality of longan fruit. **Food Chemistry**, v.73, p.139-143, 2001.

MALI, S., GROSSMANN, M.V.E., GARCÍA, M. A., MARTINO, M. M.; ZARITZKY, N. E. Barrier, mechanical and optical properties of plasticized yam starch films. **Carbohydrate Polymers**, Barking, v. 56, n. 2, p. 129-135, 2004.

MONTEIRO, C.S.; BALBI, ME.; MIGUEL, O.G.; PENTEADO, P.T.P; HARACEMIV, S.M.C. Qualidade nutricional e antioxidante do tomate “tipo italiano”. **Alimentos e Nutrição**, Araraquara, v.19, n.1, p. 25-31, 2008.

NUNES, L.B.; SANTOS, W.J.; CRUZ, R.S. Rendimento de extração e caracterização química e funcional de féculas de mandioca da região do semi-árido baiano. **Alimentos e Nutrição**, Araraquara v.20, n.1, p.129-134, 2009.

OLIVEIRA, M.A.; CEREDA, M.P. Pós colheita de pêssegos (*Prunus pérsica* L. Bastsch) revestidos com filmes a base de mido como alternativa a cera comercial. **Ciência e tecnologia de alimentos**, v.23, p.28-33, 2003.

MALACRIDA, C.; VALLE, E.M.; BOGGIO, S.B. Postharvest chilling induces oxidative stress response in the dwarf tomato cultivar Micro-Tom. **Plant Physiology**, v.127, p.10-18, 2006.

MARCOS, S. R. **Desenvolvimento de Tomate de Mesa, com o Uso do Método Q. F. P. (Quality Function Deployment) Comercializado em um Supermercado**. 200p. Tese (Doutorado em Tecnologia Pós-Colheita) – Faculdade de Engenharia Agrícola, Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2001.

MARTÍNEZ-VALVERDE, I. Phenolic compounds, lycopene and antioxidant capacity in commercial varieties of tomato (*Lycopersicon esculentum*). **Journal Science Food Agriculture**, v.82, p.323-330, 2002.

MEDA, A.; LAMIEN, C.E.; ROMITO, M.; MILLOGO, J.; NACOULMA, O.G. Determination of the total phenolic, flavonoid and proline contents in Burkina Fasan honey, as well as their radical scavenging activity. **Food Chemistry**, v.91, p.571-577, 2005.

MITRA, S.K.; BALDWIN, E.A. Mango. In: MITRA, S.K. (Ed.). **Postharvest physiology storage of tropical and subtropical fruit**. New York: CAB Internacional, 1997. p.85-122.

MONTEIRO, C.S.; BALBI, ME.; MIGUEL, O.G.; PENTEADO, P.T.P; HARACEMIV, S.M.C. Qualidade nutricional e antioxidante do tomate “tipo italiano”. **Alimentos e Nutrição**, Araraquara, v.19, n.1, p.25-31, 2008.

NUNES, E. E.; VILAS BOAS, B. M.; CARVALHO, G. L. de.; SIQUEIRA, H. H. de; LIMA, L. C. de O. vida útil de pêssegos ‘Aurora 2’ armazenados sob atmosfera modificada e refrigeração. **Revista Brasileira de Fruticultura**, Jaboticabal, v.26, n.3, p.438-440, 2004.

OJEDA, R.M. **Utilização de Ceras, Fungicidas e Sanitizantes na Conservação de Goiabas ‘Pedro Sato’ sob Condição Ambiente**. 57p. Dissertação (Mestrado em Fitotecnia) - Escola Superior de Agricultura ‘Luiz de Queiroz’, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2001.

PERKINS-VEAZIE, P.; COLLINS, J.K. Flesh quality and lycopene stability of fresh-cut watermelon. **Postharvest Biology Technology**, v.31, p.159-166, 2004.

PEREIRA, M.E.C.; SILVA, A.S.; BISPO, A.S.R.; SANTOS, D.B.; SANTOS, S.B.; SANTOS, V.J. Amadurecimento de mamão formosa com revestimento comestível à base de fécula de mandioca. **Ciência e agrotecnologia**, Lavras, v.30, n.6, p.1116-1119, 2006.

QIUPING, Z.; WENSHUI, X. Effect of 1-methylcyclopropene and/or chitosan coating treatments on storage life and quality maintenance of Indian jujube fruit. **LWT**, v.40, p.404–411, 2007.

ROCHA, M.C.; GONÇALVES, L.A.; CORRÊ, A.F.M.; RODRIGUES, R.; SILVA, S.L.; ABBOUD, A.C.S.; CARMO, M.G.F. Descritores quantitativos na determinação da divergência genética entre acessos de tomateiro do grupo cereja. **Ciencia Rural**, Santa Maria, v.39 n.3. 2009.

RUFINO, M.S.M.; ALVES, R.E.; BRITO, E. S. de; MORAIS, S.M.de; SAMPAIO, C.G.; PÉREZ-JIMÉNEZ, J.; SAURA-CALIXTO, F.D. Metodologia Científica: Determinação da Atividade Antioxidante Total em Frutas pela Captura do Radical Livre ABTS +. **Embrapa**. ISSN 1679-6535. 2007.

SAS, **Statistical Analysis System**, versão 9.1. The SAS Institute, Cary, N.C.; 1999.

SCANAVACA JÚNIOR, L.; FONSECA, N.; PEREIRA, M. E. C. Uso de fécula de mandioca na pós-colheita de manga ‘Surpresa’. **Revista Brasileira de Fruticultura**, Jaboticabal, v.29, n.1, 2007.

SHAMI, N. J. I. E.; MOREIRA, E. A M. Licopeno como agente antioxidante. **Revista Nutrição**, Campinas, v.17, n.2, p.227-236, 2004.

SILOCHI, 2009 R. M. H. Q. . Tomates (*Lycopersicon esculentum*): Temperatura e Carotenóides. In: XX Congresso Brasileiro e Latino-Americano de Economia Doméstica, 2009, Fortaleza - CE. **Anais... XX Congresso Brasileiro e Latino-Americano de Economia Doméstica**. FORTALEZA : UNIVERSIDADE FEDERAL DO CEARÁ, 2009.

SILVA, P.C.F.da. **Propriedades Antioxidantes in vitro de Uva Branca e de Uva Tinta e de seus Respectivos Vinhos Elaborados**. Dissertação (Mestrado em Ciência e Tecnologia de Alimentos) Universidade Federal de Viçosa. 2003.

SOUZA, J.L. **Manual de horticultura orgânica**. 2 edição. Viçosa: Aprenda Fácil, 2006. 842 p.

VIEITES, R.L.; DAIUTO, A.R.; SILVA, A.P. Efeito da utilização de cera e películas de amido e fécula em condições de refrigeração na conservação do tomate. **Cultura Agronômica**, Ilha solteira, v.6, n.1, p. 93-110, 1997.

WADA, L.; OU, B. Antioxidant activity and phenol content of Oregon caneberries. **Journal Agriculture Food Chemical**, v.50, p.3495-3500, 2002.

## ANEXO

